

**MŰSZAKI TUDOMÁNY AZ
ÉSZAK-KELET MAGYARORSZÁGI
RÉGIÓBAN
2016**

**KONFERENCIA
ELŐADÁSAI**

Miskolc, 2016. május 25.

**Szerkesztette:
Edited by**

Dr. Bodzás Sándor

**Kiadja: Debreceni Akadémiai Bizottság
Műszaki Szakbizottsága**

ISBN 978-963-7064-33-3

Debrecen 2016

A konferencia szervezői:

*A Magyar Tudományos Akadémia Debreceni Területi Bizottság
(DAB) Műszaki Szakbizottsága,*

a Magyar Tudományos Akadémia Miskolci Területi Bizottsága,

*a Miskolci Egyetem
Műszaki Földtudományi Kara,
Műszaki Anyagtudományi Kara,
Gépészmérnöki és Informatikai Kara,
és Gazdaságtudományi Kara*

A konferencia fővédnöke:

Prof. Dr. Torma András
a Miskolci Egyetem rektora

A Konferencia Programbizottsága:

Ráthy Istvánné Dr., elnök
Dr. Bodzás Sándor, titkár

Prof. Dr. Szűcs Péter	Prof. Dr. Palotás Árpád Bence	Prof. Dr. Bertóti Edgár
Veresné Prof. Dr. Somosi Mariann	Dr. Békési Bertold	Prof. Dr. Dudás Illés
Dr. Csanádi Gábor	Vadászné Prof. Dr. Bognár Gabriella	Marosné Dr. Berkes Mária
Dr. Pálinkás Sándor	Dr. Mucsi Gábor	Dr. Turai Endre
Dr. Palcsu László	Dr. Antal Tamás	Dr. Jobbik Anita
Dr. Kovács Zoltán	Dr. Szigeti Ferenc	Szilvásiné Dr. Rozgonyi Erika
Dr. Szegedi Péter	Dr. Szilágyi Roland	Dr. Musinszki Zoltán
Dr. Nagy Szabolcs	Dr. Kuttor Dániel	

TARTALOMJEGYZÉK

ANTAL Tamás, SZÖLLŐSI István, SIKOLYA László, CSÁSZÁR Dávid A FAGYASZTVA SZÁRÍTÁS ENERGIAHATÉKONYSÁGÁNAK NÖVELÉSI LEHETŐSÉGEI ÉS A HŐ- ÉS ANYAGÁTADÁSI FOLYAMAT MODELLEZÉSE	1
BALAJTI Zsuzsanna KAPCSOLÓDÓ FELÜLETPÁROK GYÁRTÁSGEOMETRIÁJÁNAK VIZSGÁLATA AZ ÁBRÁZOLÓ GEOMETRIA MÓDSZEREIVEL	12
BALATON Károly A VÁLLALATOK STRATÉGIAI VEZETÉSÉNEK NÉHÁNY SAJÁTOSSÁGA	21
BALOGH Gergely Pál, SZABÓ Norbert Péter PENETRÁCIÓS SZONDAADATOK FELDOLGOZÁSA KÉTDIMENZIÓS SÚLYOZOTT FAKTORANALÍZIS ALKALMAZÁSÁVAL	27
BODZÁS Sándor KÚPOS CSIGATENGELY KÖSZÖRÜLÉSI TECHNOLÓGIÁJÁNAK MODELLEZÉSE ÉS ELEMZÉSE	35
BODZÁS Sándor, KRAKKÓ Béla AZ OEE MUTATÓ SZÁMÍTÁSA CNC VEZÉRLÉSŰ 5 TENGEYES MARÓGÉPRE	43
BOGDÁNDY Bence, TÓTH Zsolt WIFI RSSI SZŰRŐ METÓDUSOK ÖSSZEHASONLÍTÁSA	50
BOKÁNYI Ljudmilla, VARGA Terézia Erzsébet, FEKETE-SOLTÉSZ Beáta TELEPÜLÉSI SZILÁRD HULLADÉK MARADÉK FRAKCIÓJÁNAK ÉS A SZENNYVÍZISZAP EGYÜTTES HASZNOSÍTÁSA BIOGÁZ ELŐÁLLÍTÁSÁVAL	55
BÖLKÉNY Ildikó MODELL ALAPÚ GÁZHIDRÁT MENTESÍTÉS	64
CSANÁDY Gábor A π (PI) ÉRTÉKE SALAMONNÁL, ÉS A ZSIDÓ KÖNYÖK NAGYSÁGA	71
CSERVENÁK Ákos IPARI ROBOT MOZGÁSÁNAK MODELLEZÉSE ÉS POZICIONÁLÁSI PONTOSSÁGÁNAK MEGHATÁROZÁSA	77

CSIZMADIA Ivett Anita, GYŐRI Barnabás ÖNKORMÁNYZATI TULAJDONBAN LÉVŐ ÉPÜLETEK VILLAMOSENERGIA- FELHASZNÁLÁSÁNAK KIVÁLTÁSA MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOKKAL	84
DUDÁS IIIés ÁLTALÁNOS MATEMATIKAI MODELL FELÜLETEK, HAJTÓPÁROK GYÁRTÁSGEOMETRIAI ELEMZÉSÉRE, TERVEZÉSÉRE ÉS GYÁRTÁSÁRA (ProMAT)	91
DUDÁS László KVÁZI-HELIKOID FELÜLETEK ALKALMAZÁSÁNAK ÉS ELŐÁLLÍTÁSÁNAK ELEMZÉSE	102
FEKETE Zsombor KONVERGENCIA PROBLÉMÁK FELTÁRÁSA NUMERIKUS FELSZÍNALATTI ÁRAMLÁSI MODELLBEN	111
FÜVESI Viktor, KONYHA József GÉPI TANULÁST SEGÍTŐ FÜGGVÉNYKÖNYVTÁRAK ÁTTEKINTÉSE	116
GINDERT-KELE Ágnes, HAGYMÁSSY Zoltán SZEMCSÉS ANYAGOK SÚRLÓDÁSA: MEZŐGAZDASÁGI ALKALMAZÁSOK	123
GOMBKÖTŐ Imre, HORVÁTH Ágnes MAGYARORSZÁG EURÓPAI UNIÓHOZ VISZONYÍTOTT ELEKTRONIKAI HULLADÉKOK HULLADÉKGAZDÁLKODÁSI HELYZETÉNEK FELMÉRÉSE, VALAMINT AZ EURÓPAI UNIÓS JOGI IRÁNYELVEK MAGYARORSZÁG JOGRENDSZERÉBE TÖRTÉNŐ ÁTÜLTETÉSÉNEK MEGVALÓSULÁSA	129
GYURJÁN László A STEALTH TECHNOLÓGIA ALKALMAZÁSA LÉGI JÁRMŰVEKEN A MODERN HADVISELÉSBEN	137
HAGYMÁSSY Zoltán, GINDERT-KELE Ágnes MŰTRÁGYASZÓRÓ GÉPEK VIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ TESZT VISZONYOK ESETÉN	146
HEGEDŰS Krisztián A HAGYOMÁNYOS ÉS AZ ALTERNATÍV TÜZELŐANYAGOKKAL MŰKÖDŐ HAJTÓMŰVEK FEJLESZTÉSI IRÁNYAI	151
HRICZÓ Krisztián, VADÁSZNÉ BOGNÁR Gabriella EGYDIMENZIÓS FELÜLETEK MINTÁZATAI	160

ILYÉS Csaba, TURAI Endre, SZÚCS Péter HOSSZÚ IDEJŰ CSAPADÉK IDŐSOROK SPEKTRÁLIS ELEMZÉSÉN ALAPULÓ ELŐREJELZÉS KÉSZÍTÉSE DEBRECEN TERÜLETÉRE	168
JOBBIK Anita GÁZÁRAMLÁS RENDKÍVÜL KIS PERMEABILITÁSÚ FORMÁCIÓKBAN	175
KAVAS László, ÓVÁRI Gyula, ROZOVICSNÉ FEHÉR Krisztina ÜZEMANYAGCELLA ALKALMAZÁSA A REPÜLÉSBEN	182
KEREKES Attila SOK KICSI SOKRA MEGY	196
KISS Adrienn, SIKORA Emőke, HUTKAINÉ GÖNDÖR Zsuzsanna, KRISTÁLY Ferenc, VANYOREK László NITROGÉN DÓPOLT BAMBUSZ SZERKEZETŰ KARBON NANOCSSÖVEK SZINTÉZISE ÉS ALKALMAZÁSA KATALITIKUS FOLYAMATOKBAN	205
KISS Anett, SOMOGYINÉ MOLNÁR Judit ÚJ KÖZETFIZIKAI MODELLEK AZ AKUSZTIKUS TERJEDÉSI SEBESSÉGEK ÉS JÓSÁGI TÉNYEZŐK NYOMÁSFÜGGÉSÉNEK LEÍRÁSÁRA – ALKALMAZÁS SZÉN MINTÁKON	214
KISS Levente, LADÁNYI Richárd POTENCIÁLIS BIOMASSZA MENNYISÉGÉNEK BECSLÉSE GIS TÁMOGATÁSSAL	225
KOMPÁR László, OSVÁTH Kristóf, SZÚCS Péter, PALCSU László A HÁROMFÁZISÚ SZIVÁRGÁS MODELLEZÉSE STABIL VÍZIZOTÓPOKKAL	229
KONYHA József, FÜVESI Viktor FELSZÍNI VIZEK KÉMIAI PARAMÉTEREINEK AUTOMATIZÁL IN-SITU MÉRÉSE	236
KORPONAI János, BÁNYAINÉ TÓTH Ágota, ILLÉS Béla A KÉSZLETGAZDÁLKODÁS KÖLTSÉGEINEK ÖSSZEFÜGGÉSEI	245
KOSTYÁK Attila, SZODRAI Ferenc SZÉLENERGETIKAI VIZSGÁLATOK ADOTT TURBINATÍPUSOK MELLETT	253
KOVÁCS Attila, DARABOS Enikő, Pierre PERROCHET, MIKLÓS Rita, LÉNÁRT László FORRÁS ÉS KÚT HIDROGRAM ELEMZÉSEK EREDMÉNYEI A BÜKK HEGYSÉGBEN	261

KOZMA Ferenc, RÁTHY Istvánné, VARGA Ferenc VONÓSZEM FÁRADT TÖRÉSE	269
KULCSÁR Gyula, KULCSÁRNÉ FORRAI Mónika JÁRMŰIPARI ALKATRÉSZGYÁRTÁS TERMELÉSPROGRAMOZÁSI FELADATAINAK MODELLEZÉSE ÉS MEGOLDÁSA	278
KULCSÁRNÉ FORRAI Mónika, KULCSÁR Gyula TERMELÉSÜTEMEZÉSI ÉS MŰSZAKBEOSZTÁSI FELADATOK INTEGRÁLT MEGOLDÁSA	292
KUN Dániel Péter, TÓTH Zsolt ONTOLÓGIÁN ALAPULÓ BELTÉRI NAVIGÁCIÓS MÓDSZER	305
KUTTOR Dániel A MISKOLCI EGYETEM GAZDASÁGTUDOMÁNYI KAR VONZÁSKÖRZETÉNEK VIZSGÁLATA	311
LÁMER Géza A KÖRÖNDI TŰZ EGY ÉPÍTŐMÉRNÖK SZEMÉVEL IV. RÉSZ. ÁLLAPOTÉRTÉKELÉS AZ ÉLETVESZÉLYES ÁLLAPOT FELSZÁMOLÁSA UTÁN	319
LÁMER Géza MAJDNEM MÉRETTARTÓ ALAKVÁLTOZÁSOK A RUGALMASSÁGTANBAN	333
LÉNÁRT József HIPERSPEKTRÁLIS KÉPALKOTÁS ALKALMAZÁSA BÁNYÁSZATI KUTATÁSBAN	343
LENGYEL Antal, KRAJNYIK Károly, LAJTOS István A PROPÁN-BUTÁN GÁZ ÉS GÁZOLAJ EGYÜTTES ALKALMAZÁSÁNAK HATÁSA A DÍZELMOTOR ÜZEMÉRE	347
LESKÓ Anett Katalin KOMPETENSEN A KLASZTEREK VILÁGÁBAN	363
MAKLÁRI Dávid, TÓTH Lajos MLCC KERÁMIKONDENZÁTOROK VESZTESÉGI PARAMÉTEREINEK MEGHATÁROZÁSA	372
MALÁTA Gergő AZ ÖTÖDIK GENERÁCIÓS REPÜLŐGÉPEK ÖSSZEHOSONLÍTÁSA TECHNIKA SZEMPONTJÁBÓL	383

MÁNDY Zoltán CSAVARFELÜLETEK ELŐÁLLÍTÁSA INTELLIGENS GYÁRTÓRENDSZERBEN	391
MCINTOSH Richard William, ENCS Balázs TERMÉSZETES KÖZETTESTEK MINŐSÍTÉSE KÖZETFIZIKAI PARAMÉTEREK ÉS TAGOLTSÁGI VISZONYOK ALAPJÁN	397
MEZEI Lajos, KINCSES Dávid, HAJDU Sándor HAJTOTT GÉPJÁRMŰKERÉK DINAMIKAI MODELLJE	406
MOLNÁR Dániel ÖNTÉSZETI FOLYAMATOK SZÁMÍTÓGÉPES SZIMULÁCIÓJA	415
MOLNÁR Viktor, KERCHNER András A LEAN MENEDZSMENT ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI A KÖZSZFÉRÁBAN	425
MUSINSZKI Zoltán FOLYAMATOK ÉS INNOVÁCIÓK A KÖLTSÉGSZÁMÍTÁSBAN	433
NAGY Szabolcs A HATÉKONY MARKETING KRITÉRIUMAI	441
NAGY Zoltán, SEBESTYÉNNÉ SZÉP Tekla AZ OLAJEXPORTŐR ORSZÁGOK SEBEZHETŐSÉGÉNEK VIZSGÁLATI LEHETŐSÉGEI	450
NÉMETH Géza HAJLÉKONY ELEMŰ DÖRZSBOLYGÓMŰ MÉRÉSE	464
NÉMETHI Zoltán, L. SZABÓ Gábor AZ EBESI POLGÁRMESTERI HIVATAL HŰTÉSI RENDSZEREINEK TERVEZÉSE ÉS ÖSSZEHOSONLÍTÁSÁNAK EREDMÉNYE	470
NYIRI Gábor, ZÁKÁNYI Balázs GÁTAK HIDRAULIKAI ÉS ÁLLÉKONYSÁGI MODELLEZÉSE A GMS SZOFTVER SEGÍTSÉGÉVEL	475
NYIRI Gábor, ZÁKÁNYI Balázs A RÉGI ÉS ÚJ ÓZDI SZENNYVÍZTISZTÍTÓ TELEP ÖSSZEHOSONLÍTÁSA	482
OLÁH Béla, VERMES Pál A KARBANTARTÁSI SZOLGÁLTATÁSOK HELYZETE A MEZŐGAZDASÁGBAN	491

PÁLINKÁS Sándor, FAZEKAS Lajos, GINDERT-KELE Ágnes, MOLNÁR András, KONYHÁS Dávid MEZŐGAZDASÁGI MUNKAGÉPEK TALAJMŰVELŐ ELEMINEK ÉLETTARTAM JAVÍTÁSA	502
PÁNYA Nándor A PILÓTA NÉLKÜLI LÉGI JÁRMŰVEK AUTONÓMIÁJÁNAK FEJLŐDÉSE	510
POKORÁDI László KARBANTARTÁSI FOLYAMATOK SZIMULÁCIÓS ELEMZÉSI MÓDSZEREI	519
POÓS Tibor, SZABÓ Viktor, VARJU Evelin MATEMATIKAI MODELL FLUIDIZÁCIÓS SZÁRÍTÓ MÉRETEZÉSÉHEZ	537
SIKORA Emőke, KISS Adrienn, HUTKAINÉ GÖNDÖR Zsuzsanna, PEKKER Péter, KRISTÁLY Ferenc, VANYOREK László NEMESFÉMTARTALMÚ SZÉN NANOCSŐ ALAPÚ KATALIZÁTOROK FEJLESZTÉSE ÉS VIZSGÁLATA KATALITIKUS HIDROGÉNEZÉSI REAKCIÓKBAN	545
SOMOGYINÉ Molnár Judit, KISS Anett AZ AKUSZTIKUS HISZTERÉZIS VIZSGÁLATA LABORATÓRIUMBAN MÉRT P ÉS S HULLÁMSEBESSÉG ADATOK ALAPJÁN	555
SUHAJ Anett, VADÁSZNÉ BOGNÁR Gabriella EGYSZERESÉN ÁTLAPOLT, RAGASZTOTT, HÚZOTT KAPCSOLATOK NYÍRÓFESZÜLTSGÉNEK ELEMZÉSE	567
SZABÓ Martin, NEHÉZ Károly KLASSZIKUS PROGRAMOZÁSI TECHNOLÓGIÁK WEBES KÖRNYEZETBEN	574
SZABÓ Vivien REPÜLŐFEDÉLZETI TERRORTÁMADÁSOK ÉS AZ UTASBIZTONSÁG	579
SZÁNTÓ Attila, SZÍKI Gusztáv Áron, HAJDU Sándor SOROS GERJESZTÉSŰ EGYENÁRAMÚ MOTORRAL HAJTOTT VERSENYAUTÓ DINAMIKAI MODELLEZÉSE	587
SZEGEDI Péter, BÉKÉSI Bertold A NANOTECHNOLÓGIA LEHETSÉGES KATONAI ALKALMAZÁSAI	592

SZÉKELY István, KOLENCSEKNÉ TÓTH Andrea, TÓTH Viktória, SZÚCS Péter, MADARÁSZ Tamás VÍZREKESZTŐ RÉTEGEKBŐL TÖRTÉNŐ SZENNYEZŐANYAG VISSZAOLDÓDÁS JELENSÉGÉNEK VIZSGÁLATA DKS- PERMEABIMÉTERREL	602
SZIGETI Ferenc, DEZSŐ Gergely DUÁLIS KÉPZÉSI PROGRAMOK FEJLESZTÉSE A NYÍREGYHÁZI EGYETEMEN	613
SZILÁGYI Attila, SERES István ABSZORPCIÓS HŰTŐVEL MŰKÖDTETETT LÉGKONDITIONÁLÓ BERENDEZÉS VIZSGÁLATA NAPENERGIA FELHASZNÁLÁSÁVAL	622
SZILÁGYI Roland, VARGA Beatrix, GÉCZI-PAPP Renáta ÁRELŐREJELZÉS MÓDSZERTANI LEHETŐSÉGEI	631
SZILVÁSINÉ ROZGONYI Erika ÁLTALÁNOSÍTOTT HIPERGEOMETRIKUS FÜGGVÉNYEK TÖBBFÉLE ASPEKTUSBÓL VALÓ VIZSGÁLATA	640
SZLUK István, SZIGETI Ferenc MENETRÖGZÍTŐK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA	650
SZÚCS Péter A FELSZÍN ALATTI VÍZ, A LÁTHATATLAN TERMÉSZETI ERŐFORRÁS	656
TAMÁS Judit, TÓTH Zsolt OSZTÁLYOZÁSON ALAPULÓ POZICIONÁLÁSI MÓDSZEREK VIZSGÁLATA A MISKOLCI INFORMATIKAI ÉPÜLET HIBRID ADATHALMAZA ALAPJÁN	664
TOMPA Richárd SAJÁT POROK MINŐSÉGÉNEK VIZSGÁLATA FÉLAUTOMATA BERENDEZÉSSEL	669
TÓTH Dániel, SZILÁGYI Attila, TAKÁCS György GÖRDÜLŐCSAPÁGYAK VIZSGÁLATA IDŐTARTOMÁNYBELI MÓDSZEREKKEL	676
TURAI Endre, NÁDASI Endre, SZILVÁSI Marcell A GEOELEKTROMOS GEOFIZIKAI MÓDSZEREK TEREPI ALKALMAZÁSÁNAK ÚJ EREDMÉNYEI A KÖRNYEZETVIZSGÁLATOK TERÜLETÉN	680

VALENTÉNYI Péter TÁRSASHÁZI ÉPÜLETEK HOMLOKZATI KIALAKÍTÁSÁNAK KÖLTSÉGVETÉSI ÖSSZEHASONLÍTÁSA	690
VÁNTUS András, CSATÁRI Nándor FEJLESZTÉSEK ÉS HATÁSAIK AZ ÁLLATTARTÁSBAN	694
VARGA Tamás Antal, MANKOVITS Tamás, MANÓ Sándor, KOCSIS Imre, BUDAI István FÉM HABOK MODELLEZÉSI LEHETŐSÉGEI	702
VERÉB Nándor SZENZOROK ÉS NANOSZENZOROK ALKALMAZÁSA AZ UAV-K FEDÉLZETÉN	706
ZÁKÁNYI Balázs, FEJES Zoltán, SZŰCS Péter, OSVÁTH Kristóf, ZSUGA János A TOKAJI-HEGYSÉG REGIONÁLIS ÁRAMLÁSI MODELLJÉNEK FELÉPÍTÉSE ÉS KALIBRÁLÁSA	714
DEÁK Krisztián, KOCSIS Imre DIAGNOSZTIKAI ÉS KARBANTARTÁSI VIZSGÁLAT CSAPÁGYHIBA ESETÉBEN WAVELET TRANSZFORMÁCIÓ ALKALMAZÁSÁVAL	720
LÁSZLÓ Noémi, MAROSNÉ Berkes Mária AUTÓIPARI LEMEZALAKÍTÓ SZERSZÁMOK TRIBOLÓGIAI TELJESÍTŐKÉPESSÉGÉNEK JAVÍTÁSA NAGY KEMÉNYSÉGŰ BEVONATOKKAL	728
PROKISCH József, KOZMA Ferenc FIAT STILO SZÍJFESZÍTŐ VIZSGÁLATA	738
BOHÁCS Katalin, SZUTORCSIK Lilla, MUCSI Gábor ZEOLIT ŐRLÉSÉNEK KINETIKAI VIZSGÁLATA KEVERŐMALOMBAN	744
BUDAY Tamás, KOVÁCS Réka Lilla HIDROGÉOLÓGIAI SZEMPONTOK A ZÁRT PRIMEROLDALI KIÉPÍTÉSŰ GEOTERMIKUS HŐSZIVATTYÚS RENDSZEREK TELEPÍTÉSÉBEN	750
BUDAYNÉ BÓDI Erika, BUDAY Tamás, KUBIK Lajos, KOVÁCS Réka Lilla KELET-MAGYARORSZÁGI PANNÓNIAI HÉVÍZREZERVÓÁROK MEGJELENÉSE SZEIZMIKUS ÉS MÉLYFŰRÁSI GEOFIZIKAI ADATOK ALAPJÁN ÉS ENNEK HIDROGÉOLÓGIAI-VÍZTERMELÉSI VONATKOZÁSAI	758

POÓS Tibor, VARJU Evelin, SZABÓ Viktor DIMENZIÓTLAN PÁROLGÁSI SEBESSÉG SZABAD FOLYADÉKFELSZÍN PÁROLGÁSÁNÁL	766
TOMORI Zoltán, VADÁSZNÉ Bognár Gabriella EGYSZERŰ BOLYGÓMŰ FOGAZATI INTERFERENCIÁI	774
KUCSMA Daniella AZ EGYÉNI DÖNTÉSHOZATAL ÉS AZ ÉLETHOSSZIGTARTÓ TANULÁS KAPCSOLATA	778
TAMÁSI Kinga, ZSOLDOS Gabriella MŰANYAGOK EGÉSZSÉGÜGYI VÉLT ÉS VALÓS HATÁSA	783
TÓTHNÉ KISS Anett HOGYAN MÉRHETJÜK A VÁLLALATOK ÁLTAL MEGVALÓSÍTOTT INNOVÁCIÓ EREDMÉNYESSÉGÉT?	792

A FAGYASZTVA SZÁRÍTÁS ENERGIAHATÉKONYSÁGÁNAK NÖVELÉSI LEHETŐSÉGEI ÉS A HŐ- ÉS ANYAGÁTADÁSI FOLYAMAT MODELLEZÉSE

POSSIBILITIES OF ENHANCEMENT OF ENERGY EFFICIENCY OF FREEZE DRYING AND THE MODELLING OF HEAT- AND MASS TRANSFER PROCESS

ANTAL Tamás¹, SZÖLLŐSI István², SIKOLYA László², CSÁSZÁR Dávid³

¹főiskolai docens, antal.tamas@nye.hu

¹Nyíregyházi Egyetem, Műszaki és Agrártudományi Intézet, 4400 Nyíregyháza, Sóstói u. 31/b.

²főiskolai tanár, szollosi.istvan@nye.hu

²Nyíregyházi Egyetem, Műszaki és Agrártudományi Intézet, 4400 Nyíregyháza, Sóstói u. 31/b.

³BSc. Hallgató, sikolya.laszlo@nye.hu

³Nyíregyházi Egyetem, Műszaki és Agrártudományi Intézet, 4400 Nyíregyháza, Sóstói u. 31/b.

Kivonat: A szárítás az egyik leggyakoribb módszer az élelmiszerek feldolgozására és tartósítására. Ez a cikk ismerteti három szárítási módszert, azaz fagyasztva szárítás (FD), infravörös szárítás (MIR) és ún. hibrid szárítás (infravörös-fagyasztva szárítás: MIR-FD) kísérleti eredményeit és azok hatásait a szárítási időre és az elektromos energia-fogyasztásra. Az eredmények szerint a MIR-FD termékek szárítási ideje 14.28-42.85%-kal csökkent az FD anyagokhoz képest. Emellett eredmények igazolták, hogy az infravörös elő- és fagyasztva utószárítás szignifikánsan ($p < 0,05$) csökkentette a rendszer energiafogyasztását, hasonlóan a hagyományos fagyasztva szárításhoz. Két tapasztalati modellt választottunk a szárítási görbék illesztésére és mindkét modellnek megfelelő a statisztikai kritériumainak értékei (R^2 and RMSE). Az elvégzett kutatómunka alapján arra következtethetünk, hogy az infravörös előszárítás (előszárítási kondíciók: 60-80°C, 4-5 min kezelési idő, 2.4-3.0 μm hullámhossz) kiváló lehetőség a bioanyagok hibrid üzemű szárítására.

Kulcsszavak: fagyasztva szárítás, kombinált szárítás, energia-felvétel, modellezés

Abstract: Drying is one of the most common technique for processing and preserving foods. This article presents experimental results and analysis of three drying methods, viz. freeze drying (FD), mid-infrared drying (MIR) and so called hybrid drying (mid-infrared assisted freeze drying: MIR-FD) on drying time and electricity energy consumption. The results indicated that the total drying time required for MIR-FD products was reduced by 14.28-42.85% compared to FD. Besides, the experiments proved that mid-infrared pre- and freeze finish drying significantly ($p < 0,05$) decreased the energy consumption compared to pure FD. Two empirical models were chosen to fit the drying curves and all the models had suitable value of statistical criteria (R^2 and RMSE). This research work concluded that infrared radiation pre-drying (pre-drying conditions: 60-80°C, 4-5 min treatment time, wavelength of 2.4-3.0 μm) has potential to be used for hybrid drying of biomaterials.

Keywords: freeze drying, hybrid drying, energy uptake, modelling

1. BEVEZETÉS

A fagyasztva szárítás páratlan előnyei ellenére az egyik legdrágább módszer az élelmiszerek és bioanyagok tartósítására, mindez köszönhető a rendkívül magas energiafogyasztásának. A liofilizálás esetében, ezért olyan módszerek kidolgozására van szükség, melyek meggyorsítják a fagyasztást, illetve a szublimációt (ezek a szárítási folyamat olyan részei, amelyek nagymértékben lassítják az anyag száradását – ez tudományosan is alátámasztott [7]) úgy, hogy a száradó anyag szabad vizének eltávolítása egy másik – gyorsabb száradási sebességgel jellemezhető – szárítási módszerrel történik, pl. meleg

levegős, mikrohullámú vagy infravörös vízelvonással.

Az eddig közölt eredményeinkből kiderült, hogy a meleg levegős dehidrációval történő kombináció bár fokozta a liofilizálás energiahatékonyságát, de nem hozott jelentős előrelépést – elsősorban a szárítmány minőségi jellemzőit figyelembe véve [1]. Az infravörös szárítás megfelelő alternatívája lehet a konvektív szárításnak, mert rövid működési idő jellemezi, magas energiahatékonyságú és alkalmas a hőérzékeny anyagok tartósítására [8]. Az infravörös vízelvonás magasabb értékű szárítási rátával rendelkezik – a bioanyag száradásához szükséges hő közlése másképpen történik –, mint a fagyasztva- és a konvektív szárítás, ezért akár 40-45%-kal csökkenti a liofilizálás energia-felvételét úgy, hogy a késztermék minősége kismértékben változik [2].

A szárítási kinetikai modellek a folyamatirányításnak kiváló eszközei, felhasználhatjuk arra, hogy a megfelelő vízelvonási módszert válasszuk ki a szárítandó anyag számára. A szárítás leírására hivatott modellek felhasználhatók még az új szárítási rendszerek tervezésénél, alkalmasak az optimális szárítási kondíciók meghatározására. A vízelvonásra jellemző egyidejű hő- és anyagátadási folyamat leírására általában empirikus (tapasztalati) modelleket használnak fel [3]. A szárítási görbékre illesztett modellek pontossága ismert statisztikai módszerekkel értékelhető ki (SEE, R^2 és RMSE) [3].

Jelen kutatómunka során a fentieket figyelembe véve a következő célokat tűztük ki:

- A fagyasztva szárítás működési idejének és energia-felvételének csökkentése, úgy hogy a végtermék minősége változatlan maradjon. (Hipotézisünk igazolása: gyors és kíméletes előszárítással a bioanyagban lévő víz nagy részét eltávolítva és a szövetek nagymértékű roncsolását kikerülve a szárítás liofilizálással zárul.)
- Olyan tapasztalati vékonyrétegű modellek kiválasztása, melyek pontosan lekövetik a szárítási görbéket és alkalmasak a szárítási folyamat jellemzésére.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. A nyersanyag

A szárítási kísérletekben csicsókát (*Helianthus tuberosus* L.) és *Packham's Triumph* körtefajtát (*Pyrus communis* L.) használtunk fel. Az alapanyagot felhasználás előtt hűtőberendezésben tároltuk 5°C-on. A mintákat megtisztítottuk, eltávolítottuk a hibás részeket és a szennyeződéseket. A felülettisztítás és a hámozás után az alapanyagot 5 mm-es méretű kockákra szeleteltük fel.

A csicsóka és a körte nyersanyag nedvességtartalma nedves bázisra számolva 78.7 és 81.03%, ez száraz bázisban kifejezve 3.694 és 4.271 kg víz/kg sz. a. A minták nedvességtartalmát – a szárítás kezdetén és végén – PRECISA HA 60 (Svájc, Precisa AG) típusú gyorsnedvesség-mérővel határoztuk meg. A nedvességtartalom meghatározása háromszori ismétléssel lett végrehajtva és a tanulmányban az átlagértékekkel számoltunk.

2.2. Dehidrációs módszerek

Az alapanyagok szárítását három különböző vízelvonási eljárással végeztük el, azaz fagyasztva-, infravörös- és ún. hibrid szárítással (az előző kettő összevonásával). A szárítóberendezések tálcáira a nyersanyagot egy rétegben helyeztük el, melyeknek tömege egységesen 100-100g volt. A minták tömegét JKH-500 típusú (500g ± 0.1g) digitális mérleggel (Tajvan, Jadever Scale Ltd.) mértük meg. A kísérletben felhasznált anyagok dehidrációját tömegállandóságig végeztük. A körte- és csicsókakockák szárítását minden esetben háromszori ismétléssel hajtottuk végre, a dolgozatban az átlagértékeket prezentáljuk.

Fagyasztva szárítás (jelzése: FD)

A fagyasztva szárítás művelete Armfield FT33 (Egyesült Királyság, Armfield Ltd.) típusú berendezéssel lett végrehajtva. A minták szárítása az alábbi paraméterekkel jellemezhetőek: A szárítókamra hőmérséklete (a művelet végén): 20°C. A minták átlaghőmérséklete (a művelet végén): 18°C – beszűrő hőelemmel mérve. A kondenzátorkamra hőmérséklete (a művelet alatt folyamatosan): -49 – -55°C. A munkakamra nyomása: 85-90 Pa.

A szárítás alatt lejátszódó folyamatok pontos elemzéséhez a laboratóriumi fagyasztva szárító berendezést elláttuk egy adatgyűjtő rendszerrel. A szárítandó anyag tömegének méréséhez a vákuum alatt lévő henger alakú szárítókamra aljára vastag fémlapok (4 mm) közé szereltük az EMALOG Kft. által gyártott PAB-01 típusú mérleg-cellát. A lemért mintákat a platformcellára helyeztük. Az adatkábel kivezetését pedig a kamra tetejét lezáró akril fedélen keresztül oldottuk meg. A tömegváltozás a külső térben elhelyezett ES-138 típusú mérlegműszerről olvasható le, mely a platformcellától kapja az analóg jeleket. A mérlegműszert RS232 illesztőn keresztül kapcsolatba hoztuk a számítógépre telepített adatgyűjtő szoftverrel (DATPump), ami a mérés értékeit Microsoft Office Excel táblázatban dolgozta fel.

Infravörös szárítás (jelzése: MIR)

A szárítószekrény tetején található két darab kvarcüveg infravörös cső, egyenként 300 W teljesítményűek. Az emitterek által kibocsátott sugárzás hullámhossza 2.4-3.0 μm tartományba esik. Az alkalmazott hőintenzitás pedig 3-6 kW/m². A szárítandó anyagot az infravörös csövek alatt 15 cm-re helyeztük el. Ezáltal egy intenzívebb száradást értünk el, az anyag megégése nélkül. Szárítás során az anyag tömegét a tálca alá helyezett digitális mérleg segítségével folyamatosan mértük (Precisa, Precisa Instruments AG, Switzerland, ± 0.01 g pontosságú). A szárítószekrényben uralkodó hőmérsékletet és relatív páratartalmat Testo 4510 típusú mérőkészülékkel (Testo GmbH, Németország) ellenőriztük. A szárítólevegő hőmérsékletét 40-80°C közzé állítottuk be.

Kombinált infravörös-fagyasztva szárítás (jelzése: MIR-FD)

A szárítási procedúrát infravörös szárítással kezdtük meg, majd bizonyos időtartam után (4 és 5 perc) a mintákat kivettük a szárítóból és a hűtést követően fagyasztva szárítottuk. A cél az volt, hogy a termékben található fizikai víz nagy részét – viszonylag könnyen, szövetek roncsolása nélkül – a gyors előszárítással eltávolítsuk, ezzel növelve a száradási rátát. Mivel a kötött víz eltávolításához kíméletesebb eljárás szükséges, ezért esett a választás a fagyasztva utószárításra. Az alkalmazott szárítási paraméterek megegyeznek a fent közölt adatokkal (lásd. infravörös- és fagyasztva szárítás).

2.3. Modellezés

A száradási folyamat matematikai leképezéséhez a száraz bázisra vonatkoztatott víztartalom használata a célszerű, ezért a száradó anyag nedvességtartalma (M) száraz bázisban kifejezve a következő összefüggéssel számolható (1):

$$M = \frac{m_t - m_s}{m_s} \quad , \quad (1)$$

ahol:

M a minta nedvességtartalma (kg víz/kg száraz anyag);
 m_t a minta tömege az adott pillanatban (kg);
 m_s a minta száraz tömege (kg).

A nedvesség rátát (MR) a következő képlet segítségével számoltuk ki (2):

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (2)$$

ahol:

MR a minta nedvesség rátája (dimenzió nélküli);
 M_e egyensúlyi nedvességtartalom (kg víz/kg száraz anyag);
 M_0 az anyag nyers nedvességtartalma (kg víz/kg száraz anyag);
 M a minta nedvességtartalma az adott pillanatban (kg víz/kg száraz anyag).

A fagyasztva szárított csicsóka és körteminták szárítási görbéire vékonyrétegű szárítási modellt illesztettünk, ún. harmadfokú polinomot. Az infravörös szárítás vízfelvonási görbéit pedig ún. „Henderson & Pabis” modellekkel közelítettük. Az alkalmazott modellek egyenlete az 1. táblázatban megtalálható.

1. Táblázat A hő- és anyagátadási folyamat modellezésére felhasznált egyenletek

Modell elnevezése	Modell egyenlete	Referencia
Henderson és Pabis	$MR = a \cdot e^{-kt}$	[6]
Harmadfokú polinom	$MR = a \cdot t^3 + b \cdot t^2 + c \cdot t + d$	[1, 2]

MR – dimenzió nélküli nedvesség ráta, a , b , c , d – szárítási koeficiens, k – szárítási konstans, t – szárítási idő (min, h).

A modellek kiértékeléséhez a korrelációs koefficiens (R^2) és a relatív átlagos négyzetes hibát (RMSE) alkalmaztuk. Amennyiben a modell nagy R^2 (0,95 fölötti) és alacsony RMSE (közelít a nullához) értékkel jellemezhető, akkor a szárítási folyamatot leíró görbére elég pontosan illeszkedik.

2.4. A villamos energiafogyasztás mérése

A kísérletekben alkalmazott szárítóberendezések által felvett villamos energia-felvételt EKM 265 típusú energiafogyasztás mérő (Conrad Electronic GmbH, Németország) által határoztuk meg. A fogyasztásmérő használata egyszerű, a dugalj és a szárító csatlakozója közé helyezzük azt, és a szárítási folyamat kezdetétől a befejezéséig méri a felvett villamos energiát kWh-ban kifejezve.

2.5. Statisztikai analízis

IBM SPSS Statistics 21 (IBM, USA) programcsomagot felhasználva matematikai statisztikai vizsgálatot végeztünk el. Egyutas variancia-analízissel (ANOVA, Duncan teszt) mutattuk ki, hogy van-e szignifikáns különbség a kombinált-, a fagyasztva- (kontroll) illetve az infravörös módszerrel szárított minták dehidrálni ideje és energiafogyasztása között.

A szárítási görbékre illesztett matematikai modellek előállításához a Microsoft Office Excel 2013 táblázatkezelőt alkalmaztuk.

3. EREDMÉNYEK

3.1. A hő- és anyagátadási folyamat elemzése és modellezése

Ebben a fejezetben a hibrid szárítás hatását elemezzük az egyfokozatú liofilizálásra, a szárítási görbék és az azokra illesztett matematikai modellek segítségével.

A 2-3. táblázatok összefoglalják a különböző szárítási módszerek kezelési idejét és az alapanyagok (csicsóka és körte) nedvességtartalmát a vízelvonási procedúra végén.

A 2. táblázatban megfigyelhető, hogy a csicsóka minták infravörös előszárítása 40 és 80°C-os hőmérsékleten, illetve 4-5 min-es kezelési idővel történt meg (MIR-FD1-4 jelzésekkel ellátva). Megállapíthatjuk, hogy a fagyasztva szárítás (FD) alapidejéhez (21 h) képest a kombinált infravörös-fagyasztva szárítás (MIR-FD) működési ideje szignifikánsan ($p < 0,05$) csökkent (14-38%-kal). Legkedvezőbb eredményt a MIR-FD4 jelzésű beállítás hozta, mely 38.09 %-kal csökkentette az FD szárítási idejét.

Emellett azt is kijelenthetjük, hogy az előszárítási idő növelésével (4-ről 5 min-re) és a szárítóközeg hőmérsékletének (40-ről 80°C-ra) emelésével a hibrid eljárás működési ideje szignifikánsan csökkent. Hasonló eredményt ért el Doymaz, aki azt figyelte meg, hogy az infravörös intenzitás fokozásával (83-tól 188W-ig) a szárítási idő csökkent [4].

2. Táblázat A szárítási eljárások hatása a termék (csicsóka) nedvességtartalmára és a szárítási időre

Szárítási módszerek (szimbólum)	Késztermék nedvességtartalma (% w.b. és d.b.)	Teljes szárítási idő (h)	Redukció az FD-hez képest (%)
FD	1.8 0.069	21 ^g	-
MIR-FD1 (40°C, 4 min)	1.7 0.061	18 ^f	14.28 ^d
MIR-FD2 (40°C, 5 min)	1.5 0.054	14 ^d	33.33 ^b
MIR-FD3 (80°C, 4 min)	2.5 0.117	15 ^e	28.57 ^c
MIR-FD4 (80°C, 5 min)	2.3 0.098	13 ^c	38.09 ^a
MIR1	0.2 0.010	0.3 ^b	-
MIR2	0.3 0.014	0.216 ^a	-

Megjegyzés: ^{abc} statisztikai analízis ANOVA Duncan (szignifikanciaszint: $p < 0,05$) teszttel.
FD – fagyasztva szárítás, MIR-FD – infravörös-fagyasztva szárítás, MIR – infravörös szárítás.

A MIR, azaz az infravörös szárítással víztelenített minták produkáltak a legkisebb szárítási időt, az elektromágneses radiáció megléte miatt, ahogy azt a szakirodalmi források is alátámasztják [5].

A 2. táblázatból továbbá megfigyelhetjük a csicsóka szárítmány nedvességtartalmát nedves- (w.b.) és szárazbázisban kifejezve (d.b.). Az összes szárítási módszerrel (FD, MIR-

FD és MIR) tartósított termék nedvességtartalma alacsony értéket mutat, 0.2-2.5% közötti, az ún. vízáktivitás (a_w) értéket vizsgálva mindegyik minta mikrobiálisan stabil, azaz tárolható állapotban van. (Az a_w vizsgálat eredményeit a terjedelmi korlátok miatt nincs lehetőségünk prezentálni.).

A csicsóka szárítási eredményeihez hasonlóan alakult a körte tartósítása is (3. táblázat), amellet, hogy az előszárítási paramétereken változtattunk – figyelembe véve a 2.2. fejezetben leírtakat: „a kísérleti anyag fokozott barnulását elkerülve”.

Az alábbi előszárítási beállításokat alkalmaztuk: 40, 50, 60 és 70°C, illetve 5 min-es kezelési idő. Az előzőkhez hasonlóan itt is megállapíthatjuk, hogy a MIR-FD módszer szignifikánsan ($p<0,05$) csökkentette az FD szárítási idejét - 21h-ról 12h-ra (mintegy 14-43%-kal degradálva azt). Az infravörös szárítóban a szárítóközeg hőmérsékletének emelésével (40-ről 70°C-ra) a működési idő drasztikusan csökkent, azaz az infravörös csövekből sugárzott hőmennyiség pozitív hatással van a szárítási időre.

A MIR eljárással szárított körteminták kezelési ideje volt a legkedvezőbb, hasonlítva a FD és a MIR-FD módszerekhez.

Ezenkívül megállapíthatjuk, hogy a különböző szárítási módszerekkel tartósított körte szárítmány nedvességtartalma 2.06-2.49% (w.b.) közé tehető, ami megfelelő a tárolás szempontjából ($a_w<0.5$).

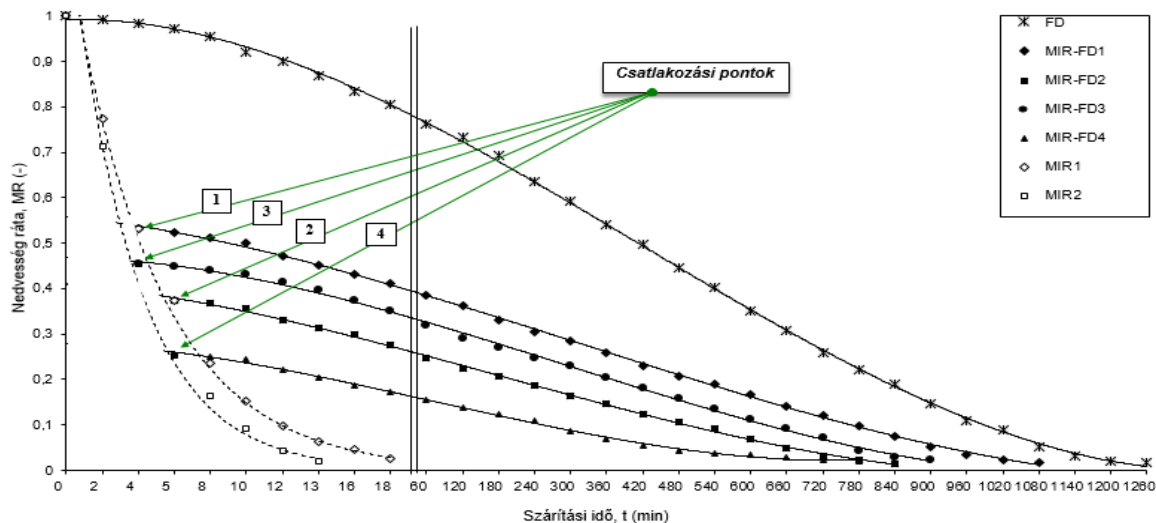
3. Táblázat A szárítási eljárások hatása a termék (körte) nedvességtartalmára és a szárítási időre

Szárítási módszerek (szimbólum)	A késztermék nedvességtartalma (% , w.b.)	Teljes szárítási idő (h)	Redukció az FD-hez képest (%)
FD	2,06	21 ^h	-
MIR40°C-FD (5 min)	2,21	18 ^g	14,28 ^d
MIR50°C-FD (5 min)	2,18	16 ^f	23,81 ^c
MIR60°C-FD (5 min)	2,22	13 ^e	38,1 ^b
MIR70°C-FD (5 min)	2,45	12 ^d	42,85 ^a
MIR40°C	2,34	0,333 ^c	-
MIR50°C	2,22	0,316 ^c	-
MIR60°C	2,49	0,266 ^b	-
MIR70°C	2,11	0,233 ^a	-

Megjegyzés: ^{abc} statisztikai analízis ANOVA Duncan (szignifikanciaszint: $p<0,05$) teszttel.

FD – fagyasztva szárítás, MIR-FD – infravörös-fagyasztva szárítás, MIR – infravörös szárítás.

Az 1. és 2. ábra a hő- és anyagátadás elemzéséhez nélkülözhetetlen szárítási görbéket prezentálja, a csicsóka- és a körteminták esetében, a 2. képlet alkalmazásával.

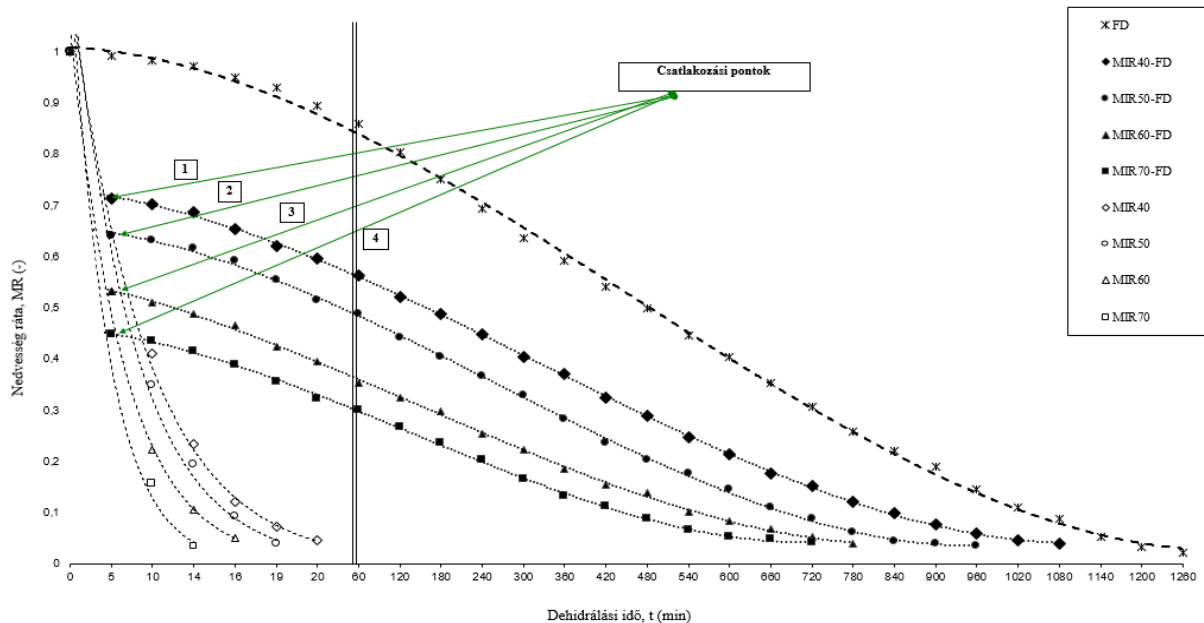


1. ábra MIR-FD, FD és MIR módszerekkel kezelt csicsóka szárítási görbéi

Összhangban a 2. és 3. táblázatban közölt adatokkal a MIR-FD módszerrel szárított minták dehidrációja hamarabb lezajlott, mint az FD eljárással. Itt meg kell jegyezni, hogy a mintákat egységesen, minden esetben tömegállandóságig szárítottuk.

A MIR és az FD szárítási görbéi teljesen más képet mutatnak, ennek oka, hogy a két eljárás más hőközlési módszerrel dehidráálja a bioanyagot. Az FD vízelvonási görbéje elnyújtott „S” alakhoz hasonlít, míg a MIR görbe pedig a konvektív eljárásoknál megszokott exponenciálisan csökkenő tendenciájú. A MIR és az FD görbék csatlakozási pontjait „1, 2, 3 és 4” jelzésekkel láttuk el. Ezekkel a csatlakozási pontokkal jelöltük, amikor a szóban forgó mintákat az infravörös szárítóból kivettük és átraktuk a liofilizáló készülékbe – innen a hibrid vagy más néven kombinált szárítási rendszer elnevezés (MIR-FD).

A szárítási görbét általában három részre bonthatjuk: növekvő-, állandó- és csökkenő száradási sebességű szakaszra. A csatlakozási pontok helyét úgy választottuk ki, hogy az a MIR szárítási görbék állandó száradási sebességű szakaszába essen. Ennek oka, hogy a görbe inflexiós pontját követően csökkenő száradási sebességű szakasz következik, ahol már a vízelvonás során a kötött víz eltávolítása történik meg. Mivel ehhez kíméletesebb szárítási módszer szükséges, ezért ilyen esetben FD-vel ésszerű folytatni/befejezni a vízelvonást.



2. ábra Különböző vízlevonási eljárásokkal tartósított körteminták szárítási görbéi

A 4. és 5. táblázatok tájékoztatnak a MIR, az FD és a MIR-FD szárítási görbékre illesztett vékonyrétegű modellek állandóinak (k, a, b, c és d) és a statisztikai kritériumainak értékeiről.

4. Táblázat. A szárítási görbékre illesztett modellek konstans és statisztikai értékei (csicsóka)

Szárítási módszerek	Modell állandók					Statisztikai analízis	
	k	a	b	c	d	R ²	RMSE
FD	-	0.0000643	-0.003268	0.0079180	0.9876251	0.99975	0.022987
MIR-FD1	-	0.0000276	-0.001273	-0.005774	0.5656457	0.99952	0.025251
MIR-FD2	-	0.0000342	-0.001344	-0.004197	0.4153576	0.99911	0.032549
MIR-FD3	-	0.0000409	-0.001829	0.0022786	0.4679648	0.99868	0.034755
MIR-FD4	-	0.0000480	-0.001613	0.0005313	0.2808699	0.99812	0.039277
MIR1	0.41162	1.7493472	-	-	-	0.99640	0.078964
MIR2	0.55250	2.1589932	-	-	-	0.98684	0.154487

A fagyasztva szárítás görbéit ún. harmadfokú polinomokkal, az infravörös szárítás görbéit pedig ún. Henderson and Pabis (más néven exponenciális) modellekkel közelítettük. A statisztikai elemzésekből (R² és RMSE) kiderül, hogy a szárítási görbékre illesztett modellek megfelelőnek bizonyulnak az adott szárítási folyamat elemzésére. A korrelációs koefficiens (R²) értékei csicsókánál 0.98684-0.99975 és körténél 0.98072-0.99985. A relatív átlagos négyzetes hiba (RMSE) értékei a következők szerint alakultak csicsóka és körte esetében: 0.154487-0.022987 és 0.046543-0.006789.

5. Táblázat A szárítási folyamat jellemzésére alkalmas modellek konstans és statisztikai értékei (körte)

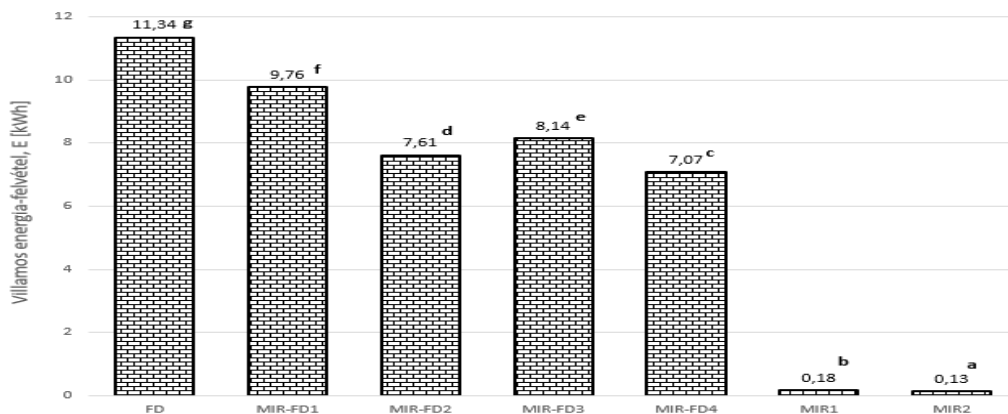
Szárítási módszerek	Modell állandók					Statisztikai analízis	
	k	a	b	c	d	R ²	RMSE
FD	-	0,000085	-0,003736	0,003312	1,008756	0,99910	0,014366
MIR40°C-FD	-	0,000079	-0,002938	-0,003406	0,735488	0,99985	0,006789
MIR50°C-FD	-	0,000103	-0,003547	-0,000284	0,660602	0,99951	0,009134
MIR60°C-FD	-	0,000086	-0,002444	-0,011792	0,567067	0,99942	0,010235
MIR70°C-FD	-	0,000123	-0,003439	-0,001170	0,464552	0,99946	0,010156
MIR40°C	0,539804	1,925862	-	-	-	0,99557	0,029865
MIR50°C	0,642646	2,208593	-	-	-	0,98946	0,042268
MIR60°C	0,761415	2,241401	-	-	-	0,99823	0,017542
MIR70°C	1,111216	3,577709	-	-	-	0,98072	0,046543

Megjegyzés: FD – fagyasztva szárítás, MIR-FD – infravörös-fagyasztva szárítás, MIR – infravörös szárítás.

3.2. A hibrid és egyfokozatú szárítás energiafogyasztása

A rendszer energiahatékonyságának elemzése mindig egy fontos kritérium új, innovatív szárítási módszerek fejlesztésénél, vagy a meglévő eljárások felülvizsgálatánál. Emellett meg kell jegyeznünk, hogy az energiafogyasztás csökkentése egyre fontosabb az Európai Unió számára is.

Mindennek fényében a 3. és 4. ábrák reprezentálják a 100-100g tömegű csicsóka és körte nyersanyag szárítására felhasznált villamos energiát.



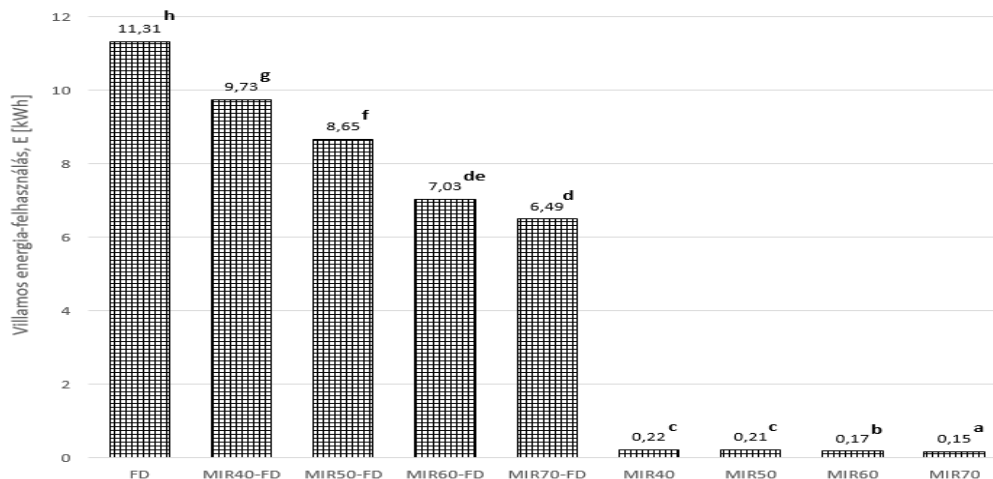
Megjegyzés: ^{abc} statisztikai analízis ANOVA Duncan (szignifikanciaszint: $p < 0,05$) teszttel. FD – fagyasztva szárítás, MIR-FD – infravörös-fagyasztva szárítás, MIR – infravörös szárítás.

3. ábra MIR-FD, FD és MIR szárítási módszerek villamos energiafogyasztása (csicsóka)

Ahogy a 3. és 4. ábrákon megfigyelhető a szárításra fordított villamos energia-felvétel a fagyasztva szárításnál a legmagasabb (11.31 és 11.34 kWh/100g) és az infravörös szárításnál pedig a legalacsonyabb (csicsóka: 0.13, 0.18 kWh/100g és körte: 0.15-0.22 kWh/100g), ahogy azt a szakirodalmi források is alátámasztják [9].

Továbbá megállapíthatjuk, hogy a hipotézisünknek megfelelően a MIR-FD kombinált szárítás kedvező hatással van a fagyasztva szárítás energiafogyasztására. A csicsóka nyersanyag hibrid szárítása során a rendszer 7.07-9.76 kWh/100g energiát fogyasztott el

($p < 0,05$). A körte esetében pedig 6.49-9.73 kWh/100g volt a szakaszos kombinált szárítás energia-felvétele ($p < 0,05$). A mérési eredményeket elemezve továbbá kijelenthetjük, hogy a MIR szárítóban a hőmérséklet (vagy az infravörös hőintenzitás: 3-ról 6 kW/m²-re) és az előszárítási idő emelése (4-5 min) szignifikáns hatással van a rendszer energiafogyasztására.



Megjegyzés: ^{abc} statisztikai analízis ANOVA Duncan (szignifikanciaszint: $p < 0,05$) teszttel. FD – fagyasztva szárítás, MIR-FD – infravörös-fagyasztva szárítás, MIR – infravörös szárítás.

4. ábra A hibrid és az egyfokozatú szárítás villamos energia-felvétele (körte)

A MIR szárítás energiahatékonyságát feltárja az a tény, hogy a villamos energiaigény a töredéke az FD szárításhoz képest. A kutatási eredményeink szerint az egyfokozatú fagyasztva vízelvonás villamos energiaigénye legalább 51-87-szerese az infravörös szárításnak, ugyanazon mennyiségű anyag tartósításánál.

4. KÖVETKEZTETÉSEK

Ebben a tanulmányban olyan hibrid szakaszos szárítási (infravörös elő- és fagyasztva utószárítás) eljárással kísérleteztünk, mely a jövőben megfelelő alternatívája lehet az energiapazarló, bár bioanyag szempontjából kíméletes liofilizálásnak. Két célt tűztünk ki a cikk megírásakor, az egyik a fagyasztva szárítás energiahatékonyságának növeléséhez és a másik a szárítási kinetika modellezéséhez kapcsolódik. Ezekkel kapcsolatban az alábbi eredményekre jutottunk.

1. A kombinált (MIR-FD) dehidrálni módszer szignifikánsan ($p < 0,05$) csökkentette az egyfokozatú, hagyományos liofilizálás szárítási idejét és ehhez kapcsolódóan az energiafogyasztását. Számszerűsítve az eredményeket: csicsókaminták esetében 13.93-37.65%-kal, míg körtemintáknál 13.96-42.61%-kal csökkent a hibrid módszer energiafelvétele az FD-hez képest.
2. A MIR előszárítás szárítási paraméterei (a hőmérséklet és a szárítási idő) szignifikánsan befolyásolják a hibrid üzemű szárítás működési idejét és az energia-felvételt. A jelen tanulmányban közölt termékekre vonatkozólag 60-80°C-os szárítóközeg hőmérséklet és 4-5 min szárítási idő a megfelelő, szemrevételezés alapján ezeknél az előszárítási kondícióknál még nem barnult, károsodott az anyag felülete.
3. A vizsgált dehidrálni eljárások (MIR, FD és MIR-FD) szárítási folyamatát leíró görbéire empirikus vékonyrétegű matematikai modelleket (Henderson és Pabis;

harmadfokú polinom) illesztettünk. A statisztikai kiértékelések alapján megállapítottuk, hogy az alkalmazott modellek megfelelőek a fent közölt vízelvonási rendszerek szárítási folyamatainak elemzésére.

4. Az elvégzett kísérletek bebizonyították számunkra, hogy az infravörös (MIR) szárítás gyorsabb szárítási sebességgel jellemezhető és kíméletesebb a szárított anyag minőségi szempontjából (zsugorodás és szín), mint a konvektív szárítás.
5. Természetesen ahhoz, hogy teljes képet lásunk a hibrid (MIR-FD) vízelvonás hatásairól, a szárítási jellemzők vizsgálata mellett az anyag beltartalmi jellemzőinek a feltérképezése is fontos. A közeljövőben a kutatómunkát erre a terület(ek)re is szeretnénk kiterjeszteni.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **ANTAL, T.**, *A kombinált (konvektív előszárítás és fagyasztva utószárítás) vízelvonási eljárás szárítási- és a végtermék fizikai jellemzőinek vizsgálata.* Agrártudományi közlemények, 2014/56, 5-12, 2014., ISSN 1587-1282
- [2] **ANTAL, T., KERÉKES B.**, *Investigation of hot air- and infrared-assisted freeze-drying of apple.* Journal of Food Processing and Preservation, 40(2), 257-269, 2016. DOI:10.1111/jfpp.12603., ISSN 1745-4549
- [3] **CORRÊA, P. C., BOTELHO, F. M., OLIVEIRA, G. H. H., GONELI, A. L. D., RESENDE, O., CAMPOS, S. C.**, *Mathematical modeling of the drying process of corn ears.* Acta Scientiarum. Agronomy, 33(4), 575-581, 2011. DOI: 10.4025/actasciagron.v33i4.7079., ISSN 1807-8621
- [4] **DOYMAZ, I., KIPCAK, A. S., PISKIN, S.**, *Characteristics of thin-layer infrared drying of Grean Bean.* Czech Journal of Food Science, 33(1), 83-90, 2015., ISSN 1805-9317
- [5] **ERTEKIN, C., HEYBELI, N.**, *Thin-layer infrared drying of mint leaves.* Journal of Food Processing and Preservation, 38, 1480-1490, 2014., ISSN 1745-4549
- [6] **HENDERSON, S. M., PABIS, S.**, *Grain drying theory II: Temperature effects on drying coefficients.* Journal of Agricultural Engineering Research, 6(3), 169-174, 1961., ISSN 1095-9246
- [7] **LIN, Y. P.**, *Investigation of far-infrared assisted heating on freeze drying of sweet potato slices.* Eastern University, 31, 131-145, 2011.
- [8] **PUENTE-DIAZ, L., AH-HEN, K., VEGA-GALVEZ, A., LEMUS-MONDACA, R., DI SCALA, K.**, *Combined infrared-convective drying of murta (Ugni Molinae Turcz) Berries: Kinetic modelling and quality assessment.* Drying Technology, 31(3), 329-338, 2013., ISSN 0737-3937
- [9] **RATTI, C.**, *Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review.* Journal of Food Engineering, 49(9), 311-319, 2001., ISSN 0260-8774

KAPCSOLÓDÓ FELÜLETPÁROK GYÁRTÁSGEOMETRIÁJÁNAK VIZSGÁLATA AZ ÁBRÁZOLÓ GEOMETRIA MÓDSZEREIVEL

EXAMINATION OF PRODUCTION GEOMETRY OF CONNECTING SURFACE PAIRS WITH DISCIPTIVE GEOMETRY CREATURE

BALAJTI Zsuzsanna

Ph.D., egyetemi docens, rektorhelyettes
Miskolci Egyetem, Magyarország, H-3515 Miskolc-Egyetemváros, Matematikai Intézet,
balajtizs@uni-miskolc.hu

Kivonat: A jelen írás a Monge ábrázolás rekonstruálhatóságának elméleti elemzésének ismertetéséről szól. Az elemzés lényege, hogy a párhuzamos eltolással egymásba transzformálható Monge-projekciókat azonosnak tekintjük. Így a tér egy rögzített Descartes koordináta rendszerében minden Monge-projekciót meghatároz az origón átmenő két vetítősugara, melyeket három szabad paraméter ír le. A három szabad paraméterek alkotják a Monge-tégla pontjait. Egy rögzített harmadrendű térgörbéhez megkeressük azokat a bijektív Monge-projekciókat, melyekben a rekonstrukció csupán a görbe két képből elvégezhető. Mindennek mérnöki alkalmazását igazoltam a lefejtő-maró vágóélének kopásvizsgálatához számítandó helyes kameraállás meghatározásával. A vizsgált csigahajtás elempárjainak pontos gyártását követően a hordkép beállításra vonatkozó összefüggéseket határoztam meg.

Kulcsszavak: Monge-projekció, rekonstruálhatóság, kopásvizsgálat, lefejtő-maró vágóél, hordkép beállítás.

Abstract: The present paper describes the theoretical analysis of the reconstruction of the Monge theorem. The significance of the analysis is that we consider those Monge-projections the same, which can be translated to one another by parallel shifting. Accordingly, in a fixed Descartes coordinate system in the space every Monge-projection is determined by its two projection lines that go through the origin point, which is described by three free parameters. The three free parameters make up the points of the Monge-cuboid. We are looking for bijective Monge-projections to a fixed third-grade spatial curve, in which the reconstruction of the curve can be carried out only with two pictures without any further information. This surface is described in this article. We have proved the engineering application of this theorem by calculating the correct camera position for the wearing examination of the hob's cutting edge. After exact production of elements of examined worm gear driving the relationships appertaining to setting of the bearing pattern is determined by us.

Keywords: Monge projection, reconstruction, wearing examination, cutting edge of the hob, setting of the bearing pattern.

1. BEVEZETÉS

A térbeli alakzatok modellezésére itt ismertetett elméleti elemzés a csupán két képből történő rekonstruálhatóság biztosítása céljából készült a méretváltozás vizsgálatára komplex geometriai eszközök alkalmazásával. Amíg a pont Monge ábrázolása bijektív leképezés, azaz a teret kölcsönösen egyértelműen képezi le a síkra, addig egyéb geometriai alapelemekre ez nem, illetve nem mindig teljesül. A Monge ábrázolás során az ábrázoló geometria gyakorlatából fakadóan a műszaki ábrázolásban a bijektivitást illetően anomáliák léptek fel [4, 5]. A gyakorlati ábrázoló geometria bijektivitásra vonatkozó nemegyértelműségek oka Monge beállítottságára vezethető vissza, aki a poliéderek ábrázolását szintetikus úton végezte, viszont a görbék ábrázolását analitikus geometriai feladatként ragadta meg. Később azonban a Monge ábrázolás analitikus geometriai

vonatkozásai elhalványultak, a gyakorlat kizárólagosan szintetikus módszerekre tért át, mely a bijektivitást nem minden esetben tudta biztosítani.

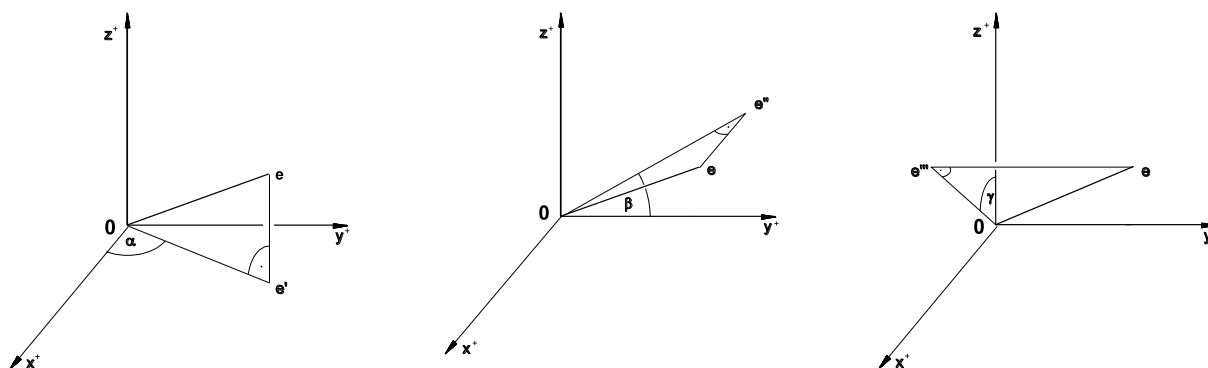
A műszaki gyakorlatban azonban gyakran előforduló feladat, hogy a munkadarabokat, alkatrészeket két darab kétdimenziós képükből kell rekonstruálni [2, 5, 6, 7]. A Monge ábrázolás sajátossága, hogy a bijektivitáshoz poliéderek esetén, amennyiben csúcspontjaik jelölve vannak, két egymásra merőleges vetület elegendő. A megfelelő pontokkal ábrázolt testek modellezhetők a különböző CAD rendszerekben [6]. Amennyiben a geometriai alakzatról, a felületeket határoló görbéről csak két merőleges vetület áll rendelkezésünkre, és pontok nincsenek megfelelően rajta, a rekonstrukció sok esetben nem lehetséges, a leképezés igen gyakran nem bijektív [5, 7].

A bijektív Monge ábrázolások vetítősugarainak irányából a CCD kamerákkal készített képekről rekonstruálható a lefejtőmaró vágóélgörbéje kopásvizsgálat céljára a csigakerék befejező megmunkálása esetén. A magas precizitású megmunkálás szükséges a megkívánt jó hatásfok, az alacsony zajszint megvalósításához [2].

2. A LEKÉPEZÉS

2.1. Az irányszögek

Egy rögzített Descartes koordináta-rendszer O pontjára illeszkedő e egyenes első irányszöge legyen az $0 \leq \alpha \leq \pi$ szög, mellyel az x^+ félegyenes az egyenes $[xy]$ síkra eső e' merőleges vetületébe forgatható y^+ irányába. Legyen $\alpha=0$, ha az egyenes egybeesik z -vel (1. ábra). Egy O -ra nem illeszkedő egyenes első irányszöge megegyezik a vele párhuzamos O -n átmenő egyenes első irányszögével.



1. ábra Az e egyenes α első, a β második és a γ harmadik irányszöge

Hasonlóan definiálható az e egyenes β második és γ harmadik irányszöge a [7]-ben található és az 1. ábrán látható módon.

2.2 A Monge-projekciók leírása három szabad paraméterrel

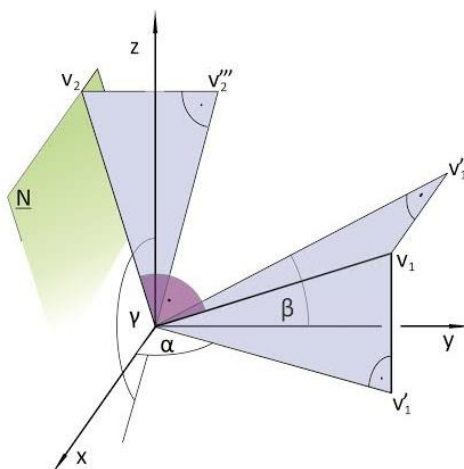
A $\{\underline{K}_1, \underline{K}_2\}$ képsíkrendszert a hozzá a képsíkokra egyenként merőleges v_1, v_2 vetítősugarakkal együtt egy Monge-projekciónak nevezzük. A párhuzamos eltolással egymásba transzformálható Monge-projekciók a rekonstruálhatóság vonatkozásában ugyanarra az eredményre vezetnek, a vizsgálataink szempontjából azonosak, ezért a továbbiakban azonosnak tekintjük őket.

A további vizsgálódás megkönnyítésére rögzítsünk a térben egy O pontot, és megkívánjuk, hogy a Monge-projekciók képsíkjai, és vetítősugarai illeszkedjenek erre.

Míg az x_{12} tengely, a két képsík metszévonalára 2 szabad paraméterrel, jellemezhető az $O(x,y,z)$ Descartes koordináta-rendszerben, a képsíkok az x_{12} tengely körüli elforgatás lehetőségeiben egy szabad paraméterrel írhatók le. Következésképpen a Monge-projekciók a korábbi megszorítások mellett három szabad paraméterrel írhatók le.

Ezután minden egyes Monge-projekcióhoz rendeljünk hozzá egy öt egyértelműen meghatározó (α, β, γ) számhármast a következő módon: egy rögzített $O(x,y,z)$ Descartes koordináta-rendszerben a Monge-projekció v_1 első vetítősugarának első irányszöge α , második irányszöge β , míg v_2 második vetítősugarának harmadik irányszöge γ .

Az értelmezett (α, β, γ) számhármast is meghatározzák a vetítősugarakat és magát a Monge-projekciót: a v_1 első vetítősugár a v_1' -re illeszkedő első vetítősík és a v_1'' -re illeszkedő második vetítősík metszévonalára. A v_2 második vetítősugár a v_1 első vetítősugarra merőleges \underline{N} normálsík és a v_2''' -re illeszkedő harmadik vetítősík metszévonalára (2. ábra).



2. ábra A Monge-projekció v_1, v_2 vetítősugara és az (α, β, γ) szöghármas közötti kapcsolat

A Monge-projekció v_1 első vetítősugarát az első és második képsíkszögének ismeretében nem lehet visszaállítani, ha a \underline{V}_1 és \underline{V}_2 síkok, illetve a \underline{V}_3 és \underline{N} síkok egybeesnek. Ha azonban a $v_1 \in [zx]$, és a $v_2 \in [zx]$ is teljesül, akkor a v_2 harmadik irányszögének ismeretében a v_1 visszaállítható.

Azon Monge-projekciók kivételével, melyek v_1, v_2 vetítősugaraiból $v_1 \in [zx]$ és $v_2 \in [zx]$ feltételeket, minden Monge-projekcióhoz egyértelműen hozzárendeltünk egy öt egyértelműen meghatározó (α, β, γ) számhármast (2. ábra). Nem minden Monge-projekció, de minden rendezett két kép tárgyalásra került, ami a vizsgálataink tekintetében helytálló, ugyanis a bijektivitás vizsgálata egy adott görbére nézve ugyanazt az eredményt adja, ha az első és második képet fölcseréljük.

2.3 A Monge-tégla

Az α, β, γ értékeknek azon részhalma a $[0, \pi]$ intervallumon, amelyhez egyértelműen tartozik egy Monge-projekció az $O(\alpha, \beta, \gamma)$ Descartes koordináta-rendszerben a Monge-tégla pontjai (3. ábra).

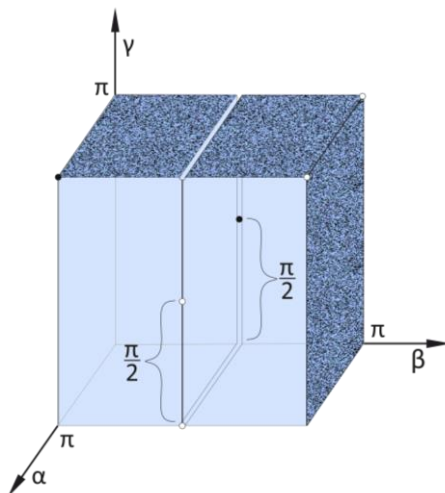
A Monge-tégla belső pontjai a következő feltételeket elégítik ki:

$$0 < \alpha < \pi, 0 < \beta < \pi/2, \pi/2 < \beta < \pi, 0 < \gamma < \pi. \quad (1)$$

A Monge-tégla felületi pontjai a következő feltételeket elégítik ki:

- $0 < \alpha < \pi, \beta = \pi, 0 < \gamma \leq \pi,$
 - $0 < \alpha < \pi, 0 < \beta < \pi/2, \pi/2 < \beta \leq \pi, \gamma = \pi,$
 - $\alpha = \pi, \beta = \pi/2, 0 < \gamma < \pi/2, \pi/2 < \gamma < \pi,$
 - $\alpha = 0, \beta = \pi/2, \gamma = \pi/2$
 - $\alpha = \pi, \beta = 0, \gamma = \pi.$
- (2)

Létrehoztunk a Monge-projekciók és a Monge-tégla pontjai között egy matematikai leképezést, mely kölcsönösen egyértelmű leképezés.



3. ábra A Monge-tégla belső és felületi pontjai

3. A GÖRBÉK MONGE ÁBRÁZOLÁSÁNAK BIJEKTIVITÁSA

A Descartes koordinátásíkok illeszkedjenek a Monge-rendszer képsíkjaire úgy, hogy $[xy] \equiv K_1$ és $[yz] \equiv K_2$, ekkor $y \equiv x_{12}$ tengely.

1.Tétel: Ha a g görbe g' és g'' képgörbéi külön-külön felírhatók az $y \rightarrow f_1(y)$ és $y \rightarrow f_2(y)$ függvényekkel a képsíkok megfelelő Descartes koordinátásíkokban, ahol $x = f_1(y)$ és $z = f_2(y)$, azaz pontjai $P(f_1(y), y, f_2(y))$ koordinátájúak, akkor a g görbe bármely darabja egyértelműen rekonstruálható képeiből.

2.Tétel: Ha a g görbe g' és g'' képgörbéi a megfelelő Descartes koordinátásíkokban nem írhatók fel $x = f_1(y)$ és $z = f_2(y)$ függvényként, azaz az $y \rightarrow f_1(y)$ és $y \rightarrow f_2(y)$ hozzárendelések nem függvények, akkor g -nek van olyan darabja, amely csupán két képéből egyértelműen nem rekonstruálható.

3. Tétel: Ha egy görbének nincs profil irányú érintője, akkor bármely daraja egyértelműen rekonstruálható két képéből.

Az 1.-3. Tételek bizonyítása a [7] szerint végzendők el.

4. A HARMADRENDŰ TÉRGÖBE REKONSTRUÁLHATÓSÁGA

A Bézier-görbe illeszkedjen az u_0, u_1, u_2, u_3 , paraméterű p_0, p_1, p_2, p_3 pontokra, ahol $u_i \neq u_j, i \neq j$, és $u_0 = 0, u_3 = 1$.

A Bézier-görbe b_0, b_1, b_2, b_3 kontrolpontjaira teljesül a

$$\underline{b}(u_i) = p_i \quad (i=0, \dots, 3) \quad (3)$$

feltétel.

A Bézier-görbe egyenlete

$$\underline{b}(u) = \sum_{j=0}^n B_j^n(u) \underline{b}_j, \text{ ahol } B_j^n(u) = \binom{n}{j} u^j (1-u)^{n-j}. \quad (4)$$

Az $u_i \neq u_j$ feltétel a \underline{b}_i -re nézve (3)-(4) egy egyértelmű megoldást eredményez számunkra.

A Bézier-görbe és az Hermite-ív közötti kapcsolat a következő formában írható fel:

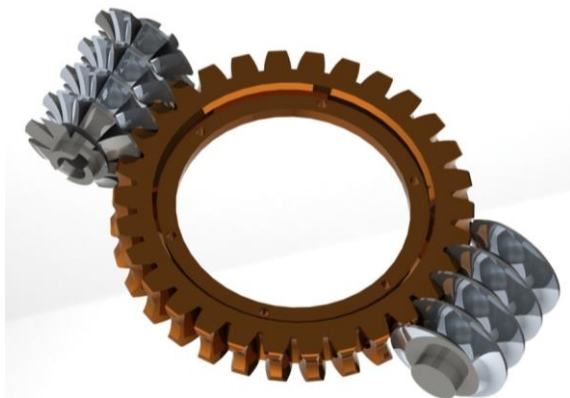
$$\underline{p}_0 = \underline{b}_0, \underline{t}_0 = 3 \cdot \underline{b}_1 - 3 \cdot \underline{b}_0, \underline{p}_3 = \underline{b}_3, \underline{t}_3 = 3 \cdot \underline{b}_3 - 3 \cdot \underline{b}_2, \quad (5)$$

ahol $\underline{p}_0, \underline{p}_3$ a kezdő- és végpontok, a $\underline{t}_0, \underline{t}_3$ a kezdő és végérintők.

Az Hermite-ívhez tartozó Monge-tégla bijektív tartománya az [7]-ben meghatározásra került, így az (5) alapján a harmadrendű interpolációs Bezier-görbe bijektív ábrázolásához szükséges vetítési irányokat is ismerjük.

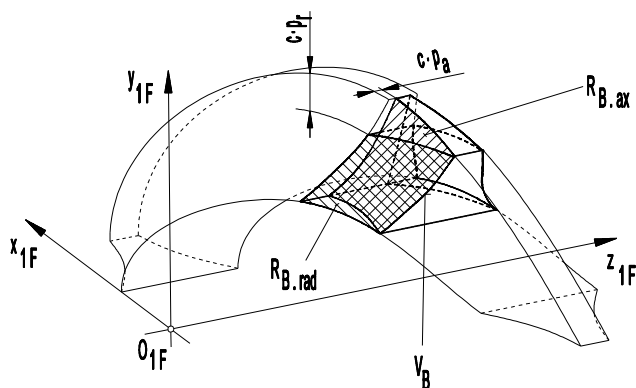
5. MÉRNÖKI ALKALMAZÁS

A Miskolci Egyetem Gépgyártástechnológiai Tanszékén működő kutatócsoport, „Csigaiskola” egyik legfontosabb kutatási területe az ívelt profilú csigahatópárok gyártásgeometriájának fejlesztése [2, 3, 6, 7]. A csigakutatás egyik kiemelkedő témája a tengelymetszetben körív profilú hengeres csiga (4. ábra). A csigakerék simító megmunkálásához alkalmazott lefejtőmaró burkolófelülete megegyezik a kerékkel kapcsolódó csigáéval (közvetlen mozgás leképezés) [1, 2, 6]. Mivel a lefejtőmarók bonyolult geometriájú, drága szerszámok, célszerű lehetővé tenni a minél többszöri újraélezés lehetőségét (5. ábra).



4. ábra A tengelymetszetben körív profilú csigahajtás lefejtő-maróval [3]

A lefejtő maró fog V vágóéle az R_B, R_J hátra-munkált oldalfelületek és a H homlokl felület metszése. A hátramunkálást és a homlokl felületek megmunkálási technológiáját úgy kell megvalósítani, hogy az így kapott él rajta legyen a helyettesítő csiga fogfelületén (J, B), ami geometriailag azonos a valós csiga fogfelületével. (8. ábra).



5. ábra A lefejtőmaró vágóéle a K_{F1} forgó koordinátarendszerben [2]

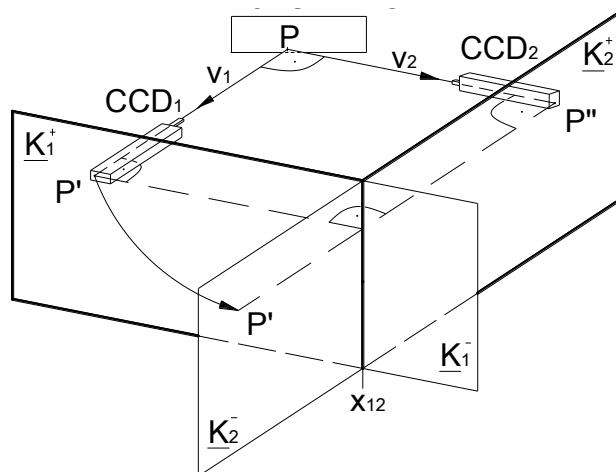
A V vágóél egyenlete

$$\left. \begin{aligned} x_v &= -\eta \cdot \sin \frac{\sqrt{\rho_{ax}^2 - (K - \eta)^2 - z_{ax}}}{p + p_h} \\ y_v &= \eta \cdot \cos \frac{\sqrt{\rho_{ax}^2 - (K - \eta)^2 - z_{ax}}}{p + p_h} \\ z_v &= -p_h \cdot \frac{\sqrt{\rho_{ax}^2 - (K - \eta)^2 - z_{ax}}}{p + p_h} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

ahol (η) a csavarfelület belső paramétere, p a csavarfelület, p_h a homlokfelület emelkedési paramétere, ρ_{ax} a fogprofil sugara, K a csigaorsó tengelyvonalának és a profilkör középpontjának a távolsága a [2] szerint.

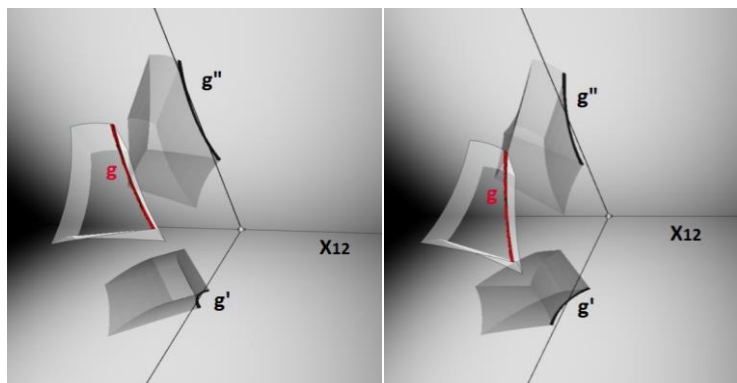
A vágóélen a p_0 és p_3 pontokat a fej- és lábhengeren, illetve a p_1 és p_2 pontokat közöttük arányosan jelöljük ki. A pontokhoz az ívhossz szerinti paraméterezést közelítő húrhosszal arányos paraméterezés került bevezetésre [7]. Kutatómunkánk során igazolást nyert, hogy a harmadrendű interpoláló Bézier-görbe a vágóélinek a szokásosan megadott tűrésen belüli közelítését adja [6]., ezért a p_0, p_1, p_2, p_3 pontokra ezt illesztettük.

A **4. fejezet** szerint a Monge-tégla bijektív tartományából kiválasztott (α, β, γ) irányszögek a CCD kamerák helyes pozícióját adják a lefejtő-maró vágóélinek kopásvizsgálatához (6. ábra).



6. ábra A CCD kamerákkal készített képek és a Monge ábrázolás kapcsolata

A vágóél görbájének vizsgálata nem végezhető el a két kamerával, ha az él bármely darabja egyértelműen nem rekonstruálható két képéből (7. ábra). A CCD kamerák helyes lokalizálása szükséges és elégséges feltétele a lefejtőmaró vágóél vizsgálatának úgy, hogy a görbe bármely darabja csupán két képéből rekonstruálható legyen (8. ábra).

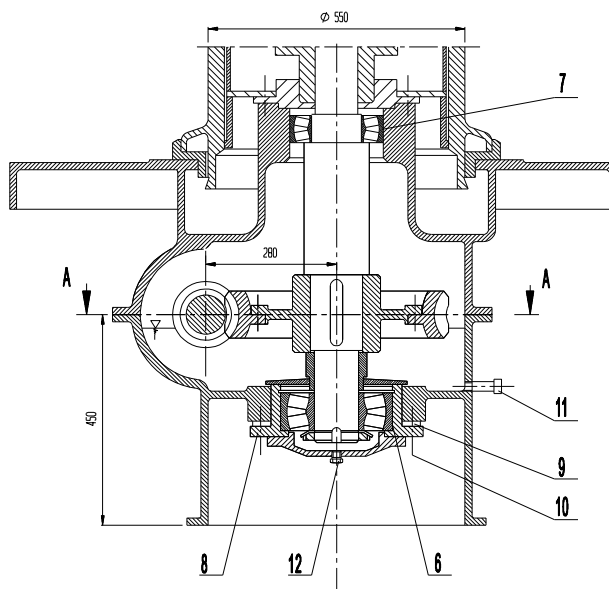


7.ábra A vágóél nem rekonstruálható képeiből 8.ábra A vágóél rekonstruálható képeiből

Ezzel az eljárással megadtuk a lehetőségét a szerszám vágóél kopás méretváltozásának folyamatos ellenőrzésére a gyártás során.

6. A KAPCSOLÓKÉP BEÁLLÍTÁSA

A hajtópár elemeinek gyártási pontosságán túl a hajtóműház gyártási hibái - kiemelten a Δa tengelytáv és a $\Delta \gamma$ merőlegességtől való eltérés - szintén befolyásolják a hajtóműházba szerelt hajtópárok kapcsolóképének (hordképének) nagyságát és helyzetét. A beépített hajtóelemek csapágyazásának egy példáját a 8. ábra szemlélteti. A csapágyazásnak - a beállított kapcsolókép tartása miatt - axiális irányban, játégmentesnek kell lennie. [2]



8. ábra A csigakerék-tengelycsapágyazása [2]

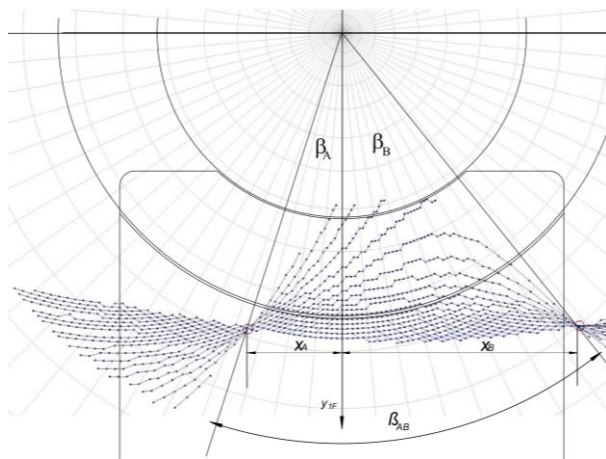
A kapcsolókép beállításához az alsó csapágyat külön perselybe ágyaztuk 8, amely 9 állítótárcsák segítségével beállítható és a 10 csavarokkal rögzíthető

A rajz szerinti méretekkel, az előírt tűrések betartásával kell legyártott elemek beépítése után első feladat a helyes kapcsolókép beállítása. A csigakerék tengelyét úgy kell beállítani, hogy a fogazat között maximális játék legyen, majd a kerék tengelyét kismértékben süllyeszteni kell, ami a forgásirány és az emelkedés függvénye. A kapcsolókép beállítására és a keréktengely rögzítésére külön erre a célra állítható perselybe csapágyazzuk a kerék alsó csapágyát (8. ábra). A helyes kapcsolókép beállítása után a megfelelő vastagságú alátétek közbehelyezésével rögzíthető a csigakerék tengelyhelyzete.

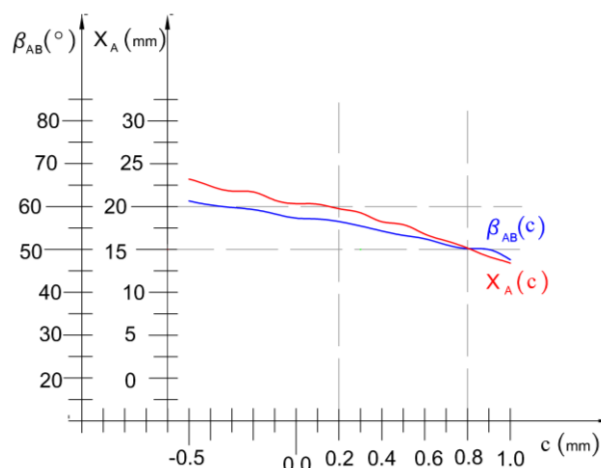
A [6]-ban megadott csigahajtópár számított érintkezési pontokat a kerék koordinátarendszerében felírva kapjuk a hordképet.

Egy konkrét futtatás adatai:

Input:			Output:
$i_{21} = 0.0857142$	Fejkör= 58.75 mm	$\vartheta_{\text{Start}} = -100.0$	$X_A = 17.7810$
$x_2 = 1.0$	$\varphi_{1\text{Start}} = -100.0$	$\vartheta_{\text{Stop}} = +100.0$	$X_B = 49.7810$
$K = 69.5$ mm	$\varphi_{1\text{Stop}} = 250.0$	$\vartheta_{\text{Step}} = 1.0$	$Y_A = 60.7890$
$a = 280.0$ mm	$\varphi_{1\text{Step}} = 10.0$	$nv \leq 0.001$	$Y_B = 60.7890$
$p_o = 18.75$	$\eta_{\text{Start}} = 35.75$	$d_{k2} = 504.0$	$\beta_A = 17.6221$
$\rho_{ax} = 50.0$ mm	$\eta_{\text{Stop}} = 88.75$	$d_{l2} = 437.5$	$\beta_B = 38.9546$
$Z_{ax} = 0.0$ mm	$\eta_{\text{Step}} = 1.0$	$d_{f2} = .5$	$\beta_{AB} = 56,5767$
Láb kör= 38.75 mm		<u>c = 0.2</u>	



9. ábra A c technológiai paraméterrel módosított kapcsolókép



10. ábra
Az X_A csomópont elhelyezkedésének és a β_{AB} szög nagyságának változása c technológiai paraméter változtatása esetén

7. ÖSSZEGRÖZÉS

A kutatómunkában kifejlesztett eljárás lehetőséget ad a lefejtő-maró vágóélével történő megmunkálás során a visszacsatolásra, a vágóél kopásának folyamatos megfigyelésére az újra-élezés meghatározása céljából CCD kamerák alkalmazásával. A beállított kamerákkal a maró pozícionálását és jellegzetes kopásának mértékét folyamatosan ellenőrizzük.

A vizsgált csiga hajtópár [6] elemeinek pontos gyártása után a hordkép helyes beállításához meghatározott összefüggés került ismertetésre.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BODZÁS S., DUDÁS, I.:** *Tengelymetszetben ívelt profilú kúpos csigahajtás tányérkerék lefejtőmarójának gyártásgeometriai elemzése*, GÉP folyóirat LXV. évfolyam 2014/2, Gépipari Tudományos Egyesület, Miskolc, 2014.03., pp.: 42 – 46., ISSN 0016-8572
- [2] **DUDÁS I.:** *The Theory & Practice of Worm Gear Drives*, Kogan Page US, Sterling, USA, ISBN 1 9039 96619 9, 2004., p. 320
- [3] **DUDÁS, I., BODZÁS, S., BALAJTI, ZS.:** *Geometric analysis and computer aided design of cylindrical worm gear drive having arched profile*, International Journal of Innovative Research in Engineering and Management (IJIREM), Volume 2, Issue 5, India, September, 2015, ISSN 2350 – 0557, pp. 10 – 14.
- [4] **MONGE G.:** *Géometrie descriptive. Leçon données aux Ecoles normales, l'an 3 de la République*, Paris, Baudouin, an VII., ISBN : 978-2-87647-065-1, p. 142
- [5] **PETRICH, G.:** *Ábrázoló geometria*, Budapest, 1973., 413 o.
- [6] **ÓVÁRINÉ DR. BALAJTI, ZSUZSANNA:** *Kinematikai hajtópárok gyártásgeometriájának fejlesztése*, PhD disszertáció, Miskolc, 2007., 181 o.
- [7] **ÓVÁRINÉ BALAJTI, ZS.:** *A Monge ábrázolás elméleti elemzése és alkalmazása a mérnöki gyakorlatban*, Miskolc, 2015., ISBN: 978-963-358-097-4, 101 o.

A VÁLLALATOK STRATÉGIAI VEZETÉSÉNEK NÉHÁNY SAJÁTOSSÁGA

BALATON Károly

DSc, egyetemi tanár
Miskolci Egyetem, Gazdaságtudományi Kar

***Abstract:** Az elmúlt 20 évben a stratégiai menedzsment jelentős változásokon ment keresztül világszerte. Az új megközelítések a gazdasági, társadalmi, politikai és technológiai változásokra adott válaszként értékelhetők. A felgyorsult környezeti átalakulások időszakában elavultakká váltak a korábbi, szisztematikus tervezésre épülő megközelítések. Radikálisan új nézetek jelentek meg, amelyeket indokolt kritikusan szemlélni. Az azonban bizonyosnak tekinthető, hogy a jövőben nem lehetnek sikeresek a vállalatok a korábban alkalmazott stratégiai megközelítésekkel.*

1. A VÁLTOZÁSOK MOZGATÓRUGÓI

A vállalati szintű stratégiai vezetés átalakulását kiváltó tényezőket keresve mindenekelőtt ki kell emelnünk a **globalizáció** megjelenését és gyors ütemű elterjedését. Az információk, a tőke és a munkaerő nemzetközi áramlásának felgyorsulása oda vezetett, hogy a csupán hazai piacra koncentráló vállalkozásoknak is szembe kellett nézni a nemzetközi piacokon kialakult versennyel, hiszen a külföldi vállalkozások megjelentek a hazai piacokon is, nem egy esetben komoly konkurenciát eredményezve a lokális vállalatoknak.

Magyarország Európai Unió csatlakozása 2004-ben felgyorsította a globalizációs hatások hazai megjelenését. Új, korábban nem várt versenytársként jelentek meg a velünk párhuzamosan csatlakozó közép-kelet-európai országok vállalatai, amelyek egyes iparágakban, pl. tejipar jelentős piaci részesedést szereztek a magyar vállalatok kárára (Balaton, 2015). A versenyképesség növelése a magyar gazdaság növekedési lehetőségeinek alapvető befolyásoló tényezőjévé vált. A hazai gazdaság ugyanakkor jelentősen hátrébb sorolódott a nemzetközi versenyképességi rangsorban. Az újabb elemzések szerint hazánk a régió belüli korábbi vezető helyről a sereghajtóvá csúszott le a nemzetek versenyképességi listáján (Chikán és Czakó, 2014).

A világgazdasági átrendeződés folyamatában **új hatalmi központok** jelentek meg. Kína, India, Brazília, Oroszország (BRIC államok) a világ jövőbeli meghatározó gazdaságaiként jelentek meg a gazdasági előrejelzésekben. Kína a világ második legnagyobb gazdaságává nőtte ki magát, India világméretűben meghatározó szerepet tölt be egyes iparágakban (pl. informatika), s növekedési üteme is messze meghaladja a világ átlagát. Brazília és Oroszország jelenleg komoly gazdasági gondokkal küzd, de hosszabb távon jelentős növekedési potenciállal rendelkeznek.

A nemzetközi versenyben markánsan érzékelhető **az Európai Unió lemaradása**. Az Unió a 2000-ben elfogadott Lisszaboni Stratégiában azt a célt tűzte ki, hogy az Unió 2010-re a világ egyik leggyorsabban növekedő, s legversenyképesebb régiójává válik. Ezt a cél összekapcsolták azzal, hogy az Unió átlagában 2010-re 3%-os GDP-arányos K+F ráfordítást kell elérni. Ezeket a célokat nem sikerült elérni. Mindössze Finnország volt képes arra, hogy elérje a 3%-os GDP-arányos K+F ráfordítást, ennek is közel kétharmadát a Nokia valósította meg. Európa pozíciója a világ vezető régióihoz – USA, távol-kelet – nem javult, sőt romlott. Kiderült, hogy magas szintű innováció nélkül nem lehet hely állni a nemzetközi versenyben.

Az Egyesült Államok kemény harcot vív a világhatalmi vezető pozíciójának megőrzéséért, valamint az azt alátámasztó gazdasági vezető szerep megtartásáért. Az USA-ban változatlanul magas szintű a technológiai és gazdasági innováció, ami eddig lehetővé tette

az első hely megőrzését. A gyorsan fejlődő államok (pl. BRIC) jelentős kihívást jelentenek az USA számára, s kérdéses, hogy meg tudja-e őrizni vezető szerepét a világgazdasági versenyben.

Az 1980-as évek elejétől kezdve a **technológiai fejlődés** egyre fontosabb szerepet tölt be a gazdasági és társadalmi fejlődésben. A csúcstechnológiák alkalmazása stratégiai jelentőségű lett számos iparágban. Számos műszaki területen technológiai trend-váltás következett be (Grove, 1998). A technológiai inflexiós pontok egyre nehezebbé teszik a fejlődési irányok jövőbeli előrejelzését, ami akadályozza a változásokhoz való alkalmazkodást.

A világgazdasági válság, s annak gyors ütemű terjedése új kihívások elé állította a világ gazdagabb államait. A 2008. szeptemberében kirobbant válság a korábbiakhoz viszonyítva nagyságrendekkel gyorsabb ütemben terjedt szét a fejlett gazdaságokban. Hazánkban kezdetben az volt a hivatalos álláspont, hogy a válság nem fog jelentős hatást gyakorolni a magyar gazdaságra. Két hónappal később az MNB arra koncentrált erőit, hogy el tudjuk kerülni a magyar gazdaság fizetésképtelenségét. A válság a hálózatokra jellemző horizontális kapcsolattrendszereken keresztül terjedt el a világban, amelynek mechanizmusairól ma is kevés információval rendelkezünk.

Politikai, erkölcsi válság szerte a világon. Az egyes nemzetállamokat, illetve regionális integrációkat vezető politikai elitek nehezen birkóznak meg az előttük álló feladatokkal. A bürokratikus berendezkedés, az igazi vezető egyéniségek hiánya a változó körülményekhez való lassú alkalmazkodásban nyilvánul meg. A politika világát ugyanakkor áthatotta a mérhetetlen korrupció, ami hiteltelenné teszi a politikai vezető rétegeket.

A fentiekben vázolt tényezők a gazdasági vállalkozások környezetét rendkívül kiszámíthatatlanná tették. Emiatt a stratégiai vezetésben korábban alkalmazott – alapvetően a tervezésre támaszkodó – módszerek elavultakká váltak. Új megoldások keresésére van szükség ahhoz, hogy a vállalatok meg tudják őrizni versenyképességüket.

2. AZ ERŐFORRÁSOKRA ÉS KÉPESSÉGEKRE ÉPÜLŐ STRATÉGIAI MEGKÖZELÍTÉS

Az 1970-es és 80-as években uralkodó stratégiai megközelítés a környezeti alkalmazkodást állította a középpontba. Ez arra a logikus gondolatra épült, hogy a vállalati stratégiáknak alkalmazkodni kell a mindenkor fennálló környezeti feltételekhez, tehát az adaptáció a stratégia kialakításának központi kérdése kell, hogy legyen.

A vállalatok stratégiai tervezésében azonban egyre nagyobb gondot jelentett a gyorsuló ütemű környezeti változások megjelenése. Különösképpen érzékelhető volt ez a hetvenes évekre jellemző részletes, bürokratikus stratégiai tervezési rendszerek alkalmazása során. Nagyobb méretű vállalatoknál a stratégiai tervek kidolgozása gyakran egy, másfél éves folyamatot jelentett. Emiatt rendszeresen előfordult, hogy mire készen lett a stratégiai terv, az máris elavult volt.

A nyolcvanas évek elejétől kezdve a vállalatok a részletesen kidolgozott stratégiai tervekkel szemben a rövidebb, de gyorsabban kidolgozható és megváltoztatható stratégiai koncepciókat kezdték preferálni, hogy könnyebben összhangba tudják hozni a stratégiai irányvonalat és a környezeti feltételeket.

Ebben az időszakban jelent meg, majd a 90-es években fejlődött ki a stratégia erőforrásokra és képességekre alapozó felfogása. Az új koncepció szerint a vállalati stratégia-alkotás középpontjába nem a környezethez való alkalmazkodást kell állítani, hanem a vállalat meglévő erőforrásaira és képességeire kell építeni a stratégiát ahhoz, hogy a vállalkozás tartósan sikeres lehessen. A stratégia kialakítása az alábbi logikára épült (Grant, 1991):

- Először is azonosítani kell a vállalat meglévő erőforrásait. Ennek során a fizikai, pénzügyi, személyi és szellemi erőforrásokat egyaránt figyelembe kell venni.
- Ezután fel kell mérni, hogy a meglévő erőforrások felhasználásával a vállalat milyen képességekre tud szert tenni.
- A következő lépés annak azonosítása, hogy a meglévő erőforrások és képességek alapján a vállalat milyen jövedelemtermelési képességekkel rendelkezik.
- Ezután ki kell választani azokat a stratégiákat, amelyek leginkább ki tudják használni a vállalati képességeket.
- A következő lépésben rögzíteni kell a követendő stratégiákat.
- A folyamat utolsó lépése a meglévő képességbeli hiányosságok azonosítása, majd azok megszüntetése.

A vállalati stratégiák fenti logika alapján történő kialakítása a kilencvenes évek közepe óta vált szélesebb körben alkalmazottá. A gyakorlatban azonban kiderült, hogy az egy időpontban meglévő erőforrások és képességek a gyors környezeti változások időszakában gyorsan elavultakká válhatnak, illetve a versenytársak előtt, vagy utóbb megszerzik ezeket az erőforrásokat és képességeket, s megszűnik a vállalat versenyelőnye.

Az elméleti irányzaton belül az első fejlődési lépést a komplex képességek előtérbe kerülése jelentette. Ez azt jelentette, hogy nem egyedi erőforrásokra és képességekre kell a hangsúlyt helyezni, hanem azok összetett kombinációira. Ezen erőforrás- és képesség-kombinációk nem csak a kodifikált (rögzített), dokumentumokban hozzáférhető képességekre építenek, hanem azok nehezen kiismerhető és másolható kombinációira. Minél összetettebb egy képesség, annál nehezebb annak másolása, illetve más vállalatokhoz való átvitele.

A fejlődés következő lépcsőjében megjelent a dinamikus képességek koncepciója, illetve annak gyakorlati alkalmazása. A felfogás abból indul ki, hogy bármennyire is összetettek a vállalat által birtokolt erőforrások és képességek, azok csak korlátozott ideig képesek versenyelőnyt nyújtani a vállalat számára. Ennek magyarázata egyrészt abban van, hogy a versenytársak egy idő után el tudják sajátítani azokat, másrészt pedig a környezeti változások következtében a meglévő erőforrások és képességek elavultakká válhatnak, s ezért szűnik meg a vállalat versenyelőnye.

A feladat tehát az, hogy folyamatosan fejleszteni és tökéletesíteni kell a képességeket, hogy mindig a versenytársak előtt tudjon járni a vállalat. Ezt fejezi ki a dinamikus képességek koncepciója, tehát a vállalat vezetésének a folyamatos megújulásra kell törekedni, s ily módon biztosítani a versenyelőnyt.

A képességek fejlesztésében fontos szerepe van a szervezeti tanulásnak. A tanulás irányulhat egyrészt a múltbeli tapasztalatok feldolgozására (learning by exploitation), másrészt a kísérletezés révén történő új tudás megszerzésére (learning by exploration) (March, 1991).

3. A VÁLLALKOZÓ VEZETÉS JELLEMZŐI

A bizonytalan és gyorsan változó környezetben működő vállalkozásoknál a siker részben azon múlik, hogy rendelkeznek-e olyan vállalkozói képességekkel rendelkező vezetőkkel, akik képesek arra, hogy szembenézzenek a kihívásokkal, s azokra újszerű válaszokat adjanak. (Hortoványi, 2010.)

A vállalkozó vezetők a bizonytalanságot természetesnek tekintik, hiszen az új lehetőségeket kínálja a vállalat számára. Nagyfokú innovációs készség jellemzi őket, keresik az újdonságot, s ennek érdekében kockázatokat és konfliktusokat is felvállalnak. Jellemzőjük a proaktivitás, azaz elébe menni a várható változásoknak, sőt megpróbálni befolyásolni a

változások irányát. Magas fokú a bizonytalanság vállalási hajlandóságuk, ebben a környezetben érzik jól magukat. A tanulás iránti igényük meghaladja az újdonságokkal szembeni aggályait és félelmeiket. Erős versenyszellem jellemzi őket. Nem az árral való sodródásra törekcsenek, hanem a trendek meghatározását tekintik feladatuknak. A változtatások keresztülvitele érdekében nagyfokú az autonómia iránti igényük, szeretik irányítani az eseményeket, s nem kedvelik a szoros irányítást és ellenőrzést.

A szociológiai szakirodalom a vállalkozó vezetőket a „belülről irányított” vezetők kategóriájába sorolja (Nemes, 1981). A belülről irányított vezetői szerepfelfogást a kezdeményezőkézség, a kockázatvállalási hajlandóság, a konfliktusok felvállalása jellemző a magasabb szintű eredmény elérése érdekében. Úgy fogják fel vezetői szerepüket, hogy ők mozgatják az eseményeket, s meghatározzák a haladás irányát. Ellentétük a „kívülről irányított” vezető, akire az a jellemző, hogy igyekszik megfelelni az elvárásoknak, kerüli a kockázatokat és a konfliktusokat, jó személyes kapcsolatok kialakítására és ápolására törekcszik.

Piacgazdasági körülmények között határozott igény van a vállalkozó vezetőkre. Probléma viszont, hogy a működő oktatási rendszerek nem igazán kedveznek a vállalkozó vezetők kinevelésének. Szerre a világon a business school-ok oktatási programjaiban a technikák, módszerek elsajátításán van a hangsúly, s a kreatív gondolkodási képességek kifejlesztése hátrányban marad.

4. MENNYIBEN HASZNÁLHATÓAK A JÖVŐBEN AZ EDDIG ALKALMAZOTT STRATÉGIA-ALKOTÁSI MEGKÖZELÍTÉSEK?

A fentiekben láthattuk, hogy az üzleti világ gyorsuló ütemű változásai új lehetőségeket és kihívásokat jelentenek a vállalatok vezetői számára. Felmerül a kérdés ekkor, hogy mennyiben alkalmazhatóak az eddigi stratégia-alkotási módszerek a megváltozott körülmények között. Ez a gondolatkör már régóta jelen van a stratégiai menedzsment szakirodalmában. Mintzberg már az 1980-as években arról írt, hogy a stratégiai tervezés helyett a stratégiai gondolkodást kell előnyben részesíteni. Azaz nem a részletesen kidolgozott terv a fontos, hogy a vállalat rendelkezzen jól átgondolt koncepcióval a jövőbeli működésére vonatkozóan (Mintzberg, 1990).

Evans és Wurster (2000) szerint az internet radikálisan átalakítja az iparágakat, emiatt az iparág-elemzés Porter által kidolgozott modellje jelentős változtatásokra szorul. Véleményük szerint az eddig alkalmazott, racionális döntéshozatalra és formalizált eljárásokra épülő módszerek haszontalanok a jövőben, ezek helyett új megoldásokat kell kitalálni. A szerzők véleménye szerint a kaoszelmélet nyújthatja a megoldást, azaz a fizika bizonytalansággal kapcsolatos törvényeinek megismerése és alkalmazása szükséges.

Eisenhardt és Sull (2001) szintén a korábban alkalmazott elemzési módszereket kritizálja. Véleményük szerint nem a részleteket feltáró elemzések kellenek, ha néhány egyszerű szabály, amely alapján a vállalat kialakíthatja, illetve szükség esetén megváltoztathatja stratégiáját.

A stratégiaalkotás módszereinek megváltoztatást a kialakult szabályok, rutinok is befolyásolják, s korlátozhatják a változtatások. A szervezetelmélet szerint a szervezeti tagok szembenéznek az „útfüggőség” problémájával, azaz hogy a korábban alkalmazott gondolkodásmód és gyakorlat befolyásolja a jelenbeli, illetve a jövőre irányuló gondolkodásunkat. Emiatt gyakran késik az új megközelítések elfogadása. Mintzberg szerint a stratégiai menedzsment legfontosabb feladata, hogy felismerje, meddig célszerű az eddig alkalmazott módszereknél maradni, illetve mikor kell váltani és új környezet – stratégia – szervezet konfigurációkat kialakítani (Mintzberg et al.: 1998).

5. A HÁLÓZATOK ÉS KLASZTEREK SZEREPÉNEK FELÉRTÉKELŐDÉSE

A vállalatok működésére hosszú ideig az volt a jellemző, hogy a tevékenységek integrált szervezeti keretek között valósultak meg, s a hierarchikus irányítás koordinálta a tevékenységeket. A környezeti változások felgyorsulása, valamint a számítógépes hálózatok megjelenése oda vezetett, hogy a vállalatok egyre több tevékenységet szerveztek ki vállalaton kívülre, s vállalatközi együttműködés keretében valósulnak meg az összetett tevékenységek.

Ez a folyamat eredményezte a hálózatok elterjedését, amely a piac és a hierarchia közötti megoldást jelent. Jól látható ez a fejlődés például az autóiparban, az építőiparban, de a gazdasági és társadalmi élet más területein is. A hálózatok alkalmazásával a vállalatok sokkal rugalmasabban tudnak alkalmazkodni a változó feltételekhez, s alacsonyabb költségek mellett tudják megvalósítani a tevékenységeket, mint az integrált hierarchikus szervezetek.

A hálózatok sajátos formáját képviselik a klaszterek, amelyek földrajzilag közel lévő, s szoros együttműködésben megvalósuló szervezeteket jelentenek. Ennek leghíresebb példája a Szilícium-völgy, de Európában is számos klaszter alakult ki, pl. Észak-Olaszországban a sonka és csempe klaszterek, a Ruhr-vidéki ruházati klaszter, stb.

Hazánkban a klaszterek eddig kevés sikeres példát mutatnak, amelynek egyik magyarázó tényezője a bizalom hiánya a potenciálisan együttműködő szervezetek között.

ÖSSZEFOGLALÁS

A vállalatok vezetésének alkalmazkodni kell a változó környezeti feltételekhez. Mint azt fentebb láttuk, az elmúlt 30 évben jelentős átalakulások mentek végbe a vállalkozások társadalmi, politikai, technológiai és gazdasági környezetében. A stratégiai menedzsmentben bekövetkezett változások alapvetően a változó igényekkel és lehetőségekkel magyarázhatóak. Az alkalmazkodás, a versenyképesség megőrzése új és új megoldásokat igényel a vállalatok vezetésétől. Ebben a környezetben azok a vállalatok lehetnek sikeresek, amelyek hamar felismerik a változások irányait, s megfelelő válaszokat tudnak adni az új kihívásokra.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BALATON, K.:** 2015 *The Effect of Enterprise Strategies Employed During the Crisis on Growth Options of Companies. Theory, Methodology, Practice*, 11: (1), pp.: 3-9.
- [2] **CHIKÁN A., CZAKÓ E.:** 2014 *Éllovasból lett sereghajtó Magyarország*. Világ gazdaság, augusztus 4.
- [3] **EISENHARDT, K.M., SULL, D.N.:** 2001 *Strategy as Simple Rules*. Harvard Business Review, January, pp.: 107-116.
- [4] **EVANS, P., WURSTER, T.:** 2000 *Blown to bits – how the new economics of information transform strategy*. Boston, Harvard Business School Press.
- [5] **GRANT, R.M.:** 1991 *Contemporary Strategy Analysis*. Cambridge, MA. Blackwell.
- [6] **GROVE, A. S.:** 1998 *Csúcsteljesítményű vezetés*. Budapest, Bagolyvár Kiadó.
- [7] **HORTOVÁNYI L.:** 2010 *Stratégiai innováció és vállalkozás*. In: Balaton et al. (szerk.): *Stratégiai Menedzsment*. Budapest, Aula Kiadó.
- [8] **MARCH, J.G.:** 1991 *Exploration and Exploitation in Organizational Learning*. Organization Science, vol. 2. no. 1. 71-87.
- [9] **MINTZBERG, H.:** *The Design School: Reconsidering the Basic Premises of Strategic Management*. Strategic Management Journal, (11) pp: 171-195. Strategy safari.

- [10] **MINTZBERG, H., AHLSTRAND, B. LAMPEL, J.:** 1998 *Strategy safari*. New York, The Free Press.
- [11] **NEMES F.:** 1981 *A vezetői szerepfelfogás és magatartás néhány problémája vállalatainknál*. Közgazdasági Szemle, július-augusztus, 787-806.

PENETRÁCIÓS SZONDAADATOK FELDOLGOZÁSA KÉTDIMENZIÓS SÚLYOZOTT FAKTORANALÍZIS ALKALMAZÁSÁVAL

2D WEIGHTED FACTOR ANALYSIS FOR THE PROCESSING OF PENETRATION SOUNDING DATA

BALOGH Gergely Pál¹, SZABÓ Norbert Péter²

¹ Ph.D. hallgató, gfbg@uni-miskolc.hu

¹Miskolci Egyetem, Geofizikai Tanszék, 3515 Miskolc-Egyetemváros

² egyetemi docens, gfnmail@uni-miskolc.com

²MTA–ME, Műszaki Földtudományi Kutatócsoport, 3515, Miskolc-Egyetemváros

Kivonat: Jelen tanulmányban a mérnökgeofizikai szondázási mérések feldolgozására egy új statisztikus eljárást mutatunk be. A penetrációs szelvények faktoranalízisével megbecsülhető a felszínközeli konsolidálatlan üledékek víz- és gáztelítettsége. A klasszikus faktoranalízis algoritmusát a Steiner-féle leggyakoribb értékek módszerének alkalmazásával javítjuk. Ezáltal a szondaadatokat terhelő nem Gauss-eloszlású zaj, valamint kiugró adatok mellett is pontosabb becslés valószínűsíthető. A faktoranalízist továbbfejlesztettük több fúrás szelvényadatának egyidejű feldolgozására, mellyel a faktorok és a víztelítettség térbeli eloszlását határozzuk meg. A területi információ mellett a nagyméretű statisztikai minta növeli a kiértékelés pontosságát és megbízhatóságát. A módszert a Bábaapáti területen teszteljük, melynek keretében összehasonlítást végzünk az inverz modellezésen és a saját fejlesztésű faktoranalízisen alapuló kiértékelési eljárások között. A Steiner-súlyozást felhasználó faktoranalízis új alternatívát kínál mérnöki és környezetvédelmi feladatok hatékony megoldására.

Kulcsszavak: mérnökgeofizikai szondázás, faktoranalízis, Steiner-súly, víztelítettség

Abstract: In this study, a new statistical procedure for the processing of engineering geophysical sounding measurements is presented. By the factor analysis of penetration logs an estimate can be given to the water content and gas saturation of shallow unconsolidated sediments. The classical algorithm of factor analysis is further developed by using the Steiner's most frequent value method. Therewith, a more accurate solution can be given in case of non-Gaussian noises and outlying data. Factor analysis has been further developed for the simultaneous processing of multi-borehole data, which allows the determination of the spatial distribution of factor variables and water saturation. The method not only gives information about the region between the boreholes, but also improves the accuracy and reliability of evaluation by using a large statistical sample. We test the method in Bábaapáti and make a comparison between the results of factor analysis and inverse modeling. The Steiner-weighted factor analysis offers a new alternative for the efficient solution of engineering and environmental problems.

Keywords: engineering geophysical sounding, factor analysis, Steiner-weight, water saturation

1. BEVEZETÉS

A mérnökgeofizikai szondázásokat (MGSZ) felszínközeli üledékes képződmények talajmechanikai és köztetfizikai tulajdonságainak meghatározására alkalmazzuk [1]. Az ipartelepek, mélyépítések (alagút és metró), katonai létesítmények, kommunális és nukleáris hulladéklerakók felmérésének korszerű in-situ eszközt képezik. A mérési módszer alkalmazása során a talajba sajtolt kúp formájú szonda csúcscellenállásából és palástsúrlódásából geotechnikai paraméterekre, míg a készülékbe épített speciális érzékelők mechanikai, elektromos és nukleáris adataiból az altalaj összetételére, hézagterfogatára, agyagtartalmára és víztelítettségére következtethetünk. Az MGSZ adatok kiértékelése általában determinisztikus vagy geofizikai inverziós módszerekkel történik [2]. A szonda-

adatok többváltozós statisztikus feldolgozása alkalmas közvetlenül nem mérhető mennyiségek feltárására.

A faktoranalízist hagyományosan a mért változók számának csökkentésére alkalmazzák [3], melynek eredményeképpen a problémát kevesebb számú statisztikai változóval (faktorral) írjuk le. További előnyt jelent az, hogy a faktoranalízis képes az adatrendszerben lévő közvetlenül nem mérhető (látens) információ feltárására is. E módszer alkalmazásával a geofizika képes a földtani szerkezetek közetfizikai vagy litológiai jellemzőinek meghatározására vagy az adat-modell kapcsolatok és többértelmű inverz problémák elemzésére [4], [5]. A faktoranalízis segítségével megbecsülhető a mélyfúrési geofizikában a tárolóközetek agyagtartalma és szivárgási tényezője [6], a kis mélységtartományban dolgozó mérnökgeofizikai szondák adataiból pedig a kismélységű szerkezetek víztartalma megbecsülhető [7]. Ez utóbbi feladat megoldására súlyozott faktoranalízist is alkalmazhatunk, mely hatékonyan megkülönbözteti az eltérő minőségű adatokat a feldolgozás során. Jelen tanulmányban a tradicionálisan alkalmazott faktoranalízist (TFA) továbbfejlesztjük a Steiner-féle leggyakoribb értékek (MFV-FA) módszerének felhasználásával [8], és bemutatjuk annak kétdimenziós alkalmazását (2D MFV-FA) a bátaapáti nukleáris hulladéklerakó felett elhelyezkedő löszös-homokos földtani képződményen.

2. A 2D SÚLYOZOTT FAKTORANALÍZIS ELMÉLETE

Kutatásainkban a faktoranalízis bemenő mennyiségeit a standardizált mérnökgeofizikai szelvényadatok adják, melyek \mathbf{D} adatmátrixának sorai a mélységpontoknak (N), oszlopai pedig egy-egy szelvénytípusnak (K) felelnek meg. A faktoranalízis modellje az adatmátrix alábbi felbontásán alapul

$$\mathbf{D} = \mathbf{F}\mathbf{L}^T + \mathbf{E} \quad (1)$$

ahol az \mathbf{F} a faktorok $N \times Q$ méretű mátrixa, Q a faktorok száma ($Q < K$), \mathbf{L} a faktorsúlyok $K \times Q$ méretű mátrixa, \mathbf{E} a hibakomponens mátrix (\mathbf{T} a mátrix transzponáltját jelöli). Feltelevesszük, hogy az $\mathbf{F}\mathbf{L}^T$ és \mathbf{E} mátrixok korrelálatlanok és a faktorok lineárisan függetlenek ($\mathbf{F}^T\mathbf{F}/N = \mathbf{I}$ egységmátrix), ekkor a mért szelvények $K \times K$ méretű korrelációs mátrixa kifejezhető a faktoregyütthatókkal

$$\mathbf{R} = \frac{1}{N} \mathbf{D}^T \mathbf{D} = \mathbf{L}\mathbf{L}^T + \mathbf{\Psi} \quad (2)$$

ahol a $K \times K$ méretű $\mathbf{\Psi}$ diagonális mátrix a kiinduló változók szórásnégyzeteinek a közös faktorokkal nem értelmezhető részét képviseli. A *Maximum Likelihood* módszerrel közös eljárásban becsüljük meg a faktorsúlyokat és a hibavariációkat [9]. A lenti célfüggvény optimalizálásával az \mathbf{L} és $\mathbf{\Psi}$ mátrix iteratív eljárásban számítható

$$A(\mathbf{L}, \mathbf{\Psi}) = \text{tr}(\mathbf{R} - \mathbf{L}\mathbf{L}^T - \mathbf{\Psi})^2 = \min, \quad (3)$$

ahol „tr” a mátrix nyoma, azaz a főátlóbeli elemek összege. A A függvényt minimalizálni kell az összes faktorsúly és hibavariáció szerint. A faktorsúlyok ismeretében az alábbi egyenlet felhasználásával kiszámíthatóak a faktorok [10]

$$\mathbf{F}^T = (\mathbf{L}^T \mathbf{\Psi}^{-1} \mathbf{L})^{-1} \mathbf{L}^T \mathbf{\Psi}^{-1} \mathbf{D}^T, \quad (4)$$

ahol \mathbf{F} mátrix oszlopai a faktorok különböző mélységpontnál becsült értékei (a faktorszelvények). Jöreskog [11] gyors közelítő megoldást adott a hagyományos faktoranalízis elvégzésére, mely az adatok Gauss-eloszlását feltételezi. E feltétel a mérnökgeofizikai adatrendszerre ritkán teljesül, így a megoldás jó eséllyel torzul az adateloszlás aszimmetriája és a kiugró adatok miatt. Akárcsak az automatikus súlyozáson alapuló inverziós módszerek [12], a leggyakoribb értékek eljárásán alapuló súlyozott faktoranalízis (MFV-FA) is iteratívan javítja a faktorok számítását, miközben egyre kisebb mértékben különböznek a mért és a számított adatok. Az algoritmus kiindulópontja a Jöreskog megoldás, mellyel megbecsüljük a faktorsúlyokat és faktorszelvényeket, majd iteratívan tovább finomítjuk azokat. Az (1) egyenlet szerinti hagyományos faktoranalízis mátrixos elrendezése helyett az alábbi oszlopvektoros formalizmusra térünk át

$$\mathbf{d} = \tilde{\mathbf{L}}\mathbf{f} + \mathbf{e}, \quad (5)$$

ahol \mathbf{d} a KN elemű mért adatvektor, $\tilde{\mathbf{L}}$ a $KN \times QN$ méretű faktorsúly-mátrix, \mathbf{f} az QN elemű faktorok értékeket tartalmazó vektor és \mathbf{e} a hibatagot képviselő KN elemű vektor. Az \mathbf{e} eltérésvektor súlyozott normájának minimalizálásával előállíthatóak a faktorok. A q -edik iterációban a faktorsúlyokat a $(q-1)$ -edik lépésben előállított faktorokból a csillapított legkisebb négyzetek módszerével, majd azok ismeretében a faktorokat az iteratívan újrásúlyozott legkisebb négyzetek módszerével számítjuk [13]

$$\mathbf{L}^{T(q)} = \left(\mathbf{F}^{T(q-1)}\mathbf{F}^{(q-1)} + \alpha^2\mathbf{I} \right)^{-1} \mathbf{F}^{T(q-1)}\mathbf{D}, \quad (6)$$

$$\mathbf{f}^{(q)} = \left(\tilde{\mathbf{L}}^{T(q-1)}\mathbf{W}\tilde{\mathbf{L}}^{(q-1)} \right)^{-1} \tilde{\mathbf{L}}^{T(q-1)}\mathbf{W}\mathbf{d}, \quad (7)$$

ahol α a csillapítási tényező és \mathbf{W} a diagonális súlymátrix, mely a Steiner-súlyokat tartalmazza ($j=1, \dots, KN$)

$$W_{jj} = \frac{\varepsilon^2}{\varepsilon^2 + (e_j)^2}. \quad (8)$$

A fenti iterációs eljárás minden lépésében a faktorokkal elvi szelvényadatokat ($\mathbf{d}^e = \tilde{\mathbf{L}}\mathbf{f}$) számítunk. Ha az (5) egyenletből kifejezhető \mathbf{e} eltérésvektor értéke nagy, ami annyit jelent, hogy a számított adatok távol esnek a mérési adatoktól, akkor a (8) egyenletben definiált súlyok kicsi, míg jó adattérbeli illeszkedés esetén nagyobb értékűek lesznek. Így a jobb minőségű adatok nagyobb mértékben befolyásolják a megoldást, míg a kiugró értékek hatását csaknem teljesen elnyomjuk. A (8) formulában szereplő dihézió (ε) egy skálaparaméter jellegű mennyiség, mely a súlyfüggvény alakját határozza meg. Az ε értékét az eljárás automatikusan változtatja, ezzel optimális súlyokat rendelhetünk az aktuális adattérbeli illeszkedésnek megfelelően. Az iteratív újrásúlyozás azt jelenti, hogy a súlyokat minden lépésben újrászámítjuk, ezzel a mért és a faktorok alapján számított szelvényadatokat eltérését minimalizáljuk. A fenti statisztikai módszert MFV-FA eljárásnak nevezzük.

Az MFV-FA módszer egydimenziós algoritmusát könnyen továbbfejleszthető többdimenziós (2D vagy 3D) eljárássá, mely lehetővé teszi több környező fúrás valamennyi adatának egyidejű feldolgozását és a faktorok eloszlásának meghatározását a fúrások mentén, valamint az azok közötti térrészben. Legyen az összes fúrásból származó adat egy vektorban tárolva (\mathbf{d}^*), ekkor a mért és a számított adatok eltérése: $\mathbf{e}^* = \mathbf{d}^* - \tilde{\mathbf{L}}\mathbf{f}^*$. Ez utóbbi

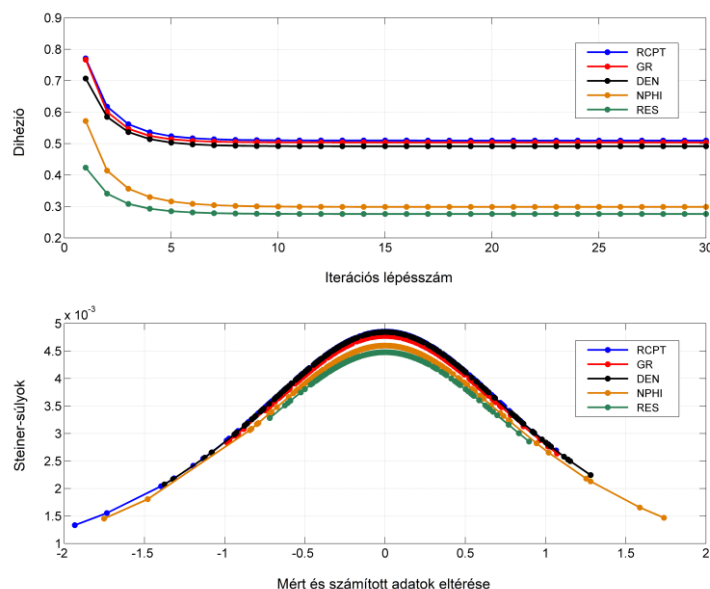
eltérésvektor súlyozott normájának minimalizálásával a faktorkok a (6)–(7) egyenlet felhasználásával iteratív eljárásban számíthatók. Az adatvektor és a faktorkok kapcsolatát leíró mátrixegyenlet tehát több fűrás egyidejű feldolgozására vonatkozik

$$\begin{pmatrix} \mathbf{d}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{d}_h \\ \vdots \\ \mathbf{d}_H \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tilde{\mathbf{L}}_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \tilde{\mathbf{L}}_h & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \tilde{\mathbf{L}}_H \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{f}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{f}_h \\ \vdots \\ \mathbf{f}_H \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mathbf{e}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{e}_h \\ \vdots \\ \mathbf{e}_H \end{pmatrix}, \quad (9)$$

ahol $\tilde{\mathbf{L}}_h$ a faktorsúlyok mátrixa és \mathbf{f}_h a faktorkok oszlopvektora a h -edik fűrőlyukban. Az N_h a mélységpontok számát jelöli a h -edik fűrásban ($h=1,2,\dots,H$), a feldolgozott mélységpontok teljes száma $N^*=N_1+N_2+\dots+N_H$. Ha minden fűrásban ugyanazokat a szelvényeket regisztráljuk, akkor a \mathbf{W} diagonális súlymátrix mérete $KN^* \times KN^*$. A 2D MFV-FA eljárás során az \mathbf{L}^* faktorsúlyok mátrixa és az \mathbf{f}^* faktor értékek vektora a Jöreskog módszerrel meghatározható és a súlyozott faktoranalízissel tovább javítható.

3. TEREPI ALKALMAZÁSOK

A 2D MFV-FA eljárás tesztelését megelőzte az 1D szelvények vizsgálata. Mérnökszondázási adatainkat a bátaapáti laza szerkezetű víz- és levegőtartalmú löszös üledékben történő mérések *RCPT* (MPa) csúcscellenállás, *GR* (cpm) természetes gamma-intenzitás, *DEN* (g/cm^3) sűrűség, *NPHI* (V/V) neutron-porozitás és *RES* (ohmm) fajlagos ellenállás szelvényadatai szolgáltatották. A Jöreskog algoritmusból kiinduló MFV-FA statisztikai eljárás a faktorsúlyokat és faktorkokat 15 iterációs lépésben állítja elő. Minden iteratív lépésben 30-szor újraszámoljuk a (8) egyenletben szereplő Steiner-súlyokat és a dihézió értékét, melyek csökkentésével a kiugró adatok kevésbé járulnak hozzá a megoldáshoz.

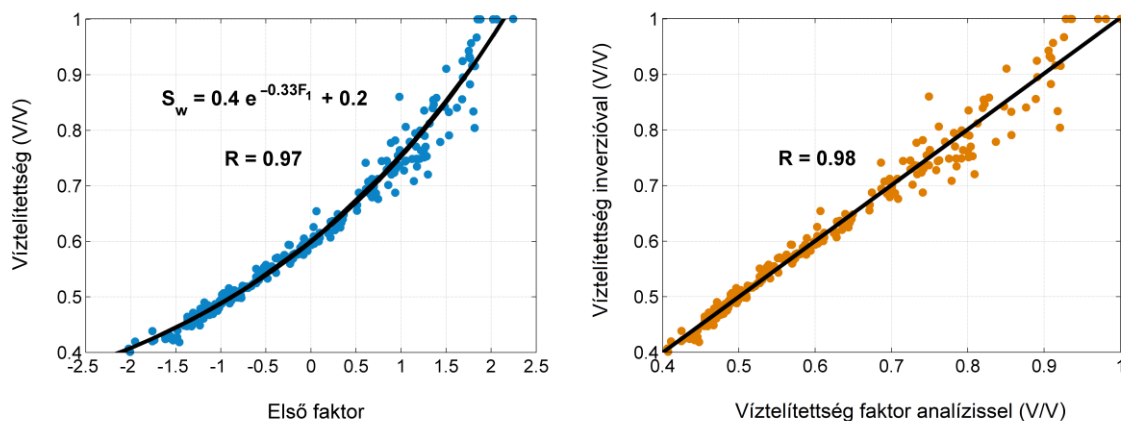


1. ábra: Az 1D MFV-FA eljárás során a dihézió változása és a mérnökszondázási adatok Steiner-súlyainak optimális értékei az adattávolság függvényében

Az 1D MFV-FA eljárással két független faktort számítunk. Az MGSZ szelvényekre vonatkozó faktorsúlyok az alábbiaknak adódtak: -0.41 ($RCPT$), 0.31 (GR), 0.88 (DEN), 0.93 ($NPHI$), -0.98 (RES). Ebből látható, hogy a neutron-porozitás és fajlagos ellenállás adatok nagy súlyt gyakorolnak az első faktorra. Mivel az $NPHI$ és a RES szelvényeket elsősorban a víztartalom befolyásolja, feltételezhető volt, hogy az első faktor a víztelítettségéről hordoz információt (2. ábra). A regressziós kapcsolat az első faktor (F_1) és a víztelítettség (SW) között

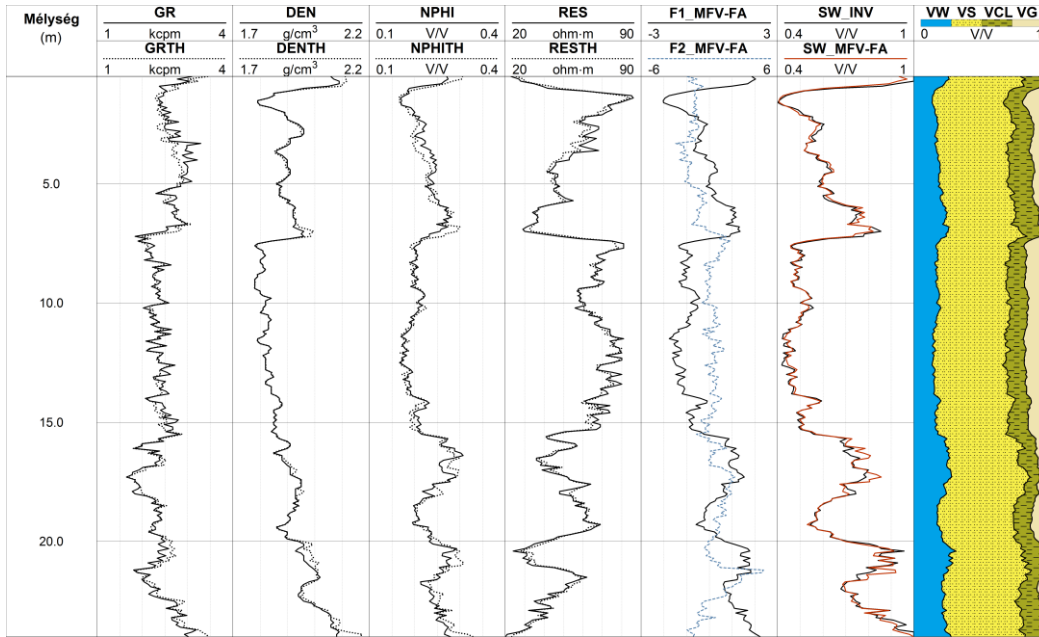
$$S_w = ae^{-bF_1} + c, \quad (10)$$

melynek együtthatói 95 %-os konfidencia intervallumon belül: $a=0.40\pm 0.04$, $b=-0.33\pm 0.03$, $c=0.20\pm 0.04$. Az $R=0.97$ értékű Pearson-féle korrelációs együttható a két változó szoros kapcsolatát mutatja. Az MGSZ szelvényeket mélységpontenkénti inverzióval is feldolgoztuk, melynek megoldását a súlyozott legkisebb négyzetek módszerével határoztuk meg. Ennek keretében a rétegek porozitását, agyagtartalmát és víztartalmát pontonként együttesen állítottuk elő [7]. A 2. ábra azt is mutatja, hogy a faktoranalízissel és a független inverzióval számított víztelítettség értékek jól egyeznek. A $R=0.98$ értékű korrelációs tényező és a függvénykapcsolatot leíró 45° -os egyenes konzisztens becslési eredményt mutat.



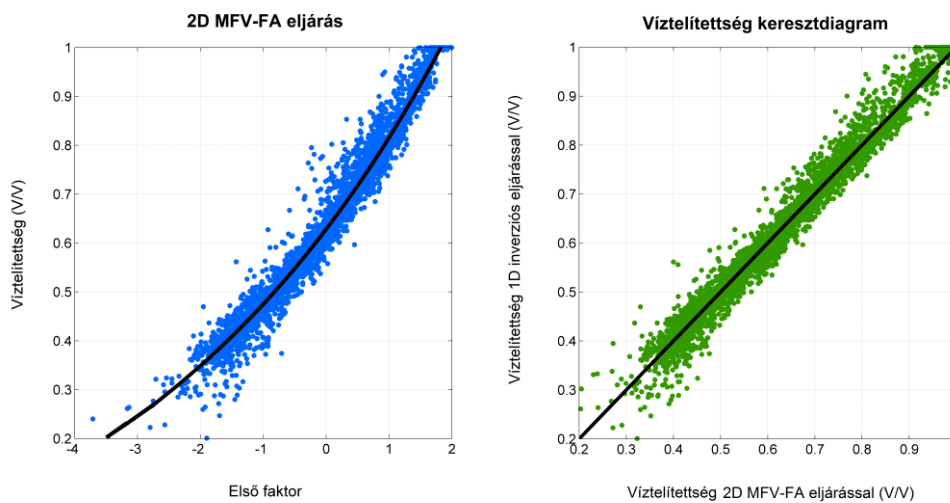
2. ábra: Az első faktor és a víztelítettség regressziós kapcsolata és az 1D MFV-FA eljárással és a pontonkénti inverzióval becsült víztelítettség kapcsolata

A statisztikus és inverziós kiértékelés eredményét a 3. ábra mutatja. A mért és számított (TH) szelvényeket, az inverzióval becsült kőzetalkotók térfogatarányait (VW – víztartalom, VS – homok térfogatarány, VCL – agyagtartalom és VG levegő részaránya), a két faktort ($F1_{MFV-FA}$, $F2_{MFV-FA}$) és a faktoranalízissel (SW_{MFV-FA}) és a lokális inverzióval (SW_{INV}) becsült víztelítettség szelvényeket mutatja. Az első faktorszelvényből a (10) formula alapján közvetlenül becsülhetjük a víztelítettséget. Mivel a pórusteret az édesvíz mellett levegő is telíti, ezért a levegőteltettség $SG=1-SW$ képlettel számítható. A mért és számított adatok közötti átlagos négyzetes eltérés $RMS=3.9\%$, mely az inverziós feldolgozás hatékonyságát mutatja. Ezzel jól egyező eredményeket szolgáltat a súlyozott faktoranalízis. Az ábrán látható a két víztelítettség görbe megfelelő illeszkedése, melyek közötti hiba $RMS=2.4\%$.



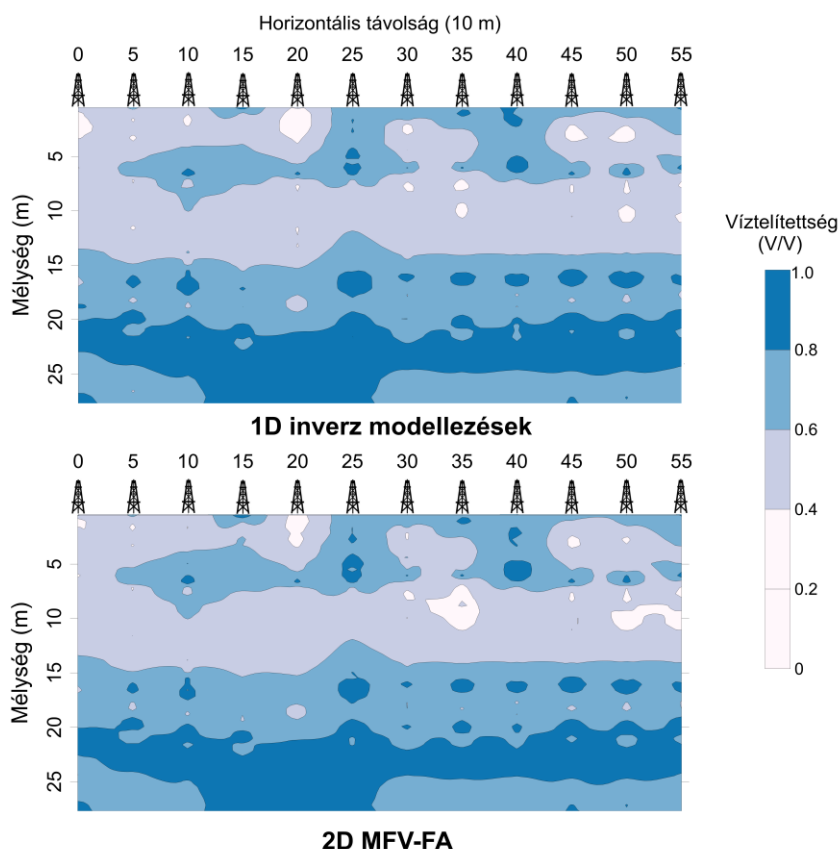
3. ábra: A mért és pontonkénti inverzióval számított mérnökszondázási adatok, a faktorok, a faktoranalízissel (SW_MFV-FA) és inverzióval (SW_INV) becsült víztelítettség-, a víz-, a gáz-, a homok- és az agyagtartalom szelvény

Az 1D MFV-FA eljárást több fúrásban történő sikeres alkalmazás után kétdimenziós esetre, azaz profil mentén elhelyezkedő fúrások egyidejű vizsgálatára, is kiterjesztettük. Ebből a célból a bátaapáti terület 12 (egymástól egyenként kb. 50 m-re elhelyezkedő) fúrásának RCPT, GR, DEN, NPHI és RES szelvényadatait használtuk fel. Mind a 12 fúrás összes adatát a (9) egyenlet alapján egy oszlopvektorba rendeztük, így megbízhatóbb megoldást eredményez az egyedi fúrásokhoz képest a két nagyságrenddel nagyobb statisztikai minta (15,500 adat). Akárcsak az 1D MFV-FA eljárásnál az első faktor és a víztelítettség között erős exponenciális kapcsolat jelentkezik, és emellett az 1D inverzióval illetve a 2D MFV-FA faktoranalízissel becsült víztelítettségek is jó egyezést mutatnak (4. ábra).



4. ábra: Az első faktor és a víztelítettség regressziós kapcsolata, a 2D MFV-FA eljárással és az 1D mélységpontonkénti inverzióval becsült víztelítettség egyezése

A 2D_MFV-FA eljárás keretében meghatároztuk a két statisztikai faktor szelvény menti és mélységi változását. A (10) egyenlet feltételezésével meghatároztuk a regressziós egyenlet együtthatóit és annak hibáit, melyek az 1D kiértékeléshez hasonló értékűnek adódtak. Ezzel valamennyi fúrás mentén kiszámítottuk a víztelítettséget. A pontonkénti inverziót fúrásonként elvégezve előállíthatjuk a víztelítettség változását, mind a horizontális, mind pedig a vertikális irány mentén. Az 5. ábra a két független szelvényértelmezési eljárással kapott eredmény jó egyezését mutatja. (Kismértékű eltérés a felszínközeli rétegek levegőteltettségében látható.) Megjegyezzük, hogy a víztelítettség ismeretében további paraméterek is leszámaztathatók, pl. a szivárgási tényező és a száraz sűrűség.



5. ábra: 1D pontonkénti inverziós eljárások sorozatából előálló és a 2D MFV-FA eljárással becsült víztelítettség-szelvények

ÖSSZEFOGLALÁS

Mérnökgeofizikai szondázási adatrendszerek kiértékelésére új kétdimenziós robusztus statisztikai eljárást javasoltunk, mely figyelembe veszi az egyes adatok megbízhatóságát és azokhoz optimális súlyt rendel. Az összes fúrásban a szelvényadatok együttes feldolgozásával számított faktorok erős korrelációt mutattak a felszínközeli laza rétegek víztartalmával. A faktorok számítása az iteratív eljárás miatt kb. egy nagyságrenddel lassabb, azonban a nagy statisztikai minta megbízható megoldást szolgáltat. A faktoranalízissel becsült víztelítettségek jó egyezést mutatnak a független mélységpontonkénti inverzióval számított víztelítettségekkel. Emellett a víztelítettség térképekből fontos petrofizikai és geotechnikai

mennyiségeket is származtathatunk. A javasolt statisztikai módszer elősegíti a heterogén konszolidálatlan képződmények kőzetfizikai modellezését, az MGSZ adatokban rejlő kőzetfizikai és litológiai információ hatékony kinyerését, mely eredményesen alkalmazható a vízkutatásban, mérnöki és környezetvédelmi problémák megoldásában.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők, mint a PD109408 sz. Ifjúsági OTKA vezető (SZNP) és résztvevő (BGP) kutatói köszönetet mondanak az Országos Tudományos Kutatási Alap támogatásáért, emellett Dr. Dobróka Mihály professzor úrnak, Stickel János igazgató úrnak és Dr. Drahos Dezső tanár úrnak a tanácsaikért és a szakmai együttműködésükért.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **FEJES, I., JÓSA, E.:** *The engineering geophysical sounding method*. Principles, instrumentation, and computerised interpretation, In: S. H. Ward (ed.), *Geotechnical and environmental geophysics*, 2, Environmental and groundwater, 1990., 321–331
- [2] **DRAHOS, D.:** *Inversion of engineering geophysical penetration sounding logs measured along a profile*, *Acta Geodetica et Geophysica Hungarica*, 40, 2005. 193–202.
- [3] **LAWLEY, D. N., MAXWELL, A. E.:** *Factor analysis as a statistical method*, *The Statistician*, 12, 1969., 209–229
- [4] **FRAIHA, S. G. C., SILVA, J. B. C.:** *Factor analysis of ambiguity in geophysics*. *Geophysics*, 59, 1994., P. 1083–1091
- [5] **XU, C., DAI, F., YAO, X., ZHAO, Z., XIAO, J.:** *GIS platform and certainty factor analysis method based Wenchuan earthquake-induced landslide susceptibility evaluation*, *Journal of Engineering Geology*, 2010., 15–26
- [6] **SZABÓ, N. P.:** *Hydraulic conductivity explored by factor analysis of borehole geophysical data*. *Hydrogeology Journal*, 23, 2015., 869–882
- [7] **BALOGH, G. P.:** *New statistical approach for water content determination in shallow geological environment*, *MultiScience - XXX. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference*, 2016.
- [8] **STEINER, F.:** *The most frequent value*, *Introduction to a modern conception of statistics*. Academic Press, Budapest, 1991.
- [9] **MÓRI, T.:** *Főkomponens- és faktoranalízis*, *Elte Valószínűségelméleti és Statisztika Tanszék, egyetemi jegyzet*, 1999., 1–13
- [10] **BARLETT, M. S.:** *Factor analysis in psychology as a statistician sees it*, *Nordisk Psykologi's Monograph Series 3*, Almqvist and Wiksell, Uppsala, 1953., 23–34
- [11] **JÖRESKOG, K. G.:** *Factor analysis and its extensions*, In: R. Cudeck and R. C. MacCallum (eds.), *Factor analysis at 100, historical developments and future directions*, Lawrence Erlbaum Associates, 2007., 47–77
- [12] **GYULAI, Á., BARACZA, M. K., SZABÓ, N. P.:** *On the application of combined geoelectric weighted inversion in environmental exploration*, *Environmental Earth Sciences*, 71, 2014., 383–392
- [13] **DOBRÓKA, M.:** *Bevezetés a geofizikai inverzióba*, *Egyetemi jegyzet*, Miskolci Egyetem, 2001.

KÚPOS CSIGATENGELY KÖSZÖRÜLÉSI TECHNOLÓGIÁJÁNAK MODELLEZÉSE ÉS ELEMZÉSE

MODELLING AND ANALYSIS OF THE GRINDING TECHNOLOGY OF CONICAL WORM SHAFT

BODZÁS Sándor

Ph.D., főiskolai docens, bodzassandor@eng.unideb.hu
Debreceni Egyetem, Gépészmérnöki Tanszék, H-4028, Debrecen, Ótomető u. 2-4.

Kivonat: A korábbi köszörülési modellek alapján egy továbbfejlesztett köszörülési modellt készítettünk a kúpos csigatengely megmunkálására. A technológia alkalmazásával a megmunkálás során folyamatosan változtatjuk a kúpos csiga és a köszörűkorong közötti tengelytávot és a korongbedöntési szög korrekció értékét. Meghatározzuk a tengelytáv és a korongbedöntési szög korrekció számításához szükséges matematikai kapcsolatokat a csiga paramétereinek függvényében. Vizsgáljuk a diszkrét koronglefejtési helyekhez tartozó tengelytáv és korongbedöntési szög korrekció változásait.

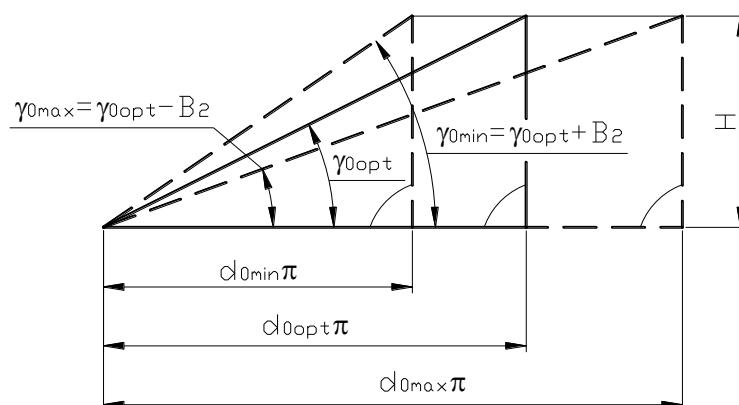
Kulcsszavak: köszörülés, modell, tengelytáv, kúpos csiga

Abstract: Based on the previous grinding models we have carried out a developed grinding model in case of the manufacturing of conical worm shaft. Using this technology we are continuously changing the centre distance between the conical worm and the grinding wheel and the value of the grinding wheel banking angle correction. We determine the necessary mathematical correlations for the calculation of the centre distance and the grinding wheel banking angle correction in the function of the worm parameters. We examine the variation of the centre distance and the grinding wheel banking angle correction in discreet positions of wheel extractions.

Keywords: grinding, model, centre distance, conical worm

1. BEVEZETÉS

A kúpos csavarfelületek geometriájából adódóan folyamatosan változik az osztóköri emelkedési szög értéke. Ebből adódóan megmunkáláskor folyamatosan változik a kúpos csiga tengelymetszeti profilja [4]. Ahhoz, hogy a csiga profilját az előírt gyártási profiltűréson belül tartsuk, meg kell határoznunk azt az optimális koronglefejtési helyet, melyhez tartozó korongprofillal megköszörülve a kúpos csigát a csiga tengelymetszeti profilja az előírt gyártási tűréson belül marad [4].

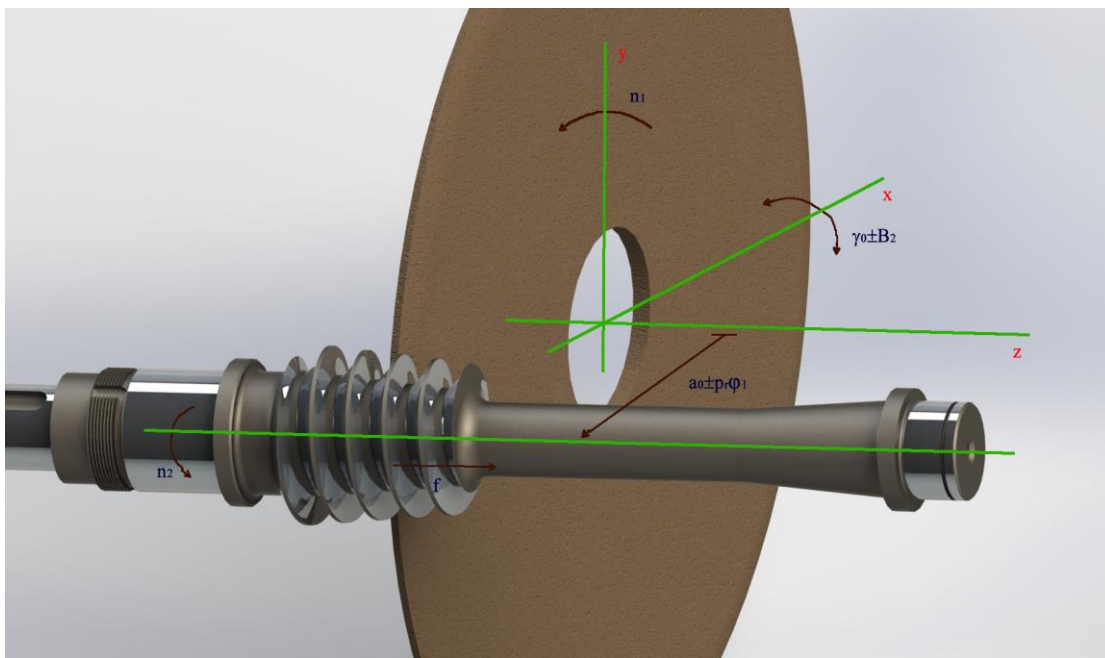


1. ábra. Az átmérő és az emelkedési szög változása állandó menetemelkedés esetén [3, 6]

Az 1. ábrán látható, hogy a kúpos csiga tengelymenti átmérőváltozása miatt az állandó axiális menetemelkedés biztosítása érdekében változik a γ_0 osztókörü emelkedési szög.

Egy új kinematikájú köszörőkorong bedöntő orsóház esetén a tengelytáv változtatás függvényében [1, 2] a csiga menethossza mentén folyamatosan változtatjuk a köszörőkorong $\pm B_2$ korongbedöntési szög korrekció értékét (2. ábra) [3, 4, 6].

A korongot a γ_{0opt} emelkedési szögnek megfelelően döntjük be megmunkáláskor. A megmunkálás során $\gamma_{0opt \pm B_2}$ korongbedöntési szög korrekciót alkalmazunk [3, 4, 6].



2. ábra. Kúpos csigatengely megmunkálásának számítógépes modellezése

2. A GYÁRTÁSI TECHNOLÓGIA KINEMATIKAI ELEMZÉSE

A Dudás Illés – féle általános matematikai modellt alapul véve [4, 5] a megmunkálás mozgásviszonyai a 3. ábrán szemléltetett koordináta rendszerek és egymáshoz viszonyított helyzetük segítségével írható le.

A megmunkálás kezdeti tengelytávja [3, 6]:

$$a_0 = \frac{d_{amax}}{2} - \frac{h_w}{\cos \delta_1} + \frac{d_{akorong}}{2} \quad (1)$$

A tengelytáv változás [3, 6] (3. ábra):

$$a_1 = a_0 - p_r \cdot \varphi_1 \quad (2)$$

Az emelkedési szög korrekció:

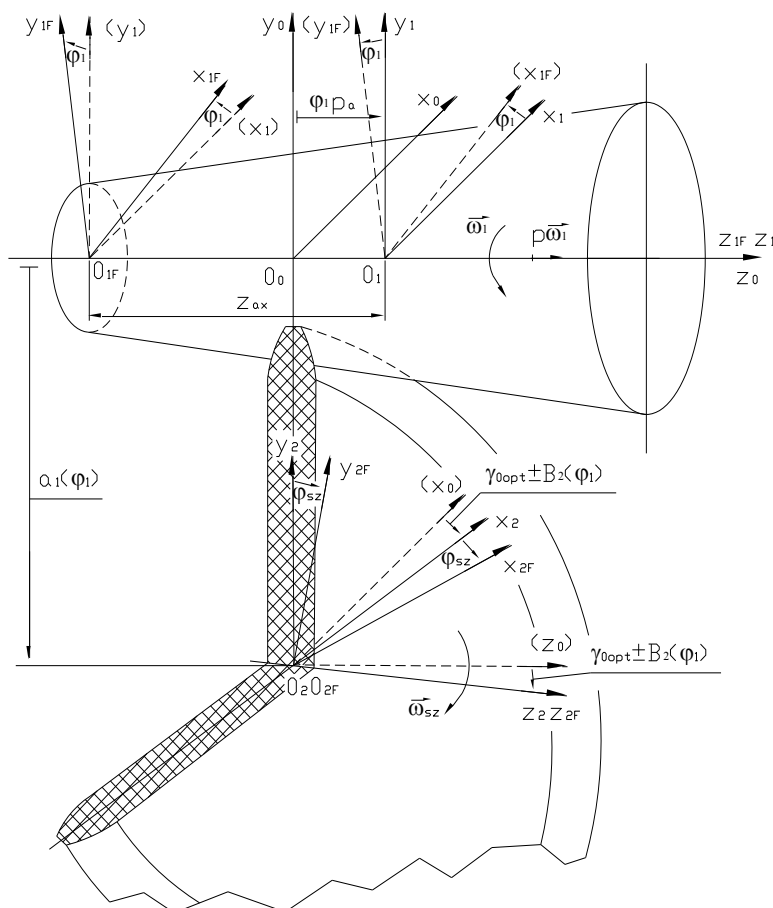
$$\gamma_0 = \gamma_{0opt} \pm B_2 = \arctan \left(\frac{H}{2 \cdot \pi \cdot \left(a_0 - p_r \cdot \varphi_1 + \frac{h_w - h_{a1}}{\cos \delta_1} - \frac{d_{akorong}}{2} \right)} \right) \quad (3)$$

- ha $\gamma_{0opt} > \gamma_0$, akkor:

$$-B_2 = \gamma_0 - \gamma_{0opt} \quad (4)$$

- ha $\gamma_{0opt} < \gamma_0$, akkor:

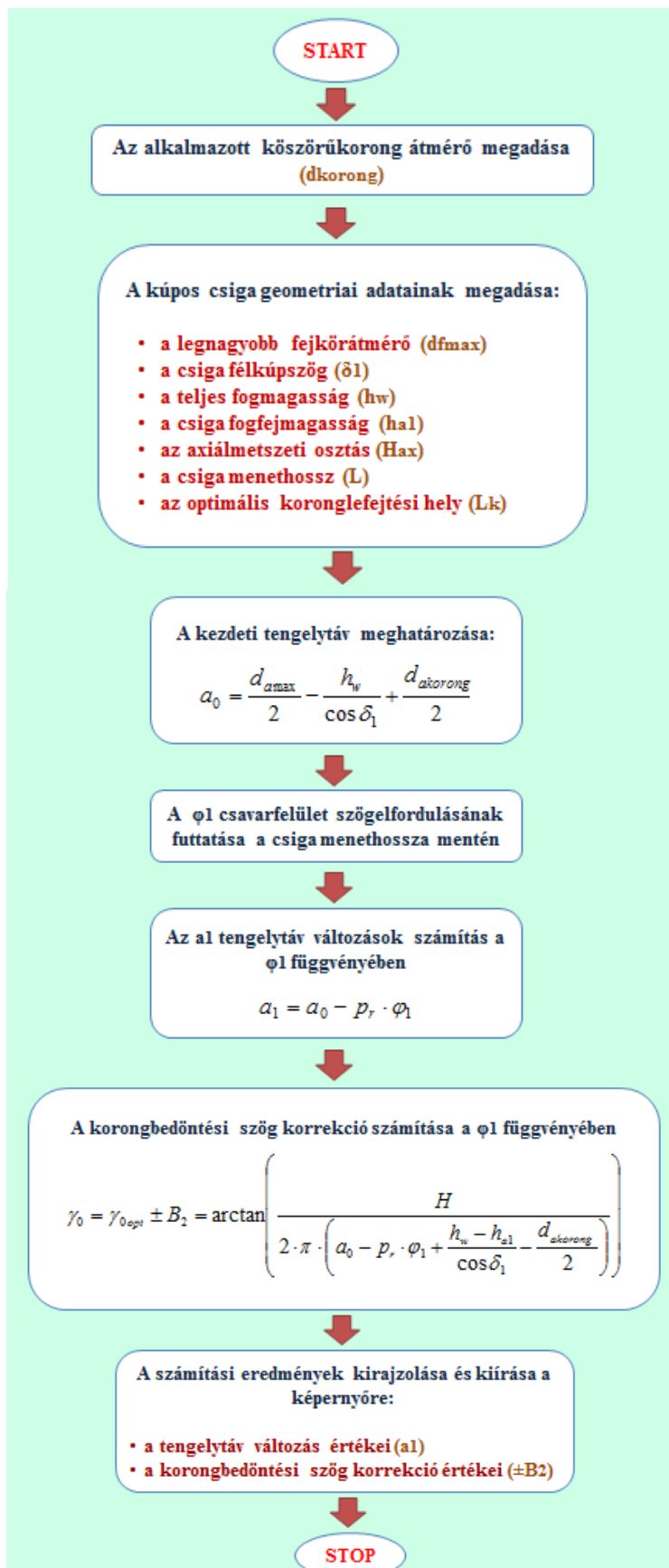
$$+B_2 = \gamma_0 - \gamma_{0opt} \quad (5)$$



3. ábra. A koordináta rendszerek kúpos csavarfelület megmunkálásánál [3, 6]

A kinematikai leképezés mátrixa [3, 6]:

$$P_{1k} = \begin{bmatrix} 0 & -(1 + \varphi_{szd} \cdot \cos \gamma_0) & \gamma_{0d} \cdot \cos \varphi_1 & -\cos \varphi_1 \cdot (p_r \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_{szd} \cdot \cos \gamma_0 + a_0 \cdot \varphi_{szd} \cdot \cos \gamma_0 - p_a \cdot \varphi_1 \cdot \gamma_{0d} + z_{ax} \cdot \gamma_{0d}) \\ & & + \varphi_{szd} \cdot \sin \varphi_1 \cdot \sin \gamma_0 & + \sin \varphi_1 \cdot (p_r - z_{ax} \cdot \varphi_{szd} \cdot \sin \gamma_0 + p_a \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_{szd} \cdot \sin \gamma_0) \\ 1 + \varphi_{szd} \cdot \cos \gamma_0 & 0 & \begin{pmatrix} \gamma_{0d} \cdot \sin \varphi_1 \\ -\varphi_{szd} \cdot \cos \varphi_1 \cdot \sin \gamma_0 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} \sin \varphi_1 \cdot (p_r \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_{szd} \cdot \cos \gamma_0 + a_0 \cdot \varphi_{szd} \cdot \cos \gamma_0 - p_a \cdot \varphi_1 \cdot \gamma_{0d} + z_{ax} \cdot \gamma_{0d}) \\ + \cos \varphi_1 \cdot (p_r - z_{ax} \cdot \varphi_{szd} \cdot \sin \gamma_0 + p_a \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_{szd} \cdot \sin \gamma_0) \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} \gamma_{0d} \cdot \cos \varphi_1 \\ + \varphi_{szd} \cdot \sin \varphi_1 \cdot \sin \gamma_0 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} \gamma_{0d} \cdot \sin \varphi_1 \\ -\varphi_{szd} \cdot \cos \varphi_1 \cdot \sin \gamma_0 \end{pmatrix} & 0 & -\sin \gamma_0 \cdot (a_0 \cdot \varphi_{szd} + p_r \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_{szd}) + p_a \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$



4. ábra. A készített számítógépes program folyamatábrája

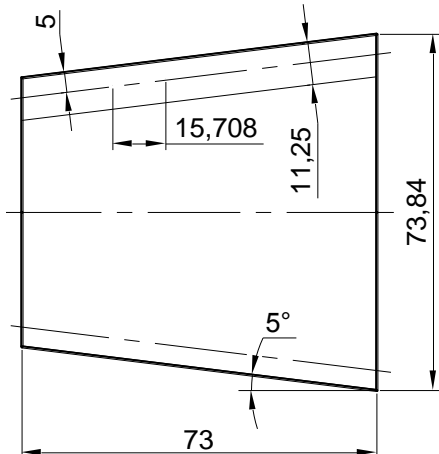
Az adott kúpos csiga kétparaméteres vektor – skalár $\vec{r}_{1F} = \vec{r}_{1F}(\eta, \vartheta)$ egyenlete alapján a csiga megmunkálásához szükséges köszörűkorong profilja a kettős burkolás elve alapján határozható meg [4, 7, 8]:

$$\left. \begin{aligned} \vec{n}_{1F} \cdot \vec{v}_{1F}^{(12)} &= 0 \\ \vec{r}_{1F} &= \vec{r}_{1F}(\eta, \vartheta) \\ \vec{r}_{2F} &= M_{2F,1F} \cdot \vec{r}_{1F} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

3. SZÁMÍTÁSI EREDMÉNYEK EGY KONKRÉT GEOMETRIA ESETÉRE

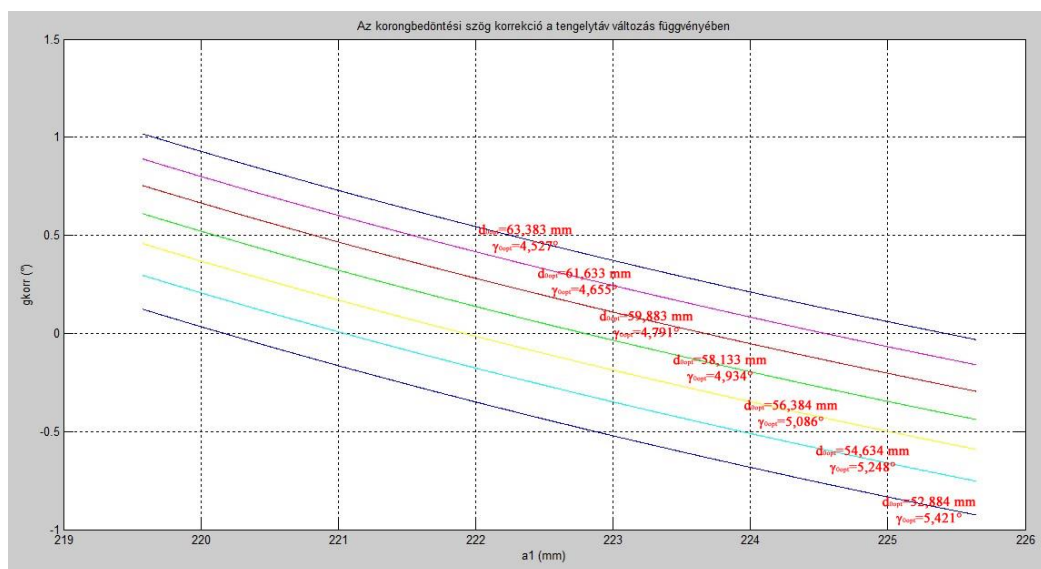
A kapott egyenletek alapján (1) - (7) számítógépes programot fejlesztettünk ki a tengelytáv változás és a korongbedöntési szög korrekció változás elemzésére (4. ábra).

Számításokat végeztünk egy konkrét kúpos csiga geometria esetére (5. ábra) [7]. Vizsgáljuk, hogy az optimális koronglefejtési hely változásával, hogyan változik a tengelytáv és a korongbedöntési szög korrekció változások.



Megnevezés	Jel	Méret
Bekezdések száma	Z_1	1
Axiálmetszeti modul	m_{ax}	5 mm
Tengelytáv	a	100 mm
Áttétel	i_{21}	41
Menetemelkedés iránya		jobb

5. ábra. A vizsgált kúpos csiga paraméterei



6. ábra. Diszkrét koronglefejtési helyekhez tartozó korongbedöntési szög korrekció és tengelytáv változás kapcsolata

1. táblázat: Számítási eredmények ($m_{ax}=5$ mm, $d_{akorong}=400$ mm)

1.) $d_{0opt}=52,884$ mm, $\gamma_{0opt}=5,421^\circ$			2.) $d_{0opt}=54,634$ mm, $\gamma_{0opt}=5,248^\circ$		
Szögelfordulás φ_1 [°]	Tengelytáv a_1 [mm]	Emelkedési szög korrekció B_2 [°]	Szögelfordulás φ_1 [°]	Tengelytáv a_1 [mm]	Emelkedési szög korrekció B_2 [°]
0	225,642	-0,925	0	225,642	-0,753
180	224,952	-0,826	180	224,952	-0,654
360	224,262	-0,723	360	224,262	-0,550
540	223,572	-0,615	540	223,572	-0,442
720	222,883	-0,502	720	222,883	-0,329
900	222,193	-0,383	900	222,193	-0,210
1080	221,503	-0,259	1080	221,503	-0,086
1260	220,813	-0,128	1260	220,813	0,044
1440	220,123	0,009	1440	220,123	0,181
1583,2	219,575	0,123	1583,2	219,575	0,296

3.) $d_{0opt}=56,384$ mm, $\gamma_{0opt}=5,086^\circ$			4.) $d_{0opt}=58,133$ mm, $\gamma_{0opt}=4,934^\circ$		
Szögelfordulás φ_1 [°]	Tengelytáv a_1 [mm]	Emelkedési szög korrekció B_2 [°]	Szögelfordulás φ_1 [°]	Tengelytáv a_1 [mm]	Emelkedési szög korrekció B_2 [°]
0	225,642	-0,590	0	225,642	-0,438
180	224,952	-0,492	180	224,952	-0,339
360	224,262	-0,388	360	224,262	-0,236
540	223,572	-0,280	540	223,572	-0,128
720	222,883	-0,167	720	222,883	-0,015
900	222,193	-0,048	900	222,193	0,103
1080	221,503	0,075	1080	221,503	0,227
1260	220,813	0,206	1260	220,813	0,358
1440	220,123	0,343	1440	220,123	0,496
1583,2	219,575	0,458	1583,2	219,575	0,610

5.) $d_{0opt}=59,883$ mm, $\gamma_{0opt}=4,791^\circ$			6.) $d_{0opt}=61,633$ mm, $\gamma_{0opt}=4,655^\circ$		
Szögelfordulás φ_1 [°]	Tengelytáv a_1 [mm]	Emelkedési szög korrekció B_2 [°]	Szögelfordulás φ_1 [°]	Tengelytáv a_1 [mm]	Emelkedési szög korrekció B_2 [°]
0	225,642	-0,295	0	225,642	-0,159
180	224,952	-0,196	180	224,952	-0,060
360	224,262	-0,092	360	224,262	0,042
540	223,572	0,015	540	223,572	0,150
720	222,883	0,128	720	222,883	0,263
900	222,193	0,246	900	222,193	0,382
1080	221,503	0,371	1080	221,503	0,506
1260	220,813	0,502	1260	220,813	0,637
1440	220,123	0,639	1440	220,123	0,775
1583,2	219,575	0,7542	1583,2	219,575	0,889

7.) $d_{0opt}=63,383$ mm, $\gamma_{0opt}=4,527^\circ$		
Szögelfordulás φ_1 [°]	Tengelytáv a_1 [mm]	Emelkedési szög korrekció B_2 [°]
0	225,642	-0,031
180	224,952	0,067
360	224,262	0,170
540	223,572	0,278
720	222,883	0,391
900	222,193	0,510
1080	221,503	0,634
1260	220,813	0,765
1440	220,123	0,903
1583,2	219,575	1,017

A 6. ábrán a tengelytáv változás és a korongbedöntési szög korrekció változása látható diszkrét koronglefejtési helyek esetén. A vizsgált geometriájú csigán 7 diszkrét koronglefejtési helyet vizsgáltunk (1. táblázat). Az optimális koronglefejtési helyekhez tartozó optimális átmérő növelésével a tengelytáv változás állandó, ugyanakkor a korongbedöntési szög korrekció értékek növekednek.

Az 1. táblázatban láthatóak a kapott számítási eredményeink a 7 diszkrét újraélezési szöghelyzetben.

ÖSSZEFOGLALÁS

A kúpos csavarfelület geometriájából adódóan a menethossz mentén folyamatosan változik az emelkedési szög értéke [4]. A változó emelkedési szög korrigálására korongbedöntési szög korrekciót alkalmazunk [3, 6].

Feltártuk a megmunkáláshoz szükséges fő paraméterek kapcsolatait (tengelytáv, korongbedöntési szög korrekció, osztókörtátmérő, fogfejmagasság, stb.).

Meghatároztuk a megmunkáláshoz szükséges optimális korongprofilokat. Vizsgáltuk a korongbedöntési szög korrekció és a tengelytáv változását diszkrét koronglefejtési helyek esetére.

Eredményül azt kaptuk, hogy egy konkrét geometria esetén az optimális koronglefejtési helyekhez tartozó optimális átmérő növelésével a tengelytáv változás állandó, ugyanakkor a korongbedöntési szög korrekció értékek növekednek.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BALAJTI ZS.:** *Kinematikai hajtópárok gyártásgeometriájának fejlesztése*, Ph.D. értekezés, Miskolc, Miskolci Egyetem, 2007., Doktori témavezető: Prof. Dr. Dudás Illés
- [2] **BÁNYAI, K., DUDÁS, I.:** *Analysis of the spiroid drivings having new production geometry*, Production Process and Systems, Miskolc, University Press, Volume 1, 2002, pp. 177-185., ISSN 1215-0851
- [3] **BODZÁS S.:** *Kúpos csiga-, tányérkerék- és szerszám felületek kapcsolódásának elemzése*, Ph.D. értekezés, Miskolci Egyetem, 2014., p. 154., Doktori témavezető: Prof. Dr. Dudás Illés, DOI 10.14750/ME.2014.006
- [4] **DUDÁS I.:** *Csigahajtások elmélete és gyártása*, Műszaki Kiadó, Budapest, 2007., ISBN 978-963-16-6047-0
- [5] **DUDÁS, I.:** *The extension of the general mathematical model developed for helical surfaces to the whole system of manufacturing technology and production geometry (ProMAT)*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Springer, ISSN 0268-3768 (Online), 2016. 01. 12. (Online), Volume 82, Number 1 – 4. (2016), (IF 1.458), DOI 10.1007/s00170-015-8233-5
- [6] **DUDÁS, I., BODZÁS, S.:** *The kinematical model for the geometrically appropriate production of cylindrical and conical helicoidal surfaces having unvaried lead*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Springer, ISSN 0268-3768 (Online), 2015. 04. 17. (Online), Volume 78, Number 1 – 4. (2015), (IF 1.458), DOI 10.1007/s00170-015-7088-0
- [7] **HEGYHÁTI, J.:** *Untersuchungen zur Anwendung von Spiroidgetrieben*. Dissertation, TU Dresden, 1988.
- [8] **LITVIN, F. L., FUENTES, A.:** *Gear Geometry and Applied Theory*, Cambridge University Press, 2004., ISBN 978 0 521 81517 8

AZ OEE MUTATÓ SZÁMÍTÁSA CNC VEZÉRLÉSŰ 5 TENGELYES MARÓGÉPRE

CALCULATION OF THE OEE FACTOR FOR CNC CONTROLLING MILLING MACHINE HAVING 5 AXES

BODZÁS Sándor¹, KRAKKÓ Béla²

¹Ph.D., főiskolai docens, bodzassandor@eng.unideb.hu

¹Debreceni Egyetem, Gépészmérnöki Tanszék, H-4028, Debrecen, Ótemető u. 2-4.

²ipari mérnök, bela.krakko@diehl.com

²Diehl Aircabin Hungary Kft., H-4300 Nyírbátor, Ipari utca 9.

Kivonat: A publikációban adott termelési mennyiségekhez meghatározzuk az OEE mutató értékét a Diehl Aircabin Hungary Kft.-nél működő CNC vezérlésű 5 tengelyes marógépre. A gyártás során különböző idővesztések vannak. A célunk meghatározni, hogy hány százalékát gyártja le a gép annak a termékmennyiségnek, amire képes lenne optimális esetben. A számításokat jelen és jövő állapotokra is elvégezzük. A számítások megkönnyítésére számítógépes programot fejlesztünk ki.

Kulcsszavak: OEE mutató, marógép, számítógépes program

Abstract: In this publication we determine the dimension of the OEE factor for given product quantities for a CNC controlling milling machine having 5 axes which is worked at the Diehl Aircabin Hungary Ltd. During production there are different-type lost times. Our objective is to determine how many per cent of the product quantities are produced by the machine for which it would be able in optimal case. The calculations will be done for the present and future conditions. A computer program will be developed for the facilitation of the calculations.

Keywords: OEE factor, milling machine, computer program

1. BEVEZETÉS

A Diehl Aircabin Hungary Kft. (Nyírbátor, Ipari utca 9.) a németországi Laupheim székhellyel rendelkező Diehl Aircabin GmbH első és egyetlen leányvállalata és anyavállalatán keresztül a Diehl Aerosystems tagja. Nyírbátorban jelenleg több mint 400 fő dolgozik a cégnél. A cél az 550 fős dolgozói létszám elérése a 2018-as évre.



a) Airbus A320 típusú Single Aisle



b) A330/340 típusú Long Range

1. ábra. Repülőgép típusok

A Diehl Aircabin Hungary Kft.-nél az ajtó-ajtókereteket, az oldalfal elemeket, a klímacsöveket a „Single Aisle” (rövidtávon közlekedő), illetve a „Long Range” (hosszú távon közlekedő) repülőgéptípusokhoz állítják elő (1. ábra). További terméktípus az izoláló csomag az Airbus repülőgépekhez.

Az alkalmazott eljárások, a termékek sokszínűsége és a repülőgép-gyártásban előírt szabványok és szabályozások miatt igen sok munkája van a cégnek minden nap. Folyamatosan változó, érdekes feladatokkal kerülnek szembe, melyek megoldásához és leküzdéséhez a multinacionális, biztos háttér és a nemzetközi csapat szakmai tudására, segítségére is számíthatnak. Így próbálnak fejlődni és napról napra jobbra válni.

2. A MAKA TÍPUSÚ 5 TENGELYES CNC VEZÉRLÉSŰ MARÓGÉP

A Diehl Aircabin Hungary Kft.-nél MAKA M7t típusú 5 tengelyes CNC vezérlésű marógép található (2. ábra).

A marógép befoglaló méretei: 5,2 m x 9,2 m x 6,2 m. Gyártási év: 2015. A CNC gép két fő részből áll [2]:

- a vezérlésből, ez elektronikus irányítóberendezés,
- a szerszámgéből, mely az irányítást tudja fogadni és a megmunkálást végzi.

A gépen végezhető gyártási műveletek: fúrás, marás és köszörülés [2, 3].



2. ábra. MAKA M7t típusú CNC marógép

A marógépnek két munkaasztala van. Ezáltal a gépen való megmunkálási művelet és a munkadarab befogás párhuzamosítható. Amíg az egyik asztalon a megmunkálás történik addig a másik asztalon a másik munkadarab rögzítése lehetséges. Ha nagyobb méretű munkadarab megmunkálását akarjuk, akkor a két munkaasztal egyesíthető (3. ábra) [1].

A forgószerszámú CNC gép egy szerszámhellyel rendelkezik, mivel a főorsóba csak egy szerszám fogható be. Ha több szerszámot akarunk használni, akkor az automatikus szerszámváltóval lehetséges a szerszámok váltása és a 12 szerszám férőhelyes szerszám tárral lehetséges több szerszámot is rögzíteni (4. ábra) [1, 2].



3. ábra. Szerszám rögzítése a gép két munkaasztalán



4. ábra. A főorsó és a 12 férőhelyes szerszámtár

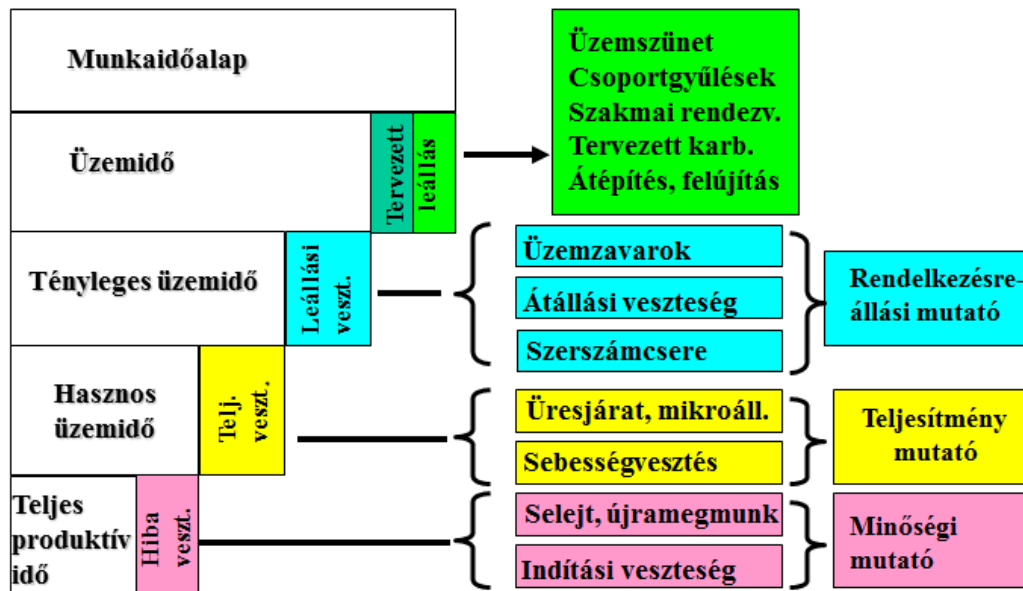
3. AZ OEE MUTATÓ SZÁMÍTÁSA

Az OEE (Overall Equipment Efficiency) érték megmutatja, hogy hány százalékát termeli meg egy gép annak a termékmennyiségnek, amire képes lenne optimális esetben [4, 5].

Az OEE mutatót három tényező képezi [5]:

- **A rendelkezésre állási mutató (A)** azokra az időveszteségekre utal, amikor a berendezés termelhetne, de valamilyen oknál fogva mégis megáll. A tényezőt befolyásoló veszteségek: üzemzavar, átállási idő és szerszámcsere ideje.
- **A teljesítménymutató (P)** azokat a veszteségeket foglalja magába, amikor a gép üzemel, de egyáltalán nem, vagy nem megfelelő mennyiségben termel. A tényezőt befolyásoló veszteségforrások: mikroleállások, sebességvesztés.
- **Minőségi mutató (Q):** a berendezés működik, termel, de a termék mégis leadhatatlan, mert a minősége nem megfelelő. A tényezőt befolyásoló veszteségforrások: minőségvesztés, indítási veszteség.

A gyakorlatban az OEE számítás előtt célszerű egy számítási módszertanban megállapodni és azt követni. Kisebb baj az, ha az OEE-t nem a TPM elméletnek tökéletesen megfelelő módon kerül számolásra, mint a következtetlenség. Ennek oka, hogy az OEE szám alapján soha nem a jelen helyzet a fontos, hanem az hogy milyen irányba tart a vállalat (5. és 6. ábra) [5].



5. ábra. Az OEE számítás elvi háttere



6. ábra. Az adatgyűjtés fontossága az OEE mutató meghatározásához [4]

A Diehl Aircabin Hungary Kft.-nél évente számítják az OEE mutató értékét a MAKA típusú CNC marógépre. A gyártott elemek a marógépen az oldalfal és az ajtó, ajtókeret [1]. A számításhoz a következő adatok szükségesek:

- gyártási darabszám;
- ütemidő;
- utómunkált termékek száma;
- selejt termékek száma;
- termelési idő;
- tervezetlen leállási idő.

Az OEE mutató számításának lépései az alábbiak [4, 5]:

$$\text{Összmenyiség} = \text{Gyártási darabszám} + \text{Utómunkált termékek száma} + \text{Selejt termékek száma} \quad (1)$$

$$\text{Rendelkezésre állási mutató (A)} = (\text{Termelési idő} - \text{Tervezetlen leállási idő}) / \text{Termelési idő} \quad (2)$$

$$\text{Teljesítmény mutató (P)} = (\text{Összmenyiség} \times \text{Ütemidő}) / \text{Termelési idő} \quad (3)$$

$$\text{Minőség mutató (Q)} = \text{Gyártási darabszám} / \text{Összmenyiség} \quad (4)$$

$$\text{OEE} = A \cdot P \cdot Q \quad (5)$$

A 2015. évre (jelen állapot) vonatkozó rendelkezésre álló adatok alapján és az (1) - (5) összefüggések felhasználásával kiszámoltuk az OEE mutató értékét, melyre 47 % -ot kaptunk. Tehát a 47% százalékát termeli meg a MAKÁ típusú CNC marógép annak a termékmennyiségnek, amire képes lenne optimális esetben [1].

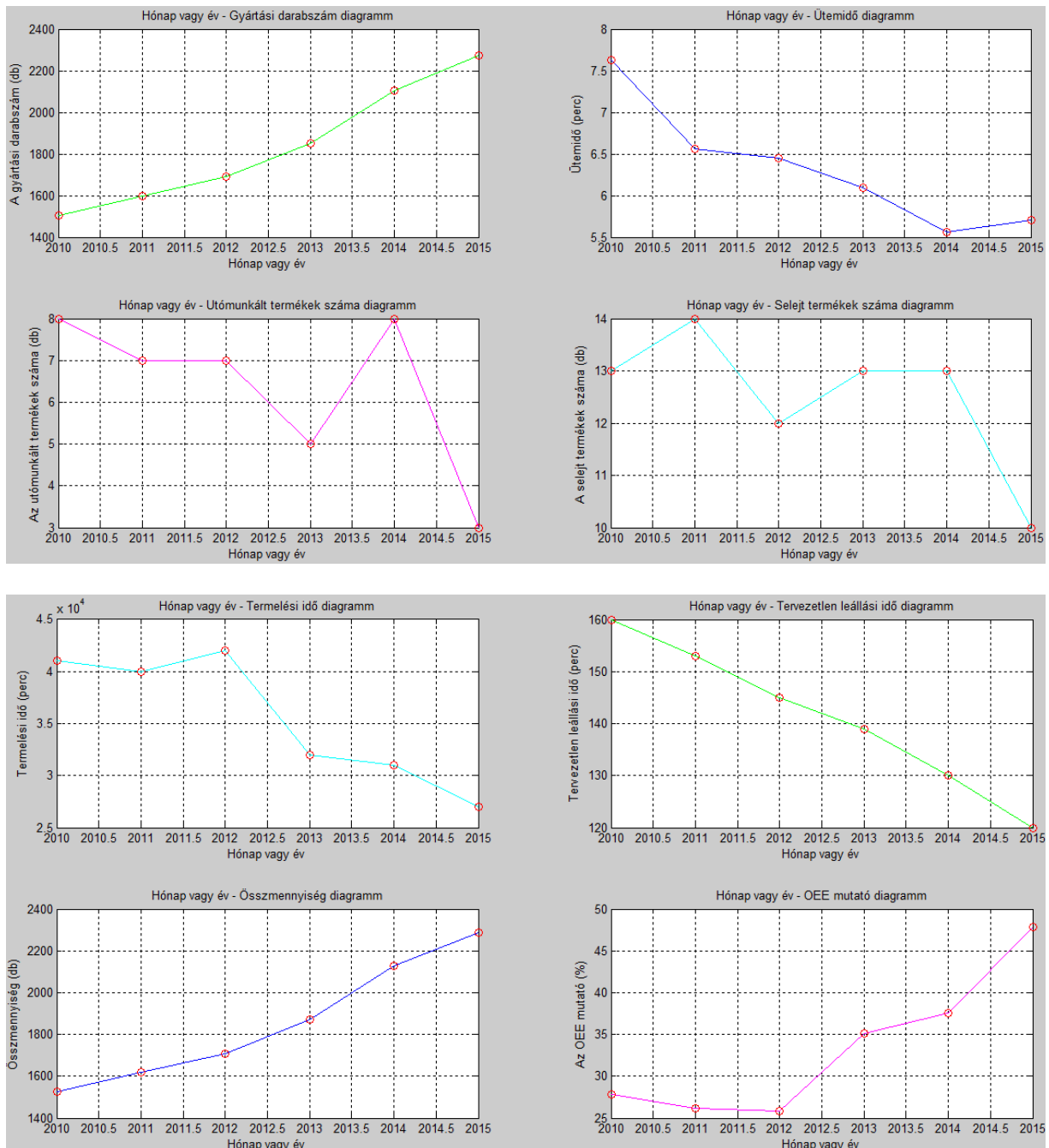
A 2016. évre (jövő állapot) vonatkozóan a Diehl Aircabin Hungary Kft.-nél a vevői igények, a gyártott termékek száma és bonyolultsága folyamatosan növekszik.

A rendelkezésre álló adatok alapján és az (1) - (5) összefüggések felhasználásával kiszámoltuk az OEE mutató értékét, melyre 159,3 % -ot kaptunk. A kapott OEE mutató 100 % felett van, ebből adódóan ekkora termelési volumen esetén egy MAKÁ típusú CNC marógép kevés a gyártáshoz. Ezért a gyártáshoz két marógép szükséges [1].

4. SZÁMÍTÓGÉPES PROGRAM KÉSZÍTÉS AZ OEE MUTATÓ SZÁMÍTÁSÁRA

Az OEE mutató gyors meghatározására számítógépes programot készítettünk. Cél a cég munkájának elősegítése, mert a program segítségével akár éves, akár hónapos bontásban lehet számítani az OEE mutatók értékeit. A program bemenő adatai az alábbiak [1]:

1. Meg kell adni, hogy hány hónapra vagy évre kérem a számítás elvégzését.
2. Meg kell adni, hogy melyik hónapokra vagy évekre végzem a számítást.
3. Meg kell adni a gyártási darabszámot.
4. Meg kell adni az ütemidőt percben kifejezve.
5. Meg kell adni az utómunkált termékek számát.
6. Meg kell adni a selejt termékek számát.
7. Meg kell adni a termelési időt percben kifejezve.
8. Meg kell adni a tervezetlen leállási időt percben kifejezve.



7. ábra. A készített számítógépes program kimeneti függvényei

Mindezek után a program az alábbi értékeket számolja ki, írja ki a kijelzőre és elmenti külön fájlba [1]:

- Összmennyiség;
- Rendelésre állási mutató;
- Teljesítménymutató;
- Minőség mutató;
- OEE mutató;
- OEE mutató %-ban kifejezve;

- A gyártáshoz szükséges gépek száma.

A program 8 függvényt ábrázol, melyek az alábbiak (7. ábra) [1]:

- Hónap vagy év – gyártási darabszám;
- Hónap vagy év - Ütemidő;
- Hónap vagy év - Utómunkált termékek száma;
- Hónap vagy év - Selejt termékek száma;
- Hónap vagy év - Termelési idő;
- Hónap vagy év - Tervezetlen leállási idő;
- Hónap vagy év – Összmenyiség;
- Hónap vagy év - OEE mutató diagram.

ÖSSZEFOGLALÁS

A Diehl Aircabin Hungary Kft.-nél található MAKÁ típusú CNC vezérlésű 5 tengelyes marógépre adott termelési volumenhez meghatároztuk az OEE mutató értékét a 2015. és a 2016. évre.

Eredményül azt kaptuk, hogy a 2015. évben a gép 47 % - ban van kihasználva. Ezzel szemben a 2016. évre végzett számításra azt kaptuk, hogy két CNC marógép szükséges a tervezett termékmennyiség előállításához.

Az elkészített számítógépes program alkalmazásával könnyen és gyorsan számítható az OEE mutató értéke tetszőleges géptípusra.

Lehetőség van beállítani a vizsgálandó évek vagy hónapok számát, melyekhez tartozó OEE mutató értékeket illetve egyéb gyártási adatokat (ütemidő, utómunkált termékek száma, termelési idő, stb.) szeretnénk meghatározni és vizsgálni.

A program kimenő adatként megadja az OEE mutató értékét és a termelési mennyiséghez szükséges gépek számát.

Továbbá a program 8 féle függvényt ábrázol (hónap vagy év – gyártási darabszám, hónap vagy év – termelési idő, stb.), melyek segítségével havi vagy éves bontásokban elemezhetők a gyártási adatok.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BODZÁS S:** *Gyártástervezés MAKÁ típusú CNC vezérlésű 5 tengelyes marógépre, szakdolgozat*, LEAN szakmérnöki szak, Debreceni Egyetem, Debrecen, 2016, p. 67.
- [2] **BERTA M.:** *CNC szerszámgépek szerszámrendszerei*, Nyíregyházi Főiskola Könyvkiadó, Nyíregyháza, p. 155, ISBN 978 615 5545 03 0
- [3] **DUDÁS I.:** *Gépgyártástechnológia I., A gyártástechnológia alapjai*, 2. kiadás, Műszaki Könyvkiadó Kft., 2011, Budapest, p. 584, ISBN 963-16-4030-2
- [4] **MÁTRAI N.:** *Lean Menedzsment II., Total Productive Maintenance előadásanyag*, Debreceni Egyetem, Debrecen, 2016
- [5] **PÉCZELY GY., PÉCZELY CS., PÉCZELI GY.:** *Lean 3, Termelékenységfejlesztés egységes rendszerben*, A. A. Stádium Diagnosztikai és Menedzsment Kft., Budapest, 2009, p. 690, ISBN 978-963-08-3163-5

WIFI RSSI SZŰRŐ METÓDUSOK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

COMPARISON OF WIFI RSSI FILTERING METHODS

BOGDÁNDY Bence¹, TÓTH Zsolt²

¹hallgató, bogdandy@iit.uni-miskolc.hu
¹Miskolci Egyetem

²adjunktus, tothzs@iit.uni-miskolc.hu
²Miskolci Egyetem

Kivonat: A cikk két időablakos algoritmus hatásait vizsgálja WiFi RSSI idősorokon. A szűrők két paramétertől, a memória méretétől és a threshold küszöb értéktől, függenek. Ezeket a paramétereket a felhasználó állíthatja be. A jelen munka nem tér ki a paraméterek optimalizálására. A vizsgált módszerek összehasonlításának alapja a szűrt adatsor szórása és a kiugró értékek száma volt. Az első módszer konstans threshold értéket használ, amíg a második módszer dinamikusan határozza meg a threshold-ot. Ez egy nagy különbséget teremt a két szűrő között, hisz az egyik általános, míg a másik precíz használatra jobb.

Kulcsszavak: szűrő algoritmus, WiFi RSSI

Abstract: This paper investigates the effects of two time windowing filtering algorithms on WiFi RSSI time series. The filters depend on two parameters, the values of the memory size and threshold. These parameters are set by the user. This paper does not talk about the optimization of these values. The comparison of the tested methods are based on the deviation, and the number of the outlying values. The first method assumes a constant threshold value, while the second method decides on a threshold dynamically. This difference makes the second algorithm better suited for general use, and the first one for precise usage.

Keywords: filtering algorithms, WiFi RSSI

1. BEVEZETÉS

A beltéri helyzetmeghatározás sok irányból megközelíthető és számos technológia használható a pontos pozicionálás eléréséhez. A globális helyzetmeghatározó rendszerekkel ellentétben a beltéri rendszereknél nem alakult ki szabványos technológia, így sok megoldás létezik, aminek egy része drága hardware eszközöket igényel. Léteznek rendszerek melyek már létező architektúrákon működnek, ilyen például az RFID, Bluetooth és WiFi RSSI. A WiFi alapú megoldások népszerűek alacsony költségük, széles körű elterjedtségük és többcélú felhasználhatóságuk miatt a beltéri helyzetmeghatározási rendszerek fejlesztése során.

A WLAN szabvány az egyik legelterjedtebb kommunikációs technológia napjainkban. Kommunikációra tervezett, azonban beltéri helyzetmeghatározó rendszerként is megállja a helyét. Az első RSSI alapú rendszer a RADAR volt, amely fingerprinting módszert használva tudott pozicionálni. A HORUS rendszer már idősorok alapján működött, így nagyobb pontosságot tudott elérni mint elődje. A HORUS már alkalmazott egy zajszűrő algoritmust ami növelte a rendszer pontosságát. A kutatás témája a különböző előfeldolgozó szűrőalgoritmusok használatának hatásai a beltéri pozicionálórendszer pontosságára.

Az adathalmazok aktív zajszűrése, és kiugró adatok észlelése aktív kutatási téma napjainkban. Olyan algoritmusok, melyek megbízhatóvá teszik a mért adatokat, létfontosságúak lehetnek számos területen, például gazdaságban, piaci változások figyelése során, felhasználói viselkedések ellenőrzése során vagy például egyedi jelenségek feltárására.

2. SZŰRŐ ALGORITMUSOK

A szűrőalgoritmusok implementálása során az alábbi modellt használtuk. Tekintsük az x változót a mért adatoknak. Az m változó definiálja a memória méretét azaz az időablak hosszát, a t változó pedig a küszöbindex értékét, amit túllépve érvényesül a szűrés. A szűrés eredménye képpen előállt adatsort az y jelöli. Az első m elemet a h függvény számítja ki, majd a sor többi elemét az f függvény alapján értékeli a metódus. A h függvény egyszerű átlagoló, míg az f függvény a t küszöbindex alapján vagy az x_i elemet veszi, vagy átlagolja az előző m darab x adatot.

2.1 Matematikai modell

A matematikai leírás a következő:

$$y = (h(x, 1, m), h(x, 2, m) \dots h(x, m, m), f(x, m + 1, m) \dots f(x, n, m)) \quad (1)$$

ahol:

$$h(x, i, m) = \frac{\left(\sum_{j=i}^{i+m-1} x_j \right)}{m} \quad (2)$$

$$f(x, i, m) = \begin{cases} x_i & \text{if } |x_i - x_{i-1}| < t \\ \overline{(x_i \dots x_{i-m})} & \text{if } |x_i - x_{i-1}| > t \end{cases} \quad (3)$$

A második szűrőnél a küszöb az alábbi módon számolódik:

$$t = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=i}^{i-m} (x_j - \bar{x})^2} \quad (4)$$

2.2 Implementáció

A szűrőalgoritmusok implementációja R nyelven történt. Az elemzést valós adathalmazon végeztük. Különböző mennyiségű zajjal ellátott adathalmazokon futtatott szimulációk lehetővé teszik a metódusok részletes elemzését és összehasonlítását.

Az statikus küszöbindexel ellátott algoritmus egy memory size és threshold alapján átlagolással számolja az értékeket. Az algoritmusban a két változó manuális megadást igényel. A két változó megválasztása befolyásolja az algoritmus számítási komplexitását és hatékonyságát.

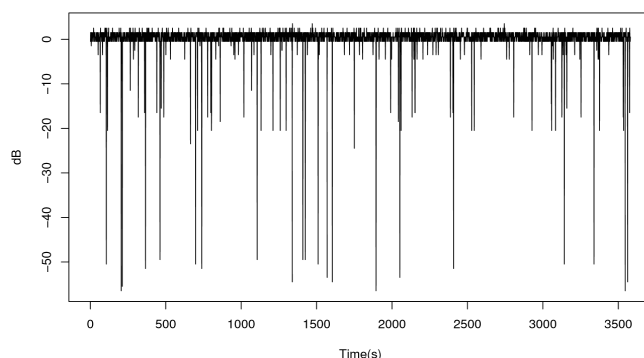
A dinamikus threshold alapú átlagoló algoritmus érdemi különbsége az elsőhöz képest az, hogy dinamikusan számítja a threshold értékét. Mivel az a statikus threshold előre megválasztása előzetes ismereteket és méréseket igényel, és hatással van a metódus

hatékonyságára. Ezért célszerű lehet a threshold meghatározását az algoritmusra bízni, így a threshold dinamikusan kiszámítható. Ezzel szélesebb körben felhasználhatóvá válik a szűrő.

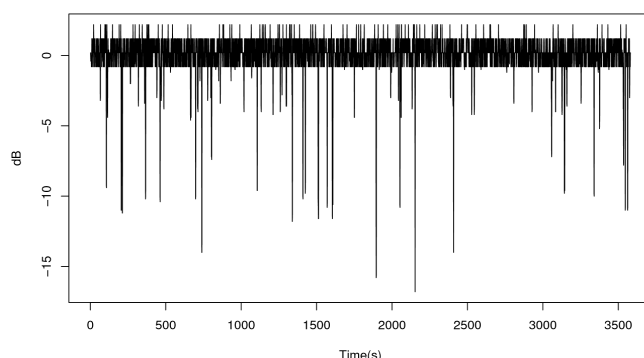
3. Teszt eredmények

A kutatás a Miskolci Egyetem Informatika Tanszék beltéri helyzet meghatározó szoftveréhez, az ILONA-hoz köthető. Az ILONA egy hibrid beltéri pozicionáló rendszer, ami többet között WiFi RSSI alapján működik. A szűrőalgoritmusok az ILONA-ra implementálva tesztelhetők, és elemezhető hatásuk. Az adatahalmazt az Informatika tanszéken lettek rögzítve a LinSSID program segítségével. Az adatahalmaz több mérés során lett rögzítve, különböző időben, és környezeti tényezőkkel a pontos elemzés érdekében.

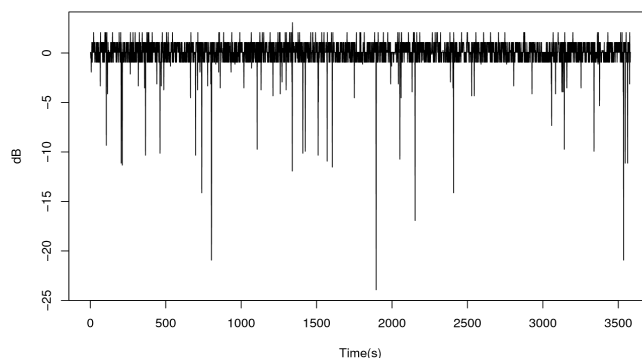
Az alábbi ábrákon jól látható a különbség az adatahalmaz és a szűrt értékek között. Az 1. ábra a szűretlen adatahalmazt mutatja, amin jól látszanak a kiugró adatok. A 2. ábrán jól látszik a statikus thresholdú szűrő hatása az adatahalmazra. A 3. ábrán a dinamikusan generált thresholdú szűrő látható. Látható, hogy a szűrési módszerek a mért adatsorhoz képest stabilabb eredményt adnak.



1. ábra. Mért adatsort



2. ábra. Szűrés eredménye statikus threshold-dal



3. ábra. Szűrés eredménye dinamikus threshold-dal

A statikus alapú szűrő 5-ös küszöbvel, és 5-ös memory size-al lettek tesztelve. A módszer a WiFi RSSI értékét 1-16dB közé képes redukálni, míg a dinamikusban előfordulnak az erős kiugrások. Mindkét szűrő nagy mértékben redukálja a zaj mértékét, potenciálisan növelve a pozicionális pontosságát. A kapott adatsorokról kapott statisztikai adatokat az 1. Táblázat tartalmazza.

Szűretlen értékek	Küszöb alapú átlagoló	Dinamikus küszöb alapú
Min. :-87.00	Min. :-47.0	Min. :-54.00
1st Qu.:-31.00	1st Qu.:-31.0	1st Qu.:-31.00
Median :-30.00	Median :-30.0	Median :-30.00
Mean :-30.53	Mean :-30.2	Mean :-30.07
3rd Qu.:-29.00	3rd Qu.:-29.0	3rd Qu.:-29.00
Max. :-27.00	Max. :-28.0	Max. :-27.00

1. Táblázat. Mérési eredmények összefoglalása

ÖSSZEFOGLALÁS

A szűrőalgoritmusok és kiugró adatok kezelése körül folytatott vizsgálatok fontos szerepet játszanak a jelenkori kutatásokban. Ezek a kutatások több tudományágban is felhasználhatóak. Az előfeldolgozó szűrőalgoritmusok nagymértékben javítják az értékhalmozatot, a zaj kiemelésével, vagy eltávolításával az eredeti adathalmazból. A HORUS rendszerben létező algoritmus alapján a két új, időablakkal működő megoldás elemzése és szimulálása során egyértelműen kimutatható a zaj csökkenése. A két algoritmus a felhasználó által megadott paraméterek alapján működik. Ezen paraméterek megválasztása nagymértékben befolyásolja a metódusok hatékonyságát. A paramétereknek a hatékonyságra való hatásának vizsgálata nem volt része a munkának. A második algoritmus esetében csak 1 paramétert kell megadnia a felhasználónak, a másikat a metódus generálja, ami megkönnyíti a használatot. A szűrőket az ILONA Android kliensre lesz implementálva, és tesztelve valós környezetben.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **PARAMVIR BAH**L AND **VENKATA N PADMANABHAN**. *Radar: An in-building rf-based user location and tracking system*. In INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE, volume 2, pages 775–784. Ieee, 2000.
- [2] **ARTUR BANIUKEVIC**, **CHRISTIAN S JENSEN**, AND **HUA LU**. *Hybrid indoor positioning with wifi and bluetooth: Architecture and performance*. In Mobile Data Management (MDM), 2013 IEEE 14th International Conference on, volume 1, pages 207–216. IEEE, 2013.
- [3] **RUDOLPH EMIL KALMAN**. *A new approach to linear filtering and prediction problems*. Journal of basic Engineering, 82(1):35–45, 1960.
- [4] **MOUSTAFA YOUSSEF** AND **ASHOK AGRAWALA**. *The horus wlan location determination system*. In Proceedings of the 3rd international conference on Mobile systems, applications, and services, pages 205–218. ACM, 2005.

TELEPÜLÉSI SZILÁRD HULLADÉK MARADÉK FRAKCIÓJÁNAK ÉS A SZENNYVÍZISZAP EGYÜTTES HASZNOSÍTÁSA BIOGÁZ ELŐÁLLÍTÁSÁVAL

COMBINED UTILIZATION OF BIOFRACTION OF MUNICIPAL SOLID WASTE AND SEWAGE SLUDGE FOR BIOGAS PRODUCTION

BOKÁNYI Ljudmilla¹, VARGA Terézia Erzsébet² és FEKETE-SOLTÉSZ Beáta³

¹Ph.D., egyetemi docens, Bioeljárás-technikai és Reakció-technikai Intézeti Tanszék vezetője,
ejtblj@uni-miskolc.hu

¹Miskolci Egyetem Nyersanyag-előkészítési és Környezeti Eljárás-technikai Intézet

²tudományos munkatárs

²Miskolci Egyetem Nyersanyag-előkészítési és Környezeti Eljárás-technikai Intézet

³doktorandusz, ejtsobe@uni-miskolc.hu

³Miskolci Egyetem Nyersanyag-előkészítési és Környezeti Eljárás-technikai Intézet

Kivonat: Jelen tanulmány arról a kutatásunkról számol be, amely célja a biogáz-üzem tervezésének megalapozása a Felső-Bácskai Hulladékgazdálkodási Kft. vaskúti telephelyéről származó zöld hulladék, a települési szilárd hulladék maradék frakciója, valamint a szennyvíziszap vegyes szubsztrátra volt. A szubsztrátok fizikai-kémiai tulajdonságainak meghatározását követően a minták egyenkénti biogáz termelő képességének vizsgálatára került sor a statikus laboratóriumi berendezésben termofil hőmérsékleti körülmények között. A folyamatos keverésű reaktorban termofil és mezofil hőmérsékleti tartományban a vegyes szubsztrát gázleadását vizsgáltuk. A folyamatos keverésű reaktorban végzett vizsgálatok során a képződő biogáz összetétele is meghatározásra került, metán és széndioxid vonatkozásában.

A laboratóriumi kevert reaktoros vizsgálatok eredményei alapján megterveztük egy termofil és egy mezofil száraz fermentálás technológiáját.

Kulcsszavak: biogáz, vegyes szubsztrát, biogáz-hozam.

Abstract: The paper deals with the research results on biogas production from polysubstrate (green waste, biofraction of municipal solid waste, as well as biologically treated municipal sewage sludge) in order to establish a technology for Felső-Bácska Waste Management Ltd. Physical-chemical characteristics of the monosubstrates, as well as their biogas production capacity under thermophilic conditions were determined in the laboratory. The polysubstrate gas forming capacity was tested under thermophilic and mesophilic conditions in a continuously stirred reactor. The quality of the obtained gas was also measured. Based on the results the biogas plant was designed.

Keywords: biogas, polysubstrate, biogas production.

1. BEVEZETÉS

A keletkező hulladékok energetikai hasznosításának, a megújuló energia előállításának szükségessége a biogázosítási eljárást egyre inkább előtérbe helyezi. A biogáz - a földgázhoz hasonlóan - sokrétű hasznosítási lehetőséget nyújt, többek között a mezőgazdasági üzemek és az állattartó-, kommunális hulladékhasznosító telepek és a vonzáskörzetükben lévő települések energiaellátásához jelentősen hozzájárulhat.

Az első anaerob eljárásokat csak szennyvíziszapok kezelésére használták, manapság azonban az anaerob rendszerek sikeresen alkalmazhatók ipari, mezőgazdasági és települési

biohulladékok, ill ezek keverékének (vegyes szubsztrát) kezelésére. Ugyanakkor, a vegyes szubsztrát optimalása még mindig nem teljesen tisztázott kérdéscsoport, amivel érdemes foglalkozni. A kutatásunk célja tehát a vegyes szubsztrát külön-külön és együttes viselkedésének a biogáz termelődése alatt; javaslat és technológia kidolgozása a biogáz üzemre.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1 Minta előkészítése és a monoszubsztrátok fizikai és kémiai paramétere

Megvizsgáltuk a biogáz előállítás lehetőségét laboratóriumi körülmények között a Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet Bioeljárástechnikai Laboratóriumában.

A Felső- Bácskai Hulladékgazdálkodási Kft. két sorozat zöld hulladékot, szennyvíziszapotés települési hulladék finom frakcióját (<50 mm) szállított. A beérkezőhulladék mintákat először homogenizálásnak, minta – kisebbítésnek, végül aprításnak (függőleges vágómalom 10 mm-es szitaráccsal) vetettük alá. A megfelelő előkészítés után a minták fizikai (szárazanyag tartalom, hamutartalom) és kémiai (KOI, TOC, összes N,) paramétere kerültek meghatározásra, majd megvizsgáltuk a minták anaerob bonthatóságát laboratóriumi statikus berendezésben, valamint folyamatos keverésű reaktorban is.

A minták fizikai és kémiai tulajdonságait a következő, 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat: A monoszubsztrátok fizikai és kémiai paramétere

<i>Vizsgált komponensek</i>	Zöld H./I.	Zöld H. /II.	TSZH /I	TSZH /II.	Szennyví ziszap/I.	Szennyví ziszap/II.
<i>szárazanyag tartalom (%)</i>	66,44	69,02	58,99	56,34	20,05	19,88
<i>hamu tartalom (%)</i>	34,53	42,2	40,94	56,6	21,41	29,15
<i>KOI (g/kg sz.a.)</i>	705,90	739,85	600,90	417,85	963,60	1143,95
<i>TOC (g/kg sz.a.)</i>	201,90	207,85	194	153,65	159,10	323,3
<i>Összes nitrogén (g/kg sz.a.)</i>	8,98	11	11,05	10,20	49,42	33,95
<i>KOI/TOC</i>	3,50	3,55	3,10	2,71	6,06	3,54

Az elemzési adatokat összehasonlítva megfigyelhető, hogy a fizikai- és kémiai tulajdonságok a különböző típusú hulladékoknál eltérőek voltak, ugyanakkor néhány esetben jelentős eltérés volt látható hasonló kategóriájú hulladék minták között is. Például a szennyvíziszap és a települési hulladék minták kémiai tulajdonságai (KOI: 964 g/kg sz.a. és

1144g/kg_{sz.a.}, illetve 601g/kg_{sz.a.} és 418g/kg_{sz.a.}; TOC: 194 és 154, ill.159 g/kg_{sz.a.} és 323g/kg_{sz.a.}). Ugyanis, a települési hulladék első mintasorozat mintái (TSZH/I) a nyers települési szilárd hulladék finom frakciója volt, míg a második mintasorozattal érkező mintákat (TSZH/II) az aerob stabilizáláson átesett települési hulladék finom frakciója képezte.



1. ábra: Az első mintasorozat (balra) és a második mintasorozat (jobbra) települési szilárd hulladék finom frakciója (Dr. Bokányi L. és Varga T., 2011)

A zöld hulladék minták mindkét mintasorozat esetében hasonló fizikai- és kémiai eredményeket mutatott. A kismértékű különbségek a két minta összetételéből adódhatnak, mivel az első sorozattal beérkező zöld hulladék főként falevelekből állt, míg a második sorozatnál jellemzően fa-apriték volt.

2.2 Kísérletek statikus laboratóriumi berendezésben

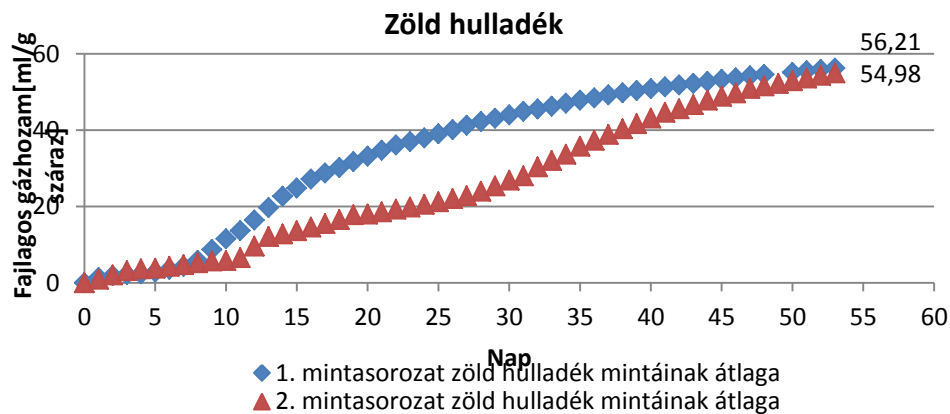
A különböző összetételű hulladékokat az előkészítés után biogáz vizsgálatoknak vetettük alá kétféle laboratóriumi berendezésben. Első esetben statikus berendezésben (2. ábra), ahol a mintákat külön-külön vizsgáltuk. Reaktorként Erlenmeyer lombikokat használtunk, melyeket gázbiztosan csatlakoztattunk a gázmennyiség mérő egységhez. A reaktorokat 54 °C-os vízfürdőbe helyeztük, hogy az anaerob lebontást termofil hőmérsékleti tartományban mérhessük, továbbá a lombikokat alufóliával betekertük a mikroorganizmusok számára szükséges sötét körülmények biztosítása érdekében.



2. ábra: A monozubsztrátokra alkalmazott statikus berendezés

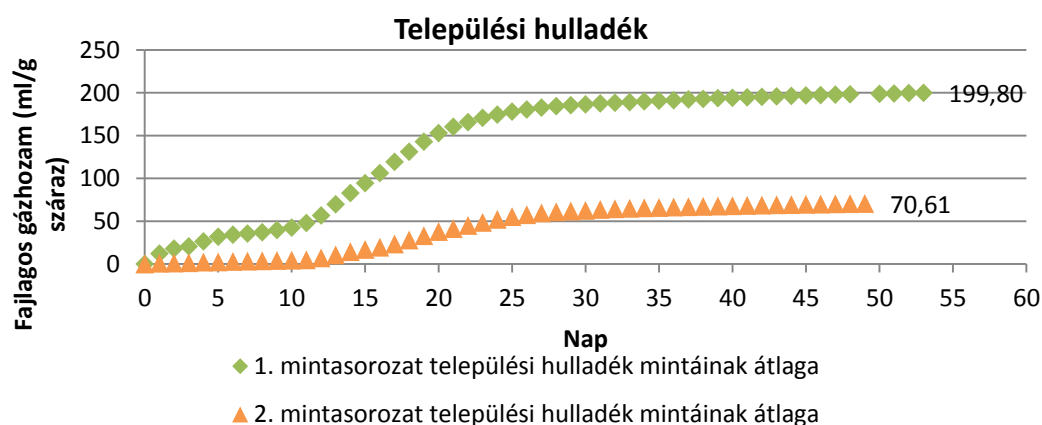
A kísérlet során a gáz kiszorította a gázmérő egységekből a kénsavas telített sóoldatot és így a képződő biogáz mennyiségét naponta meghatároztuk. Minden esetben párhuzamos méréseket végeztünk.

A továbbiakban az átlagolt értékek kerülnek bemutatásra. A szárazanyagra vonatkoztatott kumulált fajlagos gáztermelődési kinetikát a 3.; 4. és 5. ábra szemléltetik.



3. ábra: Kumulált fajlagos biogáz hozam szárazanyag tartalomra vonatkoztatva az idő függvényében a zöld hulladék esetében

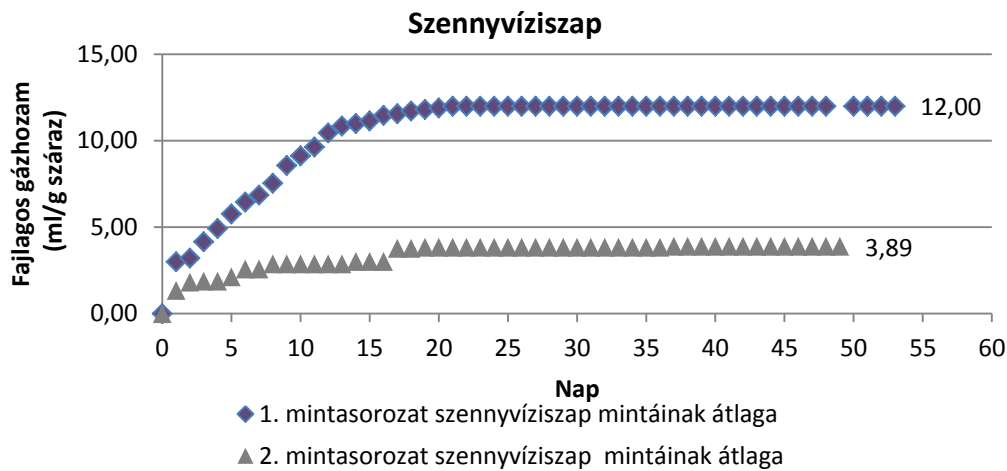
A zöld hulladék minták gázhozama, ahogy azt a 3. diagram is mutatja, mindkét mintasorozatban hasonló módon alakult. A zöld hulladék minták esetén a fizikai- és kémiai paraméterek is közel azonos eredményeket mutatott. Eltérés csupán a gázképződés kinetikájában jelentkezett. Az első mintánál a 10. nap környékén látható inflexiós ponttól indult be a gázképződés jelentősebben, míg a másodikként beérkezett zöld hulladék esetében a gázképződés a 30. napig lassabb növekedést mutatott. Ezek a kismértékű eltérések a két minta összetételéből adódhattak.



4. ábra: A szárazanyag tartalmára vonatkoztatott gázleadó képesség idő függvényében a települési szilárd hulladék esetében

A települési szilárd hulladék minták anaerob lebontásából származó eredményeket összehasonlítva, jelentős eltérés látható nem csak a fajlagos gázhozam mennyiségben (

TSZH/I. : 200 ml/g és TSZH/II. : 71 ml/g), hanem a kinetikai görbék lefutásában is. Az eltérő eredmény magyarázható a korábbi fejezetben leírtakkal, miszerint a TSZH/I. jelű minta a nyers települési szilárd hulladék finom szemcseméret frakciója volt, míg a TSZH/II. minta az aerob stabilizáláson átesett TSZH-ból leválasztott finom frakció.



5. ábra: A szárazanyag tartalmára vonatkoztatott fajlagos gázhozam az idő függvényében a szennyvíziszap minták esetén

Végezetül megfigyelhető, hogy a szennyvíziszap minták termelték a legkevesebb biogáz mennyiséget. Továbbá, hogy a két mintasorozat egymáshoz képest is jelentős eltérést produkált. Az első mintasorozatnál 12 ml/g szárazanyag, második mintasorozatnál 3,89 ml/g szárazanyag gázhozam mutatkozott. Ezen minták víztelenített formában érkeztek az intézeti laboratóriumba és keletkezésük technológiájáról, előkezelésükről, összetételükről nem kaptunk semmilyen információt.

2.3 Folyamatos keverésű reaktorban végzett biogáz vizsgálatok

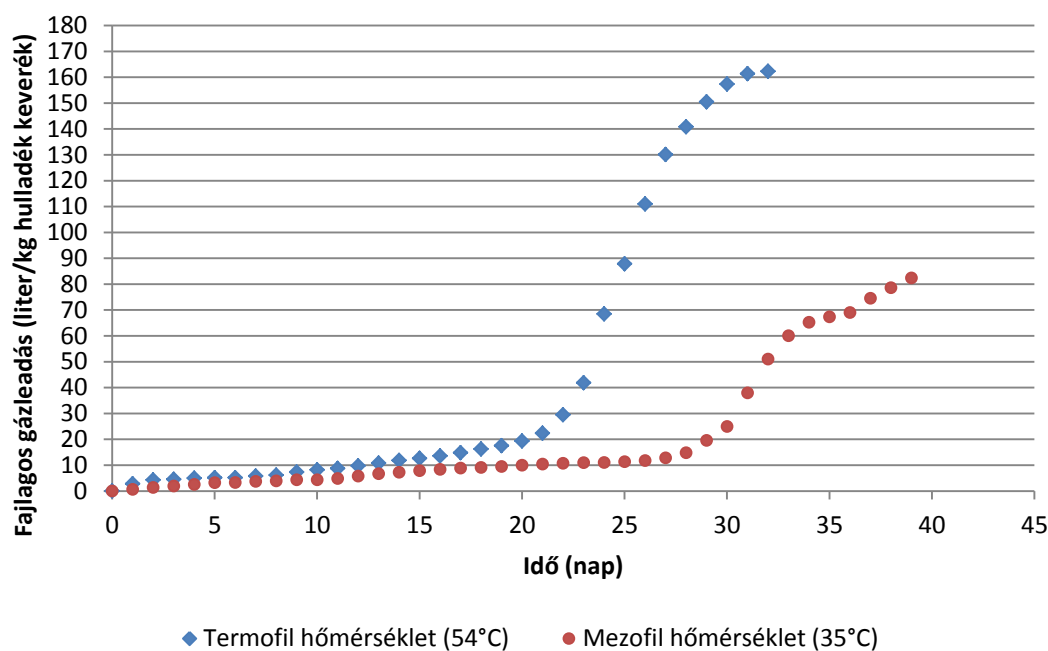
A statikus laboratóriumi vizsgálat mellett folyamatos keverésű reaktorban is elvégeztük a lebontást a második mintasorozat (zöld hulladék/ II. a TSZH. /II. és a szennyvíziszap/II.) mintáinak keverékét adtuk fel a tömeghányadoknak megfelelően víz hozzáadásával. A mérést először termofil hőmérsékleten (54°C) majd mezofil hőmérsékleten (35°C) megismételtük.

A dinamikus méréseket egy 10 literes térfogatú, üvegfalú reaktorban végeztük, ami egy központi propelleres keverővel ellátott Braun bioreaktor. A reaktor, ill. a feladott anyag fűtése és hűtése a reaktor belsejében található spirálon keresztül, meleg víz keringetésével történik. A képződő gáz egy mechanikus gázmennyiség mérő egységbe kerül, az elvezetése a reaktor tetején valósul meg. Ennek bevezető ágán van lehetőség a képződő biogáz összetételének meghatározására is. Ehhez rendelkezésünkre áll egy kézi, IR (infravörös) CO₂ és CH₄ szenzorokkal felszerelt gázelemző készülék.



6. ábra: A biogáz vizsgálathoz alkalmazott dinamikus berendezés (Dr. Bokányi L. és Varga T., 2011)

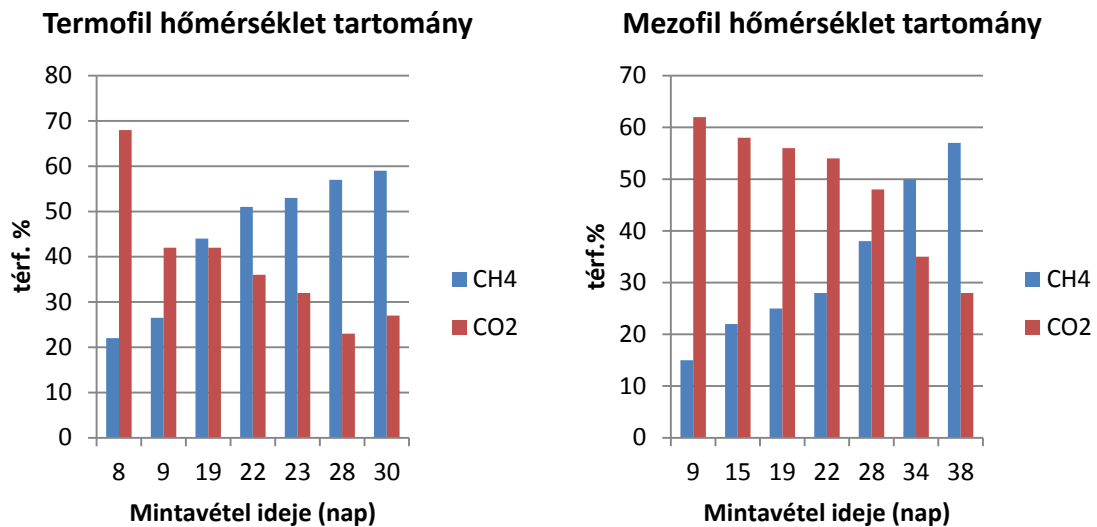
Meghatároztuk a termelt biogáz mennyiségét, a gáztermelés kinetikáját (7. ábra), valamint a képződött biogáz összetételét is – metán és széndioxid vonatkozásában (8. ábra).



7. ábra: Gáztermelés kinetikája idő függvényében termofil ill. mezofil hőmérsékleten a kevert reaktorban végzett biogáz vizsgálatoknál (saját szerkesztés)

Az eredményeket összehasonlítva az látható, hogy termofil hőmérsékleten végzett vizsgálat során az intenzívebb biogáz képződés a 22. naptól indult be a lebontás a 30. nap körül már befejeződni látszott. A 32 napos tartózkodási idő alatt a kumulált fajlagos biogáz hozam elérte a 162 liter / kg hulladékértéket.

A mezofil hőmérséklet esetében a lebontás folyamata lassabb, hosszabb tartózkodási időt igényel. Magasabb gáztermelés a 29. naptól mutatkozott és a lebontás folyamata 39 napos tartózkodási idő alatt sem fejeződött be. Az utolsó mért napig 82 l/kg hulladék biogáz képződött.



8. ábra: CH₄ és CO₂ tartalom az idő függvényében különböző hőmérsékleti tartományon végzett anaerob bontási vizsgálatoknál

Látható a 8. ábrából, hogy a termofil hőmérsékleten végzett kísérletnél a metántartalom a 22. napon elérte az 51 %-ot és ez az érték a 30. napon 59 %-ra emelkedett.

Ugyanakkor a mezofil hőmérsékleten végzett lebontásban a metántartalom csupán a 34. napon érte el az 50 %-ot.

2.4 Száraz fermentáló tervezése

A laboratóriumi vizsgálatok alapján a biogáz-egység első közelítésben megtervezhető. A lépték-növelés általában azzal jár, hogy a laboratóriumi mérésekhez képest a félüzemi, ill. üzemi körülmények között jobb eredmények érhetők el. Ez vonatkozik a tartózkodási időre is.

A települési szilárd hulladék biofrakcióját, a szennyvíziszapot és a zöld hulladékot száraz fermentálással kezeljük a biogáz kinyerése érdekében. A fermentálás melléktermékeként megjelenő fermentátot (biomasszát) például a mezőgazdaságban hasznosíthatjuk talajerő pótlásra.

A termofil és mezofil szakaszos, száraz fermentálású biogáz-üzem táblázatos formában látható.

A fejlesztés során megvalósítandó száraz fermentációs technológia lényege, hogy a hulladék szárazon, azaz a természetes nedvességtartalmához közelálló nedvességtartalom mellett egylépcsős szakaszos reaktoros fermentálásra kerül.

A termofil hőmérsékletű technológia magasabb gázhozamot eredményez: 9696 m³/nap rövidebb idő alatt (10 nap/ciklus), míg a mezofil technológia gázhozama 6064 m³/nap és egy ciklus átlagosan 30 napos. A termofil technológiánál magasabb üzemeltetési költségekkel lehet számolni, ezért a száraz fermentáló kiválasztásánál a gazdasági számítások eredményei lehetnek a döntőek.

2. táblázat: A termofil és mezofil száraz fermentálás tervezése

<i>Jellemző</i>	<i>Termofil technológia</i>	<i>Mezofil technológia</i>	<i>Megjegyzés</i>
Éves kapacitás t/év	20000	20000	Sűrűség: 0,6t/m ³
Éves kapacitás m ³ /év	33333	33333	
Fermentálási ciklusok száma ciklus/év	33	11	10 nap/ciklus (T) 30 nap/ciklus (M) 330 nap/év
Kapacitás ciklusonként m ³ /ciklus	1010	3031	
Kapacitás ciklusonként t/ciklus	606	1819	
Napi kapacitás m ³ /nap	101	101	10 nap/ciklus (T) 30 nap/ciklus (M)
Napi kapacitás t/nap	61	61	
Reaktorok száma db/ciklus	6	18	240 m ³ /reaktor (k=0,7)
Biogáz ciklusonként m ³ /ciklus	96960	181900	100...160 m ³ /t
Biogáz ciklusonkéntm ³ /nap	9696	6064	
Biogáz ciklusonként m ³ /óra	485	303	20 óra/nap
Energia MJ/h	9700	4242	14...29 MJ/m ³
Energia MJ/s	2,7	1,18	
Energia kW	1212,5	530,25	η=45%

ÖSSZEFOGLALÁS

A kutató-fejlesztő munka során az alábbiakat állapítottuk meg:

- A statikus berendezésben végzett kísérleteknél megállapítható, hogy mindkét mintasorozat esetében a legmagasabb fajlagos biogáz-leadó képessége a települési szilárd hulladék mintáknak volt.
- A folyamatos keverésű bioreaktorban a termofil hőmérsékleten 32 napos tartózkodási idő alatt 162 l/kg hulladék, mezofil hőmérsékleten tartományban 39 napos tartózkodási idő után 82 l/kg hulladék biogáz képződött.
- Az elvégzett kísérletek alapján megtervezésre került egy 20000 t/év kapacitású biogáz-üzem száraz fermentálóval termofil és mezofil hőmérséklet tartományban.
- A termofil technológiájú száraz fermentáló hatásosabbnak bizonyul, azonban a gazdasági számítások befolyásolják a végső döntést.
- A biogáz a megújuló energiaforrás, tehát a kifejlesztett rendszer a fenntartható fejlődés, valamint a fenntartható környezet kialakításához számottevően hozzájárul.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BOKÁNYI L., VARGA T.,** *Digitális tananyag, Hulladékgazdálkodás, 6.3 Biológiai eljárások c fejezet, 6.3.2. Hulladékok kezelése anaerob eljárásokkal c. alfejezet, www.hulladekonline.hu.*
- [2] **CSÓKE B., ALEXA L., OLESSÁK D., FERENCZ K., BOKÁNYI L.,** *Mechanikai-biológiai hulladékkezelés kézikönyve, Profikomp könyvek, Global Kiadó, 2006, Gödöllő*
- [3] **SOLTÉSZ B.,** *Biogáz-üzem tervezése települési szilárd hulladék-maradék frakció, valamint szennyvíziszap komplex hasznosításához, Diplomamunka (konzulensek: Dr. Bokányi Ljudmilla és Varga Terézia Erzsébet), Miskolc, 2011*
- [4] **VARGA T., BOKÁNYI L.,** *Optimisation of Aerobic-Anaerobic Treatments of Municipal Solid Wastes, Micro CAD International Scientific Conference, ISBN 978-963-661-812-4Ö; ISBN 978-963-661-813-1, Miskolc, p. 107-112, 2008*
- [5] **BOKÁNYI L., VARGA T.:** *Kutatási zárójelentés- A Felső-Bácskai Hulladékgazdálkodási Kft. biohulladékainak biogáz –leadó képességének vizsgálata, Miskolc, 2011*

MODELL ALAPÚ GÁZHIDRÁT MENTESÍTÉS

MODEL-BASED GAS HYDRATE RELEASING

BÖLKÉNY Ildikó

tudományos s. munkatárs

Miskolci Egyetem Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet Műszerfejlesztési és Informatikai Osztály
bolkeny@afki.hu

Kivonat: *A gázhidrátok komoly veszélyt jelentenek a gáztermelő kutakban, a csővezetési rendszerekben, és a gázfeldolgozó technológiákon, mert a gázhidrát kristályok kialakulása a gáztermelési technológia költségét jelentősen megnöveli, és a kristályok agglomerációjának és a méretek növekedésének köszönhetően a csővezeték akár teljes keresztmetszetben eltömődhet. A gázszállító csővezeték megtisztítása és a technológia újraindítása újabb komoly költségnövelő hatású, ezért a gáztermelésnél szükségszerűen használnak a hidrát kialakulását gátló anyagokat – inhibitorokat – a hidrátosodás megakadályozása érdekében. A inhibitor automatikus, szabályozott adagolásához szükséges az adott kút hidrátosodási görbéje. A cikk ezen görbe matematikai modelljével foglalkozik, továbbá előrejelíti a modell felhasználásával megvalósítható szabályozási lehetőségeket.*

Kulcsszavak: gázhidrát, gázipar, modellezés, előrejelzés

Abstract: *Gas hydrates can cause serious problems in gas producing wells, pipeline systems and gas processing technologies, so in oil- and gas industry. During the production of gas, when the ingredients present and the conditions are enabled, hydrate crystals are formed in the pipeline. The number of hydrate molecules can be raised, which can foul with each other so agglomeration presents, it can cause plug in the section of pipeline. In worst case the hydrate plug can effect production outages which results loss of money for the maintainer or in other cases “just” decrease in production. There is more preventive technology to apply against the formation of hydrate. In practice of gas industry one of the most popular solutions is the usage of thermodynamic inhibitors (THI) for a long time. Gas hydrate phase limit curve is necessary to use a controlled inhibitor dosing. The main aim of this paper is about the mathematical background of that curve.*

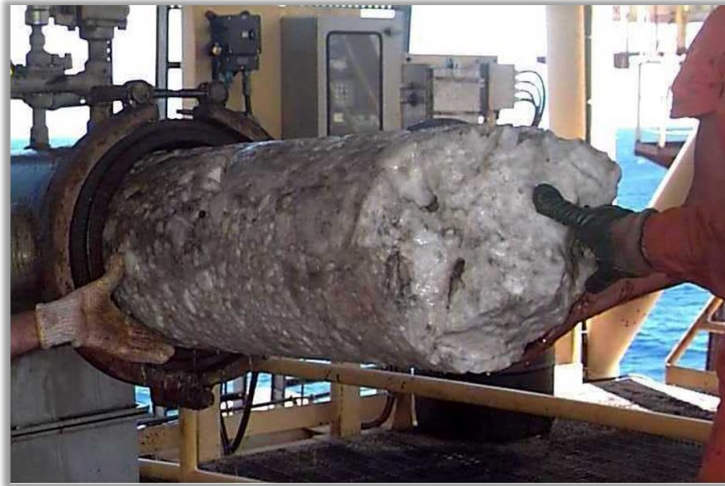
Keywords: gas hydrate, gas industry, modeling, forecast

1. BEVEZETÉS

Az olaj és gáziparban a termelési folyamatok során a termeléshez tartozó nyomáson és hőmérsékleten gázhidrátok alakulhatnak ki, és ezek a gázhidrátok a csővezetési rendszerben megakadályozzák a fluidum áramlást. Az olaj és gáztermelési technológiákon a kezdetektől fogva ismertek azok a módszerek, amelyek segítségével ezeknek a gázhidrátoknak a kialakulását vagy a kialakult gázhidrátok az agglomerációját megakadályozzák.

A gázhidrát szilárd halmazállapotú szemcsés anyag, amely hóra vagy jégre hasonlít és vízből, valamint meghatározott, úgynevezett hidrátképző gáz molekuláiból áll. A hidrátképző gáz molekulái a H₂O-nak a jégénél tágabb kristályrácsába beépülnek anélkül, hogy kémiai kötés jönne létre. A gázhidrát kialakulásának elsődleges kiváltó okai között szerepel, hogy a gáz vízgőzharmatpontján, vagy az alatti hőmérsékleten kell lennie szabadvíz jelenléte mellett, valamint az adott gázösszetétel és gáznyomás esetén a gáz hőmérsékletének kisebbnek kell lennie a hidrátképződés határhőmérsékleténél. Továbbá másodlagos kiváltó okok vagy katalizáló tényezők lehetnek a nagy áramlási sebesség, a nyomás pulzálások, bármi féle külső-belső hatással létrejövő keveredés, turbulencia, illetve a kristályképződés elősegítő-kiváltó szilárd szemcsék jelenléte. Összességében kijelenthetjük, hogy a gázhidrát létrejöttének és fennmaradásának feltételei a következők:

- elegendően kicsi hőmérséklet és nagy nyomás,
- a hidrat-képző gáz kovalens vegyület, molekuláinak hossza kisebb, mint 8 \AA ($8 \times 10^{-10} \text{ m}$) és cseppfolyós állapotban nem elegyedik a vízzel,
- a gázhidrat keletkezésekor cseppfolyós halmazállapotú, víz is jelen van,
- a gázhidrat vízzel szemben ellenálló és molekulái között Van der Waals erők nem lépnek fel.



1. ábra Gázhidrat []

A hidratok tulajdonságainak vizsgálatával kapcsolatos fontos, új eredmények: A folyékony szénhidrogének a földgázban lecsökkenti a hidrat-képződési hőmérsékletet, azaz gátolja a hidratok kialakulását; a glikol oldatok inhibíthatják a hidrat-képződést; a folyékony szénhidrogének és a glikol oldatok egyesített hatása nem additív, közelíti az additivitást akkor, ha a gáz-olaj arány csökken. A zavartalan üzemeltetés igen fontos előfeltétele az, hogy ismerjük a hidrat-képződés helyét és feltételeit. A hidrat-képződés helye a feltételek ismerete alapján nagy valószínűséggel előre jelezhető, illetve konkrét esetben a rendellenes nyomásadatok alapján meghatározhatók. A hidrat-képződés megelőzésének feltételei:

- a gáz megfelelő szárításával (abszorpció, adszorpció) a relatív nedvesség tartalom 100% alá csökkentése
- a gáz hőmérsékletének emelése a hidrat-képződési érték felé
- olyan kémiai reagensek megfelelő mértékű beadagolása, amelyek gátló hatást fejtenek ki a hidratok kialakulására
- olyan nyomáscsökkentő berendezések, eszközök használata, amelyekben végbemenő termodinamikai folyamatok nem teszik lehetővé a hidratok kialakulását (pl.: örvénycsövek)
- kerülni kell a hidrat-veszélyes helyeken a másodlagosan kiváltó okokat előidéző megoldásokat
- hő-veszteségek csökkentése
- hidrat-veszélyes helyeken egyedi nyomásszabályozók alkalmazása

A hidrát-képződés felismerésének lehetőségei:

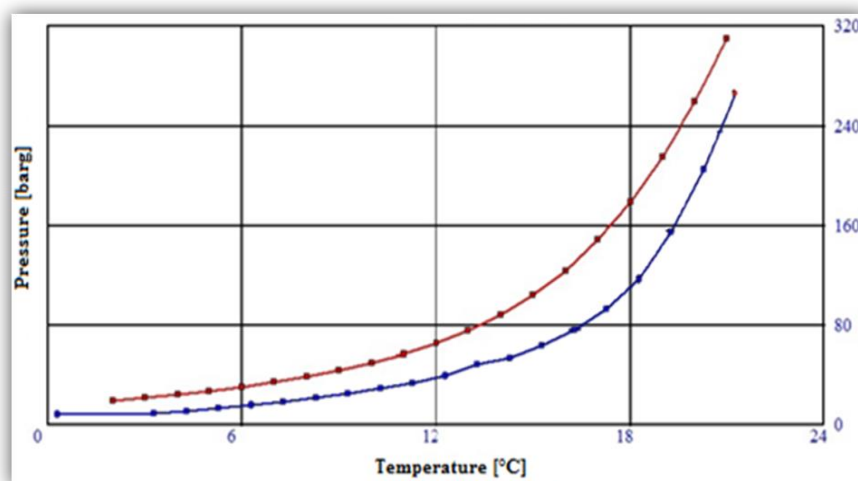
- vezetékeldugulás (az áramlás megszűnik)
- részleges dugulás (a dugulás helyén sivító hang)
- indokolatlan nyomáshullámok jelentkezése (a többé-kevésbé tömör hidrát-dugó megindulása miatt)
- rendellenes nyomásvesztések folyamatos harmatpontmérés esetén észlelt indokolatlan és viszonylag gyors harmatpont csökkenés

A már kialakult hidrátok megszüntetésének lehetőségei:

- a nyomás lecsökkentése a hidrátképződési nyomás szint alá az adott hidrát tulajdonságaitól függő időtartamig (levegőztetés, lefuvatás)
- az adott szakasz felmelegítése a hidrátképződési hőmérséklet felé
- olyan vegyszeres beadagolás, amely mintegy katalizálja a hidrát elbomlás folyamatát (pl.: alkoholok, metanol)

2. HIDRÁT FÁZISHATÁR GÖRBE

A hidrát fázisgörbéjét gázösszetétel alapján szokás felvenni, a nyomás és a hőmérséklet függvényében. A Petroleum Experts által készített PVTP szoftvert is erre fejlesztették ki, vagyis gázösszetétel alapján képes szimulálni a fázisgörbét egy matematikai modell alapján. A programban a gáz összetétele és a hidrátgátló készítmény összetétele is tetszés szerint beállítható, és természetesen inhibitor nélkül is használható. Vagyis az is megállapítható összetétel alapján, hogy a gáz mennyire hajlamos adott körülmények között hidrátosodásra, illetve, hogy amennyiben egy bizonyos összetételű inhibitort adagolunk hozzá, az mennyire alkalmas feladata ellátására.



2. ábra Fázishatár görbe

Az általunk szimulált görbe egy szeghalmi gázkútból származó gáz összetételének adataiból készült. A minta gázösszetételének elemzését gázkromatográf berendezéssel végezték el. Az eredményeket a 2. ábrán láthatjuk. A kapott értékeket a szoftver léptékhelyesen rajzolja ki. Két hiperbolát látunk az ábrán, a piros az S1, a kék az S2. A gázhidrátok alapvetően három kristályszerkezeti struktúrában fordulnak elő, mely az S1, S2 és SH. Az SH, vagyis a

hexagonális típust nemrég azonosították, míg a másik kettő az 50-es években. A hidrátok fő vázát a vízmolekulák alkotják, a hézagokat a szénhidrogének töltik ki. Az S1 struktúra természetes környezetben fordul elő, míg az S2 struktúra leginkább olajmezőknél gyakori. A gázcsővezetékek üzemi gáznyomása tipikusan 60 bar, láthatjuk, hogy az ábrán az S1 struktúra esetén 12-13 °C hőmérsékleten van a kritikus határérték, míg az S2 struktúra esetén 16 °C hőmérsékleten van a kritikus határérték.

3. HIDRÁTOSODÁSI NYOMÁS

Meghatározható a hidrátosodási nyomás diszkrét hőmérsékleti értékekre, melyhez először az egyes fázisok fugacitása szükséges, ami egy olyan mennyiség, mellyel a nyomást helyettesítve, valóságos gázokra is elérhetővé válik a kémiai potenciál számítása. Matematikai modellünk, tehát az alábbiak szerint alakul. A fugacitások és a kémia potenciálok, mind a három fázisnál egyenlőnek kell lenniük a fázis egyensúlyi pontban, egy adott i komponensre nézve.

$$f_i^{\text{gáz}} = f_i^{\text{folyadék}} = f_i^{\text{hidrát}}, \quad (1)$$

ahol:

f – a fugacitás

A fugacitások meghatározhatók a gázra és folyadékra a Peng Robinson-féle állapotegyenlet segítségével:

$$P = \frac{R * T}{V_m - b} - \frac{a}{V_m * (V_m + b) + b * (V_m - b)} \quad (2)$$

ahol:

T – a hőmérséklet Kelvinben

P – nyomás

R – egyetemes gázállandó

V_m – moláris térfogat

a – PR paraméter keverékre definiálva

b – PR paraméter keverékre definiálva

A Van der Waals keverék szabály szerint, - mely gáz-víz keverékre ad számítási lehetőséget – az együtthatók a következőképpen számíthatók:

$$a_{\text{kev.}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i * x_j * a_{ij} \quad (3)$$

$$b_{\text{kev.}} = \sum_{i=1}^n x_i * b_i \quad (4)$$

ahol:

- a – PR paraméter keverékre definiálva
- b – PR paraméter keverékre definiálva
- x_i – i. komponens moltörtje
- x_j – j. komponens moltörtje

A mol-tört jelenti az oldott anyag kémiai anyagmennyiségét az elegyben. Az a és b koefficiensek anyagösszetételtől függenek. Az a_{ij} számítása:

$$a_{ij} = (a_i * a_j)^{1/2} * (1 - k_{ij}) \quad (5)$$

Általánosítva kétkomponenses gáz-víz keverékre:

$$a = x_1^2 * a_{11} + x_2^2 * a_{22} + 2 * x_1 * x_2 * a_{12} \quad (6)$$

Van der Waals Platteeuw (VdWP) modell, mely szerint a víz kémiai potenciálja számítható a hidrát fázisban:

$$\frac{\Delta\mu}{R * T} = \sum_{k=1}^{n_{\text{üreg}}} V_k * \ln(1 + \sum_{j=1}^n C_{jk} * f_j) \quad (7)$$

ahol:

- V_k – az ürekszám/víz molekula-számot k típusú hidrát struktúrára
- C_{jk} a Langmuir konstans
- f_j a j . vendég molekula fugacitása a fázisegyenlőségénél

Egyszerűsítve:

$$\frac{\Delta\mu}{R * T} = \frac{2}{46} * \ln(1 + C_{j1} * f_j) + \frac{6}{46} * \ln(1 + C_{j2} * f_j) \quad (8)$$

A kifejezés jobb oldalán levő 2/46 és 6/46 szorzó tényezők úgy jöttek ki, hogy S1 hidrát formációnál az elemi sejtben 2 kis és 6 nagy üreg található. A $\mu_{\text{víz}}^0$ hipotetikusán üres fázisra:

$$\mu_{\text{víz}}^{\text{hidrát}} = \mu_{\text{víz}}^0 + R * T * \left[\frac{1}{23} * \ln(1 + C_{j1} * f_j) + \frac{3}{23} * \ln(1 + C_{j2} * f_j) \right] \quad (9)$$

A Langmuir adszorpciós konstans definíciója:

$$C_{jk} = \frac{Z_{ji}}{k * T} \quad (10)$$

ahol:

Z_{ji} egy konfigurációs integrál, mely függ a gáz és vízmolekulák közötti potenciálkülönbségtől

A hidrát formációs nyomás adott hőmérséklet mellett:

$$\frac{\Delta\mu_0}{RT_0} - \int_{T_0}^T \left(\frac{\Delta H_m}{RT^2} \right) dT + \left(\frac{\Delta V_m}{RT} \right) * p - \sum_{k=1}^{n_{\text{üreg}}} V_k * \ln \left(1 + \sum_{j=1}^n C_{jk} * f_j \right) - \ln a_w = 0 \quad (11)$$

Ahol, ΔH_m moláris entalpia különbség:

$$\Delta H_m = H_0 + \int_{T_0}^T C_p dT \quad (12)$$

C_p paraméter a hőkapacitás állandó nyomáson vett értéke:

$$C_p = \frac{dH}{dT} \quad (13)$$

A $\Delta\mu_0$ jelöli a 273,15 K referencia hőmérsékletre, valamint a 0 atmoszféra nyomásra vonatkozó kémiai potenciál különbséget. A PVTP program is hasonlóképpen számolja a hidrátosodási nyomásértéket.

ÖSSZEGZÉS

Jelen cikkben a gáz és olajipar egy komoly problémája a gázhidrát került bemutatásra, illetve annak hidrotosodási nyomásának meghatározásához szükséges modell. A hidrátosodási nyomás megállapítása elengedhetetlen a hidrátképződés megelőzéséhez, ahol hidrátgátló inhibitor készítmények szabályozott adagolásával tartják fenn a hidrát-mentességet.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **DR. BÓDI T.:** *Földalatti gáztárolás, gáztermelés* – Miskolc 2003
- [2] **ME-AFKI:** *Nagy inert tartalmú földgázok kitermelését támogató komplex hidrát-gátló technológia kutatása és fejlesztése* – Megvalósíthatósági tanulmány – 2013
- [3] **ZHUN LI:** *Gas Flow During Well Testing* – Stanford Egyetem – 2006
- [4] **M. KARAMODDIN, F. VARAMINIAN:** *Prediction of Gas Hydrate Forming Pressures by Using PR Equation of State and Different Mixing Rules* – 2011
- [5] **ME-AFKI:** *Nagy inert tartalmú földgázok kitermelését támogató komplex hidrát-gátló*

- technológia kutatása és fejlesztése – Inhibitor vizsgálat – 2012-2013*
- [6] **LÁSZLÓ RÓNAI, ILDIKÓ BÖLKÉNY:** *Regulation of an Inhibitor Dosing System - microCAD 2014: XXVIII. International Multidisciplinary Scientific Conference.* Konferencia helye, ideje: Miskolc, Magyarország, 2014.04.10-2014.04.11. ISBN:978-963-358-051-6
- [7] **BÖLKÉNY I:** *Measurement and Analysis of Hydrate Formation - 16th International Carpathian Control Conference (ICCC).* Konferencia helye, ideje: Szilvásvárad, Magyarország, 2015.05.27-2015.05.30.pp. 54-57.

A PI (π) ÉRTÉKE SALAMONNÁL, ÉS A ZSIDÓ KÖNYÖK NAGYSÁGA

THE VALUE PI (π) AT SOLOMON AND THE LONG OF HEBREW CUBIT

CSANÁDY Gábor

főiskolai tanár
Debreceni Egyetem Műszaki Kar
csanady@eng.unideb.hu

Kivonat: Timon Kálmán írja: „Kiindulási alap: 1Királyok 7.23-26. A bronzmedence átmérője 10 könyök és 30 könyöknyi zsinór érte körül. (Ebből a két adatból az következik, hogy a zsidók a p értékét kerekén 3 –nak vették.)” [1] A cikkünk ezen zárójeles állítás valóságtartalmát járja körül, lényegében cáfolva azt.

Elterjedt nézet és éppen ezen bibliai hely alapján, hogy 3 ezer éve, azaz Salamon idejében még nem ismerték a p értékét eléggé és akkor csak hárommal közelítették. Nos ismervén a korszak matematikai teljesítményeit, mint az aranymetszés, vagy a piramisok geometriája erősen alábecsültnek tűnik ez a feltételezés és az alábbiakban ezzel kapcsolatban érvelünk, megpróbáljuk cáfolni azon állítást, hogy itt valós matematikai hiányosságról lenne szó.

Kulcsszavak: Pi, Salamon, könyök, Jeruzsálem, templom

Abstract: Kálmán Timon writes "Baseline: 1 Kings 7.23-26. Molten sea, ten cubits from the one brim to the other: it was round all about, and his height was five cubits: and a line of thirty cubits did compass it round about. (These two sizes implies that Jews was taken the value of p for 3)". This parenthetical statement will disprove this paper.

Widespread that was not known the value of the p fairly so were approximated with three at the time of Solomon three thousand years ago, which based on these biblical places. Well, knowing the mathematical achievements of the era as the golden ratio or the pyramids geometry this assumption appears strongly underestimated in the following we argue and try to refute that these are real math deficiencies

Keywords: Pi, Solomon, cubit, Jerusalem, temple

TIMON KÁLMÁN ÍRJA:

„Kiindulási alap: 1Királyok 7.23-26. A bronzmedence átmérője 10 könyök és 30 könyöknyi zsinór érte körül. (Ebből a két adatból az következik, hogy a zsidók a π értékét kerekén 3 –nak vették.)” A cikkünk ezen zárójeles állítás valóságtartalmát járja körül, lényegében cáfolva azt.

Elterjedt nézet és éppen ezen bibliai hely alapján, hogy 3 ezer éve, azaz Salamon idejében még nem ismerték a π értékét eléggé és akkor csak hárommal közelítették. Nos ismervén a korszak matematikai teljesítményeit, mint az aranymetszés, vagy a piramisok geometriája erősen alábecsültnek tűnik ez a feltételezés és az alábbiakban ezzel kapcsolatban érvelünk, megpróbáljuk cáfolni azon állítást, hogy itt valós matematikai hiányosságról lenne szó.

Ehhez a Salamon által 950-ben épített templom (un. első templom) két leírását és kortárs elemzéseket fogunk felhasználni.:

A RÉZ TENGER LEÍRÁSAI:

A bibliai Salamon király a Templom bejárata elé, amit Jeruzsálemben épített elhelyezett egy bronz medencét. Bár csak leírásokból ismerjük ezt a medencét, de a leírások elég részletesen leírják milyen volt ez a medence, más néven Réz Tenger. A Biblia két helyen ad leírást róla,

csak hogy a két leírás szemmel láthatóan homlokegyenest más állít egyes helyeken, sőt úgy tűnik belső ellentmondások is vannak, sőt a későbbi fordítók változtattak is a szövegen. Mennyire megbízhatóak tehát ezek a szövegek? Hogyan kell értelmezni a leírásokat?

Először vizsgáljuk meg a két leírás forrását! Az egyik leírás a Királyok könyvében található, a másik a Krónikák könyvében.

A Királyok könyve a héber királyság korai szakaszában keletkezhetett, mintegy fényezve az aktuális király hatalmát az előd királyok dicsőségének örökségével. Egy szokásos krónika típusról van tehát szó, aminek a célja a nagy király elődök kiválóságának bemutatása. Ugyanakkor a Biblia, amelyben fennmaradt egyértelműen hitéleti célú írás, amit nem szabad szem elől téveszteni. Nem kortárs beszámolóról van tehát szó, hanem inkább visszaemlékező írásról.

A Krónikák könyve valamivel később keletkezett, más szerző tollából. Az előző írás átszerkesztése, pontosítása a téma új szempontú bemutatása. A templom bemutatásakor azt írja: „Ilyen alapot vetett Salamon,” (II. Krón 3:3) ebből arra lehet következtetni, hogy írásakor már csak az alapok álltak és a könyv ezért a Salamon féle templom pusztulása után keletkezett. Feltétlenül későbbi keletkezésű, mint a Királyok könyve, a szerző ismeri és felhasználja a Királyok könyvét.

Vizsgáljuk meg a két leírást! Mind az I. Kir. 7:23-26, mind a II. Krón. 4:2-5 egységesen 10 király könyöknek (kubit) adja meg az átmérőjét, 30 király könyöknek a kerületét, kereknek a formáját és 5 király könyöknek a magasságát. 12 ökrön állt, amelyek hármásával néztek a négy égtáj felé. Vastagságát a Királyok könyve és a Krónikák könyve egy tenyérnyinek adja meg. Az űrtartalma a Királyok könyve szerint 2000 korsó (bát), a Krónikák könyve szerint 3000 korsó (bát). A geometriai adatok nyilvánvaló egyezése mellett egészen más a megadott űrtartalom, ami kimondottan ellentmondásnak tűnik.

Három olyan kérdés is van ezzel kapcsolatban, amely régóta foglalkoztatja a kutatókat. Első kérdés a Pi, a második annak a ténynek a magyarázata, hogy a hetvenes fordítás a kerületet 30 könyök helyett 33 könyöknek fordítja, a harmadik az űrmértékek eltérő értéke. Vegyük ezeket sorra!

3-AS PI ?

A Pi kérdéskörnek a legnagyobb a szakirodalma, ez foglalkoztatja leginkább a kutatókat. A megadott kerület és átmérő hányadosából megkaphatjuk a Pi értékét: $30/10 = 3,00$. Ha az általunk használt Pi értékkel számolnánk, a kerület 31,415926 könyök volna. Akárhogyan számoltak is, ha az átmérőt 10 könyöknnyire mérték le, a kerületet durva közelítéssel is 31 és fél könyöknek kellett lemérjék! Hogyan lett ebből 30 könyök ?

A Louvre őriz egy egyiptomi mérőrudat, ami egy könyök hosszú, huszonnyolc részre (hüvelyk) van osztva, de egy-egy hüvelyk is tovább van osztva felekre, harmadokra, negyedekre és így tovább egészen a tizennegyedekig. Ezzel pontosabban lehet mérni, mint az általunk használt hagyományos mérőszalaggal. Az a vélelem tehát, hogy még nem ismerték pontosan a Pi értékét és ezért csak 3-al közelítették legalábbis gyanús. Van Jason Gastrich úrnak egy elmélete, amely szerint a pontos érték benne van a leírásban, csak éppen a leírt értékek helyett másokat kell kiolvasni a szövegből. (ld. Chuck). A héber szövegből ti. olykor nem a betű szerinti olvasatot kell alkalmazni, ennek héber neve a 'kethiv', hanem a lap széli jegyek (javítás) alapján más, amit 'qere'-nek hívnak. A héber betűknek számértékük is van, ebből hozza ki a sokkal pontosabb, sőt valószínűtlenül pontos értéket. (A felhasznált betűk számértékeinek arányával szoroz a szerző. A héber betűknek éppúgy, mint egyeseknek a latinban van saját számértékük is.) Az ötlet figyelemreméltóan izgalmas gondolati konstrukció, de a cáfolat szerint (http://www.inerrancyexposed.com/molten_sea.html) a

héber nyelvben eltéved a szerző. Meglehetősen valószínűtlen is, belegondolva abba a történelmi helyzetbe, amikor a Királyok könyve keletkezhetett. Judának és Izraelnek szabad országa van, saját királlyal. Miért írnának rébuszokban? Az írás célja nem titkos ismeretek őrzése vagy továbbadása, hanem a királyok nagyságának fényezése. Más oka van, ha nem a lemérhető méretekről ír. Lehet, hogy csak egyszerűen kerekít, mert nem fontos neki a méret, de lehet, hogy egy másik, egy kultikus szempont vezérli.

A Réz Tenger kétséget kizáróan kultikus célú tárgy: szertartási eszközként, szakrális célra, az Istennek készítették, az Istent pedig nem szabad csak ép, egészséges áldozatokkal, ajándékokkal szolgálni. Az oltárt nem szabad faragott kövekből építeni (Mózes II. 20:25, Mózes V. 27:5-6, Józsué 8:31), csak ép egészekből, amit nem érintett véső, mert ha véső érintette alkalmatlanná vált. Még az oltáron elégetendő fa is csak hibátlan lehetett. Sánta vagy beteg állat alkalmatlan a feláldozásra (Mózes III. 1:3 „Ha tulokféléből áldozik egészen égőáldozattal: hímmel és éppel áldozzék.” Mózes III. 1:10 „Ha pedig juhféléből: bárányokból vagy kecskékből akar valaki áldozni égőáldozatul, hímmel és éppel áldozzék.”). Továbbá: Mózes III. 22:18-24. Sérült vagy beteg, fogyatékos ember alkalmatlan a papi szolgálatra. Csak a tökéletes alkalmas az áldozatra. Ez a szemlélet az, amely szerintem az alkotót vezethette, amikor a leírásban kerekre egészíti ki a méretet. Talán nem is ismerte pontosan a méretet a szerző, de mindenesetre méltatlan dolognak tarthatta az Istenhez és Salamon királyhoz is töredék méretű, vagyis nem tökéletes eszközt használni a rítusban. A tört az töredékes, nem egész méretű valami nem ép, és mint ilyen alkalmatlan arra, hogy egy kiváló király által az Istennek készített rézmedencének a mérete legyen. Csak a kerek méret lehetett a kultusz része, mert a tört méret tökéletlen.

Még egy adalék Timon Kálmántól ehhez a Salamoni templom számmisztikájával kapcsolatban. Timon Kálmán rajzán nem csak a templom ismert méretei kerültek felrajzolásra, hanem azok az átlók is, amelyből világosan látható, hogy nem csak az épület fő méretei felelnek meg annak, hogy kerek méretek legyenek, hanem még az épület szentélyének lapátlója, sőt az egész szentélyépület térátlója is, ami igazán figyelemre méltó szerkesztettségre utal, és jól látszik a tört méretek, esetlegességek határozott kerülése.

33 KÖNYÖK A HETVENES FORDÍTÁSBAN

Az úgynevezett hetvenes fordítás (Septuaginta) Ptolemaiosz rendeletére készült, amikor hetven héber bölcs elkészítette az eredetileg héber szöveg görög fordítását Kr. e. 34-ben. (A sok tekintetben legendás történetről az ún. ál-Aristeias levele alapján Alexandriai Philón (i. e. 25 - i. sz. 50), valamint Josephus Flavius számol be (A zsidók története. Budapest, 1980, 283-299. 1.) Ez a fordítás a Krónikák könyvében nem 30 könyök átmérőről ír, hanem 33-ról. Vajon miért? Nehéz azt vélni, hogy ők pedig 3,3-as Pi -vel számoltak, mert ebben az időben már 22/7-es Pi volt szokásban és az elég jó közelítést is ad. Nos a terület tört mérete, az hogy az nem egy kerek méret, az ő érzékenységüket is bánthatta. A leírás megadja a falvastagságot is, méghozzá egy tenyérnyire. Ez a hetvenes fordítást készítő zsidók korában egy negyed héber könyök volt (Négy tenyér tett ki egy könyököt, egy könyök ebben az időben 42,78 cm. Ld. Lenzen 1989). Két falvastagságot, azaz kétszer negyed könyököt adva az átmérőhöz az 10,5 könyök lesz, a Pi pedig a már említett 22/7. Innen már számolható: $10,5 \cdot 22/7 = 231/7 = 33$ könyök. Ezt a méretet adják meg kerületként a hetvenes fordítás készítői: a 33 könyököt. Ez a szám nagyon szimpatikus lehetett nekik, hiszen a 11 minden bizonnyal szent szám kellett legyen. A templom belső udvara az un. izraeliták udvara 11 könyök széles, az un. papok udvara is éppen 11 könyök széles. Az oltár és a szentély között 22 könyöknyi, vagyis kétszer 11 könyöknyi hely van. A templom mögött nyugatra is 11 könyöknyi hely volt a falig a Misna-Middot-ban leírtak szerint. Még más méretek is említhetőek, de ennyi is elég annak

alátámasztására, hogy a 33-as szám alkalmas volt arra, hogy szent méret legyen. A falvastagság beszámításával ismét egy kerek mérethez jutottak, talán ezért fordították így.

2000 KORSÓ VAGY 3000 KORSÓ?

Az utolsó kérdés az űrtartalom eltérése. Mindkét leírás megadja a magasságot 5 király könyöknek az átmérőt pedig 10 király könyöknek. Innentől nyilvánvaló, hogy a két leírás teljesen mást állít azzal, hogy a Királyok könyve 2000, a Krónikák könyve 3000 korszóban (bát) adja meg az űrtartalmat. A megoldás egyszerűnek tűnik: meg kell nézni mekkora az űrtartalom, és az melyik leírásnak felel meg, és ezzel el is lehet dönteni a kérdést.

Az első kérdés az: mekkora is egy könyök? Ha Salamon az egyiptomi király könyököt használta (Salamon jó kapcsolatot kellett ápoljon Egyiptommal, hiszen egyik felesége egyiptomi hercegnő volt, folyamatos kereskedelmi kapcsolatban voltak, sőt apósától kapta Gezer városát ajándékba), úgy annak hossza 52,5 cm (A Louvre-ban őrzött, már említett mérőrúd hossza 52,3 cm, Lenzennél 20,6048 hüvelyk, ami 52,34 centiméter). Ez hozzávetőleg megfelel annak, hogy „egy mai könyök + egy tenyér”: ami az előbbieket szerint 5/4 szerese a 42,78 cm-nek, azaz 53,48 cm volna.

Innen az űrtartalom könnyen számolható: a térfogat $r^2 \cdot \pi \cdot m$, ahol r a henger sugara, azaz $10 \text{ könyök} / 2 = 5 \text{ könyök} = 5 \cdot 0,525 \text{ m} = 2,625 \text{ m}$, m pedig a henger magassága: $5 \text{ könyök} = 5 \cdot 0,525 \text{ m} = 2,625 \text{ m}$. Behelyettesítve a képletbe a keresett térfogat $2,625 \text{ m} \cdot 2,625 \text{ m} \cdot \pi \cdot 2,625 \text{ m} = 56,825 \text{ m}^3$. (A másik két megadott értékkel számolva $56,18 \text{ m}^3$ ill. $56,3 \text{ m}^3$ volna).

A korszó (bát) űrtartalmának meghatározása már nem ennyire egyszerű. A korszó térfogata szinte minden forrásban más, és más (csak Lenzen három félét említ). Az értékek összehasonlító táblázata az alábbi.

Forrás		1 báth gallonban	1 báth literben	2000 báth köbméterben	3000 báth köbméterben
Sephoris	Lenzen		36,70	73,398	110,097
Jerusalem	Lenzen		30,58	61,165	91,747
Desert	Lenzen		25,49	50,971	76,456
Reinhold, Roy A	2001	4,5	17,06	34,11	51,17
Calvin John kb		5,0	18,95	37,90	56,85
Geneva Bible Notes		5,0	18,95	37,90	56,85
Lakeside Ministries		6,5	24,64	49,27	73,91
New Word Dictionary		6,0	22,74	45,48	68,22
	max	10,0	37,90	75,80	113,70
Easton's Bible Dictionary		8,0	30,32	60,64	90,96
	+3=	11,0	41,69	83,38	125,07
The Free Dictionary		10,0	37,90	75,80	113,70

A korszó nem csak mérték, hanem használati eszköz, amiben olajat tárolnak, amivel a kútra járnak az asszonyok. Ebben a korban a kútra járás vízért női feladat (Így találkozik Izsák és Rebekka (Mózes I. 24.), Jézus és a samáriai asszony (Jn. 4.), de burkoltan erre utal az utolsó vacsora előkészítésénél szereplő korszót vivő ember. (Lk. 22:9-13. Ti. éppen ezért feltűnő.)). Nem valószínű, hogy negyven literes edényeket használtak volna, hiszen az túl nehéz ahhoz, hogy praktikusán kezelhető volna. Saját tapasztalataim szerint a 20 literes vizes edény elszállítása a 10-12 éves lányoknak már néhány tíz méterre is gondot jelent, felnőtteknek sem könnyűek. Talán megbirkóztak ezzel a 20 literes mérettel, de úgy gondolom ez egy olyan

méret, ami felett túl nehéz lenne az edény ahhoz, hogy jól lehessen használni. Összevetésül érdemes megjegyezni, hogy a hazai viszonylatban egykor oly népszerű ceglédi kanna mindössze 10 literes. Ennek fényében a magasabb értékek legalábbis gyanúsak.

Összevetve a táblázat értékeit a könyökméretből kiszámolt értékkel, a 18.95 literes (Ami 5 gallon, ld. Calvin John és Geneva Bible Notes.) értékéből a 3000 korszóból adódó 56,85 m³-rel, a különbség elhanyagolható, sőt 22/7-es Pi -vel számolva nincs is különbség.

Innentől azt gondolhatjuk, hogy a Krónikák könyvének „van igaza”, (bár sajnos nem tudjuk kizárni azt az esetet, hogy a korszó befogadóképességének értékét éppen innen számolták ki.) Vajon akkor miért van 2000 korszó a Királyok könyvében? Nos szerintem az eredeti Salomoni templomban éppen ez volt a Réz Tenger mérete, amit az alábbiakkal lehet alátámasztani:

A Réz Tenger egyértelműen kultikus tárgy. Az égbolt mása. A héber kifejezésben nagyon hasonlóan hangzik az ég és a víz, sőt a rézműves munka is. A Réz Tenger kerek alakját metszi át a három-három ökör által kijelölt égtáj kereszt. A körre írt kereszt igen ősi szimbólum, a (szent) város, a kozmosz, a szent hely jele. Itt az ősi szimbólum meg van fejelve még egy idő dimenzióval is, hiszen az égtájak felé forduló ökrök tizenkettes számában nem nehéz a hónapok számát felfedezni.

Márpedig az égbolt alakja nem hengeres! Inkább hasonlítható egy félgömbhöz (kupola boltozathoz). Nagyon természetes gondolatnak tűnik tehát, hogy félgömb alakú lehetett a réztenger. Ha a Réz Tenger elkészítését nézzük, kiderül, hogy öntéssel készült. Nem kétséges, hogy könnyebb félgömb alakot önteni, mint hengereset. A réztenger alá készített ökröknek lehetett egy praktikus céljuk is: velük el lehetett érni, hogy a réztenger nem csak egy ponton támaszkodott (az ökrök hátán), hanem az ökrök fejénél is fel tudott támaszkodni.

Amennyiben félgömb alakú volt a réztenger, annak űrtartalma a megadott méretekkel éppen 2/3-ad része a hengerének. Vagyis, ha a hengeres formájú medence 3000 korszó befogadó képességű, a félgömb alakú éppen 2000 korszó, függetlenül a könyök és a korszó méretétől, amint arra C. Wylie is rámutat.

Véleményem szerint az történhetett tehát, hogy a Krónika szerzője nem ismervén az eredeti Salomon féle réz medencét, csak annak leírását, henger alakúnak gondolta, és – mivel a számításokból nem tudta igazolni a 2000 korszó méretet, hanem csak a 3000 korszót, – a maga leírásában „javította” a méretet. Hasonló ez a gondolkodás, mint amit a hetvenes fordítás készítőinél láthattunk.

Timon Kálmán már idézett cikkében végez egy számítást, amelyben a bát értékéből a rézmedence fent megadott méreteiből próbálja meg kiszámolni a könyök értékét. A rézmedence 2000 bát űrtartalmából, 22 literes bát értéket és hengeres formát, alapul véve kiszámolja, hogy mennyi a kiinduló érték cm-ben, amihez csökkentti az átmérőt egy feltételezett vastagsággal. A számolás végén 49,2 cm-es értékre jut, de a fentiek fényében a kiindulási adatok alighanem hibásak. Ha a 3000 bát henger űrtartalmából indulunk ki, és elhanyagoljuk a falvastagságot, a 56850 literes űrtartalmat elosztjuk a 125 könyök*3,14 értékkel, ami 392,5: a köbkönyök 144,84 dm³ lesz, és innen a könyök pontosan 52,5 cm. A 17 és 22 bát közötti értékek 50,7 és 55 cm közötti értékeket adnak. Innentől egészen nyilvánvaló volna, hogy ez az Ezekiel -nél is említett „rég” könyök méret, ami ugye a közönséges könyök hatodával hosszabb annál, ami így 45 cm-re adódik. Lenzen maga is megkülönböztet régi, vagy hosszú könyököt és az „emberek könyök”-ét azaz a közönséges könyököt, és a megadott méretek hüvelykből átszámolva 53,4 ill. 42,7cm-ként ad meg, (amit Martin Doutré vitat, mert szerinte ez 44,5 és 53,3 cm).

Talán ennyiből is érezhető, hogy a hieratikus világnézet logikája szerint a kultusz egyszerűen felülírta a matematikát, és nem a matematikai tudás hiányzott. És amikor már más geometriát is megengedett a kultusz, akkor változhatott a matematikai méret, de még mindig

csak a kultusz szerint. (Ami lássuk be egy konkrét tárgy tekintetében elég abszurd.) Nem a számítás volt tehát elnagyolt, vagy a Pi értékére adott becslés pontatlan, hanem a szemlélet volt más. Ennek bizonyítása volt célunk.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **TIMON KÁLMÁN:** *Hogyan nézhetett ki Salamon temploma*, alaprajz 16. évfolyam 2009. május-június HU ISSN 1417-6939 pp11.
- [2] **MIKE DEHAAN:** *Did the Temple of Solomon Define Pi in the Bible?* 2016.05.24. <http://www.decodedscience.org/did-the-temple-of-solomon-define-pi-in-the-bible/22227> December 16, 2012
- [3] **CHUCK MISSLER:** *The Value of Pi, The Mysteries of Pi and e and the Bible* <https://www.jehovahs-witness.com/topic/176232/value-pi-mysteries-pi-e-bible> 2016 május
- [4] **DONALD LEE LENZEN:** *Ancient Metrology* 1989. ISBN-10: 0962530905
- [5] **WYLIE, C.** (BA 12 [1949] 89) Közli: *Jeromos Bibliakommentár I*, Budapest, 2002, Szent Jeromos Katolikus Bibliatársulat, (*The New Jerome Biblical Commentary*, Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs, NJ, 1990.)
- [6] **MARTIN DOUTRÉ:** *Ancient weights, volumes & measurements* http://www.google.hu/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwicmpyt1oHMAhXOa5oKHWj8BEUQFggnMAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.celticnz.co.nz%2FWeights_Measures_Volumes%2FWeights_Measures.htm&usg=AFQjCNG2wLM6-hRayEFit3PRqzQIEHUYQ&sig2=jwAhOBf2zphosMLDnjqdEQ&bvm=bv.119028448,d.bGs 2002. nov. 18.

IPARI ROBOT MOZGÁSÁNAK MODELLEZÉSE ÉS POZICIONÁLÁSI PONTOSSÁGÁNAK MEGHATÁROZÁSA

MODELING AND PERFORMING OF ACCURACY OF INDUSTRIAL ROBOTS

CSERVENÁK Ákos

mérnök tanár

Miskolci Egyetem, Robert Bosch Mechatronikai Intézeti Tanszék

E-mail: cservenak.akos@uni-miskolc.hu

Kivonat: Egy KUKA KR 15/2 és egy Fanuc LR Mate 200iC típusú robot került mérésre Renishaw XL-80 lézeres interferométer segítségével. Mindkettő robot hat szabadságfokú, RRR típusú, így a Denavit-Hartenberg-féle paraméteres leírásuk hasonló. A mérés egy relatíve kis méret tartományon került kivitelezésre, azaz ± 50 mm-es távolságon X és Y irányban. A mérés célja meghatározni a pozicionálási és ismétlési pontosságot. Ezenkívül a mérés analitikus formája adódott a Denavit-Hartenberg-féle paraméterek segítségével. Az analitikus forma alapján lehetőség nyílt az elméleti úton számított és a robot vezérlője által kiadott csuklóértékek összehasonlítására.

Kulcsszavak: robot, szimuláció, mérés, inverz kinematika, Denavit-Hartenberg-féle paraméterek

Abstract: A KUKA KR 15/2 and a Fanuc LR Mate 200iC robots are measured by laser interferometer Renishaw XL-80. Both robots are six DOF, articulated manipulator (RRR), and their descriptions of Denavit-Hartenberg parameters are very similar. The measurement are restricted on relatively small working area, i.e., ± 50 mm displacement in X and Y directions. The goal of the measurements is to determining the positioning accuracy and its repetition. In addition to the measurement analytic formulae are given by help of Denavit-Hartenberg parameters. This gives the possibility to compare to joint angles obtained by theoretical formulae and given by controller.

Keywords: robot, simulation, measurement, inverse kinematics, Denavit-Hartenberg parameters

1. BEVEZETÉS

Jelen cikk a 2014-ben készített TDK dolgozatban [1] foglaltak továbbfejlesztését mutatja be. A robotokat az iparban széles körben alkalmazzák, szerelési, hegesztési, megmunkálási és rakodási feladatokra, valamint humanoid robotként is [2]. Egy megmunkálás során fontos a termelékenység, pontosság és gazdaságosság biztosítása mellett például a gyártáshoz szükséges technológiai tűrésének meghatározása. Ehhez pozicionálási pontossági mérések szükségesek. A cikk célja a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Kar Szerszámgépek és Mechatronikai Intézetében található Fanuc és KUKA gyártmányú ipari robotok pozicionálási pontosságának vizsgálata, amelyet egy Renishaw XL-80 típusú lézeres interferométerrel került elvégzésre. A precíziós mérési eredmények alapján lehet tájékozódni a robottal elérhető pozicionálási pontosságról.

A cikk 2. fejezetében a robotok kinematikája kerül leírásra, illetve a robotok szerkezeti felépítései, továbbá a koordináta-rendszerek értelmezése található meg. A robot csuklók helyzetét a Denavit-Hartenberg-féle (D-H-féle) paraméteres leírási mód alapján kerül meghatározásra. Az inverz kinematikai feladat megoldásakor kapott csuklószögeket szintén ez a fejezet ismerteti a [6] felhasználásával.

A pontosság mérésére az egyik legalkalmasabb eszköz a [7] irodalom szerint a lézer-interferométer. A 3. fejezet ismerteti a lézeres mérés elvét a [8], [9] irodalmak alapján.

A mérés beállításához, továbbá a mérésekhez szükség van a mozgások programozására,

amelyhez a kiindulási, azaz referencia helyzet felvétele szükséges, amit a 4. fejezetben kerül bemutatásra. Ez a 4. fejezet tartalmazza a mérések eredményeit, amelyeket diagramok szemléltetnek.

A mérések elvégzése, és a kapott eredmények alapján a robotok minősítése lehetségessé válik, és összehasonlítható a gyártók által előírt pontossággal, amit az 5. fejezet ismertet [4], [5].

A 6. fejezet összefoglalja az elért eredményeket, és kitér a továbbfejlesztési lehetőségekre.

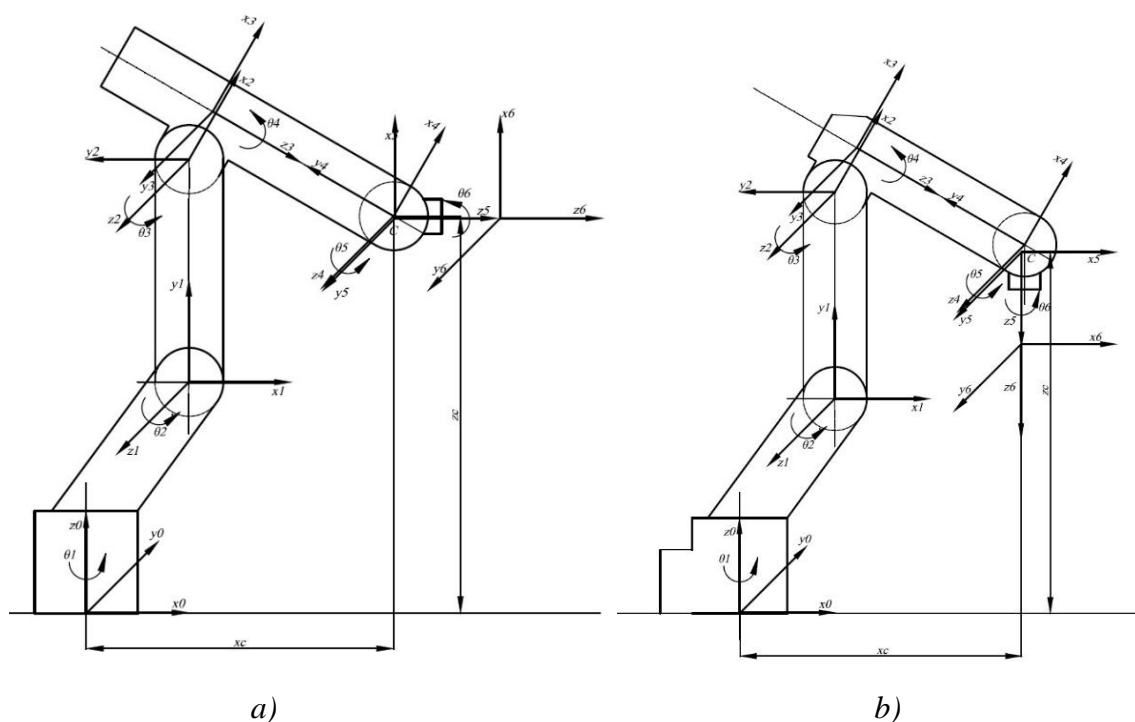
2. INVERZ KINEMATIKAI FELADAT MEGOLDÁSA

A robotok leírásánál megkülönböztetjük a direkt és inverz kinematikát. A direkt kinematikai leírás a csuklópályák alapján állítja elő a megfogó helyzetét. Az inverz kinematikai leírás a megfogó helyzete alapján származtatja a robot csuklóinak helyzetét.

A Fanuc és a KUKA robot nagyon hasonló felépítésű, így mindkét robotot lehet vizsgálni a D-H-féle paraméteres leírással. Az [1] és [6] alapján a D-H-féle paraméterek az alábbiak szerint definiálhatók:

- s_k : a z_{k-1} és x_k tengelyek metszéspontjának z_{k-1} koordinátája (KR_{k-1} -ben),
- θ_k : a z_{k-1} tengely körüli forgás előjeles szöge, amely az x_{k-1} tengelyt az x_k tengelybe viszi,
- α_k : az x_k tengely körüli forgás előjeles szöge, amely a z_{k-1} tengelyt a z_k tengelybe viszi,
- a_k : a z_{k-1} és z_k tengelyek távolsága (a normáltranszverzális hossza).

A KUKA és Fanuc robotra alkalmazott koordináta-rendszerek az 1/a. és 1/b. ábrákon láthatók, a D-H-féle paraméterek feltüntetésével.



1. ábra: KUKA (a.) és Fanuc (b.) robot koordinátarendszerei

Paraméterek	s_k [mm]		θ_k [°]		α_k [°]		a_k [mm]	
	KUKA	Fanuc	KUKA	Fanuc	KUKA	Fanuc	KUKA	Fanuc
J1	675	330	0°	0°	+90°	+90°	300	75
J2	0	0	+180°	+90°	0°	0°	650	300
J3	0	0	0°	0°	+90°	+90°	155	75
J4	600	320	0°	0°	-90°	-90°	0	0
J5	0	0	0°	0°	+90°	+90°	0	0
J6	140	140	0°	0°	0°	0°	0	0

1. táblázat: D-H paraméterek a KUKA KR 15/2 és Fanuc LR Mate 200iC robotokra

A robothoz kötött koordináta-rendszerek D-H paramétereit a [3] - [5] irodalmak alapján az 1. táblázat foglalja össze.

Az inverz kinematikai feladat célja az, hogy a robot megfogó helyzetének (X, Y, Z koordináták) és orientációjának ismeretében meghatározza a robot egyes csuklóinak θ_i elfordulási szögeit, ahol ($i = 1, 2, \dots, 6$). Az első 3 csukló szögeit a megfogó térbeli helyzete határozza meg, amelyek az x_c, y_c és z_c koordinátákból számíthatók ki. A 4, 5, 6 jelű csuklók szögei például a megfogó Euler-szögeiből állíthatók elő a [6] irodalom alapján.

Az inverz kinematikai feladat megoldása során kapott θ_i csuklószögeket a 2. táblázat ismerteti, ahol ($i = 1, 2, \dots, 6$).

Szög	Összefüggés
θ_1	$\arctan 2(y_c, x_c)$
θ_2	$\theta_2 = \arctan 2(z_c - s_1, \sqrt{x_c^2 + y_c^2} - a_1) -$ $-\arctan 2\left(\sqrt{s_4^2 + a_3^2} \cdot \sin(\theta_{30}), a_2 + \sqrt{s_4^2 + a_3^2} \cdot \cos(\theta_{30})\right)$
θ_3	$\theta_3 = \arctan 2(\pm\sqrt{1 - D^2}, D) - \arctan 2(a_3, s_4)$, ahol $D = \frac{cc^2 - a_2^2 - (\sqrt{s_4^2 + a_3^2})^2}{2 \cdot a_2 \cdot \sqrt{s_4^2 + a_3^2} \cdot \cos(180^\circ - \theta_{30})}$
θ_4	$\theta_4 = 0$
θ_5	$\theta_5 = \theta_2 + \theta_3$
θ_6	$\theta_6 = \theta_1$

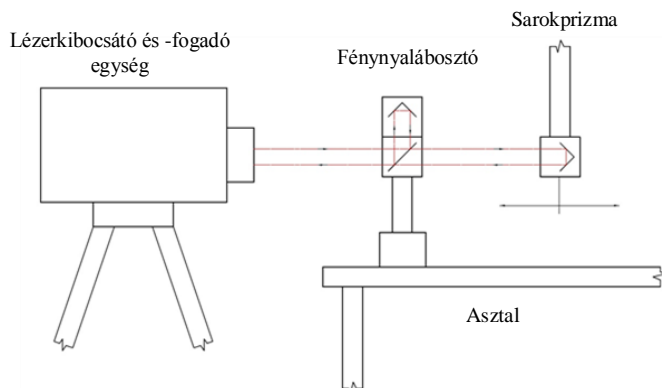
2. táblázat: KUKA és a Fanuc robotok csuklószögeinek összefüggései

3. A LÉZERES MÉRÉSEK ISMERTETÉSE

A mérések a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Kar Robert Bosch Mechatronikai Intézeti Tanszékén rendelkezésre álló Renishaw XL-80 típusú lézeres interferométerrel kerültek elvégzésre. Az elérhető mérési pontosság ezzel az interferométerrel $0,001 \mu m = 1 nm$ [9]. Ilyen eszközt használnak például CNC szerszámgépek gyártásánál a szának pozicionálási pontosságának mérésére.

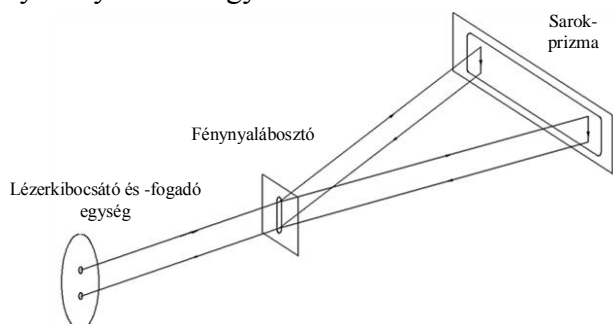
A méréseket két roboton végeztük el, egy Fanuc LRMate 200iC és egy KUKA KR 15/2 roboton. A robotokon lineáris pozícionálási pontossági és egyenességi mérések történtek meg.

A lineáris pozícionálási pontosságnál a lézer forrásra eső egyenes vonal mentén történő távolságot méri meg a mérőegység. A szerkezeti és működési vázlat a 2. ábra látható a [8] alapján. Ezzel a mérési eljárással egy adott pont pozícionálási pontosságát lehet megmérni.



2. ábra: Lineáris pozícionálási pontosság lézeres interferométerrel való mérésének vázlata

Az egyenességi pontosság mérésénél a lézer vonalától való eltérést méri a mérőegység. A szerkezeti és működési vázlatot a 3. ábra mutatja a [8] alapján. Ezzel a mérési eljárással egy adott pontnak a lézerfény irányába eső egyenesétől való eltérését lehet megmérni.



3. ábra: Egyenességi pontosság lézeres interferométerrel való mérés vázlata

4. MÉRÉSI SOROZAT VÉGREHAJTÁSA

A [12] irodalomban ismertett mérés összeállításához szükséges volt a tükrök beállítása és a mozgatás programozása. A programok a [10] és [11] ismeretében készültek el a [12] irodalomban részletezett módon.

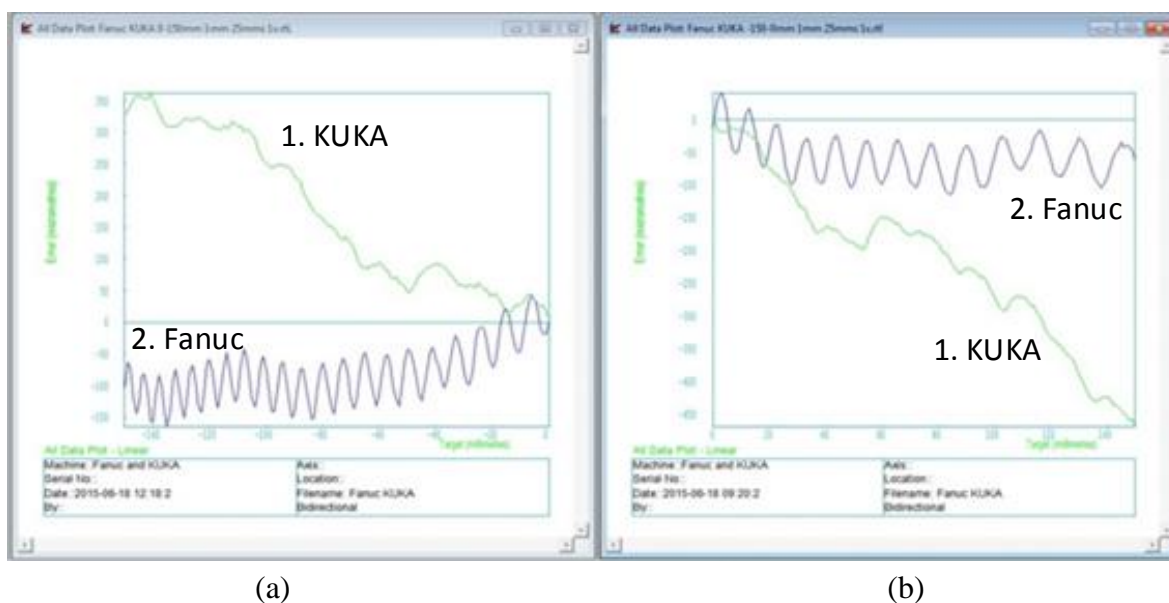
Csukló	Fanuc Csuklószög[°]	KUKA Csuklószög[°]
J1	0°	-90°
J2	0°	-90°
J3	-14°	95°
J4	0°	0°
J5	-76°	-5°
J6	90°	0°

3. táblázat: Fanuc és KUKA robot csuklószögei kiinduló helyzetben

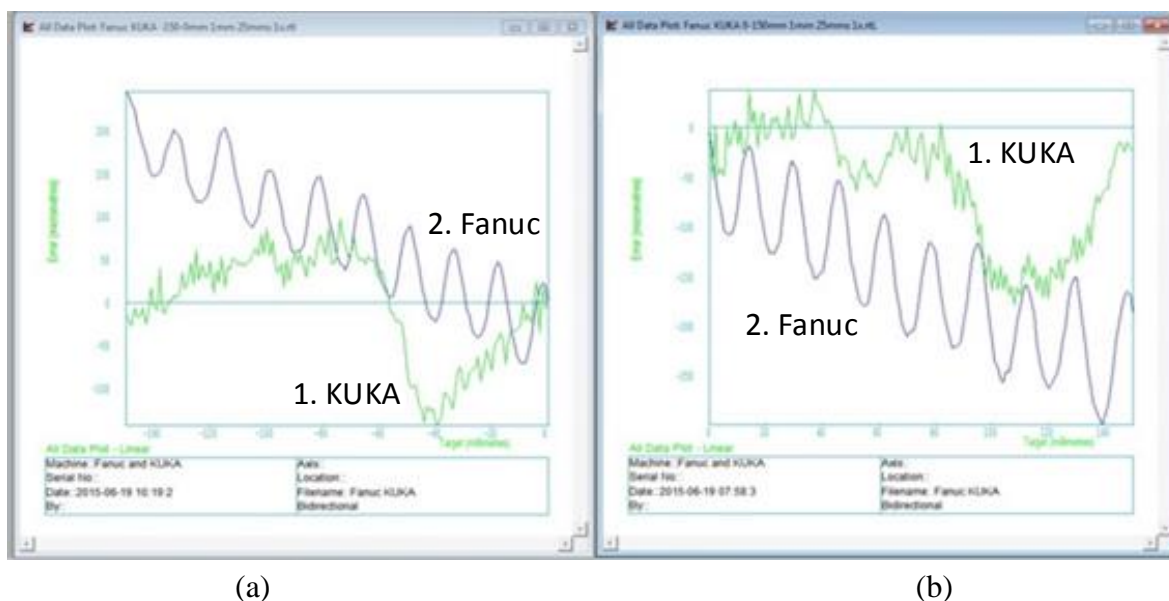
A mérés megkezdésekor a robotok a 3. táblázatban szereplő csuklózögeknek megfelelő kiinduló helyzetből indultak.

A lineáris ráállási méréseket a következő paraméterek alapján kerültek elvégzésre: $\pm 150\text{mm}$ mérési tartomány, 1mm lépésköz, 25mm/s és 250mm/s sebesség. A mérési idő hosszúsága miatt egyszer lettek elvégzve a mérések.

A mérési eredményeket a 4. ábra és 5. ábra diagramjai szemléltetik. Az ábrákon 1. a KUKA robot, míg a 2. a Fanuc robotnál kapott hibák figyelhetők meg. A 4/a. ábra a $-X$ irányú elmozdulást, a 4/b. ábra a $+X$ irányú elmozdulást, az 5/a. ábra a $-Y$ irányú elmozdulást, az 5/b. ábra a $+Y$ irányú elmozdulást mutatja.



44. ábra: Lineáris pozicionálás mérési eredményei k $\pm X$ irányban a KUKA és Fanuc robotnál



55. ábra: Lineáris pozicionálás mérési eredményei $\pm Y$ irányban KUKA és Fanuc robotnál

5. PONTOSSÁG MINŐSÍTÉSE

A Fanuc robotra a gyártó által megadott ismétlési/pozicionálási pontosság: Delta P $\pm 0,02$ mm [5], a KUKA robotnál $\pm 0,1$ mm [4].

A mérések alapján az adódott, hogy a Fanuc robot igen jól közelíti a gyárilag megadott pozicionálási pontosság értékeit. A KUKA robot a pozicionálási pontosság értékeit az egyenességi mérésnél teljesíti, a lineáris pozicionálási méréseknél pedig jól közelíti. Az eredményekből azt a következtetést lehet levonni, hogy a robot pozicionálási pontossága kisebb, mint $<10 \mu\text{m}$.

A tapasztalat szerint a vezérlő által kijelzett csuklósögek nem a tényleges értéknek, hanem a vezérlő alapjelének felelnek meg. A robot karját külső erővel terhelve a kijelzőn változatlan szögértékek jelentek meg. A kiolvasott és a számítógépi programmal meghatározott elméleti érték közötti eltérés elsősre elhanyagolhatónak tűnik, azonban a teljes robotkar hosszára kiadódó hiba esetenként már nem hanyagolható el. A mérések során tapasztalt eltérések valószínűleg a robot csuklótagok, illetve a kinematikai lánc rugalmasságával magyarázható.

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk a kitűzött célnak megfelelően foglalkozott az ipari robotok inverz kinematikai leírásával, és a KUKA KR15/2 és Fanuc LRMate 200iC robotok pozicionálási pontossági méréseivel, amit a Renishaw XL 80 lézeres interferométeres berendezéssel történt meg.

Az inverz kinematikai feladat megoldása a 2. fejezetben a robotcsukló koordináta-rendszerei a Denavit-Hartenberg-féle paraméterek segítségével kerültek felírásra. A D-H paraméterek alapján készültek el a robotok inverz kinematikai feladata során kapott csuklósögek.

A cikk 3. fejezete a lézeres interferométeres mérés működési elvét részletezi.

A 4. fejezet a beállítás és programozás után a mérések elvégzését, és azok eredményeit ismerteti.

Az 5. fejezet összeveti a mérési eredményeket és értékeli a robotokat a pozicionálási pontosság alapján. A mérések eredményei jól szolgálták a mért értékeknek a robotok adattáblázatában megadott értékekkel való összevethetőséget.

A bemutatott robotokon célszerű további pozicionálási pontossági méréseket végezni, pl. több irányban, több mérési móddal és más sebességekkel. További mérések és azok során kapott eredmények kiértékelése további kutatások alapját képezheti.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1]. **Cservenák, Á.:** *Posztprocesszor vizsgálata KUKA robotra RobotExpert szoftverrel*, Miskolci Egyetem, TDK konferencia, 2014
- [2]. **Virgala, I., Kelemen, M., Varga, M., Kurylo, P.:** *Analysing, Modeling and Simulation of Humanoid Robot Hand Motion*. In: *Procedia Engineering: Modelling of Mechanical and Mechatronic Systems MMaMS 2014: 25th-27th November 2014*. High Tatras, Slovakia. Vol. 96(2014), p.489-499.-ISSN 1877-7058.
- [3]. **Javier Andres, Luis Gracia, Josep Torneró:** *Implementation and testing of a CAM postprocessor for an industrial redundant workcell with evaluation of several fuzzified Redundancy Resolution Schemes*, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 28, 265–274, 2012.
- [4]. **KUKA Roboter GmbH:** *Robot KR15/2 Technical Data*, Augsburg, 1998.

- [5]. **FANUC Robotics America, Inc:** *LR Mate 200iC Series & R-30iA Mate Controller*, 2009,
http://www.fanurobotics.com/cmsmedia/datasheets/LR%20Mate%20200iC%20Series_10.pdf
- [6]. **Spong, M., W. - Hutchinson, S. - Vidyasagar, M.:** *Robot Modeling and Control*, John Wiley & Sons, Inc. New York, USA, 2005.
- [7]. **Fabricio Tadeu Paziani, Benedito Di Giacomo, Roberto Hideaki Tsunaki:** *Robot measuring form errors*, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 25, 168-177, 2009.
- [8]. **RENISHAW:** *XL-80 Laser system training manual*, 2000.
- [9]. **RENISHAW:** *Portable laser measurement and calibration*, 2013,
<http://resources.renishaw.com/en/download/brochure-xl-80-laser-system--59031>
- [10]. **KUKA Roboter GmbH:** *KR CI Expert Programming*, Augsburg, 1998.
- [11]. **FANUC Robotics America, Inc.:** *R-30iA Mate Controller LR Handling Tool, Operator's Manual*, 2012
- [12]. **Cservenák, Á.:** *Ipari robotok pontossági mérésének és modellezésének kidolgozása*, Miskolci Egyetem, TDK konferencia, 2015

ÖNKORMÁNYZATI TULAJDONBAN LÉVŐ ÉPÜLETEK VILLAMOSENERGIA- FELHASZNÁLÁSÁNAK KIVÁLTÁSA MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOKKAL

ELECTRICITY USAGE INDUCTION OF LOCAL GOVERNMENT'S BUILDINGS BY RENEWABLE ENERGY

CSIZMADIA Ivett Anita¹, GYÓRI Barnabás²

¹Hallgató, csivett21@gmail.com
¹Debreceni Egyetem

²Hallgató, gyoribarnabas1994@gmail.com
²Debreceni Egyetem Műszaki Kar

Kivonat: Dolgozatunkban Komádi város megújuló energetikai adottságát vizsgáljuk. Kitérünk arra, hogy jelenleg milyen módon hasznosítja a város a lehetőségeit, valamint javaslatokat adunk arra, hogy az önkormányzati épületek villamosenergia-igényét milyen módon lehetne megújuló energiaforrások segítségével biztosítani.

Kulcsszavak: megújuló, energia, villamos energia, napenergia, szélenergia, megtérülés

Abstract: In our paper we examine Komádi city's renewable energy endowments. We touch upon the current manner which exploits the possibilities of the city and give suggestions to the municipal buildings in electricity demand could be ensured by means of renewable energy sources in what way.

Keywords: solar energy, wind energy, electricity, renewable energy,

1. BEVEZETÉS

Napjainkban egyre nagyobb probléma a fosszilis energiahordozók kimerülése, valamint a kitermelésük és felhasználásuk során keletkezett káros anyagok mennyisége. Ennek következtében egyre nagyobb az érdeklődés megújuló energiaforrások felhasználására, az új technológiák és az alternatív megoldások alkalmazása iránt. Egyre több ország él a lehetőséggel, hogy a rendelkezésére álló megújuló energiaforrásokat felhasználja, melynek növekedésének gyorsítása érdekében az EU 2020-ra 20%-os megújuló részesedési arányt ír elő [1].

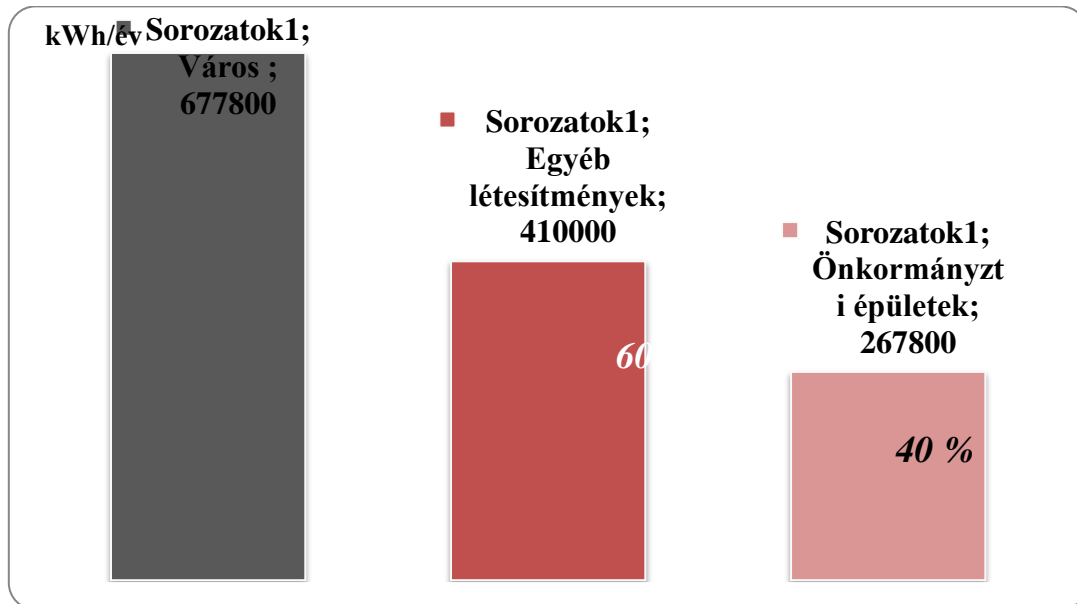
Kutatásunk során azt vizsgáljuk, hogy az általunk kiválasztott településen, melyik megújuló energiaforrás segítségével lehet a leggazdaságosabban kiváltani a villamosenergia-felhasználást. A megfelelő település keresése során végül Komádi várost választottuk, ugyanis kedvező adottságokkal rendelkezik, de a megújuló energiaforrások részesedése még csekély mértékben van jelen.

2. KOMÁDI VÁROS BEMUTATÁSA

Hajdú Bihar megye bihari részén, Debrecen és Békéscsaba között szinte egyenlő távolságra található. Területe 145 m² lakosainak száma 2015 januárjában 5421 fő, amely az utóbbi években folyamatosan csökken. Dél-bihari térség mikrotérségi központjaként funkcionál, mint közigazgatási, turisztikai, kulturális és gazdasági központ. Gazdasági adottságai

kedvezőek a vállalkozások megtelepedése szempontjából. Jelenleg több száz főt foglalkoztató olasz illetve svájci ipari és mezőgazdasági vállalkozások működnek. Gazdaságában a legmeghatározóbb az erdő- és mezőgazdálkodás. A település munkanélküliségi rátája viszonylag kedvező, 2014-ben 7,5% volt [3].

A város éves villamosenergia-igénye megközelítőleg 677.800 kWh, amelynek 40%-át az önkormányzati épületek villamosenergia-szükséglete teszi ki.



1. ábra: Komádi város villamosenergia-felhasználás megoszlása

3. KOMÁDI MEGÚJULÓ ENERGIA ADOTTSÁGAI

3.1. Napenergia

Magyarország egyes területein az átlagos napsütéses órák száma eléri az évi 2100 órát. Komádi adottságai kedvezőek a napenergiát figyelembe véve. Évi átlagos napsütéses óráinak a száma ~2080 óra, ami országos viszonylatban is kiemelkedőnek mondható [4].

3.2. Szélenergia

Magyarország átlagos szélessége 75 méteres magasságban 3-4 m/s körüli érték, mely világviszonylatban csak a szárazföldek feletti szélességet tekintve is alacsonynak mondható. Komádi adottságai Magyarországi viszonylatban kedvezőnek mondhatóak. Az átlagos szélesség 75 méteres magasságban eléri a 4-5 m/s-os sebességet.

3.3. Egyéb megújuló energiaforrások

A többi megújuló energiaforrást, így a vízenergiát, a geotermikus energiát valamint a biomasszát tekintve Komádi nem rendelkezik olyan adottságokkal, hogy ezekből az energiaforrásokból gazdaságosan villamos energiát tudjanak előállítani [5].

4. KOMÁDI MEGÚJULÓ ENERGIA FELHASZNÁLÁSA

Komádi városban jelenleg napenergiát hasznosítanak három önkormányzati épületen.

- Polgármesteri Hivatal
- Kerek egy ég alatt óvoda
- Kerek egy ég alatt bölcsőde

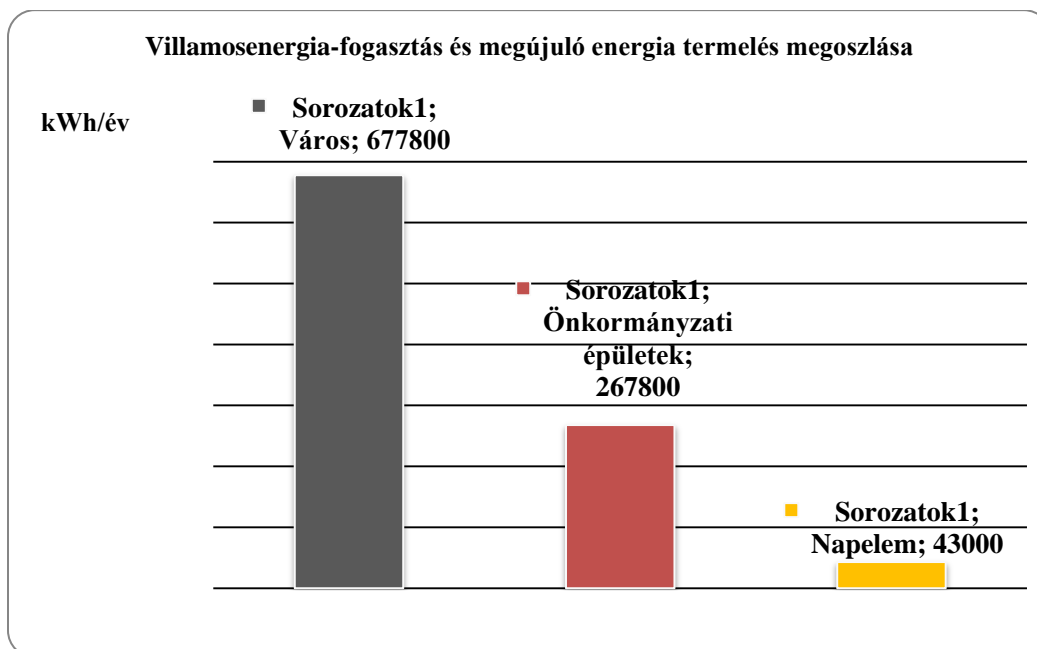
Az épületekre egységesen Korax KS 250 típusú napelemek vannak felszerelve. Egyenkénti névleges maximális teljesítményük 250 W [5].

A Polgármesteri Hivatal épületén 120 darab napelem van felszerelve 195 m²-en. Névleges összteljesítményük 30.000W, amelyeknek éves villamosenergia-termelésük ~ 30.000 kWh [5].

A Kerek egy ég alatt óvoda épületére 40 darab napelemet szereltek fel 65 m²-en, amelyeknek a névleges összteljesítményük 10.000 W, éves villamosenergia-termelése ~10.000 kWh [5].

Kerek egy ég alatt bölcsőde épületén 12 darab napelem található 19,6 m²-en. A napelemek névleges maximális összteljesítménye 3000 W, amelyek évente ~3000 kWh villamos energiát állítanak elő [5].

A felszerelt 172 darab napelem az önkormányzati tulajdonban lévő épületek villamosenergia-igényének 16%-át biztosítják [5].



2. ábra: Villamosenergia-fogyasztás és megújuló energiatermelés megoszlása (kWh/év)

Forrás: [5 alapján saját szerkesztés]

5. KOMÁDI ÖNKORMÁNYZATI VILLAMOSENERGIA-FELHASZNÁLÁSÁNAK KIVÁLTÁSA

5.1. Villamosenergia-igény biztosítása napelemekkel

Egy darab Korax KS 250 napelem felülete ~1,6 m², amely évente 250 kWh villamos energiát állít elő. Az önkormányzat által fenntartott létesítmények villamosenergia-igényéből kivonjuk a már napelemekkel fedezett mennyiséget, így megkapjuk, hogy 224.833 kWh az a villamosenergia-mennyiség melyet további megújulókkal fedezni kell. Ezt 900 darab Korax KS 250 típusú napelemmel lehetne kiváltani, amely felülete 1440 m². Ez a napelem mennyiség a város villamosenergia-felhasználásának 33,1%-át tudná biztosítani [5].

Önkormányzati tulajdonban lévő épületek, amelyeken nem található napelem:

- Gyermejkölési és családsegítő szolgálat épülete:

Komádi Polgármesteri Hivatalától kapott könyvelési dokumentáció szerint a Gyermejkölési és családsegítő épület villamosenergia-felhasználása 2014-ben 234 kWh volt. Ennek az épületnek a villamosenergia-igényét egy darab Korax KS 250 típusú napelemmel is fedezni lehetne. Az épület teljes tetőfelülete 306 m², mely déli oldalának a felülete 116 m². Erre a felületre 50 darab napelemet lehetne felszerelni, mely névleges összteljesítménye 12.500 W, éves villamosenergia-termelése ~ 12.500 kWh lenne. A napelem panelek az inverterek és a tartószerkezet beruházási költsége a jelenlegi piaci árakat figyelembe véve ~5.572.500 Ft [5].

- Rendőrség:

A rendőrség épületének villamosenergia-igénye 2014-ben 693 kWh volt. A Korax KS 250 típusú napelemekből három darab elegendő lenne az épület villamosenergia-fogyasztásának fedezésére, az épület fekvését és tetőszerkezet méreteit figyelembe véve, összesen 36 db napelem panelt lehetne felszerelni. A 36 napelem névleges összteljesítménye 9000 W, éves villamosenergia-termelése 9000 kWh lenne. A napelem panelek piaci ára az inverterrel és a tartószerkezettel együtt ~4.023.000 Ft [5].

- Zonda-ház:

A Zonda-házban a város helytörténeti gyűjteménye tekinthető meg. Villamosenergia-igénye 2014-ben 912 kWh volt. Ez a villamosenergia-mennyiség négy darab Korax KS 250-es napelem panel által fedezhető lenne. Az épület déli fekvésű tetőszerkezete nem alkalmas napelem panelek felszerelésére, valamint maga a tetőfelület sem túl nagy. A beépíthető tetőfelület, amely kelet-nyugati fekvésű, 325 m². Az ezekre telepíthető napelem panelek száma 132 darab, melynek piaci ára, az inverterekkel és a tartószerkezettel együtt ~14.561.000 Ft [5].

- Tűzoltóság

A tűzoltóság épülete kelet-nyugati fekvésű, 358 m² tetőfelülettel, melyre 96-96 darab, vagyis összesen 192 darab Korax KS 250 típusú napelem helyezhető fel. A rendszer névleges összteljesítménye 48.000 W, éves maximális villamosenergia-termelése ~ 48.000 kWh lenne. A napelemek beruházási költsége, inverterekkel és tartószerkezettel együtt ~21.200.000 Ft [5].

- Községi Ház és Könyvtár

Az épület napelem panelekkel beépíthető tetőfelülete 806 m². Észak-déli és kelet-nyugati fekvésű tetőfelületek is vannak, melyekre összesen 215 napelem panelt lehetne felszerelni. Az így felszerelt napelem rendszer névleges összteljesítménye 53.750 W, melynek éves villamosenergia-termelése ~53750 kWh lenne. A napelemek, az inverterek és a tartószerkezetek jelenlegi piaci ára ~23.872.000 Ft [5].

A napelem-rendszerek beruházási költségét kitevő további költségek, mint előzetes vizsgálatok, projekt menedzsment, engedélyezés, dokumentáció stb. becsült értéke, a hivataltól kapott információk alapján ~5-7 millió forint a beruházás nagyságától függően [5].

5.2. Villamosenergia-igény biztosítása szélgenerátorokkal

A Komádiban jellemző szélesebbeséget figyelembe véve, egy olyan szélgenerátort választottunk a szélenergia hasznosítására mely már alacsony szélesebbeségnél is hatékonyan tud működni. A választott szélgenerátorunk egy Maglev 2000-es vertikális szélgenerátor, melynek teljesítmény 2000W, vagyis 13 m/s-os szélesebbeség mellett 2000Wh áramot termel óránként. A minimális teljesítményhez, vagyis hogy a szélgenerátor már áramot is termeljen 2m/s-os szélesebbeség szükséges [6].

Az önkormányzati tulajdonban lévő létesítmények villamos-energia szükségletének kiváltásához ~31 darab Maglev 2000-es szélgenerátorra lenne szükség, melyek felszerelhetők az épületek tetőszerkezetére, de külön felállított oszlopokra is [5].

A 31 darab szélgenerátor elhelyezése valamint a további költségek, mint helyszíni felmérés, engedélyeztetés, telepítés stb. összesen, jelenlegi piaci árak alapján, ~120 millió forint lenne.

6. BERUHÁZÁSOK MEGTÉRÜLÉSE

A beruházások megtérülési idejének számítása során azt vizsgáltuk, hogy az állam által bevezetett rezsicsökkentés milyen hatással van a megtérülési időre.

A számításaink során az alábbi képletet alkalmaztuk:

$$NPV = C_0 + \sum_{n=1}^n \frac{C_n}{(1+r)^n}$$

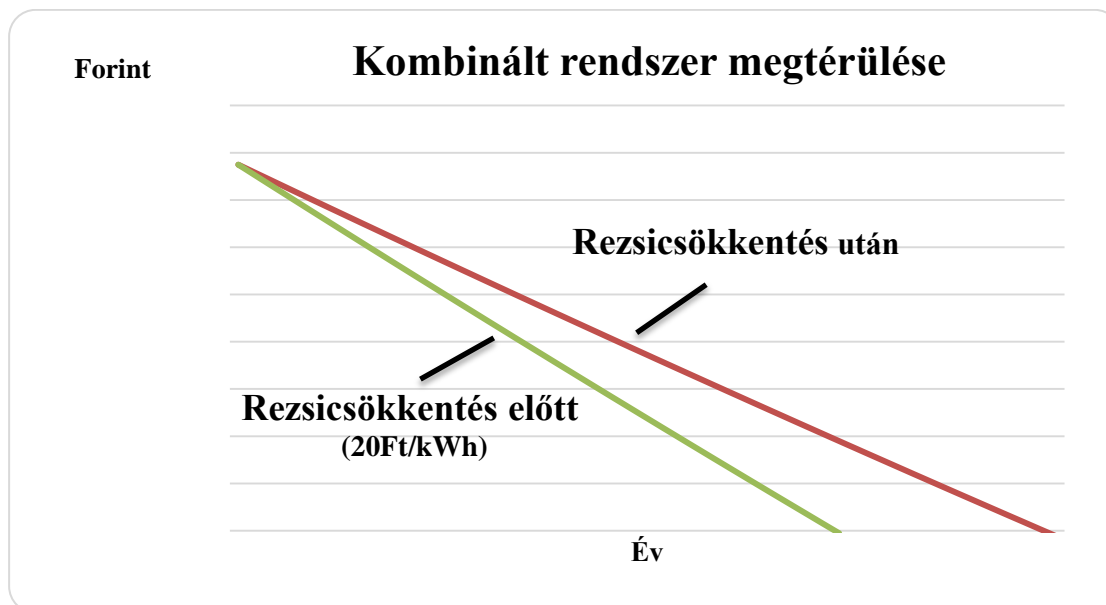
ahol,

- NPV – nettó jelenérték
- C₀ – beruházás költsége
- C_n – bevétel az n-edik évben
- r – megtérülési ráta (2%) [7].

Vizsgálatunk során kiderült, hogy a napelemes és a szélgenerátoros rendszer megvalósítási költsége túl magas lenne, ezért nem érdemes kivitelezni. A napelemes rendszer esetében a beruházás költség rezsicsökkentés előtti áron számolva 35, míg rezsicsökkentés utáni, azaz jelenlegi áron számolva 47 év alatt térülne meg. Figyelembe véve a napelemek várható élettartalmát, a beruházás biztosan nem térülne meg. A szélgenerátoros rendszer esetében magasabb a beruházás költsége. Rezsicsökkentés előtti áron számolva 31 év, míg jelenlegi áron számolva 41 év lenne a megtérülés ideje.

7. JAVASLATTÉTEL

A megtérülési számításokat figyelembe véve a kombinált beruházás megtérülési ideje a leghosszabb, mégis ennek a megvalósítását javasoljuk (3.ábra).



3. ábra: Kombinált beruházás megtérülése
 Forrás: [5 alapján saját szerkesztés]

Napenergiával biztosítottuk az önkormányzat tulajdonában lévő épületek és létesítmények villamosenergia-felhasználásának 74,4 %-át, amely **199.250 kWh** villamos energiát jelent. Ehhez, a már meglévő napelemekkel együtt összesen 797 darab napelemet használtunk fel 1549,3 m² tetőfelületet lefedve. Javasoljuk, hogy a fennmaradt 68.550 kWh villamosenergia-szükségletet szélgenerátorok telepítésével biztosítsák. Ezt a mennyiséget az általunk választott szélgenerátor típusból 12 darab tudná fedezni, feltéve, hogy azok nem működnek maximális teljesítménnyel.

A beruházás rész költségeit az alábbi táblázat mutatja:

Gyermekjóléti és családsegítő szolgálat	5.572.552 Ft
Rendőrség	4.023.041 Ft
Zonda-ház	14.561.798 Ft
Tűzoltóság	21.237.058 Ft
Közösségi ház és könyvtár	23.872.178 Ft
Napelem beruházás egyéb költségei	35.000.000 Ft
Szélgenerátorok	32.400.000 Ft
Szélenergetikai beruházás egyéb költségei	18.288.000 Ft
Összesen	154.954.627 Ft

1. táblázat: Beruházás összesítése
 Forrás: [5, 7 alapján saját szerkesztés]

Javasoljuk a beruházás részekre bontását, a könnyebb kivitelezhetőség és az esetleges jobb megtérülés elérése érdekében.

Ezen kívül javasoljuk a Komádiban lévő termál kutak újbóli megnyitását, és annak hő energetikai hasznosítását, valamint a mező és erdőgazdálkodásból keletkező hulladék felhasználását hőtermelési célokra.

ÖSSZEFOGLALÁS

Komádiról összességében elmondható hogy bár lakosainak száma folyamatosan csökken, gazdaságilag fokozatosan fejlődő városról van szó. Országos viszonylatban jó megújuló energetikai adottságokkal rendelkezik, de ezek hasznosítása még elenyésző.

A város már elkezdte kiaknázni a kedvező napenergetikai adottságait. Jelenleg három épületen található napelem rendszer, melyek a városvillamosenergia-igényének 6,34%-át biztosítják.

A dolgozatunkban vizsgált önkormányzati tulajdonban lévő épületek alkalmasak lennének nap- és szélenergetikai rendszerek telepítésére villamosenergia-előállítási céllal. Az önkormányzati villamosenergia-felhasználás napelemekkel történő fedezése külön erre a célra létrehozott létesítmény nélkül nem kivitelezhető, ezért a napelem-szélgenerátor kombinációs rendszert javasoltuk.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **Ádám Béla:** *Energiaellátás, alternatív energiaforrások hasznosítása*, 2011
http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0019_Energiaellatas_alternativ_energiaforrasok_hasznositasa/ch01.html
letöltés időpontja:2015.10.10
- [2] **Lukács G. S.:** *Zöldenergia: Lehetőségek a vidékfejlesztésben*, Szaktudás, Bp. 2007
- [3] **MEGAKOM (2010):** *Komádi város integrált városfejlesztési stratégiája*
http://www.komadi.hu/images/pdf/101124_komadi_varosfejlesztes.pdf letöltés ideje: 2015.09.15
- [4] **Lukács G. S. (2010):** *Megújuló energiák könyve*, Budapest, Szaktudás, ISBN:978-963-9935-53-2
- [5] **Komádi önkormányzattól kapott információk**
- [6] <http://www.megujuloenergiak.eu/vertikalis-szelgenerator> letöltés ideje: 2015.10.28
- [7] **Bélyácz Iván :** *A vállalati pénzügyek alapjai*, Aula, Bp.,2007, ISBN: 978-963-9698-13-0

ÁLTALÁNOS MATEMATIKAI MODELL FELÜLETEK, HAJTÓPÁROK GYÁRTÁSGEOMETRIAI ELEMZÉSÉRE, TERVEZÉSÉRE ÉS GYÁRTÁSÁRA (ProMAT)

DUDÁS Illés

D.Sc., professzor emeritus, illes.dudas@uni-miskolc.hu

¹Miskolci Egyetem, Gépgyártástudományi Intézet, H-3515 Miskolc, Egyetemváros

¹Nyíregyházi Főiskola, Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártástechnológia Tanszék,
H-4400, Nyíregyháza, Sóstói u. 31/B.

1. BEVEZETÉS

Ezen tanulmány célkitűzése a kinematikai geometria és a fogazás elmélet eredményeire támaszkodva a geometriailag helyes gyártásgeometriai, gépgyártástechnológiai eljárások (pl.: konjugált felületek kapcsolódása, esztergálás, fúrás, marás, köszörülés, stb.) általánosítása, a szerszámok gyártásgeometriai elemzése a geometriai és kapcsolódási viszonyok matematikai meghatározása közös modellben (ProMAT) való elemzésre. A módszer meghatározása révén törekvésünk, hogy minden felület gyártásgeometriáját egy közös rendszerbe összefoglalva tárgyaljuk, hogy a korszerű gyártórendszerekben (CAD, CAM, CAQ, CIM) geometriailag helyesen előállíthatóak legyenek.

1. INTRODUCTION

The objective of this study is the generalization of the methods of machining geometry and manufacturing technology with precise geometry (eg contacting conjugated surfaces, turning, drilling, milling, grinding, etc) - based on the results of kinematic geometry and the theory of teeth - and the machining geometric analysis of tools, the mathematical definition of the geometric and contacting conditions for the analysis in a joint model (ProMAT). By defining the method our aim is to discuss the machining geometry of all surfaces summarized in a single system in order that they could be manufactured with precise geometry in modern manufacturing systems (CAD, CAM, CAQ, CIM).

2. HENGERES ÉS KÚPOS FELÜLETEK ILLETVE CSAVARFELÜLETEK GYÁRTÁSGEOMETRIÁJÁNAK VIZSGÁLATA ÁLTALÁNOS MATEMATIKAI KINEMATIKAI MODELLBEN

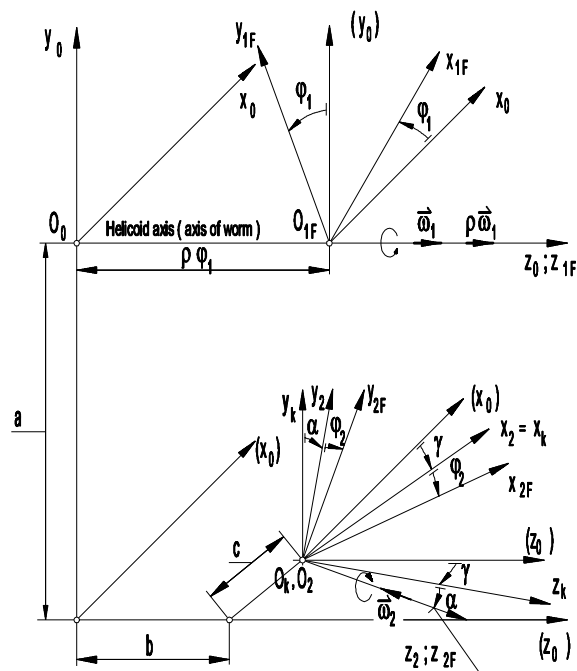
Évtizedek óta tartó kutatómunkánk során a helikoid felületek előállítását elemeztük általános matematikai modellben, a szerző MTA doktori értekezésében (1991) [9]. Jelen tanulmányban a HeliCIM modelleket [8] fejlesztettük tovább az általános gépgyártástechnológiai eljárások alkalmazására is.

2.1. Hengeres felületek illetve csavarfelületek gyártásgeometriájának elemzése az általános matematikai – kinematikai modellben

A hengeres csavarfelületek illetve hengeres felületek megmunkálása csak az emelkedés nagyságában függ, vagyis adott nagy emelkedés esetén csavarfelületet kapunk, egy lényegesen kisebb emelkedés esetén hengeres felület esztergálásáról beszélhetünk.

A hengeres csavarfelületek (1. ábra) tárgyalására, a különböző leképzési módok [13, 15, 18] és a generáló szerszámprofilok vizsgálatára célszerű a hengeres csavarfelületek gyártásgeometriáját egy összevont általános rendszerben elemezni. Természetesen ezen rendszerben a hajtópárok is elemezhetőek a γ szög változtatásával.

A vizsgálat során alkalmazott koordináta-rendszereket, valamint azok egymáshoz viszonyított helyzetét az 1. ábra szerint rögzítjük.



1. ábra. Koordináta-rendszerek kapcsolata hengeres csavarfelületek gyártáselméletének általános vizsgálatánál

A 1. ábra jelölései a következők:

- a, b, c a szerszám koordináta-rendszere kezdőpontjának (O_2) koordinátái a K_0 koordináta-rendszerben,
- φ_1 a csavarfelület elfordulásának szöge, (szögelfordulási, burkolási, ill. mozgásparaméter),
- φ_2 a szerszám elfordulásának szöge (maró vagy köszörűkorong),
- i_{21} $i_{21} = \varphi_2/\varphi_1$ áttétel,
- γ a szerszámnak a csavarfelület osztóhengeri menetemelkedési szögével való bedöntése,
- α a szerszám döntési szöge a csavarfelület profiljára, a jellegzetes metszetben (pl. evolvens csavarfelület köszörülése sík homloklapfelületű köszörűkoronggal).

A koordináta-rendszerek az alábbiak szerint értelmezhetőek:

- $K_0(x_0, y_0, z_0)$ álló koordináta-rendszer, a megmunkáló szerszám gép koordináta - rendszere,
- $K_{1F}(x_{1F}, y_{1F}, z_{1F})$ csavarmozgást végző koordináta-rendszer, a csavarfelület koordináta-rendszere,

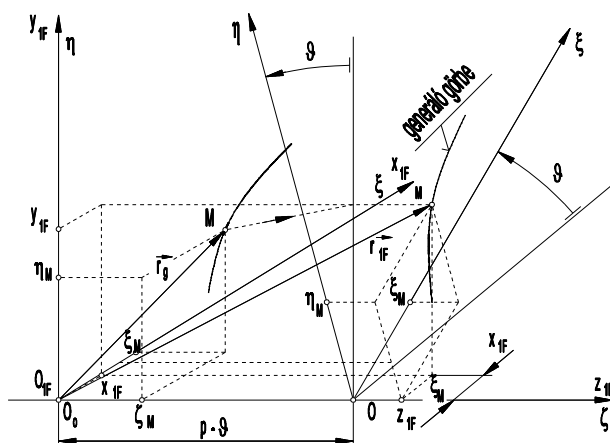
- $K_2(x_2, y_2, z_2)$ álló koordináta-rendszer, a szerszám koordináta-rendszere,
- $K_{2F}(x_{2F}, y_{2F}, z_{2F})$ a szerszámhoz kötött forgó koordináta-rendszer,
- $K_k(x_k, y_k, z_k)$ segéd koordináta-rendszer,
- $K_S(\xi, \eta, \zeta)$ generálgörbe koordináta-rendszere.

A gyártásgeometria általános tárgyalásához mindenekelőtt a hengeres csavarfelületek származtatásának egységes meghatározása szükséges, amelyet a következők szerint értelmezünk.

Adott az \vec{r}_g generálgörbe a $K_S(\xi, \eta, \zeta)$ koordináta-rendszerben. Ez a generálgörbe lehet szerszámél (pl. esztergálásnál) vagy érintkezési görbe (pl. köszörülésnél). A generálgörbe egyenletének felírásánál az η paramétert válasszuk, célszerűségéből, független változónak. Így a vezérgörbe paraméteres vektorfüggvénye:

$$\vec{r}_g = \zeta(\eta) \vec{i} + \eta \vec{j} + \xi(\eta) \vec{k}. \quad (1)$$

Az \vec{r}_g generálgörbét hordozó $K_S(\xi, \eta, \zeta)$ koordináta-rendszerrel a ζ tengely mentén p paraméterű csavarmozgást közölve a generálgörbe egy csavarfelületet sűrol a $K_{1F}(x_{1F}, y_{1F}, z_{1F})$ koordináta-rendszerben, amely e mozgás közlése előtt egybeesik a K_S koordináta-rendszerrel (2. ábra).



2. ábra. A csavarfelület \vec{r}_g vezérgörbéje a K_{1F} koordináta-rendszerben

2.1.1. Az ismertett modell alkalmazási lehetőségei

A modell egyaránt alkalmas csavarfelületek egy- és többélű határozott, vagy határozatlan élgeometriájú szerszámmal való megmunkálásának, valamint a megmunkáláshoz szükséges szerszámok tervezésére, a 2. ábrán feltüntetett a, b, c, α, γ paraméterek megfelelő megválasztásával a szabványban rögzítetteken túlmenően minden speciális profilú csavarfelület esetére is.

A két felület a relatív mozgásban egy térbeli görbe vonal mentén érintkezik egymással, amelynek minden pontjára érvényes a kapcsolódás általános törvénye:

$$\vec{n}^{(1)} \cdot \vec{v}^{(12)} = \vec{n}^{(2)} \cdot \vec{v}^{(12)} = 0, \quad (2)$$

ahol $\vec{n}^{(1)}$ a csavarfelület normálvektora; $\vec{n}^{(2)}$ a szerszámfelület normálvektora; $\vec{v}^{(12)}$ a csavarfelület és a szerszámfelület közötti relatív sebességvektor.

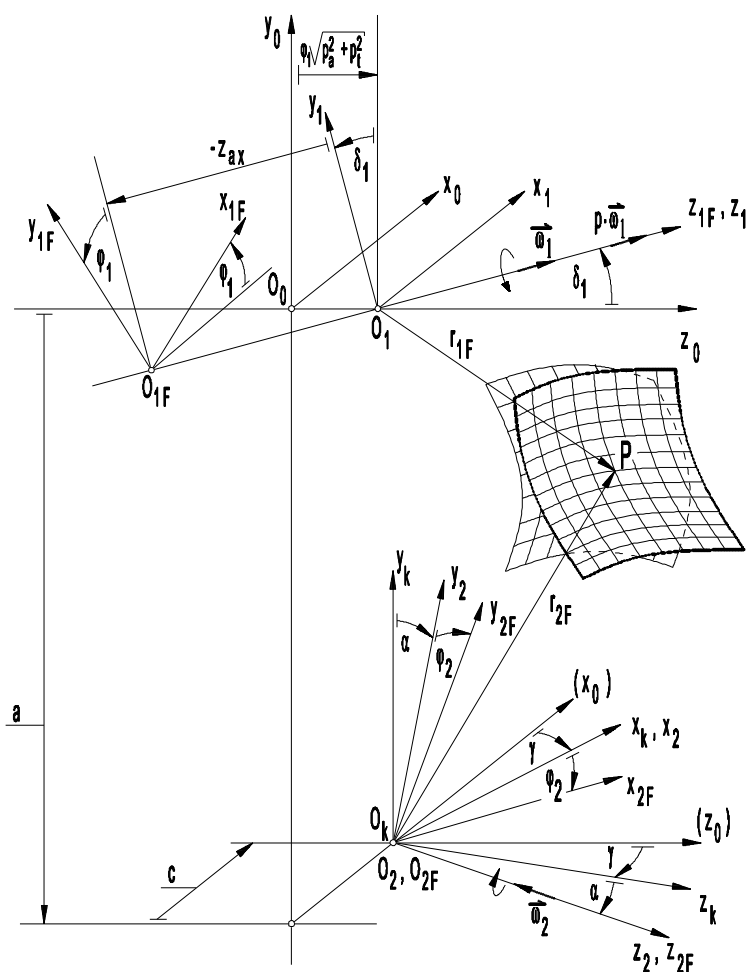
Az érintkezési görbe ismerete lehetővé teszi a szerszám (a *direkt eset*), vagy a csavarfelület (b *indirekt eset*) meghatározását [8, 9].

2.2 Kúpos csavarfelületek matematikai előállítás

A spiroid hajtópár kúpos csigájának fogfelületét hasonló módon lehet származtatni, mint a hengeres csigáét, de a szerszám axiális elmozdulásával (p_a) egy időben – a csiga kúposágától függő – a szerszám tangenciális eltolását (p_t) is biztosítani kell [8, 14].

2.3 Az általános matematikai modell a hengeres és kúpos felületek ill. csavarfelületek elemzésére

A hengeres csavarfelületek és szerszámaik, valamint kúpos csavarfelületek és szerszámaik kapcsolódásának vizsgálatára megalkotott modelleket egyesítve egy összevont általános kinematikai modellt (3. ábra) kapunk, amely alkalmas az említettek egy matematikai modellben való kezelésére (HeliMAT).



3. ábra. Koordináta-rendszerek kapcsolata hengeres, kúpos csavarfelületek gyártásemelvényének általános vizsgálatánál (a tengelytáv $a = \text{const}$, vagy $a = a_0 + p \cdot \phi$)

- p_a a csavarfelület axiális irányú emelkedési paramétere;
- p_r a csavarfelület radiális irányú emelkedési paramétere.

A **direkt feladat** megoldása (a munkadarab felülete ismert), amikor \vec{r}_{1F} ismeretében keressük a 2 felületet, ill. az érintkezési vonal pontjait. Ezek szerint a továbbiakban meghatározhatjuk a csak a kinematikai viszonyoktól függő:

$$\frac{d\mathbf{M}_{2F,1F}}{dt} \quad \text{és} \quad (5)$$

$$\mathbf{P}_{1a} = \mathbf{M}_{1F,2F} \cdot \frac{d\mathbf{M}_{2F,1F}}{dt} \quad (6)$$

mátrixokat. A műveletek elvégzése után kapjuk a \mathbf{P}_{1a} – az általános modell kinematikai leképezésének mátrixát.

Az egyenletet valamelyik belső paraméterre (pl. η) megoldva,

$$\vec{r}_{1F} = \vec{r}_{1F}(\eta, \mathcal{G}) \quad (7)$$

felhasználásával kapjuk a felületek közötti érintkezési görbe egyenletét:

$$\vec{r}_{1F} = \vec{r}_{1F}[\eta(\mathcal{G}), \mathcal{G}] = \vec{r}_{1F}(\mathcal{G}) \quad (8)$$

alakban, melyet az

$$\vec{r}_{2F}(\mathcal{G}) = \mathbf{M}_{2F,1F} \cdot \vec{r}_{1F}(\mathcal{G}) \quad (9)$$

transzformációval a szerszám generálórendszerében is felírhatunk, megkapva így a generált **szerszámfelület generálógörbáját**.

Az inverz feladat megoldása során, amikor \vec{r}_{2F} adott a K_{2F} koordináta-rendszerben, azaz a megmunkálószerszám felülete ismert, a direkt feladatnál megismert elvet alkalmazhatjuk, csupán a transzformációk iránya változik meg.

Adott a megmunkálószerszám felületének kétparaméteres egyenlete:

$$\vec{r}_{2F} = \vec{r}_{2F}(y_{20}, \Psi). \quad (10)$$

Az I felület a burkolófelületek elmélete szerint az \vec{r}_{2F} által a mozgás során előállított felületsereg mozgásparaméter szerinti differenciálásával nyerhető, míg az érintkezési görbe az

$$\vec{n}_{2F} \cdot \vec{v}_{2F}^{(21)} = 0 \quad \text{és} \quad \vec{r}_{1F} = \mathbf{M}_{1F,2F} \cdot \vec{r}_{2F} \quad (11)$$

együttes megoldásával állítható elő a K_{1F} koordináta-rendszerben, ahol

$$\vec{n}_{2F} = \frac{\partial \vec{r}_{2F}}{\partial y_{20}} \cdot \frac{\partial \vec{r}_{2F}}{\partial \Psi}; \quad \vec{v}_{2F}^{(21)} = \mathbf{P}_{2a} \cdot \vec{r}_{2F}. \quad (12)$$

Határozzuk meg az inverz feladat konkrét megoldásához is a P_{2a} mátrixot:

$$\underline{\mathbf{P}}_{2a} = \underline{\mathbf{M}}_{2F,1F} \cdot \frac{d\underline{\mathbf{M}}_{1F,2F}}{dt}. \quad (13)$$

Ezzel:

$$\vec{n}_{2F} \cdot \vec{v}_{2F} = 0 \quad \text{és} \quad (14)$$

$$\vec{r}_{1F} = \underline{\mathbf{M}}_{1F,2F} \vec{r}_{2F} \quad (15)$$

együttes megoldásával a karakterisztika, majd ennek ismeretében a keresett csavarfelület egyenlete előállíthat

A modell segítségével módunkban áll meghatározni az érintkezési vonalat mind megadott \vec{r}_{1F} (l munkadarab) felületből kiindulva (direkt feladat), mind megadott \vec{r}_{2F} (2 szerszám) felület ismeretében (inverz feladat). A meghatározott érintkezési vonalat pedig vezérgörbéként felhasználva a (9) szerint határozhatjuk meg az általa leírt 2 szerszámfelületet, valamint a (14, 15) összefüggés felhasználásával az l munkadarab-felületet.

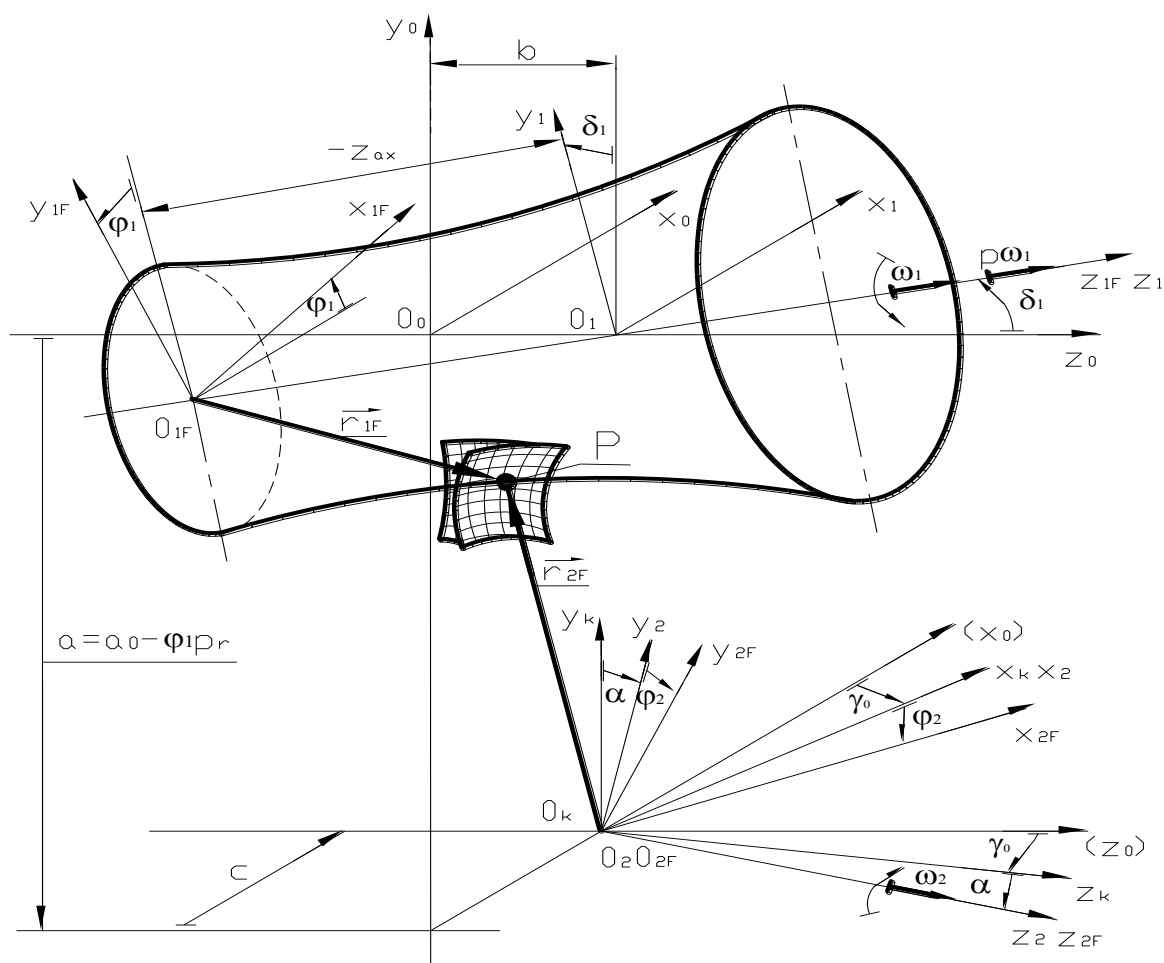
Az l munkadarab-felület hengeres vagy kúpos csavarvonal hordozójú tetszőleges generálgörbéjű (menetszelvényű) felület lehet.

A gyakrabban alkalmazott munkadarab- és szerszámfelület típusait az 5. ábrán látható táblázatban adjuk meg, jelezve az egyes esetekben 0 értéket felvevő kinematikai paramétereket is.

Az általános kúpos csavarfelület és az általános matematikai-kinematikai modell együttes felhasználásával kapott összefüggések megfelelő paraméterezésével – a konkrét geometriai adatok: az egyenes alkotó helyzete, menetemelkedés paraméterei stb. – kapott egyenletből közvetlenül kapjuk a korongprofil pontjait. Hasonlóan rendelkezésre áll a paraméterezhető korongprofil függvény a többi menettípus esetére. Ezekről eltérő esetekben is mód van az általános $\underline{\mathbf{P}}_{1a}$ kinematikai viszonyokat leíró mátrix megfelelő paraméterezésével és a csavarfelület egyenletének megadásával a korongprofil rövid úton való előállítására pl. csavarkompresszor elemeinek megmunkálása, spirálhornyú fűrők, marók, menetfűrők, golyósorsók, vezérorsók stb.

3. ÁLTALÁNOS MATEMATIKAI MODELL A GÉPGYÁRTÁSTECHNOLÓGIAI ELJÁRÁSOK MATEMATIKAI MODELLEZÉSÉRE

A csavarfelületekre kifejlesztett modellben a tengelytáv változással [2] és a b tetszőleges megválasztásával lehetővé vált, hogy általános gépgyártástechnológiai eljárások megoldására és különböző fogazott hajtópárok modellezésére alkalmazzuk a modellt (pl. 6. ábra táblázata). A 4. ábrán b az K_1 álló és a K_0 koordináta rendszerek távolságát jelöli.



4. ábra. Általános matematikai modell (ProMAT)

ÖSSZEFOGLALÁS

Sikerült egy olyan matematikai modellt kialakítani (ProMAT), amelyben minden felület kapcsolódását, gyártásgeometriáját egy közös rendszerbe összefoglalva tárgyaljuk, hogy a korszerű gyártórendszerekben előállíthatóak legyenek (CAD, CAM, CAQ, CIM).

Mozgásgeometriai jellemző		a	c	α	γ	δ	P_a	P_r	
Szerszám típusa 2	Munkadarab típusa 1								
Tárcsa alakú maró, illetve korong	Hengeres csiga	ZA	>0	0	0	≠0	0	≠0	0
		ZI*	>0	0	0	≠0	0	≠0	0
		ZI**	>0	≠0	>0	≠0	0	≠0	0
		ZN	>0	0	0	≠0	0	≠0	0
		ZT	>0	0	0	≠0	0	≠0	0
		ZK	0	0	0	≠0	0	≠0	0
	Kúpos csiga	KA	>0	0	0	≠0	>0	≠0	>0
		KI*	>0	0	0	≠0	>0	≠0	>0
		KI**	>0	≠0	>0	≠0	>0	≠0	>0
		KN	>0	0	0	≠0	>0	≠0	>0
		KT	>0	0	0	≠0	>0	≠0	>0
	KK	>0	0	0	≠0	>0	≠0	>0	
	Axiális hátfelület		>0	0	0	≠0	0	≠0	0
	Radiális és diagonális hátfelület		>0	0	0	≠0	>0	≠0	>0
Csapos korong, illetve ujjmaró	Hengeres csiga	ZA	>0	0	-90°	0	0	≠0	0
		ZI*	>0	0	-90°	0	0	≠0	0
		ZI**	-	-	-	-	-	-	-
		ZN	>0	0	-90°	0	0	≠0	0
		ZT	>0	0	-90°	0	0	≠0	0
		ZK	>0	0	-90°	0	0	≠0	0
	Kúpos csiga	KA	>0	0	-90°	0	>0	≠0	>0
		KI*	>0	0	-90°	0	>0	≠0	>0
		KI**	-	-	-	-	-	-	-
		KN	>0	0	-90°	0	>0	≠0	>0
		KT	>0	0	-90°	0	>0	≠0	>0
	KK	>0	0	-90°	0	0	≠0	0	
	Axiális hátfelület		0	0	-90°	0	0	≠0	0
	Radiális és diagonális hátfelület		0	0	-90°	0	>0	≠0	>0
Fazékkorong, illetve késes fej	Hengeres csiga	ZA	>0	≠0	>0	≠0	>0	≠0	0
		ZI*	>0	≠0	>0	≠0	0	≠0	0
		ZI**	-	-	-	-	-	-	-
		ZN	>0	≠0	>0	≠0	0	≠0	0
		ZT	>0	≠0	>0	≠0	0	≠0	0
		ZK	>0	≠0	>0	≠0	0	≠0	0
	Kúpos csiga	KA	>0	≠0	>0	≠0	>0	≠0	>0
		KI*	>0	≠0	>0	≠0	>0	≠0	>0
		KI**	-	-	-	-	-	-	-
		KN	>0	≠0	>0	≠0	>0	≠0	>0
		KT	>0	≠0	>0	≠0	>0	≠0	>0
	KK	>0	≠0	>0	≠0	>0	≠0	>0	
	Axiális hátfelület		>0	≠0	>0	≠0	0	≠0	0
	Radiális és diagonális hátfelület		>0	≠0	>0	≠0	>0	≠0	>0

* Kúpos koronggal,

** Kiemelt (c) síkfelületű koronggal való megmunkálás

5. ábra. A leggyakoribb munkadarab- és számszámfelület-típusok az általános modellben

Gyártási eljárás neve	φ_1	φ_2	a	c	γ_0	α	δ_1	p_a	p_r	b	z_{ax}
Gyalulás	0	0	>0	0	0	0	0	0	0	változó	0
Külső hengeres felület esztergálás	>0	0	0>	0	0	0	0	>0	0	változó	0
Külső kúp felület esztergálás (csúcselállítás nélkül)	>0	0	0> változó	0	0	0	0	>0	>0	változó	0
Külső kúp felület esztergálás (csúcselállítással)	>0	0	0>	0	>0	0	0	>0	>0	változó $b = \varphi_1 \cdot \sqrt{p_a^2 + p_r^2}$	0
Külső hengeres felület köszörülés	>0	>0	0>	0	>0	0	0	>0	0	változó	0
Külső kúp felület köszörülés (csúcselállítás nélkül)	>0	>0	0> változó	0	>0	0	0	>0	>0	változó $b = \varphi_1 \cdot \sqrt{p_a^2 + p_r^2}$	0
Külső kúp felület köszörülés (csúcselállítással)	>0	>0	0>	0	>0	0	>0	>0	>0	változó $b = \varphi_1 \cdot \sqrt{p_a^2 + p_r^2}$	0
Fúrás, furatbővítés	0	0	>0 változó	0	>0	0	0	0	0	0	0
Reteszhorony marás hosszlyukmaróval	0	0	>0 változó	0	>0	0	0	0	0	változó	0
Reteszhorony marás újmaróval	0	0	>0 változó	0	>0	0	0	0	0	változó	0
Reteszhorony marás tárcsamaróval vagy martfogú reteszhorony maróval	0	0	>0	0	0	>0	0	0	0	változó	0
Ellenirányú marás	0	0	>0	0	0	>0	0	0	0	változó	0
Egyenirányú marás	0	0	>0	0	0	0>	0	0	0	változó	0
Rotációs marás	>0	>0	0>	0	>0	0	0	>0	0	változó	0
Pfauter fogazás	>0	0	>0	0	0	>0	0	>0	0	0	0

6. ábra. A leggyakoribb gépgyártástechnológiai eljárások megoldása az általános modellben

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

DIFICAD MÉRNÖKIRODA KFT. Az általunk kifejlesztett tengelymetszetben körív profilú kúpos csigahajtópár és lefejtőmaró [10] gyártástechnológiájának kifejlesztése és tényleges gyártása a **Dificad Mérnökiroda Kft.**-nél (Miskolc, Szentpéteri Kapu 5-7., Üv.: **Dr. Dudás Illés.**) történt (7. ábra).



7. ábra. A képen a csigatengely köszörülése (a) és a maró hátraköszörülése (b) látható (DifiCAD Mérnökiroda Kft.)

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BALAJTI ZS.:** *Kinematikai hajtópárok gyártásgeometriájának fejlesztése*, Ph.D. értekezés, Miskolc, Miskolci Egyetem, 2007.
- [2] **BÁNYAI, K., DUDÁS, I.:** *Analysis of the spiroid driving having new production geometry*, Production Process and Systems, A publication of the University of Miskolc, Miskolc, volume 1 (2002), pp. 177-184.
- [3] **BÁNYAI, K.:** *Hengeres csigák gyártásgeometriája és ellenőrzése*, Egyetemi doktori értekezés, Miskolc, 1977.
- [4] **BERCSEY, T.:** *Toroid hajtások elmélete*. Kandidátusi értekezés, Budapest, 1977.
- [5] **BODZÁS, S.:** *Kúpos csiga-, tányérkerék- és szerszám felületek kapcsolódásának elemzése*, Ph.D. értekezés, Miskolci Egyetem, 2014., p. 154., Doktori témavezető: Prof. Dr. Dudás Illés, DOI 10.14750/ME.2014.006
- [6] **CSIBI, V. I.:** *Contribution to Numerical Generation of Helical Gearing with any Profils* (in Romanian), Ph.D. dissertation, Technical University of Cluj-Napoca, 1990.
- [7] **CSÓKA, L.:** *Csigakerék lefejtőszerszámok gyártásgeometriája*, Egyetemi doktori értekezés, ME, 1990,
- [8] **DUDÁS, I.:** *The Theory & Practice of Worm Gear Drives*. Kogan Page US, Sterling, USA, 2004. ISBN 1 9039 9661 9.
- [9] **DUDÁS, I.:** „Csavarfelületek gyártásának elmélete”. Akadémiai doktori disszertáció, Miskolc, 1991.
- [10] **DUDÁS, I., BODZÁS, S., DUDÁS, I. SZ., MÁNDY, Z.:** *Konkáv menetprofilú spiroid csigahajtópár és eljárás annak köszörüléssel történő előállítására*, Szabadalmi bejelentés napja: 2012.07.04., Szabadalmi lajstromszám: 229 818
- [11] **DUDÁS, I., BODZÁS, S., MÁNDY, Z.:** *Solving the pitch fluctuation problem during the manufacturing process of conical thread surfaces with lathe center displacement*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology 69:(5-8) pp. 1025-1031. (2013)
- [12] **DUDÁS I, MONOSTORI R.:** *Analisis of big joint implant*, 11th International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments, ISMTII 2013. Aachen, 2013.07.01-2013.07.05. Aachen: RWTH, 2013. Paper 21. (ISBN:978-3-86359-138-0)

- [13] **DUDÁS, L.:** *Kapcsolódó felületepárok gyártásgeometriai feladatainak megoldása az elérés modell alapján*, Kandidátusi értekezés, Budapest, TMB, 1991., p.144., 2005. 06. 29.
- [14] **HEGYHÁTI, J.:** *Untersuchungen zur Anwendung von Spiroidgetrieben*. Diss. A. TU. Dresden, 1988. p. 121.
- [15] **HOLLANDA, D.:** *Bazele aschieri si generali supracetelol*. Vol. II., Universitatea „Petru Maior” Tirgu Mures, 1996.
- [16] **HOLLANDA, D., MÁTÉ, M.:** *Evolvenskerekeket lefejtő csigamaró származtató felületei*. Országos Gépész Találkozó, Marosvásárhely, 2006. Konferenciakötet, 164-169 old. ISBN (10) 973-7840–10-0
- [17] **LÉVAI I.:** *Fogazatok kapcsolódásának kinematikai elmélete és alkalmazása hipoid-hajtások tervezésére*, Akadémiai doktori értekezés, Miskolc, 1980. 1/153.
- [18] **LITVIN, F. L., FUENTES, A.:** *Gear Geometry and Applied Theory*, Cambridge University Press, 2004., ISBN 978 0 521 81517 8
- [19] **MAROS D., KILLMANN V., ROHONYI V.:** *Csigahajtások*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1970.
- [20] **MOLNÁR J.:** *A megmunkáló rendszer elmozdulékonyságából származó megmunkálási hiba meghatározásának kísérleti-analitikai módszere*, Egyetemi doktori értekezés, Miskolc, 1969. p.67.
- [21] **PÁLFFY K., PREZENSZKY T., CSIBI V., ANTAL B., GYENGE CS., BALOGH F.:** *Fogazott alkatrészek tervezése, szerszámai és gyártása*, Glória Kiadó, Kolozsvár, 1999.
- [22] **PAY, E.:** *Reductor melcat cu melc interior*, (Belső csigás hajtómű), Brevet de inventie nr. 90521, 1986., Bucuresti, Romania
- [23] **PAY G.:** *Belső csigás hajtások*, Ph.D disszertáció, Miskolc, 2001.

KVÁZI-HELIKOID FELÜLETEK ALKALMAZÁSÁNAK ÉS ELŐÁLLÍTÁSÁNAK ELEMZÉSE

ANALYSIS OF APPLICATION FIELD AND PRODUCTION OF QUASI-HELICOID SURFACES

DUDÁS László

egyetemi docens
Miskolci Egyetem
iitdl@uni-miskolc.hu

Kivonat: A cikk első része a szabályos hengeres felületektől eltérő csavarfelületek, pl. kúpos, globoid csigák, egyéb nemszabályos csavarfelületek iparban használatos féleségeit elemzi, bemutatva több újabb szabadalmaztatott kialakítást is, pl. lokalizált kapcsolódású csigahajtások, energetikai gépek rotorjai. A cikk második része ezen felülettípusok elvi pontosságú megmunkálásának szabadalmaztatott eljárását ismerteti, kitérve több esetben a szükséges köszörűkorong felületének meghatározási lehetőségére is.

Kulcsszavak: kvázi-helikoid, csavarfelület, köszörülés, Surface Constructor

Abstract: The first part of the paper analyses the types of non-helicoidal surfaces, e.g. conical, hourglass worms and other non-standard helical surfaces used by the industry. It presents more new patented constructions, like worm gearing with localised mating, rotors of energetic machines. The second part of the paper presents the patented theoretically exact machining method of these types of surfaces, touching the determination of the surface of the grinding wheel in many cases.

Keywords: quasi-helicoid, worm surface, grinding, Surface Constructor

1. KVÁZI-HELIKOID FELÜLETEK

Kvázi-helikoid felület alatt olyan csavarfelületet értünk, amely önmagában nem elcsavarható felület, azaz nem tipikus hengeres csavarfelület. Az eltérésekkel adódó felületeket a következő csoportokba sorolhatjuk:

- a., egyenletes emelkedésű hengeres csavarvonalról eltérő vezérgörbájű, konstans generáló görbájű felület
- b., egyenletes emelkedésű hengeres csavarvonal vezérgörbe mentén mozgatott, mozgása közben alakját változtató generáló görbájű felület
- c., nem egyenletes emelkedésű vezérgörbe mentén nem konstans generáló görbével súrolt felület.

Az a., típus a csavarfelületek gyártásához használt szerszám gép képességeit jeleníti meg elsődlegesen, míg a b., esetbe tartozó felületeken a szerszám hatása jelenik meg. Ugyanakkor a szerszám gép hatása eredményezheti a szerszám olyan mozgatását is, ami a generáló görbe változásában nyilvánul meg, pl. v alakú menetesztergakés saját tengelye körüli elfordítása a menet esztergálása közben.

Az a., esetre példák a kúpos (Spiroid) csigák, globoid csigák, nem egyenletes emelkedésű hengeres csigák, rotorfelületek és kamrafelületek.

Mivel a szerszámok túlnyomóan merev testek, a b., eset realizálása az egy menetárokban dolgozó szerszám menetről-menetre új generáló görbét eredményező mozgatásával, vagy több menetet egyszerre megmunkáló szerszám esetén a szerszám által leképezett menetről-menetre más generáló görbével valósítható meg. A generáló görbe megjelenhet a szerszám éleként, vagy felületnek felület általi előállításakor az érintkező vonalként.

A hengeres csavarfelülettől való eltérés mértéke a terhelt fog kihajlásából a belépő fogaknál adódó fogakadás századmilliméteres nagyságrendjét kompenzáló csigamenet modifikációtól a speciális rotorok több milliméteres, akár a csavarfelület átmérője nagyságrendjébe eső eltéréséig terjedhet.

A következő fejezetben néhány, az iparban is alkalmazott konkrét kvázi-helikoid felületet ismertetünk, a harmadik fejezet pedig a kvázi-helikoid felületek precíziós megmunkálásának egy általános lehetőségét, a technológiát és az alkalmazandó szerszámgépet ismerteti, majd a negyedik fejezet kitér több konkrét esetre. A cikket egy összefoglalás zárja.

2. KVÁZI-HELIKOID FELÜLETEK ALKALMAZÁSA AZ IPARBAN

Ebben a fejezetben először az az 1. szakaszban az a., pontba sorolt felületeket mutatunk be, majd példát mutatunk a b., és a c., pontba sorolható felületekre.

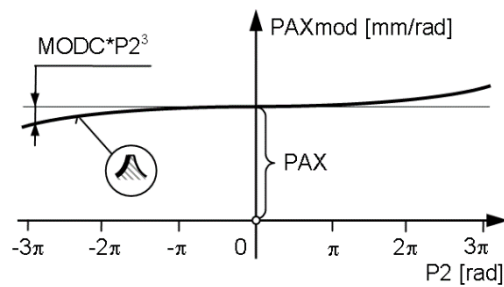
2.1. Konstans generálógörbájű kvázi-helikoid felületek

A legismertebb állandó generálógörbájű nem hengeres csavarfelületek az egyélű szerszámmal készített *kúpos csigák* és *globoid csigák* felületeként fordulnak elő, leginkább egyenes és köríves alkotójú felületekként [1,2]. Precíziós megmunkálásuk köszörüléssel speciális esetektől eltekintve problémát vet fel, mellyel a negyedik fejezetben foglalkozunk. A speciális esetek közé tartozik az evolvens kúpos csiga, mely sík oldalfelületű köszörűkoronggal megmunkálható. A szerző 1. ábrán mutatott hengeres lábfelületű kialakítása lehetővé teszi CNC korongszabályozóval a szükséges profilúra szabályozott koronggal az archimédeszi és a konvolut kúpos csigák egzakt megköszörülését is, mivel a kúpos alak a fejkúpban jut kifejeződésre, a csiga fogoldal felületei valójában hengeres felületek, a csiga egy kúpos fejfelületűre munkált duplex – két fogoldalán eltérő emelkedésű - csiga.



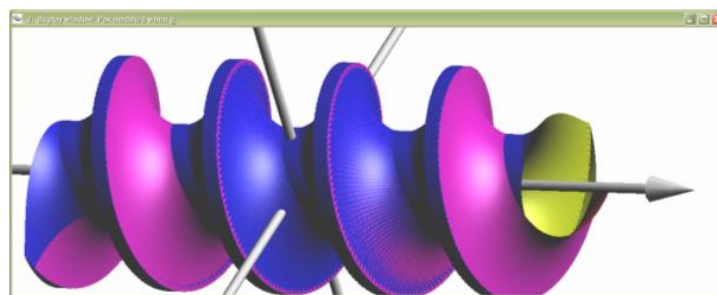
1. ábra Elvi pontossággal köszörült Archimédeszi kúpos csiga

A konstans generálógörbájű kvázi-helikoid felületek közé tartozik a szerző által a [3] cikkben bemutatott változó emelkedésű csigafelület is, mellyel a terhelt csigahajtásban a rugalmas deformációk miatti elmozdulásból a kapcsolódásba belépő fogaknál fellépő fogakadást lehet kiküszöbölni. A konstans értékű emelkedéssel rendelkező szokásos csavarfelületektől eltérően az emelkedés függvénye ennél a csigánál az axiális paraméter köbös függvényének megfelelő tagot is tartalmaz, lásd 2. ábrát.



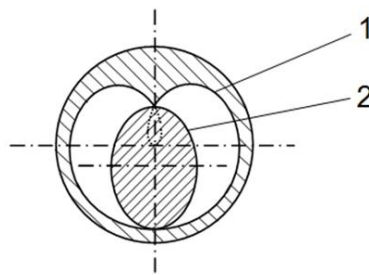
2. ábra A köbös taggal módosított emelkedési függvény

A nem egyenletes emelkedésű csiga viszonyát mutatja a konstans emelkedésű referencia felülethez képest a 3. ábra.



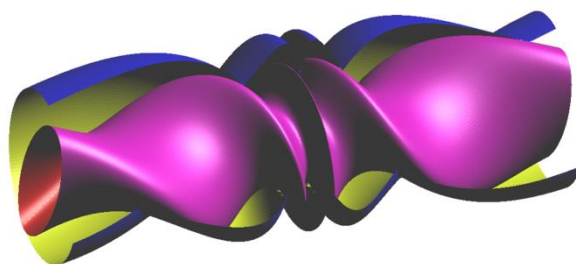
3. ábra A módosított és a referencia helikoid

Szintén a konstans generálógörbéjű nem egyenletes emelkedésű kvázi-helikoid felületek közé tartozik a szerző szabadalmaztatott [4] belsőégésű motorjának rotorjánál és forgókamrájánál alkalmazott csavarfelület is. A 4. ábrán láthatóak a forgókamra (1) és a rotor (2) tengelymetszeti görbéi, melyek a nem egyenletes emelkedésű csavarfelületek generáló görbéi.



4. ábra Hurkolt epiciklois szegmens és ellipszis generálógörbék

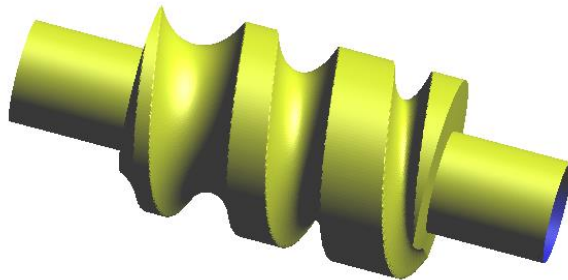
A generált nem egyenletes emelkedésű csavarfelületek az 5. ábrán láthatók.



5. ábra A felnyitott kamrafelület és a rotorfelület

2.2. Hengeres csavarvonal mentén mozgatott változó generáló görbével súrolt felület

Ez az eset a gyakorlatban kevésbé gyakori, a teljesség érdekében mutat egy példát a 6. ábra. Az eredmény a 2.1. pontban említetthez hasonló megmunkálási problémát vet fel, mellyel a 3. szakaszban foglalkozunk.



6. ábra A menet mentén változó generáló görbével származtatott felület

2.3. Nem egyenletes emelkedésű vezérgörbe mentén nem konstans generáló görbével súrolt felület

Ezek a nehezen gyártható gépelemek ritkán fordulnak elő, leginkább szabadalmi leírásokban és a műanyag elemeket gyártó gépek extrudercsigáiként találkozunk velük. A 7. ábra a QunYing Screw típusú extrudercsigára [5] mutat egy példát. Bár ezeknél a felületeknél nem a geometriai pontosság iránti igény okán, hanem a működés közbeni súrlódás csökkentésére szükséges a köszörülés, mint befejező megmunkálás alkalmazása felmerül.



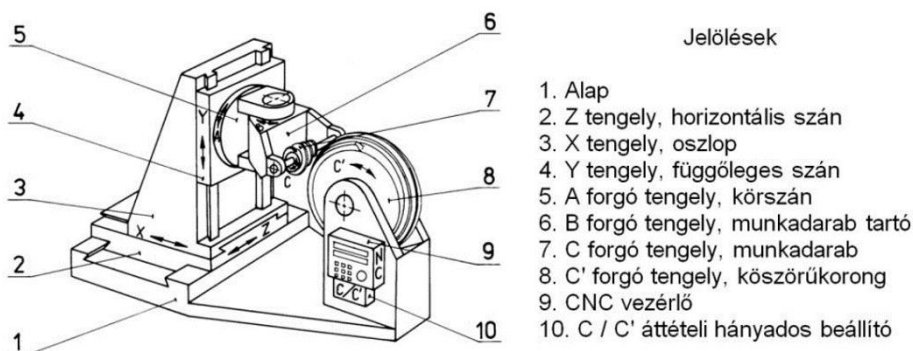
7. ábra Változó menetprofilú kúpos csavarfelület a QunYing extrudercsigán [5]

Ebbe a csoportba tartozó menetfelületeket generálnak még a menetfelületet forgó szerszámmal gyártó eljárások is, amennyiben a szerszámot menet közben nem hengeres csavarvonalon mozgatjuk, vagy orientációját előtolás közben változtatjuk.

3. KVÁZI-HELIKOID FELÜLETEK EGZAKT MEGMUNKÁLÁSA

Ismert, hogy egy adott korongprofillal elkészített forgásfelületű köszörűkorong speciális eseteket, mint pl. az evolvens kúpos csavarfelületet kivéve alkalmatlan az egyenletes emelkedésű állandó profilú csavarfelületektől eltérő csavarfelületek megköszörülésére, mivel azok menetről menetre változó korongprofilt igényelnek. Az [6] irodalom mutat példát olyan érintkezési görbére, mely a mozgásparaméter függvénye. Az ilyen csavarfelületek olyan köszörűkorongot igényelnek, melyek profilja a csavarfelület változását követve a megmunkálás során pillanatról pillanatra más. Egy ilyen köszörűkorong lehet a megmunkálandó csavarfelületről burkolással származtatott forgásfelület hordozójú felület,

mely egész értékű áttételi hányados mellett adódik a csavarfelület konjugáltjaként pont-pont szerű kapcsolódást megvalósítva. Az adott köszörülési feladat megvalósítására alkalmas, a szerző által szabadalmaztatott [7] köszörűgép felépítése a 8. ábrán követhető.



8. ábra Kvázi-helikoid felületek geometriailag pontos köszörülésére alkalmas köszörűgép

A C/C' áttételi hányados értéke általában 1. További segédmozgások szolgálnak a többnyire sugár irányú eltolómozgás biztosítására egy kiszikráztató véghelyeztetel a kész pozícióban. A köszörűkorong emlékeztethet egy Reishauer típusú csigakorongra, vagy ölthet egy toroid hajtás csigakerekére emlékeztető alakot. Azonban van egy jelentős eltérés a Reishauer-féle és az itt alkalmazott korongok között: ebben az esetben a korong működőfelülete sosem szabályos csavarfelület.

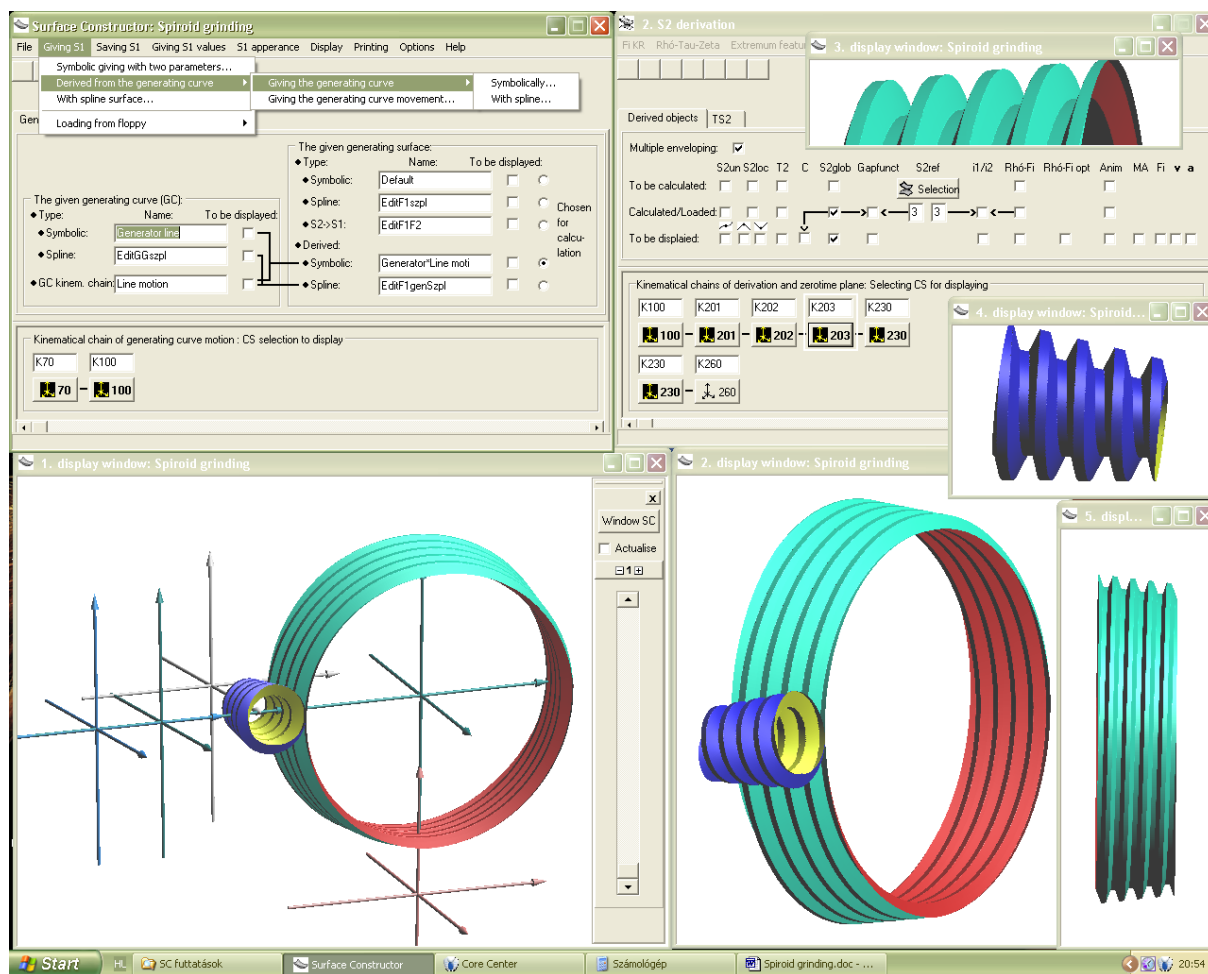
Az új köszörűgép új köszörülési eljárást is alkalmaz. Az eljárást elsősorban a munkadarab C forgásának és a korong C' forgásának kapcsoltsága jellemzi, a rendszerint 1:1 fordulatszámviszonnyal. A köszörülő hatáshoz elengedhetetlen relatív csúszás eredhet a csavarfelület és a korong jelentősen eltérő átmérőjéből következő kerületi sebesség eltérésből közel azonos kerületi sebességirányok esetén, vagy célszerűen közel ellentétes irányú kerületi sebesség alkalmazásával, azonos forgásirány esetén. A szokásos normál sebességű (30m/s) köszörülés esetén a korong kb. 14/s fordulattal forog, míg nagysebességű köszörülés esetén (80m/s) 36/s fordulat lenne szükséges egy kb. 50mm átmérőjű munkadarab kb. 650mm átmérőjű koronggal történő köszörülésekor. A 80m/s forgácsolósebesség megfelel a legkorszerűbb Reishauer RZ550 csigakorongos fogaskerékköszörűgép maximális forgácsolósebességének. A változó erőhatások miatt a minél nagyobb korongátmérő és minél kisebb korongfordulatszám alkalmazása célszerű. A korong statikus és dinamikus kiegyensúlyozása előfeltétel. A köszörűkorong működő felületének a munkadarab kész felülete konjugáltjaként kell elkészítve lennie. A köszörülés előtt a munkadarabot rögzítjük a C forgó tengelyt megvalósító munkadarab-befogóban, majd a szükséges CNC vezérelt tengelyeket megfelelő pozícióba állítjuk. Amikor a köszörülés elkezdődik, a CNC vezérlés gondoskodik a munkadarab és a korong összerendezett forgásáról, továbbá a szükséges eltolómozgásról, biztosítva ily módon az eltolómozgás végállapotában előálló konjugált leképezést eredményező mozgásviszonyokat. A köszörűkorong munkadarabról visszaburkolt működő felületének geometriáját a mai korszerű konjugált felületet származtató szoftverekkel, pl. a szerző által kifejlesztett Surface Constructor (SC) programmal előállíthatjuk. A szoftver által alkalmazott, az alámetszések elkerülését is támogató elmélet és a program részleteiben megismerhető a [8,9] irodalmakból. A következőkben az említett kvázi-helikoid felületek köszörülő megmunkálásával foglalkozunk pár példán bemutatva a lehetőségeket.

4. KVÁZI-HELIKOID FELÜLETEK MEGMUNKÁLÁSI PÉLDÁI

A szakaszban néhány példával tárjuk fel a kvázi-helikoid felületek elméleti pontosságú köszörülésének lehetőségét, az előző fejezetben ismertetett köszörűgépet és technológiát, továbbá a szerző által publikált Elérés modellt [8] realizáló Surface Constructor alkalmazást felhasználva.

4.1. Arkhimédeszi kúpos csavarfelület köszörülése

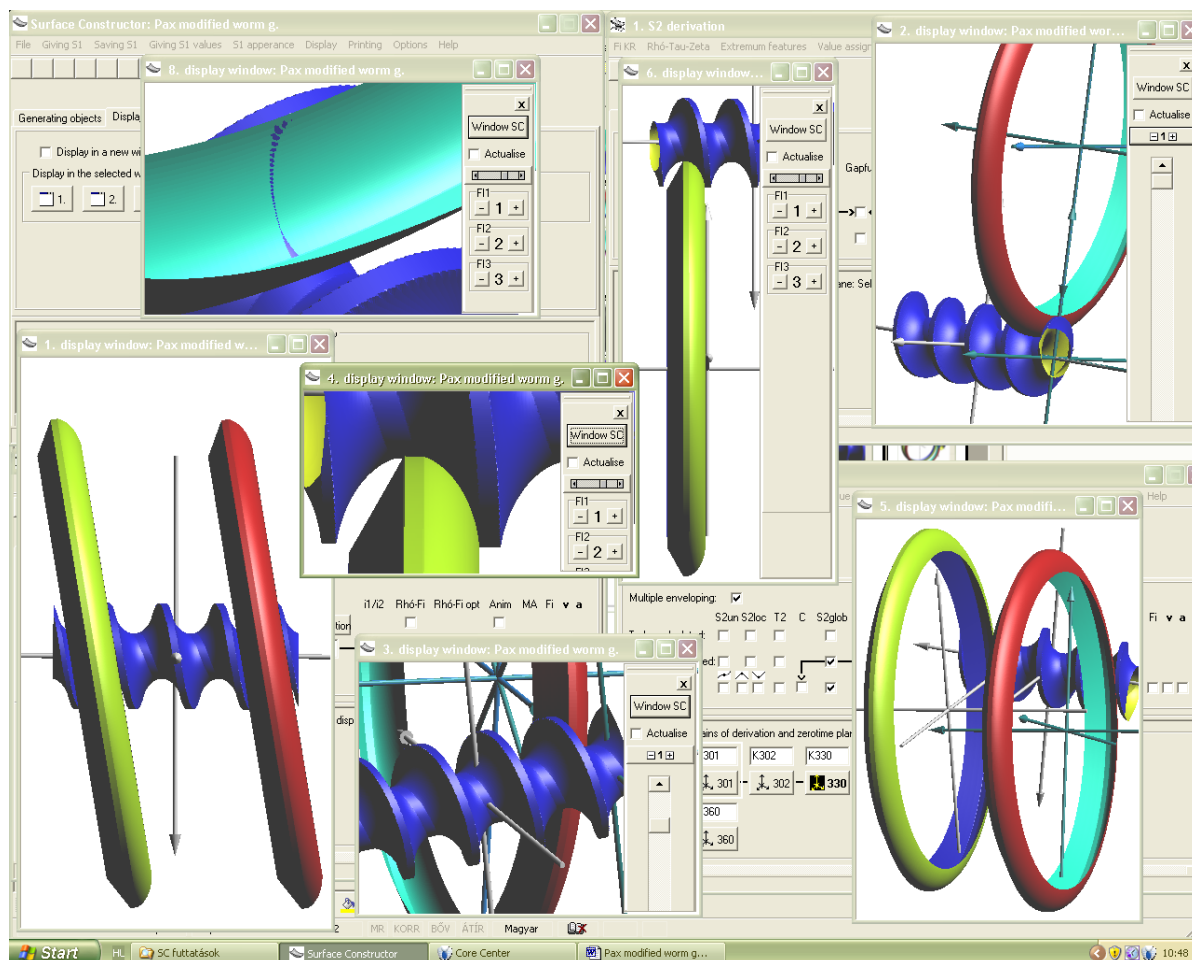
A feladat megoldása részletesen az [10] irodalomból ismerhető meg. A 9. ábra a számítógép képernyőjét mutatja az SC tervezőrendszer használata közben. A bal felső ablak a kúpos csiga felületeinek megadására szolgál, a jobb felső ablak a csigával való burkolással történő korongmeghatározás ablaka. A képernyő még öt megjelenítő ablakot mutat. Az ablakok önálló életet élnek, a mutatott modellek tetszőlegesen beállíthatók, a kinematikát is tartalmazó ablakok, mint pl. a bal alsó a függőleges tolokával a modell mozgásparaméterének változtatását is lehetővé teszik, azaz a mozgások animálhatók. A megoldásként adódott köszörűkorong felület emlékeztet egy Reishauer csigakorong csavarfelületére, de azzal ellentétben önmagában nem elcsavarható.



9. ábra Arkhimédeszi kúpos csiga köszörülésének modellezése az SC szoftverrel

4.2. Menetemelkedésében modifikált csiga köszörülésének elemzése

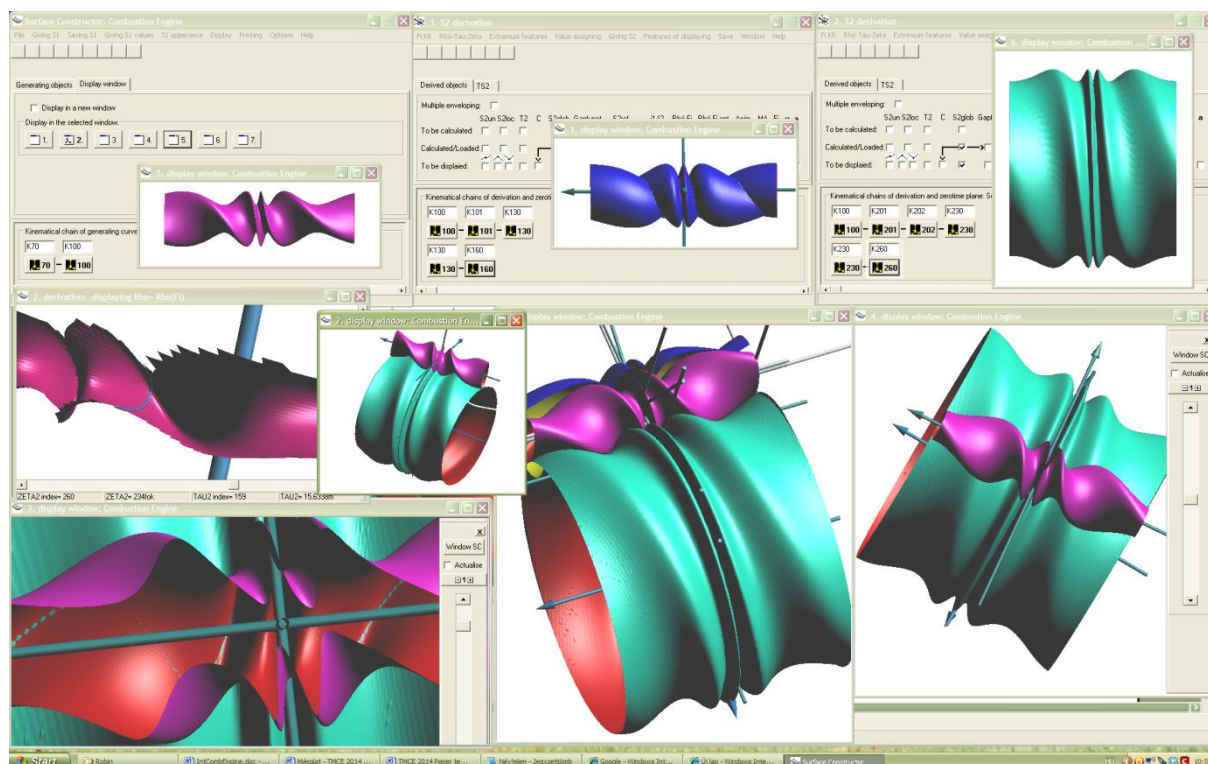
A menetemelkedésében modifikált csiga köszörülésének elemzését mutatja a 10. ábra. A vizsgálat számszerűen mutatta a hagyományos technikával, forgástest alakú koronggal történő köszörülés esetén a középső menet és a szélső menetek köszörüléséhez alkalmas korongok profiltérését [3]. Az egzakt köszörüléshez a 3. szakaszban ismertetett köszörűgép és technológia javasolt.



10. ábra Menetemelkedésében modifikált lokalizált kapcsolódású csiga köszörülésének modellezése az SC szoftverrel

4.3. Változó emelkedésű rotor köszörülésének vizsgálata

A 2.1. pontban ismertetett belsőégésű motor rotorja és forgókamrája között réstömítés van, ezért a rés kis értékben tartása, azaz a felületek pontos megmunkálása fontos. A rotor esetében, bár első ránézésre lehetetlennek tűnhet, köszörüléssel is biztosítható a felület pontossága. Az itt bemutatott módszer természetesen csak tömeggyártás esetén célszerű, a speciális korong előállításának magas költsége miatt. Az elvégzett vizsgálatok [11] igazolták, hogy a rotor alámetszés és ráhagyásmentesen megköszörülhető a 3. szakaszban említett technológiával. A motorelemek és a rotor köszörülésének modellezését a 11. ábra mutatja.



11. ábra A rotor, a forgókamra és a köszűrőkorong modellezése valamint a köszörülés animálása az SC szoftverrel

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk bevezetett a szokásos szabályos hengeres csavarfelületektől eltérő csavarfelületek világába. Ezek a felületek a gyártás nehézségei miatt ritkábban kerülnek alkalmazásra, de van néhány olyan terület, ahol alkalmazásuk előnnyel jár. Forgácsoló megmunkálásuk speciális célgépekkel, vagy CNC gépekkel megoldható, azonban több esetben napjainkig megoldatlan volt a köszörülő befejező megmunkálásuk, mely a felületminőség és a pontosság miatt is több alkatrésznél elvárás. A cikk egy eredeti megoldást alkalmazó köszörűgéppel és köszörülési technológiával egy, a tömeggyártásban alkalmazható megoldást mutatott be. A módszer modellezését több konkrét esetre a Surface Constructor kinematikai felületpárok modellezésére kifejlesztett szoftverrel demonstrálta. A jövőben további kvázi-helikoid felületek esetére fogjuk elvégezni a geometriailag helyes gyárthatóság vizsgálatát.

Köszönetnyilvánítás. A kutató munka a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Mechatronikai és Logisztikai Kiválósági Központ keretében valósult meg. A támogatást köszönjük.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **DUDÁS I.:** *Csigahajtások elmélete és gyártása*, Műszaki Kiadó, Budapest, 2007, ISBN 978-963-16-6047-0.
- [2] **BODZÁS, S., DUDÁS, I.:** *Mathematical description and modelling of a tooth surface of spiroid face gear having arched profile in axial section*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Springer, Volume 80, Numbers 5-8 (2015)
- [3] **DUDÁS, L.:** *Advanced Software Tool for Modelling and Simulation of New Gearing*s, Int. J. Design Engineering, Vol.3, No. 3, 2010. pp. 289-310

- [4] **DUDÁS L.:** *Forgódugattyús gép*, Hungarian patent HU230082, 2015.
- [5] *ZhouShan QunYing Plastic Machinery Manufactory*
<http://screwbarrels.en.hisupplier.com/product-1320283-screw-and-barrel-for-LDPE-HDPE.html>, Elérve 2016.05.14.
- [6] **DUDÁS, I.:** *Theory and Practice of Worm Gear Drives*, Penton Press, London, 2000, p.332
- [7] **DUDÁS L.:** *Köszörűgép forgástest hordozójú alakos felületek, különösen kúpos és globoid csigák köszörülésére*, Magyar szabadalom HU P9003803
- [8] **DUDÁS L.:** *Kapcsolódó felületepárok gyártásgeometriai feladatainak megoldása az elérés modell alapján*, Kandidátusi értekezés, Budapest, TMB, 1991.p.144.
- [9] **DUDÁS, L.:** *Modelling and simulation of a new worm gear drive having point-like contact*, Engineering with Computers: Volume 29, Issue 3, 2013, pp 251-272.
- [10] **DUDÁS L.:** *Nem szabályos csavarfelületek köszörülési lehetőségei*, Multidiszciplináris tudományok, 3. kötet. (2013) 2. sz. pp. 173-184.
- [11] **DUDÁS, L.:** *Machinability analysis of a new internal combustion engine construction*, TMCE 2014 Proceedings of TMCE 2014, May 19-23, 2014, Budapest, Hungary, pp. 847-858.

KONVERGENCIA PROBLÉMÁK FELTÁRÁSA NUMERIKUS FELSZÍNALATTI ÁRAMLÁSI MODELLBEN

A METHOD FOR EXPLORING THE CAUSE OF CONVERGENCE FAILURES IN NUMERICAL GROUNDWATER FLOW MODELS

FEKETE Zsombor

PhD hallgató
Miskolci Egyetem,
Környezetgazdálkodási Intézet
hgzsom@uni-miskolc.hu

Kivonat: *A numerikus felszínalatti áramlási modellekben használt megoldó algoritmusok robusztussága ellenére előfordulhatnak olyan esetek, ahol a megoldási kísérlet során nem érhető el konvergencia vagy a megoldás nagyon lassú. A bemutatott módszer lényege, hogy iteratív megoldás esetében lehetőség van az egymást követő iterációk során kapott változások nyomon követésére és azokból különböző statisztikák számolására. Ezek a statisztikák segítséget nyújthatnak az elosztott paraméterű modellekben a probléma (oszcilláció, esetleg divergencia vagy lassú konvergencia) okának feltárására. A probléma helyének, illetve jellegének meghatározására kidolgozott módszer kiegészíti a modellezés során használható eszközök táráát. A munkához a USGS által fejlesztett MODFLOW-2005 szoftvert használtuk. A bemutatott megoldás a használt megoldó algoritmustól független.*

Kulcsszavak: *felszín alatti víz, modell, konvergencia probléma*

Abstract: *Despite of the robustness of the solvers used in groundwater flow modeling, convergence failures or very slow convergence may occur. The method presented in the current paper is based on tracking the changes during successive steps of iterative methods, and calculating some basic statistics of these changes. These statistics may give a clue on the cause of convergence failures. The presented method may be incorporated in the toolbox of modeling and gives some help on the location and type of the problems. For the current work MODFLOW-2005 software have been used. The method is not dependent on the used solver.*

Keywords: *groundwater, model, convergence failure*

1. BEVEZETÉS

A Darcy-egyenlet és a kontinuitási egyenlet alapján levezetett szivárgási alapegyenlet megoldására számos analitikus megoldás mellett a legelterjedtebbek a numerikus megoldási lehetőségek. Ezek révén összetettebb rendszer esetében is megfelelő pontossággal érhető el eredmény. A felszín alatti vizes szivárgáshidraulikai modellek jellemzően elosztott paraméterű modellek, amiből fakadóan a vizsgált térrészt egyszerűbben kezelhető elemre, cellára kell osztanunk. Az ezek között felírt vízmérleg egyenletek által alkotott egyenletrendszert megoldása legtöbb esetben valamilyen iterációs módszerrel történik. Az iteráció egy adott feltétel teljesülésével vagy a maximálisan engedélyezett iteráció szám elvégzése esetén áll le. Az előbbi azt jelzi, hogy sikerült megtalálni a megoldást, míg a második esetben, az adott feltételek mellett nem járt sikerrel a megoldási kísérlet.

Jelen munkában az egyik legelterjedtebb modelles család tagját, a USGS által fejlesztett MODFLOW-2005 [1] szoftvert használtuk fel. A szoftver a véges differenciás módszer segítségével képes megoldani 3 dimenziós permanens vagy tranziens feladatokat. Moduláris felépítésének és nyílt forráskódjának köszönhetően változatos lehetőségeket nyújt, valamint képességei továbbfejleszthetők. Ugyancsak moduláris felépítésének köszönhetően többféle alap áramlási csomagból vagy megoldó algoritmus közül választhatunk.

A MODFLOW-2005 a megoldás során minden esetben a rendszernek egy linearizált szeletét állítja elő, melyet megoldva, ha szükséges aktualizálja a lineáris egyenletrendszert, majd újra megoldja. Ezzel szemben a hidrogeológiai folyamatok nagyon sok esetben nem lineárisak: pl. evapotranspiráció adott mélységnél alacsonyabb talajvízállás esetében már nem hat arra, vagy a nyílt tükrű vízadóban a transzmisszivitás függ a telített vastagságtól.

Az említett „ellentmondás” egyes esetekben ahhoz vezethet, hogy az iteratív megoldás nem jár sikerrel. Ilyenkor számos irányban elindulhatunk, a jelen cikkben bemutatott módszer ezt az eszköztárat próbálja egy újabb lehetőséggel kibővíteni.

A módszer lényege, hogy minden aktív cellára nyomon követi az iterációs lépések során kapott „részeredmények” változását és azokból néhány statisztikát számol. Az egyes cellákra kapott részeredmények tárolása így nem szükséges, csak azok statisztikáit kell tárolni cellánként és időlépcsőnként. A statisztikák térbeli eloszlása rávezethet, hogy a modellezett térrészben hol és milyen jellegű probléma miatt nem járt sikerrel a megoldó algoritmus.

2. JELLEMZŐ PROBLÉMÁK AZ ITERÁCIÓ SORÁN

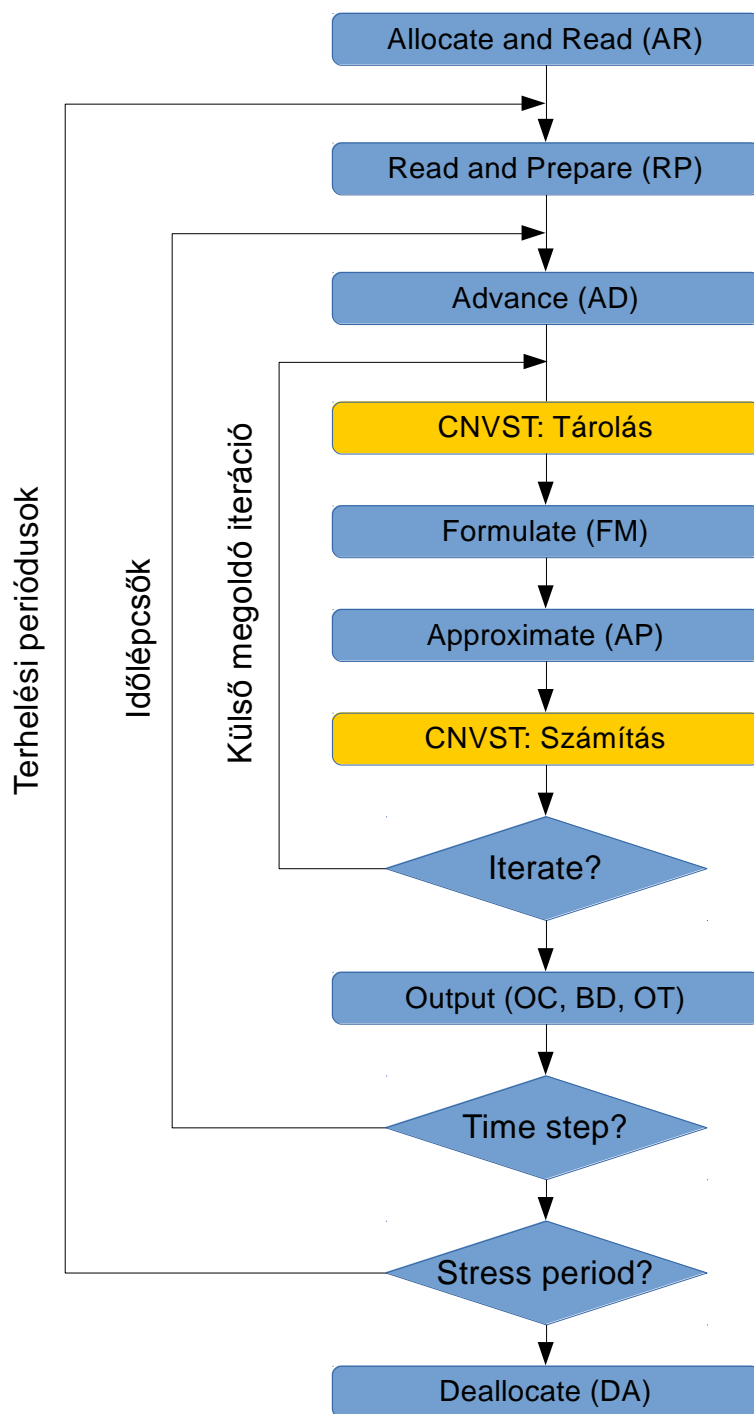
Alapvetően a konvergencia problémák két módon jelentkezhetnek. Az egyik jellemző eset, amikor az egymást követő iterációk során kapott értékek oszcillálnak, ugrálnak egy adott érték körül. Ennek extrém esetben akár divergencia is előfordulhat. Az oszcilláció oka általában valamilyen nem lineáris hatásra vezethető vissza. A másik jellemző eset során észlelhető konvergencia, de az nagyon lassú és egyre lassul. Ebben az esetben az engedélyezett iteráció szám növelése megoldhatja a problémát, bár figyelembe kell venni, hogy a lassú konvergencia miatt hibás megoldáshoz juthatunk. A konvergencia kritérium a nagyon kicsi változások miatt idő előtt teljesülhet, így nem a valós megoldást kapjuk eredményül.

A konvergencia problémákat több tényező is okozhatja és jellemzően ezek együttes hatása fog megnyilvánulni, ezért a legtöbb esetben nem egyetlen okra vezethető vissza a probléma. A numerikus modellezés hidrogeológiai alkalmazása több olyan sajátossággal is jár, ami hozzájárulhat a konvergencia problémákhoz. Gyakori a bonyolult geometria használata, sokszor nem lineáris hatásokat veszünk figyelembe. Jellemző, hogy a vízszintcsökkenés miatt egyes cellák inaktívvá válhatnak. Ha ezek újra „bekapcsolására” van szükség szimuláció közben, az nagymértékben megnehezítheti a megoldás megtalálását: könnyen előállhat olyan eset, hogy egyes cellák ciklikusan ki- és bekapcsolódnak. A paraméterek ugrásszerű változása szintén okozhat problémákat.

Nem linearitást azok az esetek okozhatnak, ahol a felírt (linearizált) véges differenciás egyenletrendszer paraméterei függenek a vízszinttől, mint folyamatváltozótól. Nyílt tükrű vízadók esetében az adott modellréteg transzmisszivitása és konduktanciája függ a telített vastagságtól, vagyis a vízszinttől. Nem lineáris hatásokként nyilvánulnak meg azok a vízszintfüggő peremfeltételek, hatások is, melyekhez valamilyen korlátozást rendeltünk. Ilyen pl. az evapotranspiráció (EVT csomag) alsó és felső vízszintkorlátja, mely három eltérő szakaszra osztja az evapotranszspiráció folyamatát. Az alsó szakaszban nullás fluxussal, a középső szakaszban, egy vízszinttel lineárisan változó fluxussal, míg a harmadik szakaszban egy állandó fluxussal számol a modell.

A kiszáradt cellák ki- és bekapcsolása okozta problémák megoldására több lehetőséget is kidolgoztak. Ilyen pl. a [2] által javasolt késleltetett visszkapcsolás, vagy az UPW áramlási csomagban alkalmazott módszer [3].

Az ismertetett okok viszonylag egyszerű esetekben is előidézhetnek oszcillációt, meggátolva a konvergenciát [4, 5]. A MODFLOW szoftvercsaládban több megoldó algoritmus is elérhető, melyek közül néhány jobban kezeli a nem lineáris rendszereket [6, 3].



1. ábra: a MODFLOW-2005 egymásba ágyazott ciklusai, jelölve a bemutatott módszer függvényhívásait

3. AZ ALKALMAZOTT MÓDSZER

A MODFLOW egymásba ágyazott ciklusai közül a két külső a terhelési periódusoknak, valamint azon belül az időlépcsőknek felel meg. Ezeken belül a külső megoldó ciklusban

minden iteráció során felírásra kerül a modell linearizált egyenletrendszere, ami a belső megoldó ciklusban iteratív módon kerül megoldásra. A bemutatott módszer ebben a felépítésben (1. ábra) a külső megoldó ciklusban követi nyomon a számolt értékek változásait. A ciklus elején eltárolódnak a szükséges tömbök, melyek így az előző iterációban kapott eredményeket vagy (az első iteráció esetén) a kezdeti értékeket tartalmazzák. Az egyenlet felírása és megoldása után kapott eredményeket a ciklus elején eltárolt értékekhez viszonyítja.

A folyamat során összesen négy statisztikát határozunk meg, ezek a vízszint (hidraulikus emelkedési magasság) változások (1) átlaga és (2) szórása, a változások (3) előjelváltásának gyakorisága, valamint a kiszáradás és újranedvesedési miatt a (4) cellakonverziók gyakorisága.

További eszközként egyes kiválasztott cellák esetében lehetőség van az összes iteráció alatt kapott vízszint érték kiírására. Az így kapott idősor szerű sorozatot vizsgálva jobb rálátás nyílik a megoldás menetére, a konvergencia sebességére vagy éppen meglétére, hiányára.

A módszer kidolgozásánál fontos szempont volt annak memóriaigénye. Mivel minden aktív cellára minden iterációs lépés után újabb és újabb értékek kerülnek meghatározásra, azokat nem célszerű tárolni. Az említett statisztikák számítása rekurzív módon történik: az aktuális érték (pl. átlag vagy szórás) mindig az előző iteráció során kapott értékből kerül meghatározásra [7].

A statisztikák számolásánál lehetőség van az első néhány (beállítástól függő) számú iteráció során kapott részeredmény figyelmen kívül hagyására. Ennek segítségével a pontatlan kezdeti értékek által okozott ugrásszerű változások hatásai a statisztikákban nem fognak megjelenni. Ezen felül, ha különböző számú iteráció figyelmen kívül hagyásával számolunk statisztikákat, azokból következtethetünk arra is, hogy milyen sebességű konvergenciára számíthatunk az egyes cellák esetében.

A módszer implementációja a MODFLOW-2005 szoftver kiegészítésére, egy különálló csomagként készült el. A két fő függvény a külső megoldó ciklus elején és végén kerül meghívásra. A ciklus elején az előző iterációban kapott eredmények tárolása vagy az első iteráció esetében a szükséges változók inicializálása történik. A ciklus végén történik a statisztikák számítása. Két további függvény a MODFLOW „Allocate and Read (AR)” és az „Output (OT)” procedúrájához tartozik.

4. A MÓDSZER ALKALMAZHATÓSÁGA

Az egyes cellákra számolt statisztikák térbeli eloszlása alapján jól azonosíthatóak azok a helyek, ahol nem megfelelő a konvergencia. Ez az információ az adott modell felépítésének ismerete alapján segíthet az okok feltárásában. A problémás helyek ismeretében az adott cellákra kiíratott „idősor” szintén hasznos eszköz lehet az okok azonosításában.

Csak a statisztikák figyelembe vételével, az összetett okok miatt, nem egyértelműen azonosítható, hogy melyik stressz csomag okozza a konvergencia problémát, de a két jellemző eset, vagyis az oszcilláció és a nagyon lassú konvergencia egyértelműen elkülöníthető.

A cellakonverziók gyakorisága, frekvenciája egyértelműen jelezhetik, ha a cellák kiszáradása és újra nedvesedése okozta problémára gyanakodhatunk. A közeli cellákban a változások átlaga ezt alátámaszthatja. Az előjelváltások nagy gyakorisága oszcillációra utal. Ez a kimagasló átlagok mellett szintén fontos támpont lehet a hiba megtalálásában.

A módszer alkalmazható permanens és tranzienst esetre is. A statisztikák számításánál lehetőség van arra, hogy az első néhány iteráció során kapott értéket ne vegyük figyelembe. Ez akkor lehet hasznos, ha permanens esetben a kezdeti vízszint (vagy emelkedési magasság) értékek jelentősen eltérnek a végső vízszintektől. Ezek az ugrás szerű változások általában az

első néhány iteráció során megtörténnek és a további iterációkban csak kisebb változások várhatóak, amiben már az oszcilláció lehet a domináns. Ugyanúgy tranzien esetben is célszerű lehet az első néhány iteráció során kapott értéket figyelmen kívül hagyni.

Abból adódóan, hogy a fő függvények (tárolás és számítás) a külső megoldó ciklusban kerülnek meghívásra, a módszer használt megoldó algoritmustól (csomagtól) függetlenül használható. Az eredmények azonban a megoldó csomagtól és annak beállításától függően eltérőek lesznek.

A módszerben számolt statisztikák egyike se ad közvetlen információt a konvergencia meglétére vagy sebességére. A módszer kiegészíthető további, a konvergencia jellegét tükröző statisztikával. Ezekkel szemben is követelmény a rekurzív számíthatóság. Erre a célra alkalmas lehet egy olyan súlyozott átlag számítása, ahol a súlyok az iteráció számától függően (pl. exponenciálisan, 1-eshez nagyon közeli kitevőkkel) növekednek és/vagy csökkennek. Ebben az esetben a súlyok számítása során tekintettel kell lenni a lebegőpontos számok ábrázolásának korlátaira.

ÖSSZEGZÉS

A numerikus szivárgáshidraulikai modellezés során előfordulhatnak olyan esetek, amikor a rendelkezésre álló megoldó algoritmusok nem járnak sikerrel. Már egészen egyszerű esetben is nem lineáris hatások vagy egyéb okok miatt körülményessé válhat a megoldás. Iteratív megoldás esetében az egyes lépések során kapott köztes eredmények figyelembe vételén alapuló módszer segítséget nyújthat a probléma okainak megtalálásában. A bemutatott módszer beépíthető a modellezés eszköztárába.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **Harbaugh, A. W.:** *MODFLOW-2005, The U.S. Geological Survey modular ground-water model — the Ground-Water Flow Process.* U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6–A16, 2005
- [2] **McDonald, M.G., Harbaugh, A.W., Orr, B.R., Ackerman, D.J.:** *A method of converting no-flow cells to variable-head cells for the U.S. Geological Survey modular finite-difference ground-water flow model.* U.S. Geological Survey Open-File Report 91–536, 1992, 99 p.
- [3] **Niswonger, R. G., Panday, S., Ibaraki, M.:** *MODFLOW-NWT, A Newton formulation for MODFLOW-2005.* U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6–A37, 2011, 44 p.
- [4] **Osiensky J. L., Williams R. E.:** Potential Inaccuracies in MODFLOW Simulations Involving the SIP and SSOR Methods for Matrix Solution. *Groundwater* 35 (2), 1997, 229 – 232 old.
- [5] **Mehl, S.:** Use of Picard and Newton Iteration for Solving Nonlinear Ground Water Flow Equations. *Groundwater* 44 (4), 2006, pp 583 – 594
- [6] **Naff, R. L., Banta, E.R.:** *The U.S. Geological Survey modular ground-water model—PCGN: A preconditioned conjugate gradient solver with improved nonlinear control.* U.S. Geological Survey Open-File Report 2008 – 1331, 2008, 35 p.
- [7] **Biesel, H. R.:** Recursive calculation of the standard deviation with increased accuracy. *Chromatographia* 10 (4), 1977, pp 173-175

GÉPI TANULÁST SEGÍTŐ FÜGGVÉNYKÖNYVTÁRAK ÁTTEKINTÉSE

REVIEW OF MACHINE LEARNING TOOLBOXES

FÜVESI Viktor¹, KONYHA József²

¹Ph.D., tudományos munkatárs, fuvesi@afki.hu

²tudományos segédmunkatárs, konyha@afki.hu

^{1,2}Miskolci Egyetem, Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet,

^{1,2}Műszerfejlesztési és Informatikai Osztály

Kivonat: Ebben a cikkben a gépi tanulási módszerek, azon belül is mesterséges neurális hálózatok, modellezését és szimulációját segítő függvénykönyvtárak rövid áttekintését szeretnénk megtenni. Mivel a szóba jöhető csomagok listája igen hosszú, ki szeretnénk emelni azokat a gyűjteményeket, amelyek lehetőséget biztosítanak a számítógépen található grafikus vezérlő számítási kapacitásának kiaknázására, valamint ingyenesen használhatók. Az áttekintés során két programozási nyelvet és környezetet is érintünk. Rövid példákkal be is mutatjuk a szélesebb felhasználó táborral rendelkező szoftvercsomagok használatát és összehasonlítjuk azok képességeit is.

Kulcsszavak: gépi tanulás, neurális hálózat, függvény könyvtár, mátrix szorzás, összehasonlítás

Abstract: In this article a brief overview is given about toolboxes of machine learning, which give some help for the modelling and simulation of neural networks. The list of the potential packages are real long, so we will highlight the libraries, which provide the opportunity to use calculation power of the graphics controller of the computer and open source. During the overview two programming languages and environment will be respected. Using short examples the application of function libraries with wider user camp will be introduced and their features will be compared.

Keywords: machine learning, neural network, toolbox, matrix multiplication, comparison

1. BEVEZETÉS

Számos olyan probléma létezik, amely megoldása a hagyományos matematikai módszerek segítségével nehézkes, számításigényes feladat, de az ember könnyedén megbirkózik a problémával. Az ilyen esetekben alkalmazhatóak a mesterséges intelligencia területéhez tartozó módszerek. A mesterséges intelligencia egyik alapkövét képezi a gépi tanulási eljárások [1], amelyek az új körülményekhez való adaptálódáshoz, mintázatok felismeréséhez és általánosításhoz kapcsolódó feladatokat megoldani képes módszereket gyűjti magába [2].

A szóba jöhető problémák a következő öt nagyobb csoportba sorolhatók: osztályozási és regressziós feladatok, klaszterezés, eloszlás becslés problémája és dimenzió csökkentés.

Osztályozási feladatok során, ha az általánosabb többsztályos problémára gondolunk, minden tanító pont az N osztály valamelyikéhez tartozik. A cél egy olyan függvény előállítás, amely új adatpont esetén pontosan megjósolja az új pont osztályát [3]. Egy jó példa lehet erre a kézzel írt számjegyek felismerése. A regressziós feladat nagyon hasonló az osztályozási problémához, de itt az előállítandó függvény egy közelítést ad az új pontra. Erre lehet példa egy motor sebesség profiljának becslése vagy a tőzsde változásainak előrejelzése [4]. Az előbbi két probléma a felügyelt tanulás (supervised learning) témakörébe tartozik [5]. A felügyelet nélküli tanulásra (unsupervised learning) példa a dimenzió csökkentés és a klaszterezés feladatai. Ezekben az esetekben kiindulásképpen azok a jelöletlen adatpontok állnak rendelkezésre, amelyekben mintákat szeretnénk felismerni, de semmilyen közvetlen információnk nincs a megoldásra vonatkozóan. A dimenzió csökkentés

során, egy magasabb leképezésű adathalmaznak az alacsonyabb leképezéssel bíró, transzformált változatát keressük úgy, hogy az adatban rejlő, felhasználás szempontjából fontos, információk ne sérüljenek [6]. Ezt a módszert lehet használni, adattömörítéshez, zajsűréshez, de adatok struktúrájának feltáráshoz is [6]. A klaszterezés során az adatokban rejlő belső struktúrákat kell felismerni, csoportokba kell sorolni az adatokat. Erre lehet példa a szociális hálózatban található, azonos preferenciával rendelkező adatok csoportosítása [7].

Utoljára maradt az eloszlás becslés, ahol azt próbáljuk megmondani, hogy egy új adatpont a korábbiakhoz illeszkedik-e vagy sem. Ezt a módszert újdonság detektáláshoz lehet felhasználni [8].

A gépi tanulás problémájának áttekintése után nézzük meg milyen függvénycsomagok állnak a felhasználó rendelkezésére, ha ezzel a területtel kíván foglalkozni. Az áttekintésben különös figyelmet szentelünk a neurális hálózatok alkalmazásának lehetőségének és a számítógépen található grafikus kártyák (GPU) általános számításokra való felhasználására.

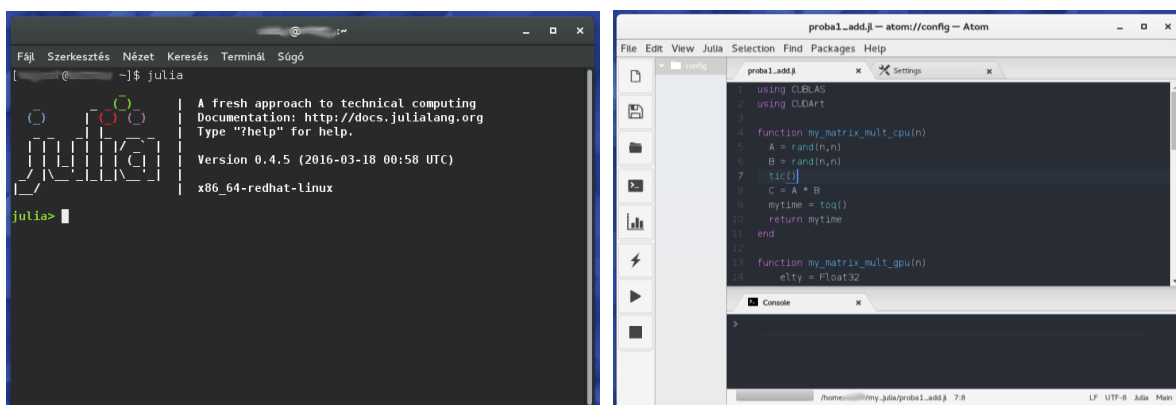
2. FÜGGVÉNYKÖNYVTÁRAK

Számos programcsomag (Julia [9][10], Torch [11][12], Caffee [13][14], Theano [15], Tensorflow [16], stb) áll a felhasználók rendelkezésére, amely GPU-val történő számításokat valamilyen formában támogat és neurális hálózatok szimulációját is lehetővé teszi.

Ebben a cikkben két programozási csomag kerül részletesebben bemutatásra, a legfontosabb tulajdonságainak kiemelésével. Az első, a merőben új programozási nyelv, a Julia [9], a másik a lua-ra épülő Torch [11] szkript nyelv.

2.1. Julia programozási nyelv

A Julia [9] egy magas szintű, dinamikusan fejlődő programozási nyelv, amely mögött erős közösségi háttér húzódik. Jelenleg a 0.4.5 verziónál tart, de már készülöben a 0.5-ös változat is. Bőséges, beépített matematikai függvénykönyvtárral rendelkezik, de számos módon bővíthető a nyelv utasításkészlete. C függvények közvetlenül hívhatók a környezetből, de Python-os eljárások esetén is könnyen megvalósítható az átjárhatóság. Nem elhanyagolható, hogy a nyelv, Unicode karakterkészletet támogat.



1. ábra Julia értelmező a terminál ablakban (bal) és Juno [17] környezetben (jobb)

A nyelv bővíthetőségét saját csomagrendszerrel oldották meg, amely lehetővé teszi, hogy a felhasználók saját fejlesztésű csomagokat hozzanak létre és osszanak meg egymással. A nyelvhez tartozó internetes oldal [9] tanúsága szerint több mint 1000 kisebb-nagyobb csomag letölthető a környezethez. A teljesség igénye nélkül néhány fontosabb:

- Arduino – Alapszintű Arduino parancsok továbbítását megvalósító interfész könyvtár,
- BackpropNeuralNet – Előre csatolt neurális hálózatok tanítását és szimulációját biztosító csomag,
- CUDA – Interfész csomag a CUDA nyelvhez,
- Gaston – Interfész a Gnuplot-hoz,
- HDF5 – formátum kezelését lehetővé tevő csomag,
- Images – képek kezelését megvalósító csomag.

A Julia értelmező a nagyobb operációs rendszerek (Windows, Mac OS, Fedora, RHEL) alatt elfut, de mivel szabadon letölthető, a forráskódja bármilyen rendszer alá lefordítható. Fedora Linux alá való telepítésének eredményét és egy, a fejlesztők által javasolt, Juno elnevezésű fejlesztői környezet képe látható az 1. ábrán.

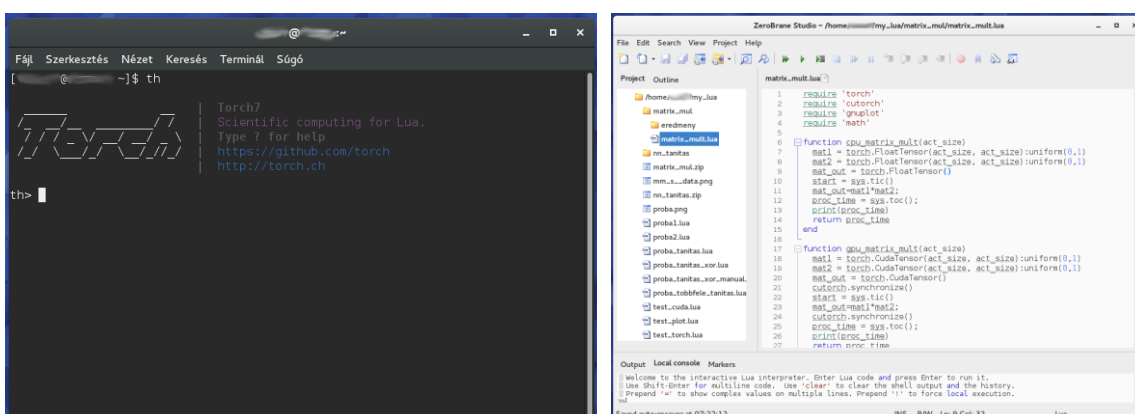
A nyelv teljesítményét tekintve igen jó eredményeket produkál. Az 1. táblázatban látható két eljárás (quick rendező algoritmus és egyszerű mátrix szorzás) és azok megvalósítása különféle programozási és szkript nyelveken. Az irodalmi adatok [9] magukért beszélnek, hiszen a Julia igen jól teljesített.

Módszerek	C gcc5.1.1	Julia 0.4.0	Matlab R2015b	Octave 4.0.0	LuaJIT gsl-shell2.3.1
Quick rendezés	1.00	1.15	4.92	1866.01	2.03
Mátrix szorzás	1.00	1.02	1.12	1.12	1.16

1. Táblázat Julia teljesítményének összehasonlítása [9]

2.2. Torch programcsomag

A Torch [12] egy tudományos számításokra kihegyezett keretrendszer, amely erősen támogatja a gépi tanulási algoritmusokat illetve a GPU használatot is. Gyors prototípus gyártáshoz kifejlesztett szkript alapú nyelv, mely Lua alapra épül, így N dimenziós tömbök kezelését alapesetben, külön kiegészítés használata nélkül képes kezelni. Nagyszámú, lineáris algebrahoz kapcsolódó rutint és számos numerikus optimalizálási függvényt tartalmaz. A megírt kódok könnyen portolhatók OS, Android és FPGA-ra is.



2. ábra Torch értelmező a terminál ablakban (bal) és ZeroBrane Studio [18] környezetben (jobb)

Számos kiegészítéssel rendelkezik, mint a korábban tárgyalt Julia nyelv. Az elérhető csomagok számos kategóriába sorolhatók, mint: gépi tanulás, vizualizáció, gép látás, hang- és

képfeldolgozás, de elosztott számítások és párhuzamos folyamatok kezelésével kapcsolatos csomagok is találhatóak.

A program értelmezője a 2. ábrán balra látható, még az egyik népszerű lua IDE, az ábra jobb felén található.

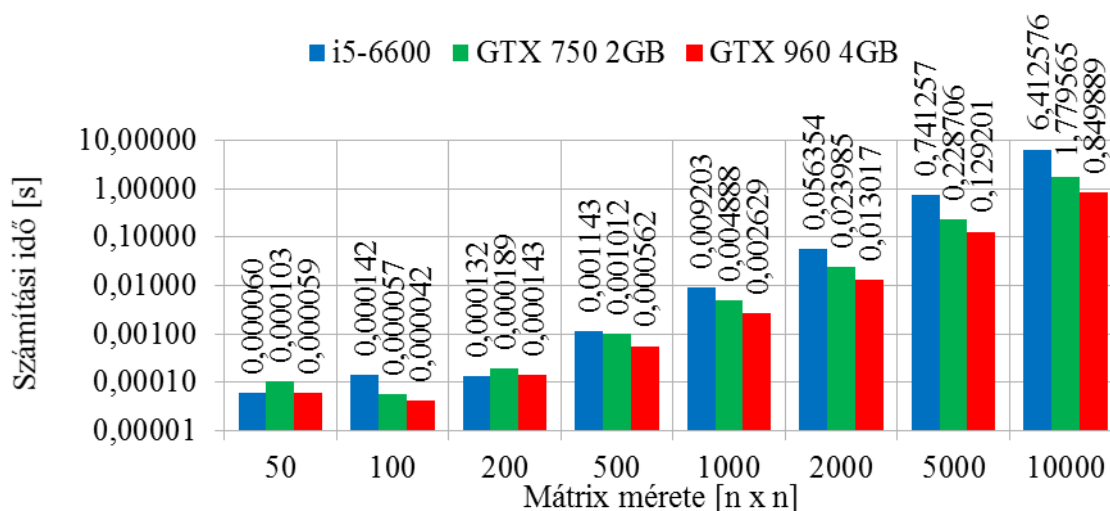
3. KÍSÉRLETEK TORCH KÖRNYEZETBEN

Torch környezetben többféle különböző processzor (CPU) és GPU alkalmazásával számítási kísérleteket végeztünk, hogy összehasonlítsuk a teljesítménybeli különbségeket és a skálázódást. Két nagyobb kísérletsorozat kerül bemutatásra a következőkben, amelyből az elsőnél négyzetes mátrixok szorzásának időszükségletét mérjük, még a második esetben rejtett rétegű neurális hálózatokat tanítunk be különböző számú rejtett neuron szám mellett. A kísérletekhez kétféle processzor (i5-4440S és i5-6600) illetve kétféle GPU (GTX 750 2GB és GTX 960 4GB) került felhasználásra. A kísérleteket Fedora 23, linux alapú operációs rendszer alatt végeztük.

3.1. Mátrix szorzás

Ebben a kísérletben négyzetes mátrixokat szoroztunk össze. A mátrixok mérete 50 és 10000 között változott, tartalmuk 0 és 1 közé eső véletlen számok voltak. Csak azt az időt mértük, ami az effektív számítás elvégzéséhez volt szükséges. Az eredményeket a 3. ábra tartalmazza.

A diagram tanúsága szerint, ahogy várható volt, a mátrixok méretének növekedésével nőtt a számítási idő. Az i5-6600-as CPU még kisebb méret mellett fel tudta venni a versenyt a grafikus vezérlőkkel, sőt a korábbi 7. generáció tagját még meg is előzte, de nagy méretek esetén egyértelmű a grafikus vezérlők előnye. A legnagyobb 10000 x 10000-es mátrix méret esetén 8-szor annyi időre volt szüksége a Skylake architektúrás CPU-nak a művelet elvégzéséhez, mint a nem túl régi, Maxwell architektúrájú Nvidia GPU-nak. Szépen látszik a fejlődés a grafikus kártyák között is, hiszen a 2 generáció különbség körülbelül 2-szeres időt jelent. Itt megjegyezném a két kártya CUDA magjainak a száma között is kétszeres szorzó figyelhető meg. A GTX 750 512 CUDA maggal rendelkezik, még a GTX 960-as 1024-el dicsekedhet [19].



3. ábra Mátrixok összeszorzásához szükséges idő a méret függvényében, a különféle hardverek esetén

Kiemelném a Torch környezet adta kényelmi szolgáltatásokat, amit a grafikus kártya használat során tapasztaltunk. A következő, 4. ábra mutatja a CPU-ra és a GPU-ra megírt mátrix szorzást végző függvények forráskódját. Egyfelől a mátrixok létrehozása során van különbség a két kód között, másfelől a pontos időmérésekhez szükséges szinkronizációs függvények meghívása jelent másik különbséget a forráskódok között.

```

function cpu_matrix_mult(act_size)
    mat1 = torch.FloatTensor(act_size,
        act_size):uniform(0,1)
    mat2 = torch.FloatTensor(act_size,
        act_size):uniform(0,1)
    mat_out = torch.FloatTensor()
    start = sys.tic()
    mat_out = mat1 * mat2
    proc_time = sys.toc()
    print(proc_time)
    return proc_time
end

function gpu_matrix_mult(act_size)
    mat1 = torch.CudaTensor(act_size
        act_size):uniform(0,1)
    mat2 = torch.CudaTensor(act_size
        act_size):uniform(0,1)
    mat_out = torch.CudaTensor()
    cutorch.synchronize()
    start = sys.tic()
    mat_out = mat1 * mat2
    cutorch.synchronize()
    proc_time = sys.toc()
    print(proc_time)
    return proc_time
end

```

4. ábra Mátrix szorzás elvégzéshez írt rutinok Torch nyelven CPU-ra (bal) és GPU-ra (jobb)

3.2. Neurális hálózatok tanítása

A másik kísérlet, amit a Torch környezetben belül végeztünk az több különböző méretű, egy rejtett réteggel rendelkező neurális hálózatok betanítása volt. A szükséges tanító mintakészleteket, mesterségesen állítottuk elő a következő leképezés segítségével.

$$y(t) = \sin(1.8x(t)) + z, \quad (1)$$

ahol

- $y(t)$ – a hálózat kimenete a t . iterációs lépésben;
- $x(t)$ – a hálózat bemenete a t . iterációs lépésben;
- z – $-0.1 - +0.1$ tartományon eloszló véletlen zaj.

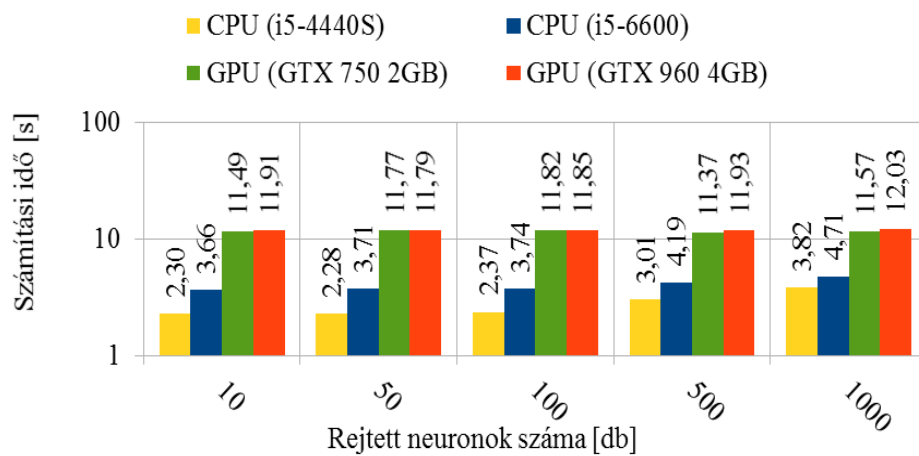
Az $x(t)$ egy szinuszosan változó függvény volt, aminek segítségével egy 500 pontból álló készletet állítottunk össze.

Maga a hálózat, egy rejtett réteggű, perceptron neuron modellen alapuló hálózat volt. Sigmoid aktivációs függvénnyel a rejtett és lineáris függvénnyel a kimeneti rétegben. A hálózat súlyainak kezdeti értékei -0.05 és $0,05$ tartományon belüli véletlen számok voltak. Tanító kritériumként, átlagos négyzetes hibát használtunk.

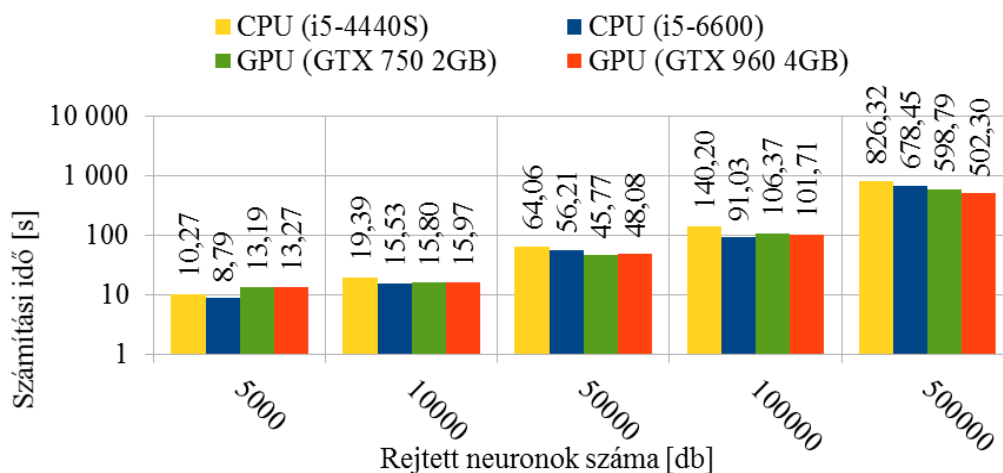
A hálózatok tanítása sztochasztikus gradiens módszer (SGD) segítségével történt. Minden tanítás, viszonylag rövid 100 iterációs ciklusig történt.

Az effektív tanítási időket mérve, különféle hardverelemeket használva, az elért eredményeket az 5. és 6. ábrák foglalják össze. Kis és közepes hálózatméret esetén (10 - 10000 rejtett neuronszám) hálózatméret estén a CPU bizonyult gyorsabbnak, de ettől nagyobb méret esetén már a grafikus vezérlők gyorsítottak a tanítás idején. Maximálisan 40% körüli időnyereséget lehet elérni a grafikus vezérlő alkalmazásával. Itt jegyezném meg, hogy a hálózat struktúrája igen egyszerű volt, hiszen egy bemenettel és egy kimenettel és egy

rejtett réteggel rendelkeztek a hálózatok. Több réteg esetén valószínűleg jobban kijöhet a mátrix szorzásnál tapasztalt gyorsulás.



5. ábra Kiseb méretű neurális hálózatok tanításhoz szükséges idő a rejtett neuronok számának függvényében, különféle hardverek esetén



6. ábra Nagyobb méretű neurális hálózatok tanításhoz szükséges idő a rejtett neuronok számának függvényében, különféle hardverek esetén

```

--make neural network
mlp = nn.Sequential();
num_inputs = 1; num_outputs = 1;
mlp:add(nn.Linear(num_inputs,
                  num_hiddens))
mlp:add(nn.Sigmoid())
mlp:add(nn.Linear(num_hiddens,
                  num_outputs))

if use_GPU then
  mlp:cuda()
end

criterion = nn.MSECriterion()
if use_GPU then
  criterion:cuda()
end
-- set up SGD trainer
trainer = nn.StochasticGradient(mlp,
                                criterion)
trainer.learningRate = 0.01
trainer.shuffleIndices = false
mlp_params = mlp:getParameters()
mlp_params:uniform(-0.05, 0.05)
mlp:zeroGradParameters()
    
```

7. ábra Neurális hálózat felépítése Torch-ban

Ahogy a mátrix szorzás esetén tapasztalható volt, minimális energia befektetésével, könnyen átültethető a programkód CPU-ról GPU-ra, illetve a hálózat létrehozási is csupán pár sor (7. ábra).

ÖSSZEFOGLALÁS

Két nagy népszerűségnek örvendő függvénykönyvtárat vizsgáltunk meg főbb jellemzőik figyelembevételével. A Julia programozási nyelv esetében irodalmi forrásokra hivatkozva mutattuk be annak teljesítményét. A második, részletesebben megvizsgált programcsomag esetében két vizsgálatot végeztünk többféle hardverelem használata mellett. Arra jutottunk, hogy összetettebb számítási feladat esetén, javasolt a GPU használata, hiszen programozás szempontjából nem jelent nagy munkabefektetést, annak használata, de ha fontos az időparaméter, akkor tetemes időnyereséget lehet elérni a GPU, mint a számológység használatával.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **SCHAPIRE, R.:** *Theoretical Machine Learning, COS 511, Lecture notes*, 2008.
- [2] **RUSSELL, S., NORVIG, P.:** *Mesterséges Intelligencia, Modern megközelítésben*, Panem Könyvkiadó, 2005., ISBN 963 545 411 2.
- [3] **RIFKIN, R.:** *Multiclass Classification*, 9.520 Class 06, 2008.
- [4] **ZISSERMAN, A.:** *Machine Learning, Hilary Term*, University of Oxford, 2015
- [5] **HERTZMANN, A., Fleet, D.:** *Machine Learning and Data Mining, Lecture Notes*, CSC 411/D11, Computer Science Department, University of Toronto, 2012.
- [6] **CUNNINGHAM, J. P., GHAHRAMANI, Z.:** *Linear Dimension Reduction: Survey, Insights and Generalizations*, Journal of Machine Learning Research 16, pp. 2859-2900, 2015.
- [7] **ORMÁNDI, R.:** *Gépi tanulás a gyakorlatban, Bevezetés*, Szegedi Egyetem, 2013
- [8] **SZEPESVÁRI CS.:** *Gépi tanulás – Rövid bevezetése*, MTA SZTAKI, 2005.
- [9] *Julia*, <http://julialang.org>
- [10] **BEZANSON, J., EDELMAN, A., KARPINSKI, S., SHAH, V. B.:** *Julia: A fresh approach to numerical computing*, <http://arxiv.org/abs/1411.1607>, 2014
- [11] *Torch: a scientific computing framework for LuaJIT*, <http://torch.ch>
- [12] **COLLOBERT, R., KAVUKCUOGLU, K., FARABET, C.:** *Torch7: A Matlab-like Environment for Machine Learning*, BigLearn, NIPS Workshop, 2011.
- [13] *Caffe: Deep Learning Framework*, <http://caffe.berkeleyvision.org>
- [14] **YANGQING, J., SHELFHAMER, E., DONAHUE, J., KARAYEV, S., LONG, J., GIRSHICK, R., GUADARRAMA, S., DARRELL, T.:** *Caffe: Convolutional Architecture for Fast Feature Embedding*, arXiv preprint arXiv:1408.5093, 2014.
- [15] **THEANO DEVELOPMENT TEAM:** *Theano: A Python framework for fast computation of mathematical expressions*, arXiv e-prints abs/1605.02688, 2016.
- [16] **DEAN, J., MONGA, R. ET AL.:** *TensorFlow: Large-scale machine learning on heterogeneous systems*, Google Research, 2015
- [17] *JUNO: A flexible IDE for the 21th century*, <http://junolab.org>
- [18] *ZeroBrane Studio: Lightweight IDE for your Lua needs*, <https://studio.zerobrane.com>
- [19] *Geforce.com*, <http://www.geforce.com/hardware/desktop-gpus>

SZEMCSÉS ANYAGOK SÚRLÓDÁSA: MEZŐGAZDASÁGI ALKALMAZÁSOK

FRICITION OF GRANULATED MATERIAL: APPLICATIONS IN AGRICULTURE

GINDERT-KELE Ágnes¹, HAGYMÁSSY Zoltán²

¹egyetemi docens, battane@eng.unideb.hu,

¹Debreceni Egyetem, MK Gépészmérnöki Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemő u. 2-4

²egyetemi docens, hagymassy@agr.unideb.hu

²AGTC, MÉK Agrár-Műszaki Tanszék, 4032 Debrecen, Böszörményi út 138

Kivonat: Az ömlesztett, szemcsés anyagok viselkedése sok, a termelésben jelentős témakörben, de akár a földtanban is érdekes lehet: a földcsuszamlások modellezésétől kezdve a mezőgazdaságban használatos silók vagy műtrágyaszórók tervezéséhez is adhatnak hasznos támpontokat. A műtrágyaszemcsék súrlódási tulajdonságaival kapcsolatos korábbi kísérleti tapasztalatainkat tekintjük át az újonnan bevezetett modellezési technikák fényében. Úgy tűnik, hogy a véges elemek módszere (DEM) segítségével végrehajtható modell-számítások egyre elterjedtebbé és megbízhatóbbá válnak.

Kulcsszavak: műtrágya, súrlódás, számítógépes modellezés, diszkrét elemek módszere (DEM)

Abstract: The knowledge of the behaviour of granulated, bulk matter might be interesting in industrial and agricultural production, and even in geography: e.g. they can help to understand landslides or could provide useful hints for the design of silos or spinning disc spreaders used in agriculture. We reconsider our earlier experimental experience concerning the friction properties of fertilizer particles in the light of the new modelling techniques. It seems that the model calculations using the DEM (Discrete Elements Method) have become more widespread and more reliable.

Keywords: fertiliser, friction, computer modelling, discrete element method (DEM)

1. BEVEZETÉS

Mintegy 143 millió tonna műtrágyát juttatnak ki évente a világban tápanyag utánpótlás és a remélt terméshozam növelés céljából. A környezetvédelem már felismerte pl. a foszfátok károsító hatását és a Balaton javuló vízminősége többek közt a vízgyűjtő területen a csökkentett mennyiségű műtrágya alkalmazásának is köszönhető. Ugyanakkor a műtrágya gazdaságilag fontos vegyipari termék, amelynek jó minőségű gyártása és precíziós kijuttatása az alacsonyabb környezeti terhelés előfeltétele.

2. MODELLEZÉS DISZKRÉT ELEMELÉSI MÓDSZERÉVEL (DEM)

A nagyteljesítményű számítógépek a Newton-i mechanika törvényeit felhasználva lehetővé teszik sokrészecskés rendszerek "in silico" vizsgálatát [3, 4]. Az eljárást Diszkrét Elemű Modellezés-nek (DEM) nevezték el. Ennek segítségével ömlesztett, granulált anyagok tömeges viselkedése szimulálható. Ilyenek lehetnek pl. a nedves és száraz homok, a dűnék a tengerparton, mezőgazdasági termékek (gabonafélék) a tárolókban. A helytelen tömeges kezelés sok veszteséggel járhat, amit a modellkísérletek és a számítások tapasztalatai révén csökkenthetünk. A probléma nehézségét a túl sok részecske egyidejű leírása és követése jelenti, amit az elméleti közelítés eltérő pontosságú módszerei komplikálhatnak. Az ömlesztett anyagok kiterjedt részecskék: nem csak tömegük, hanem tehetetlenségi

nyomatékuk is van, az ütközések és erőhatások következtében igen rövid idő alatt megváltozik a mozgásállapotuk. Általában rugalmatlan ütközéseket lehet feltételezni: az érintkezés miatt fellép súrlódás és van energia disszipáció. Az erők nem folytonosak és csak a szomszédos szemcsék között hatnak.

A merev testekre vonatkozó Newton egyenletek valamint a pont kontaktusok és a deformációk figyelembe vétele a kontakt-erő modell felhasználásával egy nem lineáris csatolt differenciál egyenletrendszerhez vezet.

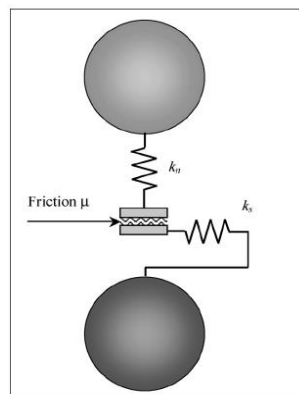
$$m\mathbf{a}_i = \mathbf{G}_i + \sum \mathbf{F}_{ci} \quad (1)$$

$$\mathbf{I}_{ai} \boldsymbol{\alpha}_i = \mathbf{H}_i + \sum \mathbf{r}_{ci} \times \mathbf{F}_{ci} \quad I = 1 \dots N \quad (2)$$

ahol :

- m - tömeg,
- a - gyorsulás,
- F - erő,
- I - tehetetlenségi nyomaték
- α - szöggyorsulás
- G_i, H_i - az i-edik testre ható erő ill. forgatónyomaték,
- c_i - kontaktus az i-edik és a c-edik szomszéd közt, (erő és forgatónyomaték)
- r_{ci} - $r_c - r_i$ (erőkar)

A DEM módszer leírásánál sikeresen alkalmazták a közelmúltban az érintkezési rugó modellt (1. ábra) [5].



1. ábra. DEM érintkezési modell Forrás: [5]

Normális irányú erő :

$$F_n = k_n U_n \quad (3)$$

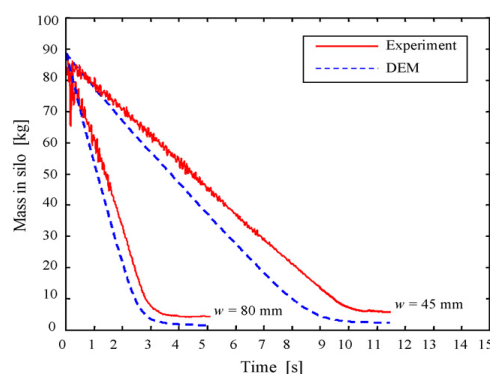
a tangenciális erő:

$$F_s = \begin{cases} \sum k_s \Delta U_s & \text{for } |F_s| < |\mu F_n| \\ \mu F_n \text{sign}(\sum \Delta U_s) & \text{for } |F_s| \geq |\mu F_n| \end{cases} \quad (4)$$

ahol:

ΔU_s - a relatív elmozdulás az érintőleges érintkezési irányban
 k_n és k_s - a rugóállandók,
 μ - a súrlódási tényező.

Coetzze és Els a nyírási kísérleteket (a nyírási feszültség stressz által okozott réteg elmozdulás) leíró DEM számításainak eredménye jól egyezett a kísérletekkel [5]. A szemcsehalmazok makroszkopikus tulajdonságait jól jellemzi a belső súrlódás, ami pl. az ún. rézsűszög mérésből származtatható (ld. saját vizsgálatok). A szerzők erre a kísérletre vonatkozóan is kiváló egyezést találtak a számított és a mért rézsűszögek közt ($24 \pm 1^\circ$ ill. $25 \pm 2^\circ$). Ugyanezen szerzők kukoricasiló ürítési kísérleteket is modelleztek és látványos egyezést kaptak a modellkísérlet és a DEM számítási eredményeik között.



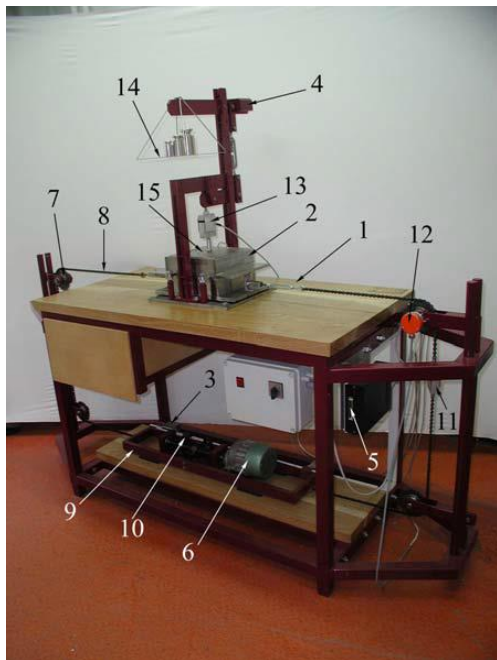
2. ábra. Siló ürítési kísérlet és DEM szimulációja. Forrás: [5]

A 2. ábrán a silóürítés során a silóban lévő anyagmennyiséget ábrázolják az idő függvényében két kilépő nyílásméret esetén [5], és láthatóan jó az egyezés a kísérletek és számítások között.

3. KÍSÉRLETI VIZSGÁLATOK

Saját kísérletes súrlódási vizsgálatainkat öt, hazai forgalomban lévő műtrágyával végeztük. NPK 15-15-15 (15%N, 15%P, 15%K Agrolinz Agrochemikalien GmBh), Linziszó 27% N (Agrolinz Melamin GmBh), Ammóniumnitrát 34% N (Nitrogénművek Rt. Pétfürdő), Granulált Kálisó 0-0-60% (Tiszamenti Vegyiművek Rt. Szolnok), Karbamid 46-0-0 (Nitrogénművek Rt. Pétfürdő).

A 3. ábrán a csúsztatódobozal felszerelt súrlódásvizsgáló készülék [1] látható, melynek fő egységei a mérőasztal (1), a csúsztatódoboz (2), a vontató berendezés (3), a terhelő szerkezet (4) és a mérő- és adatgyűjtő egység (5). A terhelőszerkezet karrendszeren keresztül változtatható normális irányú terhelőerőt biztosít az anyagalmazra. A csúsztatódoboz két darab 200 x 200 mm keresztmetszetű 60 mm belső magasságú keretből áll, a közöttük lévő rés csavarokkal beállítható. Méréskor az alsó keret mozdul el (két darab csiszolt és edzett golyósoron mozog). A vonószerkezet zárt hurkot alkot, egy 220V/50Hz-es egyfázisú motor (6) működteti. A vonóerőt mérő cella (11) a vonólánc függőleges húzó ágába van beépítve. Az elmozdulás és ezzel együtt a vontatási sebesség mérésére egy inkrementális forgó jeladó (12) szolgál, ami a húzó oldalon lévő lánckerék csapágyazott tengelyéhez kapcsolódik. A mérő-és adatgyűjtő rendszer a két erőmérő cella és az út jeladó által továbbított adatokat gyűjti, melyek a csatlakoztatott számítógép VisiDAQ szoftverével feldolgozhatók.



1. mérőasztal
2. csúsztatódoboz (2 db 200x200x60 mm)
3. vontatóberendezés
4. terhelő szerkezet
5. mérő- és adatgyűjtő egység
6. egyfázisú motor
7. lánckerék
8. hevederes lánc
9. vonókeret
10. két helyen csapágyazott csavarorsó-anya kapcsolat
11. vonóerőt mérő cella
12. inkrementális forgó jeladó (2000 jel fordulatonként) elmozdulás és vontatási seb. mérésére
13. erőmérő cella (1000N méréshatárú)
14. terhelés
15. fedőlap

3. ábra. Súrlódásvizsgáló készülék a nyíródobozzal. Forrás: [6]

A készülék alkalmazható:

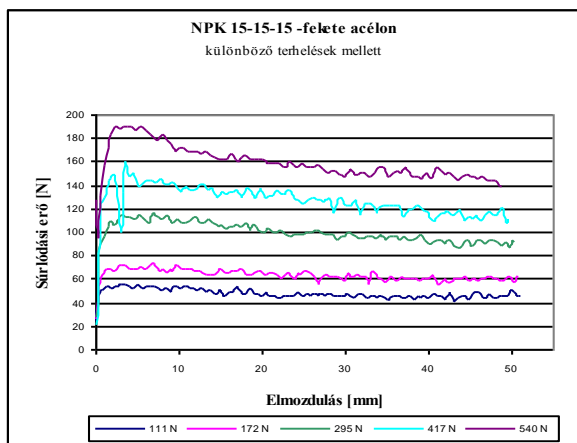
- adott normális erővel terhelt halmaz saját anyagán történő vízszintes irányú elcsúsztatásához szükséges erő meghatározására laboratóriumi körülmények között számítógépes adatgyűjtés alkalmazásával.
- egy megadott felületen elcsúszó anyaghalmoz esetén az átlagos súrlódó erő mérésére különböző terhelés mellett, számítógépes adatgyűjtéssel.

A csúsztatódoboz helyére szerelhető fel a körforgó csúsztatókészülék (4. ábra), mely a szemcsés anyagok belső súrlódásának vizsgálatára alkalmas. Míg a csúsztatódoboznál a nyírt felület fokozatosan csökken a csúsztatási folyamat alatt, a körforgó készüléknél állandó marad a mérés során. A jó összehasonlíthatóság érdekében a csúsztatódoboznál a csúsztatott felület feletti réteg és a körforgó csúsztatókészüléknél a csúsztatott anyag rétegvastagsága megegyezik. A csúsztatási felület 0.04 m^2 , az anyag rétegvastagsága mindkét esetben 60 mm.

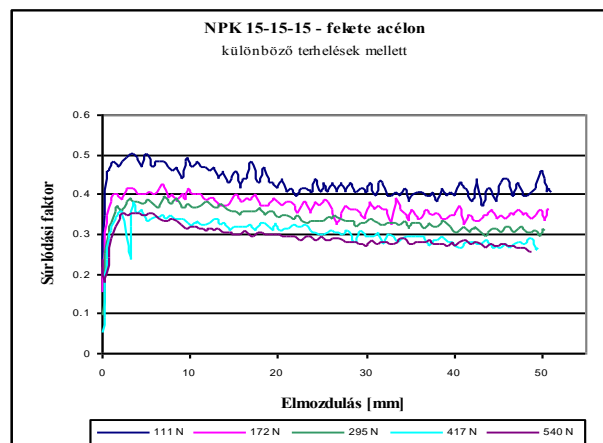


4. ábra Körforgó csúsztató készülék. Forrás: [6]

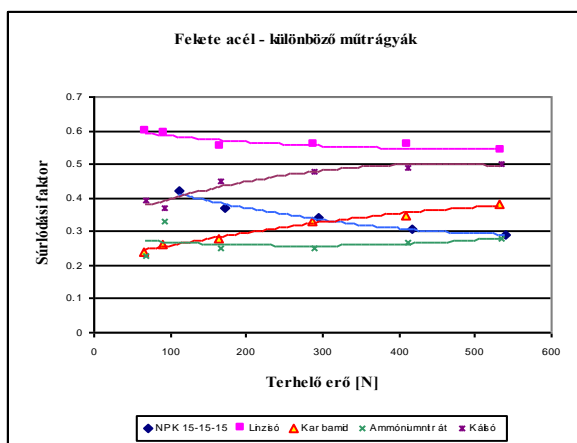
A gépgyártásban leggyakrabban alkalmazott és más ipari anyagok közül tíz különböző felületen vizsgáltuk a műtrágyaszemcsék és a felületek közötti súrlódási viszonyokat a csúsztatókészülék segítségével. A különféle felületű lemezek a csúsztatódoboz alsó részével együtt csúsztak el a felső keretbe tett műtrágyák alatt. A jellemző nyers adatokat mutatják az alábbi 5.-8. ábrák.



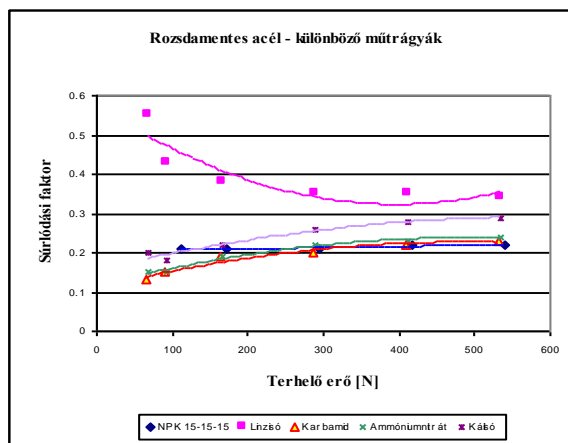
5.ábra. NPK 15-15-15 műtrágya és fekete acél között fellépő súrlódóerő különböző terhelések mellett. Forrás: [2]



6.ábra. NPK 15-15-15 műtrágya és fekete acél között fellépő súrlódási faktor különböző terhelések mellett. Forrás: [2]



7.ábra. Fekete acél és különböző műtrágyák közötti súrlódási faktor változó terhelés mellett Forrás: [2]



8.ábra. Rozsdamentes acél és a műtrágyák közötti súrlódási faktor változó terhelés mellett Forrás: [2]

Műtrágya típus	NPK 3x15	Linziszó	Karbamid	Amm.nitrát	Kálics
Dinamikus rézsűszög [°]	33	32	31	29	36
Belső súrlódási együttható					
Rézsűszögből számítva	0.64	0.62	0.61	0.55	0.73
Forgó csúsztató készülékkel	0.45± 0.02	0.52± 0.03	0.41± 0.02	0.40 ± 0.02	0.62 ± 0.02

1. táblázat : Műtrágyák belső súrlódási értékei Forrás: [6]

ÖSSZEFOGLALÁS

A kísérletes súrlódás mérési tapasztalatok összefoglalása:

A vizsgált műtrágyák természetes dinamikus rézsűszögére három mérés átlagaként nyert α szög értékek átlagából kaptuk a μ belső súrlódási együtthatót. A belső súrlódást a körforgó csúsztatókészülékkel mértük. Az értékelés módszere megegyezett a felületi súrlódások esetében használttal. A 1.sz táblázatban látható, hogy a dinamikus rézsűszögből nyert μ_i értékek mindig 0.1-0.2 értékkel nagyobbak mint a csúsztatókészülékkel mért adatok.

A szerkezeti anyagként alapvető fontosságú rozsdamentes acél esetében a mért dinamikus felületi súrlódási faktorok műtrágya típustól függően a 0.2-0.36 tartományba estek. A teflon felületen a legkisebb, míg a fekete acélon a legnagyobb a súrlódási tényező. A „legszélsőségesebb” felület-műtrágya kombinációnál 0.55 érték is előfordul. Az általunk mért felületi súrlódási értékek az irodalomban közölt adatok (0.2-0.7) alsó sávjába esnek. Hofstee [8] dinamikus súrlódási faktorai 0.33-0.44 értékek közt mozogtak, míg Aphale [7] alumínium felületen tizenhat féle műtrágyára 0.4-0.6 közötti statikus értékeket mért, és ő ezekkel az értékekkel kapta a legjobb egyezést kísérleti és elméleti eredmények közt.

Érdekes, hogy a mi esetünkben az alumíniumon mért értékek a 0.25-0.43 sávban szóródtak. Az általunk - más módszerekkel - mért 0.4-0.62 tartományú dinamikus belső súrlódási tényezők viszont éppen az Aphale által preferált sávba esnek. Ez azt a feltételezést támasztja alá, hogy a tárcsán kialakuló többrétegű szemcsemozgás miatt a belső súrlódás szerepe is fontos lehet.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **CSIZMAZIA, Z., BALLÓ, B., KASZA, F., HAGYMÁSSY, Z., GINDERT-KELE Á., ANCZA, B.E.** Súrlódásmérő készülék fejlesztése. *Mezőgazdasági Technika*, 2001., 42. Évf. 7. sz. 4-6.
- [2] **GINDERT-KELE Á., HAGYMÁSSY, Z.** Műtrágyák dinamikus súrlódási tényezőinek mérése felületeken. *Mezőgazdasági Technika*. 2008., 49. Évf. 4. sz. 2-4 HU ISSN 0026 - 1890
- [3] **VAN LIEDEKERKE, P., TIJSKENS, E., RAMON, H.** Discrete element simulations of the influence of fertiliser physical properties on the spread pattern from spinning disc spreaders. *Biosystems Engineering*, 2009, 102, 392-405
- [4] **S. VILLETTE, E. PIRON, R. MARTIN, D. MICLET M. BOILLETOT, C. GEE:** Measurement of an equivalent friction coefficient to characterise the behaviour of fertilisers in the context of centrifugal spreading. *Precision Agric* (2010) 11:664–683
- [5] **C.J. COETZEE, D.N.J. ELS:** Calibration of discrete element parameters and the modelling of silo discharge and bucket filling. *Computers and electronics in agriculture.*, **65** (2009)198–212
- [6] **BATTÁNÉ GINDERT KELE ÁGNES:** Műtrágyaszemcsék fizikai jellemzői és mozgásuk elemzése. Doktori (PhD) értekezés. Debrecen, 2005.
- [7] **APHALE, A., BOLANDER, N., PARK, J., SHAW, L., SVEC, J. & WASSGREN, C.** Granular fertiliser particle dynamics on and off a spinner spreader. *Biosystems Engineering* **85**, (2003). 319-329.
- [8] **HOFSTEE, J. W.** (1992). Handling and Spreading of Fertilizers .2. Physical-Properties of Fertilizer, Measuring Methods and Data. *Journal of Agricultural Engineering Research* **53**, 141-162.

MAGYARORSZÁG EURÓPAI UNIÓHOZ VISZONYÍTOTT ELEKTRONIKAI HULLADÉKOK HULLADÉKGAZDÁLKODÁSI HELYZETÉNEK FELMÉRÉSE, VALAMINT AZ EURÓPAI UNIÓS JOGI IRÁNYELVEK MAGYARORSZÁG JOGRENDSZERÉBE TÖRTÉNŐ ÁTÜLTETÉSÉNEK MEGVALÓSULÁSA

ELECTRICAL AND ELECTRONIC WASTE MANAGEMENT OF HUNGARY COMPARED TO THE EUROPEAN UNION; LEGAL FORCE OF EU LEGISLATION IN LOCAL LAWS

GOMBKÖTŐ Imre¹, HORVÁTH Ágnes²

¹Ph.D., Intézetigazgató egyetemi docens, ejtimreg@uni-miskolc.hu

¹Miskolci Egyetem

²PhD hallgató, horvathagnes1@yahoo.com

²Miskolci Egyetem

Kivonat: Jelentős fordulatot vett a hulladékgazdálkodás területén az Európai Unióban 2002-ben megjelent WEEE (az elektromos és elektronikus berendezések hulladékairól szóló 2002/96/EK) irányelv, amely komoly jogi szabályozások révén próbálja ésszerűsíteni az egyre növekvő elektronikai iparágban a hulladék keletkezésének megelőzését, annak kezelését. Mindez Magyarországot is komoly kihívás elé állította, a hulladékgazdálkodás teljes megújítását követelve meg. A különböző szintű jogi eszközök tagállamonként eltérőek, azonban a gazdasági szabályozók mellett a direktívák hazai implementálása fontos eszköz az Európai szintű célok elérésében. Az irányelvben deklarált gyűjtési, hasznosítási célszámok elmozdítására sarkallják e rendszert, mely rendszer jelenlegi státuszát hívatott bemutatni a következő tanulmány.

Kulcsszavak: elektronikai hulladék, e-hulladék, hulladékgazdálkodás, gyűjtés, hasznosítás

Abstract: WEEE directive (Waste of Electrical and Electronic Equipment) has had a significant impact on waste management system since 2002, which enforces waste prevention and handling by strict legislations in the growing electronic business sector. By doing so, Hungary is challenged to renew its waste management system as well. Targeted collection and recycling rates on EU level prompt the system shift. Different level of EU legislation, although it differs at each member states are an important tool together with economic controllers reaching EU policy driven target numbers. The aim of the following paper is to present current state to those targets.

Keywords: weee, e-waste, waste management, collection, recycling, EU waste policy

1. BEVEZETÉS

Az Uniós környezetvédelmi politika hetedik cselekvési programját 2013-ban fogadták el, amelynek második cselekvési területe 2020 utánra vonatkozóan; a termékek teljes életciklusára vetített környezeti teljesítményének jelentős javítása. „Különös hangsúly esik arra, hogy a hulladékból erőforrás váljon, többet kell tenni a hulladékkeletkezés csökkentése, az újrafeldolgozás és az újrahasznosítás, valamint a pazarló és káros gyakorlatok felszámolása érdekében” [1]. Ezt a cselekvési program hazai alkalmazását készítette elő a 2012. évi CLXXXV. törvény, amely már akkor egyértelmű rangsort állított a hulladékgazdálkodás tekintetében. Szintén e cselekvési program céljait erősíti a 2015-től bevezetett hulladéklerakási járulékok nagyságrendű emelkedése, valamint a 2014-2020-ra vonatkozó Országos Hulladékgazdálkodási Terv programjai, célkitűzései, célszámai is. Mindezen

szakpolitikai törekvések végre elmozdulni látszanak a tudományos és gazdasági életben megjelent körforgásos gazdasági modell irányába, amely a termék tudatos tervezésére épít, ezáltal a keletkező hulladék minimalizálására. A körforgásos gazdaság alapelveit fekteti le az Európai Bizottság által 2015-ben megjelent stratégia (Akció Terv), amely azt a jogi környezetet kívánja megteremteni és egységesíteni a tagállamokban, ami a hulladékgazdálkodáson keresztül hivatott támogatni e gazdasági modellt, tovább növelve Európa versenyképességét.

2. HULLADÉK KATEGÓRIÁK

A hulladékgazdálkodási helyzet elemzésének fókuszja az elektromos és elektronikus berendezéseinek hulladékai, melyet az Európai Unió 2012/19/EU irányelve [2], valamint annak hazai átültetése a 197/2014. (VIII. 1.) Korm. Rendelet [3] szabályoz. Az elektromos és elektronikus berendezések hulladékait a 2012/19/EU irányelv 2. cikk (1) bekezdése kategóriákba csoportosítja két időszak szerint; 2012. augusztus 13-tól 2018. augusztus 14-ig (átmeneti időszak), valamint 2018. augusztus 15-től. Az irányelv mellékletben meghatározott kategóriákba tartozó elektromos és elektronikus berendezések hulladék kategóriái az átmeneti időszakot követően más struktúrába kerülnek át. A jelenleg alkalmazott 10 kategória piac orientált, funkcionális jellegű besorolásból, 6 a hulladékkezelés szempontjait figyelembe vevő kategóriákba kerülnek át. A jelenleg elérhető nyilvántartások és kimutatások az átmeneti időszak hulladék kategóriáit veszik alapul, amely a következő oldalak statisztikai alapját adják.

3. GYŰJTÉSI ARÁNY

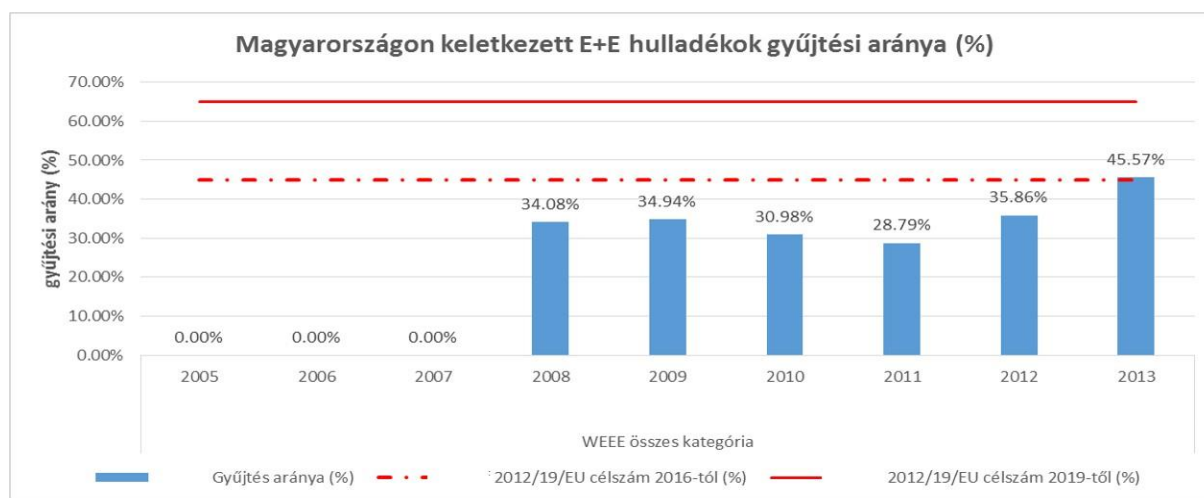
3.1 Gyűjtési arány Magyarországon

Fontos megemlíteni, hogy a gyűjtési arány számításának módja tekintetében az irányelv és a hazai kormányrendelet eltér a számítás alapját adó tárgyévek számában a forgalmi adatok átlag tömege esetén A 2012/19/EU irányelv 7. cikk (1) bekezdése, a tárgyévet megelőző három évben az adott tagállamban forgalomba hozott elektromos és elektronikus berendezések átlagos tömegéhez viszonyítja az összegyűjtött hulladékok össztömegét. A 197/2014. (VIII. 1.) Korm. Rendelet 2. sz. melléklet 1.2. pontja alapján; „a gyártó által a tárgyévet megelőző évben Magyarországon forgalmazott, adott kategóriába tartozó elektromos, elektronikus berendezés mennyiségét” arányosítja. Lévéen ezen elemzések nem engedélyezési vagy egyéb jogi aktus célját szolgálják, hanem trendek és azokból levonható következtetések elemzését, ezért az EU tagállamok összehasonlíthatósága, valamint a kisebb intervallumból fakadó ingadozások elkerülése miatt az elemzésnél az irányelv által előírt összefüggésnek (három éves periódus) megfelelően végeztem a gyűjtési arány számításokat.

Célszámok tekintetében a hazai kormányrendelet kategóriákra bontva ír elő gyűjtési arányokat (197/2014. (VIII. 1.) Korm. Rendelet 2. sz. melléklet 1.1. pontja), az irányelv viszont az E+E termékek összességére definiálja az átmeneti és azt követő időszakokra (2012/19/EU irányelv 7. cikk (1)), mely szerint 2016-tól a minimális gyűjtési arányt 45 %-ban határozta meg (1. ábra szaggatott vonal). Az eddigi adatok alapján először 2013-ban sikerült elérni a 2016-os célértéket, mely eredményt majd az azt követő évek pozitív trendje tud igazolni, ám fontos kiemelni, hogy e hulladék kategóriába tartozó termékek tartós fogyasztási cikkek, melyek életgörbéjük következtében néhány év elteltével válnak hulladékká, így a statisztikai adatok rövidtávon javulást mutathatnak az innováció ‘előtti’ hulladék, innovációt

követő forgalomba hozatali mennyiségek arányosításával. Azaz a termékfejlesztések eredményeként, adott berendezés tömege csökken, azonban a hulladékká váló berendezés még a fejlesztést megelőző tömeggel válik hulladékká, emiatt e két tömeg arányosítása torzíthatja a gyűjtési arányokat. Ezért a pontos, nem jogszabályi megfelelést célzó, hanem a hulladékgazdálkodás stratégiai tervezését megalapozó statisztikák módszertani képletének megalkotása nélkülözhetetlen, amely az E+E hulladék kategóriánkénti élettartam korrekciójával is számol, így elkerülve a termék tömegek okozta anomáliákat.

Az irányelv 2019-től előírt céljának eléréséhez (1. ábra piros vonal) még jelentős lépések szükségesek hulladékgazdálkodásunkban, bár fontos azt is kiemelni az irányelvben megjelölt kivételek listáját, melyen Magyarország is szerepel, azaz 2021-ig van lehetőség a magasabb célszám elérésére.



1. ábra: Magyarországon keletkezett E+E hulladék gyűjtési aránya

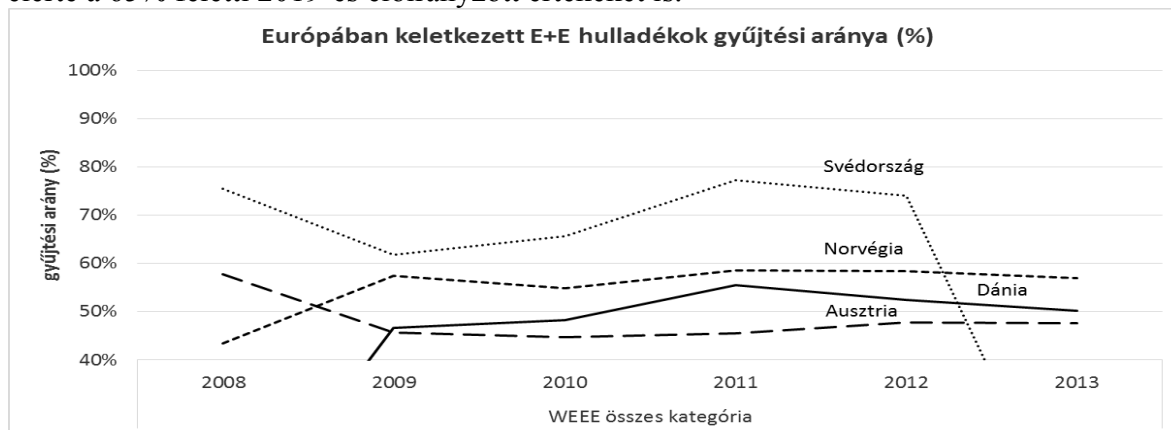
Forrás: Eurostat WEEE adatok alapján szerző saját szerkesztése

Amennyiben megvizsgáljuk az E+E hulladékokat kategóriákra bontva a keletkezett hulladékok gyűjtési arányát szinte mindegyik esetben, az elérhető adatok utolsó két évében 2012 – 2013 ugrásszerű növekedés mutatkozik. Ha megvizsgáljuk a jogszabályi környezet változását a 2012. évi CLXXXV. törvényen keresztül [4], akkor értelmet nyer e növekedés motivációs háttere. A 2000. évi XLIII. törvény a hulladékgazdálkodásról 4. § gyártói felelősség elve a 2012. évi CLXXXV. törvény a hulladékról 3.§-a már, mint kiterjesztett gyártói felelősség elve szerint jelenik meg alábbi kiegészítéssel: „a kiterjesztett gyártói felelősség alapján a gyártó felelős továbbá a visszavitt termék visszaváltásáért, visszavételéért, a termékből származó hulladék átvételéért, gyűjtéséért, valamint a környezetvédelmi termékdíjról szóló törvényben meghatározott további hulladékgazdálkodási tevékenységek elvégzéséért, amelyek az e tevékenységekért vállalt pénzügyi felelősséget is magukban foglalják”. A korábban meghatározott felelősség a technológia megválasztásán, hulladék hasznosításának és ártalmatlanításának megtervezésén kívül előírja a visszavételt és gyűjtést is. Továbbá új tételként jelent meg a hulladékstátusz megszűnése (2012. évi CLXXXV. törvény a hulladékról 7. 9. §), „(1) Hasznosítási műveleten átesett anyag vagy tárgy a továbbiakban nem tekintendő hulladéknak...” bizonyos „feltételek együttes teljesülése esetén”. Amely így utat nyit újabb gazdasági tevékenységeknek, melyek ösztönzően hatnak a piaci szereplőkre. A hulladéklerakási járulékok változása, növekedése – veszélyes hulladék lerakási járuléka a 2012. évi CLXXXV. törvény 5. sz. melléklet 2. pontja szerint 2015. január 1-től 6000 Ft/tonna, 2013-ban 3000 Ft/tonna volt -, mint gazdasági szabályozó rendszer

jelenik meg és készíti a résztvevőket a hasznosítási irányába történő elmozdulás felé, mely hasznosítási cél elérése a gyűjtési arányok növekedésével érhető el.

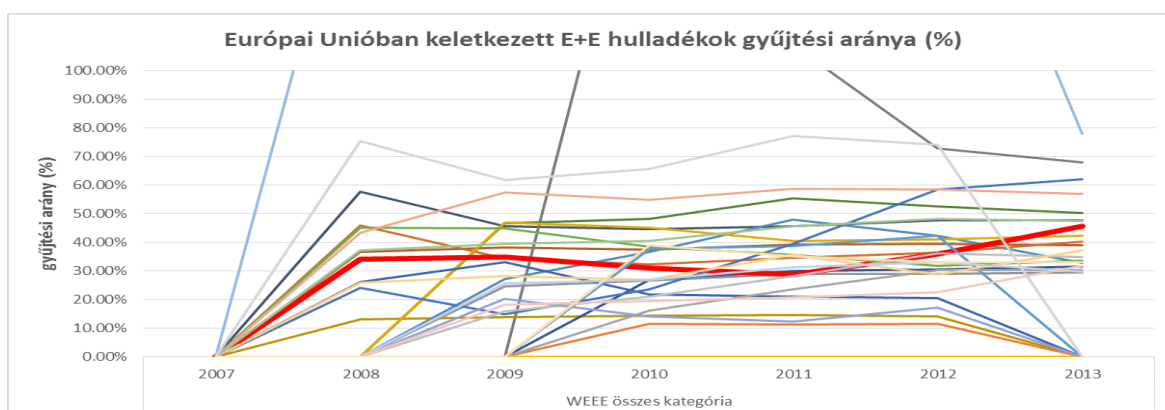
3.2 Gyűjtési arány az Európai Unióban

A tagállamonkénti elemzés [5] alapján elmondható, hogy a gyűjtési arányok már jelentősen eltérnek egymástól (2. ábra). A legjobban teljesítő tagállamok (45% feletti gyűjtési arány) Svédország, Norvégia, Dánia, Ausztria, stabil hulladékgazdálkodási rendszerre engednek következtetni, a 2008-tól folyamatosan fenntartott magas arányszám miatt. Svédország már elérte a 65% feletti 2019-es előírányzott értékeket is.



2. ábra: Európai Unióban keletkezett E+E hulladék legmagasabb gyűjtési aránya
Forrás: Eurostat WEEE adatok alapján szerző saját szerkesztése

A tagállamok között Magyarország gyűjtési arányának helyzete alapján közepén helyezkedik el (3. ábra piros vonal), a legalacsonyabb aránnyal Olaszország, Románia, Ciprus rendelkezik (10% körüli gyűjtési arány).



3. ábra: Európai Unióban keletkezett E+E hulladék gyűjtési aránya
Forrás: Eurostat WEEE adatok alapján szerző saját szerkesztése

4. HASZNOSÍTÁSI ARÁNY

A begyűjtési arányhoz hasonlóan a hasznosítási arányt is érdemes megvizsgálni fenti logika mentén. 2012/19/EU irányelv 11. cikk Hasznosítási irányszámok:

„(2) Az irányszámok teljesítése akként számítandó, hogy kategóriánként meg kell határozni az elektromos és elektronikus berendezések hasznosító vagy újrafeldolgozó/újrahasználatra előkészítő létesítményekbe – a 8. cikk (2) bekezdésével összhangban a hasznosítással vagy

újrafeldolgozással kapcsolatos megfelelő kezelést követően – bekerülő hulladékai tömegét, és annak az elektromos és elektronikus berendezések összes elkülönítetten gyűjtött hulladéka kategóriánként meghatározott tömegéhez viszonyított, százalékban kifejezett arányát. Ezen arányszámok teljesítésébe nem számítanak bele az előzetesen a begyűjtött hulladékon tevékenységek, mint például a hasznosítást megelőző válogatás és tárolás.”

8. cikk Megfelelő kezelés:

„(2) A megfelelő kezelés – az újrahasználatra való előkészítés, valamint a hasznosítási és újrafeldolgozási műveletek kivételével – magában foglalja legalább az összes folyadék kivonását, valamint az irányelv VII. számú mellékletben foglaltaknak megfelelő szelektív kezelést”, amely részletesen előírja azon anyagokat, keverékeket és alkatrészeket, melyet az elkülönítetten gyűjtött hulladékból el kell távolítani.

Mindkét előírás ugyanúgy, kategóriákra bontva szabályozza a különböző hasznosítási arányokat, képleteik jelen esetben azonosak, a gyűjtési arány eltéréseivel szemben (korábbi fejezetben taglaltak szerint). Mindkét előírás rendelkezik a megfelelő előkezelésről, amely a szelektív kezelést, válogatást és tárolást tartalmazza. Csak az ezt követően bekerülő mennyiség alapján számíthatók a hasznosítási, újrahasználatra előkészítési és az újrafeldolgozási arányok.

A hasznosítási arányszámok tekintetében kedvező állapot mutatkozik Magyarországon, amennyiben az E+E termékek összességére vetítjük a hasznosítási arányt, 95% feletti eredményt kapunk, de a rendeletben előírt számítás kategóriákra bontott értékelést ír elő, ezért annak adatait is meg kell vizsgálnunk a megfelelő következtetés érdekében. Amennyiben kategóriákra bontva vizsgáljuk a hasznosítási arányokat a meghatározott célszámokhoz képest, csak minimális esetben 2005-2007-es években nem sikerült elérni a kitűzött célokat, azaz elmondható, hogy a Magyarországon keletkezett és begyűjtött E+E hulladékok hasznosítási aránya kategóriánként is megfelelő. Azaz a már begyűjtött és előkezelt hulladékok hasznosítása megfelelő mértékben megtörténik a jelenlegi gyűjtési arány mellett. Viszont fontos tovább vizsgálni, hogy az előírt magasabb gyűjtési arányok teljesítése mellett elegendő-e a meglévő maximális kapacitások.

Unió szinten tagállamonként szintén elmondható, hogy magas, célérték vagy célérték feletti hasznosításokról beszélhetünk [5], azaz az e-hulladékok hasznosítási technológiai megoldottnak látszanak. Viszont az ilyen arányú hasznosítási háttér megértéséhez vissza kell térnünk az irányelvhez és rendelethez. A 197/2014. (VIII. 1.) Korm. rendelet 3. 5. § alapján:

„(3) Az olyan hulladékká vált elektromos, elektronikus berendezés vagy alkotórésze esetében, amelynek hasznosítására Magyarországon nem áll rendelkezésre hasznosítási kapacitás, a hasznosítási kötelezettség teljesítésének minősül a hulladékká vált elektromos, elektronikus berendezés vagy alkotórészének az Európai Gazdasági Térségről szóló megállapodásban részes más államban történő, az országhatárt átlépő hulladékszállításról szóló kormányrendelet szerint igazolt hasznosítása is.

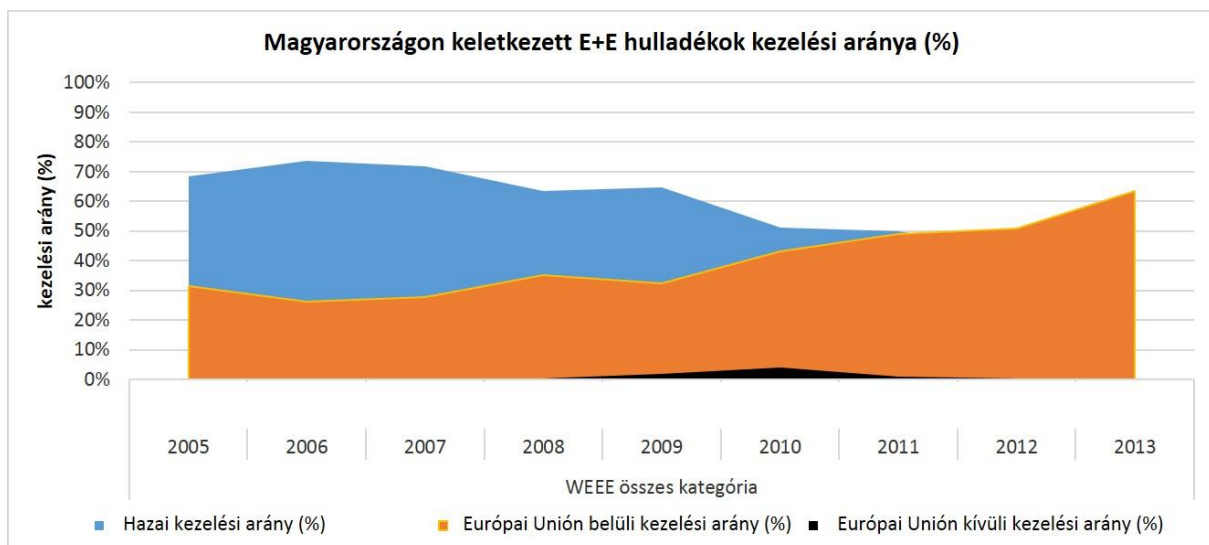
(4) Az olyan hulladékká vált elektromos, elektronikus berendezés vagy alkotórésze esetében, amelynek hasznosítására Magyarországon nem áll rendelkezésre hasznosítási kapacitás, a hulladékká vált elektromos, elektronikus berendezés vagy alkotórészének hasznosítási célú exportja abban az esetben tekinthető a hasznosítási kötelezettség teljesítésének, ha az exportot végző az országhatárt átlépő hulladékszállításról szóló kormányrendelet alapján igazolja, hogy az adott országban a hasznosítás az e rendeletben foglaltakkal egyenértékű vagy jobb feltételekkel történik.”

Az irányelv 2012/19/EU irányelv 10. cikk Az elektromos és elektronikus berendezések hulladékainak szállításai részben szabályozza következők szerint: „(2) Az elektromos és elektronikus berendezések Unióból exportált hulladékai csak abban az esetben számítanak bele az ezen irányelv 11. cikkében meghatározott kötelezettségek és irányszámok teljesítésébe, ha az exportőr... igazolni tudja, hogy a kezelést az ezen irányelv előírásaival egyenértékű feltételek között végezték.”

Tehát bizonyos feltételek teljesülése esetén (pl.: hasznosítás egyenértékű, vagy jobb feltételekkel teljesül), az E+E hulladék alkatrészeinek hasznosítási célú exportja engedélyezett, ezért elengedhetetlen az e-hulladékok földrajzi kezelésének vizsgálata, melyet a következő fejezet hívatott áttekinteni.

5. KEZELÉSI ARÁNY

Magyarországon a kezelési arányok tekintetében, azaz a keletkezett E+E hulladékok kezelése helyileg hol történik, adott tagállamon belül, más EU tagállamban, vagy az Európai Unión kívül, már változó arányszámok mutatkoznak. Egyértelműen látszik, hogy minimális kezelés folyik az Európai Unión kívül, viszont más tagállamban történő kezelés már jelentős arányú, 2010-től folyamatosan nő, nagyobb, mint a Magyarországon belül kezelt mennyiségek (4. ábra).



4. ábra: Magyarországon keletkezett E+E hulladék kezelési aránya
 Forrás: Eurostat WEEE adatok alapján szerző saját szerkesztése

Számos ország esetében más tagállamban történő kezelési adatok látszanak, egyes országoknál viszont saját tagállamon belüli e-hulladékkezelések azonosíthatóak (mint pl., Svédország, Ausztria), ezért e tagállamok hulladékkezelési rendszerének vizsgálata és a hazai adatokkal való összehasonlítása, a jó gyakorlatok átültetésének reményében elengedhetetlen.

A hulladékkezelés Európai Uniós szintű elemzéséhez át kell tekintenünk az E+E hulladékok export/import adatait, amelyek rávilágítanak a jobb hasznosítási rendszerrel rendelkező célpontokra. Fontos megemlíteni, hogy az ilyen irányú elemzés nehézkes, mivel a

szükséges háttér adatok hozzáférhetősége korlátozott, a jelenleg elérhető nyilvános adatok a veszélyes hulladékok mozgásának összesített adatait tartalmazzák. Az EEA 2009-es [6] kimutatását alapul véve, 2010-2013 időszakra az Eurostat [7] adatok alapján csak a kezelésre kiszállított mennyiségeket alapul véve, az alábbi fő célállomásokat találhatjuk; Franciaország, Hollandia, Belgium, Olaszország, Németország, Luxemburg, ahol a 0,5 millió tonna veszélyes hulladékot vettek át éves szinten. Az országok közti hulladék mozgások az EEA 2009-es [8] kimutatását aktualizálva az Eurostat [7] kezelésre szánt mennyiségeivel, a legnagyobb tömegű hulladékmozgások Közép-Európában zajlanak, a fő exportáló tagállamok Franciaország, Olaszország, Ausztria, Hollandia, Belgium, a legnagyobb importőr Németország, mely feltehetően a technológiai fejlettségének és földrajzi helyzetének együttesen köszönheti 'vezető' szerepét.

ÖSSZEFOGLALÁS

Áttekintve az Európai Unió és magyarországi hulladékgazdálkodással kapcsolatos adatokat, valamint összevetve azokat a hatályos irányelvekkel és jogszabályokkal, megállapítható, hogy fejlesztések szükségesek a hazai gyűjtési rendszerekben. Néhány ország kivételével (Svédország, Norvégia, Dánia, Ausztria) a gyűjtési arányok elmaradnak az érvényben lévő célszámoktól és jelentős kihívás elé állítják a tagállamokat a 2019-től érvényben lévő magasabb célszámok tekintetében. Magyarországon ugyan kedvező trend mutatkozik az utóbbi években, de még mindig csak a határértéki minimumot érjük el, amely nem egy kimagasló, stabil gazdálkodási rendszert tükröz.

A begyűjtési arány növelése érdekében kiemelten fontos az egyes anyagáramokat, kategóriánként életciklus alapon vizsgálni, amely fontos információkkal szolgálhat optimális begyűjtési rendszer kialakításában illetve a mennyiség növekedésének lokalitáit is megállapítani. Ez nélkülözhetetlen a feldolgozási kapacitások növelését célzó fejlesztések helyének meghatározásához.

A hasznosítás terén már némileg kedvezőbb kép mutatkozik, azaz a begyűjtött mennyiségek megfelelő kezelése megtörténik, magas hasznosítási arányok láthatók a tagállamok többségében és Magyarországon is. Azonban a hasznosított anyagáramok ritkán jelentkeznek saját tagállamon belül, azaz jellemzően más tagállamokba kerülnek hasznosításra, feltehetően a vezető technológiai gócpontok, valamint a gazdaságosságot biztosító mennyiségek miatt. hazai viszonylatban az országhatáron belüli hasznosítás növelése célként fogalmazható meg, amelynek feltételrendszerét megalapozó K+F tevékenységre van szükség. Fontos vizsgálni továbbá a jogszabályban meghatározott célszámok elérését követően a meglévő kapacitások mértékének elégségességét, és megvizsgálni, hogy a szükséges kapacitások milyen fejlesztések mentén alakíthatóak ki.

Az e-hulladékok hatékony hasznosításához, alapvető és nyilvánvaló, hogy elsődlegesen a tagállamok hulladékgazdálkodási rendszerét kell fejleszteni, mely a gyűjtési arány növekményéhez, ezáltal a hatékony hasznosítás felé vezet, de fontos motivációs háttere a törvényi szabályozás és gazdasági ösztönző rendszerek, jó példaként vehetjük a hulladékstátusz megszűnésének lehetőségét.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **Európai Parlament és a Tanács** 1386/2013/EU határozata (2013. november 20.) „Jólét bolygónk felélése nélkül” című, a 2020-ig tartó időszakra szóló általános uniós környezetvédelmi cselekvési programról, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32013D1386>
- [2] **2012/19/EU irányelve** az elektromos és elektronikus berendezések hulladékairól
- [3] **197/2014. (VIII. 1.) Korm. rendelet** az elektromos és elektronikus berendezésekkel kapcsolatos hulladékgazdálkodási tevékenységekről
- [4] **2012. évi CLXXXV. törvény** a hulladékról
- [5] **Eurostat**, *Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), collection, treatment, of WEEE, EEE put on market databases*, Available: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/key-waste-streams/weee>, 17.12.2015.
- [6] **EEA, European Environment Agency**, *Hazardous waste exported and imported by EU Member States*, 2009, Available: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/hazardous-waste-exported-and-imported>, 02.03.2016.
- [7] **Eurostat**, *Transboundary shipment of waste database*, Available: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/environment/waste/database>, 02.03.2016
- [8] **EEA, European Environment Agency**, *The 30 largest flows of hazardous waste in the EU-27*, 2009, Available: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/the-30-largest-flows-of>, 02.03.2016.

A STEALTH TECHNOLÓGIA ALKALMAZÁSA LÉGI JÁRMŰVEKEN A MODERN HADVISELÉSBEN

APPLICATION OF THE STEALTH TECHNOLOGY ON AIRCRAFTS IN THE MODERN WARFARE

GYURJÁN László

honvéd tisztjelölt

Nemzeti Köszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar,
Katonai Repülő Intézet, Repülőgép Sárkány-hajtómű Tanszék, H-5008 Szolnok, Pf. 1.
Email: gyurjan.laszlo.1990@gmail.com

Kivonat: *A lopakodó technológia alkalmazásának lehetősége és módja a katonai kutatások egyik legfontosabb területe napjainkban. Fontosságát jól ki lehet mutatni a támadó harcászati tevékenységek hatásosságában és a saját erők védelmének jóságában. Cikkemben e technológia reprezentatív és publikus eredményeit mutatom be a drónok és harcászati repülőgépek esetében.*

Kulcsszavak: *STEALTH, repülőgép, lopakodó, drón, modern hadviselés*

Abstract: *The STEALTH technology is one of the advanced and maybe the most important scope of the modern warfare. With this technology in the modern warfare the efficiency of the military missions and the friendly forces protection is increasing. In my article I will present this technology and how its applicated on drones and fighters.*

Keywords: *STEALTH, aircraft, drone, modern warfare*

1. BEVEZETÉS

A saját erők és felszerelések minél jobb hatásfokú megóvásának igénye már az első háborúk óta jelen van a hadviselésben. A korszerű, hatékony, és drága haditechnikai eszközök védelme, az ellenség elől való elrejtése, a harc sikeres megvívásának alap pillére. A XX. században a repülőeszközök megjelenése és azzal szorosan összekapcsolódva a légi felderítés képesség kifejlődése meghatározó tényezővé vált az első világháborúban, majd ugyanilyen súlyú tényező lett az első elektronikai felderítő berendezés, a radar megjelenése a második világháborúban. Később a kémrepülőgépek és műholdak léptek színre, az infravörös kamerák, és egyre fejlettebb letapogató berendezések megjelenése mind arra terelte a hadiipart, hogy folyamatos fejlesztési tevékenységgel újabb és újabb megoldásokat, eljárásokat, módszereket alakítsanak ki ezek kijátszására. A XXI. században a katonai célú kutatások legmeghatározóbb törekvése az úgynevezett STEALTH technológia fejlesztése és mind szélesebb körű gyakorlati alkalmazása. Lényegét tekintve ez jelentheti a vizuális felderítés elleni védelmet, a radarok számára láthatatlanná válást, vagy az ellenség hatótávolságán kívülről való működés megvalósítását.

A cikkemben a XX. és XXI. század „lopakodó” képességű repülőgépeiről írok egy összefoglalást, a két szuperhatalom az évek során milyen megoldásokkal lépett fel az ezredfordulón és napjainkban valamint, hogy milyen fejlesztések felé haladhatnak a jövőben [1][16].

2. A STEALTH TECHNOLOGIA ÉS A VELE SZEMBEN TÁMASZTOTT KÖVETELMÉNYEK

A STEALTH vagy lopakodó technológia alapvetően két fő területből áll, a passzív és az aktív védelem elemeiből. A modern harcászati eszközökön kombinálva alkalmazzák ezeket a megoldásokat, így érik el a lopakodó képességet. Alapvető követelmény az alacsony észlelhetőség vizuálisan, illetve a rádiófrekvenciás tartományban [1][16].

Az akusztikai védelem téren nem ismert aktív kutatási törekvés, mivel jelenleg nincs olyan irányított rakéta vagy fegyverrendszer, amely a zajkibocsátás alapján méri be célpontját és nem is valószínű, hogy a közeljövőben ilyen irányban fejlesztések fognak végbemenni. Ennek egyszerű a magyarázata, a modern harcászatban a hangsebesség már lassú. Mindenesetre létezik akusztikai védelem a repülőgépeken. A hang csökkentés érdekében a hajtóművek köré hangszigetelő anyagokat építenek be, bár ezek jelentősen megnövelhetik a gép tömegét [3].

A vizuális felderítés elleni védelem legalapvetőbb módja az évszaknak és a földrajzi viszonyoknak megfelelő álcafestés alkalmazása. A korszerű repülőgépek hajtóműveit már olyan minőségben gyártják, hogy azok szinte teljesen korom és füstmentesen bocsájtják ki az égésterméküket, ezáltal biztosítva ezen a területen az alacsony észlelhetőséget. Kísérleteznek továbbá olyan polimerek alkalmazásával is, amelyek a kaméleonokhoz hasonlóan képesek a színüket változtatni, így beolvadni a környezetbe és minimálisra csökkenteni a láthatóságukat [1][3].

A rádiólokációs felderítés elleni védelem már sokkal komplexebb megoldásokat igényel, mint az előzőek, mivel a földi telepítésű rádiólokátorok hatótávolsága több száz kilométer is lehet. A STEALTH tervezés és alkalmazás lényege, hogy ezekkel szemben legyen a repülőgép a legvédelettebb. Ezt többféleképpen érik el, részben a sárkányszerkezet kialakításával részben pedig a felhasznált kompozit anyagok segítségével, továbbá fontos szerepet játszik a festés is. A sárkányszerkezetet úgy alakítják ki, hogy annak elemei megfelelő szöveget zárjanak be egymással így a rádióhullámokat „szétszórja”. A pilótafülkében található műszerek és azok paneljei valamint a pilóta sisakja is jelentős visszaverő felület éppen ezért fejlesztették ki a „Have Glass” technológiát. Ez a technológia úgy működik, hogy a repülőgép vezető fülke üvege kap egy speciális festést, amely egy aranyrétegből áll, ezen pedig indium- és ónoxid réteg található. Ez a réteg radarhullám elnyelő tulajdonságú. Így a mérések alapján mintegy 15%-al csökkenthető az észlelhetőség. A STEALTH repülőgépeken a hordozott rakéták és a fedélzeti gépágyú is visszaverő felületnek számítanak. Ezt a negatívumot úgy orvosolják, hogy a gép törzsében hordozó kamrát alakítanak ki, amelynek ajtaja mindaddig zárva marad, amíg a fegyverzetalkalmazásra nem kerül. A sárkányszerkezetet továbbá úgy kell kialakítani, hogy a repülőgép hajtóművének kompresszorlapátjaira a rádióhullámok ne „lássanak rá” azaz e felületek ne tudják visszaverni a jeleket. Ezt vagy úgy érik el, hogy a repülőgép hajtóművét és annak a szívócsatornáját a gép törzsének felső részén helyezik el így vízszintes repülés során a radar nem látja azt, továbbá a szívócsatornát is úgy alakítják ki, hogy hullámcsapdaként viselkedjen. A sárkányszerkezetben a teherviselő elemeken is visszaverődnek a radarjelek így ezeket is megfelelő védelemmel kell ellátni. A repülőgépeken az alkalmazott kompozitokat úgy kell megválasztani, hogy azok a felderítő berendezések által kisugárzott jelek frekvenciatartományában energiaelnyelő képességüket tekintve a legoptimálisabbak legyenek. Az utóbbi években ezen anyagok fejlesztésének üteme ugrásszerűen megnőtt. A repülőgépeken vannak radarhullámot átengedő és visszaverő kompozitok. Ezen tulajdonságok az anyagok dielektromos és mágneses permeabilitásából, valamint az elektromos karakterisztikájuktól függenek. A mágneses kompozitok elnyelő képességét azok mágneses hiszterézis fajtája határozza meg. Ezekből következik, hogy az anyagok vagy dielektromosak vagy mágnesesek, sajátosságaik, veszteségeik, vastagságuk, impedanciájuk, belső optikai tulajdonságaik szabályozásával tudják optimalizálni a rádióhullám elnyelő képességet akár a teljes

frekvenciatartományban is. További szerkezeti kialakítás a rezonáns-elnyelő szendvics szerkezet. Az interferencia jelenséget kihasználva, a reflektált jelek kioltják a beeső rádióhullámokat [1][3].

Infravörös tartományban a repülőgépek felderíthetősége igen magas, révén, hogy hajtóművük nagy mennyiségben bocsájt ki forró égéstermékét valamint a sárkányszerkezetten keletkező, a közegellenállásból és a lefékezésből származó hő sem elhanyagolható. Az infravörös jelek csillapodása levegőben jóval kisebb, mint a látható fényé ezért 2x-3x nagyobb a felderítés lehetősége. Infravörös tartományban nagy kihívás álcázni a repülőgépet mivel a kibocsájtott jelek 90%-át a hajtómű adja. Ezt a korszerű repülőgépeken úgy érik el, hogy a kiáramló forró gázokat környezeti levegő átáramoltatásával előhűtik, így amikor az a szabadba ér már alig tér el a hőmérsékletük még hangsebesség feletti repülés során is. Így a gép védettebbé válik a hő keresős fegyverekkel szemben. Aktív védelmi megoldás még az infravörös csapda, ami égő magnézium kilövését jelenti, de erre már inkább légi harc közben kerül sor [1][3].

3. A PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐGÉPEK

Az UAV¹-k nagy bonyolultságú, összetett elektronikai és mechanikai rendszerek, amelyek a legváltozatosabb katonai, polgári feladatokban kapnak szerepet, mint az embert helyettesítő eszköz. „Ezek a szerkezetek összetett, a technológiák fejlődését tükröző, műszaki alkotások, amelyekben a mechanika, hidraulika, elektrotechnika, irányítástechnika, elektronika, informatika stb. ismeretei ötvöződnek, e tudományterületek kutatási eredményeit felhasználják, illetve beépítik. Összetettségük abból is adódik, hogy „önálló” mozgásuk biztosításához minden olyan (az idő függvényében változó) paramétert pontosan ismerni kell, amely szükséges a működésükhöz, (ehhez a valóságban mindig társul valamilyen mértékű paraméter bizonytalanság, hiba), így az érzékelésekből és mérésekből származó jelek feldolgozása igazából számos különböző differenciálegyenlet folyamatosan megoldását jelenti. Megoldásukhoz szükséges ismerni/becsülni az egyenletek paramétereit, és ezt az egész matematikai problémát valós időben és folyamatosan kell kezelni. Például a légi robotok pozíciójának és orientációjának időpillanatról időpillanatra történő meghatározása, ami még távolról sem jelenti a feladat (mechanikai szempontból vett) teljes értékű leírását. Ezek a komplex rendszerek a környezetükből gyűjtik az autonóm működésükhöz szükséges információkat, szenzorok segítségével érzékelik pozíciójukat és egy döntési folyamat eredményeként működésüket, helyzetüket, mozgásukat (hat szabadságfokú) a háromdimenziós térben korrigálják.” [2] Létezik olyan fejlesztés is, amely már autonóm működésű, a kezelő személyzet csak felügyeli. Az UAV-k képesek olyan üzemeltetési körülmények között működni, amelyre a hagyományos repülőgépek nem alkalmasak, mint például a nagy gyorsulás, erős sugárzás, nagy magasság [2][16][21][22][23][24].

3.1 USA STEALTH UAV-k

Az RQ-170 Sentinel STEALTH drón az amerikai légierő és a Pentagon közös fejlesztése, amely 1995-ben indult. Kifejezetten lopakodó és felderítő képességre tervezték. 2011 óta alkalmazzák iráni, iraki és afganisztáni megfigyelésekre. A sárkányszerkezet tekintve a B-2 Spirit STEALTH Bombázó kicsinyített mását vehetjük észre benne a különbséggel, hogy ez csak felderítésre szolgál. Nincs függőleges vezérsíkja, a meghajtását pedig egy General Electric TF34-es turbólégcsavaros hajtómű biztosítja. A szárnyakban találhatóak az üzemanyag cellák, és a hagyományos leszálló berendezések, amelyeket a felszállást követően

¹ Unmanned Aerial Vehicle (UAV) – Pilóta nélküli légi jármű

visszahúz. Fel van szerelve teljes körű kamera és szenzor rendszerrel továbbá képes rakéták szállítására is. Az UAV képes valós idejű képi információ továbbítására és rádió aktív izotópos detektálásra is. Maximális repülési magassága becslések szerint eléri a 15 km-t is. A szárnyfeszítávolsága körülbelül 26 m a magassága 1,84 m a hossza pedig 4,5 m [5].

A XXI század elején az UCLASS² képességű drónok fejlesztése a meghatározó az US Navy-nél és US Air Force-nál. 1998-ban kezdték a közös projektet egy korábbi irányzattal az UNSA³-val. 2002. Decemberében, a Védelmi Minisztérium megbízta a légierőt és a haditengerészetet, hogy fejlesszenek ki harcászati UAV-t. 2003-ban indult a J-UCAS⁴ program, de 2006-ra a légierő abbahagyta, és elkezdett fejleszteni egy stratégiai bombázót. A haditengerészet tovább folytatta a projektet, és átnevezték N-UCAS⁵-ra. 2007-ben a Northrop Grumman cég előállt az X-47B UAV-vel amely a kezdetektől benne volt a programban, és meg is felelt az UCAS-D⁶ program elvárásainak. 2011 februárjában az X-47B sikeresen végrehajtotta első tesztrepülését, és 2013 májusában sikeresen elindították első éles repülőgép hordozóról való repülését, továbbá még az év júniusában végrehajtotta az első sikeres landolását szintén repülőgép hordozó hajóra. 2014 augusztusában az X-47B sikeresen teljesítette a tesztek következő fázisát, közös fel- és leszállás egy repülőgép hordozóra egy F/A-18E vadászgéppel együtt. Még 2010-ben a N-UCAS programot átnevezték az UCLASS névre.

Az UCLASS program a tervek szerint még 2021-ig fog folytatódni és további 4–6 darab UAV beszerzése szerepel repülőgép hordozóként, a haditengerészet tervei szerint összesen 24 darabot fognak rendszeresíteni. Még nem tisztázott, a pontos feladatköre az UCLASS osztályú UAV-k nek. Három felvetés született, vagy kombináltan elkülönült szakaszokban, vagy korai radar felderítési figyelmeztető rendszerekhez, vagy harci egységekben fogják alkalmazni.

Az UCLASS program megkövetelte a STEALTH UAV képességet, amellyel álló vagy mozgó célpont megsemmisítését, ellenséges terület mélységi felderítését valamint légvédelmi feladatokat tudnak ellátni. Fontos fejlesztése az UCLASS-nak, hogy a távirányítású verziókkal ellentétben ezek az UAV-k már képesek az autonóm működésre. Ez azt jelenti, hogy a felszállástól a leszállásig képes egy előre beprogramozott algoritmus segítségével önálló cselekvésre, annak függvényében, hogy a körülmények hogyan változnak. 2011 és 2012 között a Haditengerészet a Védelmi Minisztérium befolyására egy olcsóbb verzió alkalmazása mellett döntöttek. Fő feladatának az anti-terrorizmust választották az UCLASS-oknak. Az olcsó opció azt foglalta magába, hogy a drónoknak képesek kell lenniük két próbarepülésre egy repülőgép hordozótól 1100 km-re vagy egy 2200 km-es repülésre üzemanyag újratöltés nélkül, vagy akár 3700 km-re lévő célpont megsemmisítésére távoli légicsapással JDAM és SDB II- es bombák alkalmazásával, amelyek körülbelül 450 kg-osak lehetnek. Követelményként a folytonos repülési idejüket 12 órás ciklusban határozták meg. A tervezet a 24 órás állandó készenlét fenntartását írta elő melynek költsége nem haladhatta meg a 150 millió dollárt hónapos bontásban. 2013 decemberében a maximális felszálló tömegét az UCLASS UAV-knek 32–36 tonna közé korlátozták. Az UCLASS-t fedélzeti üzemanyag utántöltővel szerelték fel így felszállás után légi utántöltéssel további 9 tonna tüzelőanyaggal képesek feltölteni. Az UCLASS-okat továbbá úgy tervezték, hogy azok távirányíthatóak legyenek F-35C vagy E-2D repülőgépekről. 2014 júniusában a haditengerészet újabb

² Unmanned Carrier Launched Airborne Surveillance and Strike (UCLASS) – Pilóta nélküli hordozóról indítható légi felderítés és légi csapás

³ Unmanned Naval Strike Aircraft (UNSA) – Pilóta nélküli haditengerészeti csapásmérő légi jármű

⁴ Joint-Unmanned Combat Air System (J-UCAS) – Összhaderőnemi-pilótánélküli harcászati légi rendszer

⁵ Navy-Unmanned Combat Air System (N-UCAS) – Haditengerészeti-pilótánélküli harcászati légi rendszer

⁶ Unmanned Combat Air System Demonstrator – Pilóta nélküli harci repülő rendszer Demonstrátor

módosítást vezetett be az UCLASS-ok alapvető feladatkörében, amely a tengerek feletti üzemelésről szól. Az utolsó módosítás a drónok feladatkörében azonban a STEALTH képesség hatásosságának rovására ment, mivel további két külső fegyverzet-felfüggesztő pilonokat szereltek a sárkányszerkezetre. A maximális repülési idő 14 óra lett. A lopakodó képesség csökkenését kompenzálандóan bevezették az elektronikai hadviselés rendszereit az UCLASS-okon [4][5][6][18][19][20].

3.2 Orosz STEALTH UAV-k

Az orosz hadiipar is fejleszt STEALTH UAV-kat, hasonlóan a többi nagyhatalomhoz. 2008-ban a Grúz konfliktus rámutatott arra, hogy az orosz légierőnek is szüksége van STEALTH felderítő drón alkalmazására. A legújabb fejlesztésük a MiG Skat UAV. 2012 júniusában bejelentették, hogy szükség van nehéz STEALTH drón kifejlesztésére, és 2012 októberében a tervező irodák aláírták a szerződést a fejlesztésekről. Ez a drón jellegzetes lopakodó tulajdonságokat hordoz magán, mind a sárkányszerkezet mind a felhasznált anyagok terén (a „Skat”-nál a szárny felső részén helyezkedik el hajtómű szívócsatornája, az ellenséges földi lokátorok részéről történő észlelés lehetőségének csökkentése végett). A MiG cég aláírt egy szerződést az Orosz Kereskedelmi és Iparkamarával, hogy kifejlesszen egy STEALTH UAV-t. Ez is alkalmas az autonóm működésre, elkerüli az ellenséges radarokat és képes földi célokat támadni. A Skat-ot alapvetően úgy tervezik, hogy véghezvigyen kiépített célok elleni légi támadást mozgó földi és vízi célok ellen. Az UAV csupaszárny kialakítású, és 10 tonna lesz tervezetten a súlya, továbbá 2 tonna maximális terhet tud majd magával vinni. Felszerelhető majd levegő-föld rakétával, sikló bombával, és cirkáló rakétával. 4000 km-es hatótávolsággal 12 km repülési magassággal rendelkezik. A Skat egy RD-5000B turbólégcsavaros hajtóművet kapott, amely egy módosított változata a Kilmov R-33D-nek, amelyet a MiG-29 Fulcrum-ban is használtak. Az utánégetőt leszerelték és így 50,4 kN tolóerőt tud biztosítani. Maximális sebessége 800 km/h. A projekt a Sukhoi T-50 PAK FA vadászrepülőgéppel együtt fejlesztik. Várhatóan 2018-ra lesz kész a végleges UAV, és a T-50 el szinkronban tud majd üzemelni [7][8][9][18][19][20].

4. STEALTH REPÜLŐGÉPEK

4.1 USA STEALTH repülőgépek

Az USA első tényleges STEALTH repülőgépe az F-117 Nighthawk, melyet a Lockheed Martin cég fejlesztett ki a „Have Blue” projecten belül 1978 és 1981 között. Ez volt a világ első STEALTH vadászrepülőgépe. A Nighthawk alapvető feladata a nagy pontosságú csapásmérés. Az F-117A-t bevetették Panamában, a Sivatagi Viharban, Koszovóban és Afganisztánban. A Nighthawk kialakítása jellegzetes, a szögviszaverős kialakítás az egész sárkányszerkezetre jellemző, minden ajtó és szerelőnyílás szélei fűrészfog szerűen vannak kialakítva, így azok nem rontják a lopakodó képességet. A repülőgép nagy része alumínium és titán a hajtómű és a fűvócső körül, a repülőgép többi része radarjel-elnyelő anyagból készült. Az F-117A becsült radarkeresztmetszete 10–100 cm² között van. A pilótafülkében Kaiser Electronics HUD⁷ található továbbá nagyméretű video monitorok vannak benne, amelyek megjelenítik az infravörös képet a pilóta számára. A fegyverzetét tekintve a repülőgép felfegyverezhető például a BLU-109B vagy a GBU-10 és GBU-27-es lézeres irányítású bombák, illetve AGM-65 és AGM-88-as levegő-föld rakéták. A Nighthawk repülési útvonalát a küldetés terveinek alapján saját fedélzeti számítógépe tervezi meg és

⁷ HUD: Head-UP Display – homloküveg indikátor

menedzseli. Felszállás után a repülőgép automata üzemmódban repül mindaddig, amíg el nem éri célját, ott a pilóta elvégzi a feladatát, majd a gép átveszi az irányítást és visszatér a kiindulási helyére. Az F-117A meghajtását két darab low-bypass⁸ hajtómű biztosítja, amelyek a General Electric cég gyártja és a F404-GE-F1D2 jelzést viselik. A fűvócső kialakítását tekintve infravörös tartományú jeleket csökkentő, és radarjel-elnyelő bevonatot kapott [10][11].

A Nighthawk utódja az US Air Force-nál az F-22 Raptor, mely már magán visel minden olyan STEALTH jellemzőt, melyeket jelenleg egy 5. generációs vadászpilóta repülőgép megkövetel. 1981-ben merült fel az igény, hogy az akkor használt vadászpilóta repülőgépeket lecseréljék egy továbbfejlesztett többcélú harcászati repülőgépre. a „Senior Key” programon belül kezdték el a fejlesztéseket, a kor kihívásainak eleget téve, továbbá az orosz fejlesztéseket tanulmányozva. Kompozit anyagok, könnyű ötvözetek, továbbfejlesztett repülési rendszerek, erőteljesebb hajtóművek és a STEALTH technológia alkalmazása eredményezte az F-22 Raptor jelenlegi tulajdonságait. A kormányzat a Lockheed, Boeing, General Dynamics és a Northrop, McDonnell Douglas cégeket választotta ki a repülőgép megtervezésére. A tesztrepüléseken 1991. április 23-án a YF-22 prototípus megfelelt a légierő elvárásainak. Az F-22-es lényegesen eltér a prototípusától. A hátranyilazást csökkentették 42°-ra míg a függőleges stabilizátorok hátra kerültek és a felületük is 20%-al csökkent. Hogy növeljék a pilóta kilátását, a pilótafülkét előrébb helyezték 18 cm-el és a légbeömlő nyílásokat hátrébb helyezték 36 cm-el. A szárnyak és stabilizátorok kilépő éleit úgy módosították, hogy jobb legyen az aerodinamikai jellemzője, szilárdsága és a lopakodó tényezője. Az első repülést 1997. szeptember 7-én hajtották végre. A Raptor nem exportálható, ezzel védik az alkalmazott STEALTH technológiát és egyéb fejlesztéseit. A Raptor jelenlegi kialakításában két darab F119-PW-100-as, utánégetővel felszerelt turbófan hajtóművel üzemel, melyek egyenként 156 kN tolóerőt biztosítanak. A becsült maximális repülési sebessége 1,82 Mach, utánégetővel 2 Mach fölött. A sárkányszerkezet alapvetően titán ötvözet, a kompozit elemek aránya 39%, melyek a repülőgép tömegének 24%-ban teszik ki. Fegyverzet elhelyezésére 3 elkülönülő fegyverrekesz található rajta, 2 kisebb a repülőgép törzsének oldalán és egy fő a hasán. 6 rakétát képes a fő tárolójában, további egy-egy darabot a két oldalsó tárolóban szállítani. Összehasonlítva a Nighthawk-al az F-22-esen kevesebb a radarjel-elnyelő anyag, ennek révén kevésbé érzékeny az időjárásra, mint elődje. Az F-22 fel van szerelve SAS⁹ – rendszerrel mely figyelmeztet, ha a gép radarkeresztmetszete megváltozik és szükséges a javítás. Az F-22 pontos radarkeresztmetszete titkos azonban a Lockheed Martin 2009-ben azt nyilatkozta egyenértékű egy 40 dBsm¹⁰ értékű acél tárggyal. A Raptor hossza 18,9 m magassága 5,08 m, szárnyfeszítávolsága 13,56 m melynek szárnyfelülete 78,04 m² [12][13][14][16][25].

A Raptor továbbfejlesztett verziója az F-35 Lightning II, mely kifejezetten a haditengerészet számára készült. STEALTH téren megegyezik a Raptorral. 3 altípust különböztetnek meg a F-35A,B és C-t. Az F-35A CTOL¹¹ a hagyományos fel és leszállást alkalmazza, az F-35B STOVL¹² a rövid nekifutású vagy helyből felszállni képes verzió, az F-35 CV¹³ pedig a haditengerészetnél a repülőgép hordozókon általánosan alkalmazott verzió. A jövőben tervezetten ezek a gépek veszik át a Raptorok feladatát szárazföld feletti és víz feletti szolgálatokban egyaránt [14][15][16][25].

⁸ Low-Bypass – Alacsony kétáramúságú hajtómű

⁹ Signature Assessment System (SAS) – lopakodó képesség visszaellenőrző rendszer

¹⁰ decibel relative to one square meter (dBsm) – radarkeresztmetszete egy céltárgynak.

¹¹ Conventional Take Off and Landing (CTOL) – Hagyományos le- és felszálló képességgel rendelkező verzió

¹² Short Take Off/Vertical Landing (STOVL) – Rövid fel- és függőlegesen leszálló képességgel rendelkező verzió

¹³ Carrier Variant (CV) – Haditengerészeti változat

4.2 Orosz STEALTH repülőgépek

Jelenleg az orosz oldalt a Sukhoi cég PAK-FA típusú, vagy másik néven T-50-es repülőgépe képviseli. 2002-ben kezdték kifejleszteni, 2009-ben lett kész az első terv és első repülését 2010. január 29-én hajtották végre. Jelenleg még 6 darab prototípus létezik belőle. Alapvetően több feladatú STEALTH vadászgépnek tervezik. Várhatóan 2017 körül lesz végleges a T-50 és akkorra teszik a várható sorozatgyártás megkezdését. Ez a repülőgép az első orosz STEALTH repülőgép, melyet szolgálatba állítanak majd az orosz Légierőnél és tervezettem 35 éven keresztül fog szolgálni. Hasonlóan a Raptor kialakításhoz itt is a radarkeresztmetszet csökkentése volt az elsődleges. Itt is alkalmazzák a radarjel-elnyelő anyagokat valamint kompozitokat és alumíniumot és titánt és ezek ötvözeteit. A repülőgép a szenzorjait képes visszahúzni a burkolat alá és csak azok használata során tolja előre így azok visszaverő felülete nem rontja folyamatosan a lopakodó képességet. A T-50-es repülőgép konstrukciójában sok hasonlóság fedezhető fel az F-22 Raptor lopakodó vadászrepülőgépével. Főbb várható tulajdonsága, hogy a radarkeresztmetszete $0,1 \text{ m}^2$ lesz és 3–30GHz-es frekvenciatartományban lesz rejtve, ellentétben az előző repülőgépekkel. A prototípusokon 2 darab NPO Saturn 117-es hajtóművet építettek be melyek utánégetővel 147,1 kN tolóerőt biztosítanak. Ezen hajtóműveknek a tolóerő vektorjuknak az iránya változtatható melynek köszönhetően megnő a repülőgép manőverező képessége [14][16][17][25]. „*A fűvócső mozgatása háromdimenziós, azaz a repülőgép mindhárom tengely körüli kormányzásába besegít (a két hajtómű nagy távolsága miatt az orsózó irányú manővert is tudja segíteni). A repülőgép alkalmas a szupercirkálásra, azaz képes a hangsebesség átlépésére vízszintes repülés közben is, az utánégetők használata nélkül is.*” [25]

ÖSSZEFOGLALÁS

A modern hadviselésben a STEALTH alkalmazása meghatározó fontosságú szárazföldön, vízen és levegőben egyaránt. Fontos a lopakodó képesség hatékonyságát tovább fokozni a jövőben az élőerő és a haditechnika védelmének érdekében.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **GYURJÁN L.:** *A Lopakodó technológia*, Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2016/1, pp. 123-134.
- [2] **SZEGEDI P.:** *A pilóta nélküli repüléshez kapcsolódva...: Tanulmány a pilóta nélküli légi járművek működésével és üzemeltetésével kapcsolatban.* (Békési Bertold, Szegedi Péter szerk.) Szerzői kiadás, Szolnok, 2016. 80 p. (ISBN: 978-963-12-5224-8), (online), url: https://ludita.uni-nke.hu/repozitorium/bitstream/handle/11410/10148/Tanulmany_Szegedi_P%C3%A9ter.pdf?sequence=2&isAllowed=y (2016.04.01)
- [3] **KESZTHELYI GY., ÓVÁRI GY.:** *A stealth technológia hatása A XXI. század katonai repülőeszközeinek alkalmazhatóságára 2000.*, (online) url: http://epa.oszk.hu/02600/02694/00026/pdf/EPA02694_rtk_2000_01_155-166.pdf (2016.05.04)
- [4] **PROKHOR TEBIN:** *The US Navy's Angry Birds*, (online) url: http://russiancouncil.ru/en/inner/?id_4=4390#top-content (2016.05.04)
- [5] **SPENCE ROGERS:** *RQ-170 Sentinel Drone - The US Air Forces's Stealth Drone*, (online) url: <http://www.deploymentessentials.com/rq-170-sentinel-drone/> (2016.05.04)
- [6] **LOCKHEED MARTIN:** (online) url: <http://www.lockheedmartin.com/us/products/uclass.html> (2016.04.30)

- [7] **JOHN REED:** *Meet Skat, Russia's stealthy drone*, (online) url: <http://foreignpolicy.com/2013/06/03/meet-skat-russias-stealthy-drone/> (2016.05.10)
- [8] **MIR ROBOTOV:** *Future belong to air combat drones - MiG creator*, (online) url: https://in.rbth.com/economics/2015/04/06/future_belongs_to_air_combat_drones_-_mig_creator_42431_ (2016.05.04)
- [9] **MILITARY UAS NEWS** *Russia's Unmanned NextGen Fighter Based on MIG Skat Stealth UCAV Prototype*, (online) url: <http://www.uasvision.com/2015/01/21/russias-unmanned-nextgen-fighter-based-on-mig-skat-stealth-ucav-prototype/> (2016.04.30)
- [10] **AIRFORCE-TECHNOLOGY** *F-117A Nighthawk Stealth Fighter, United States of America*, (online) url: <http://www.airforce-technology.com/projects/f117/>
- [11] **STAFF WRITER:** *Lockheed F-117 Nighthawk 8Stalth Fighter) Low Observable / Stealt Strike Aircraft* (1982), (online) url.: http://www.militaryfactory.com/aircraft/detail.asp?aircraft_id=38 (2016.05.18)
- [12] **LOCKHEED MARTIN:** (online) url: <http://www.lockheedmartin.com/us/products/f22.html> (2016.04.30)
- [13] **DARIO LEONE:** *Here's hwy the U.S. should restart the F-22 Raptor production line instead od developing a sixth generation fighter*, (online) url: <https://theaviationist.com/2016/03/30/heres-why-the-u-s-should-restart-the-f-22-raptor-production-line-instead-of-developing-a-sixth-generation-fighter/> (2016.04.30)
- [14] **BÉKÉSI B., SZEGEDI P.:** *Trendek a vadászrepülőgépek legújabb generációinak fejlesztésére alkalmazására.* XIV. Természet-, Műszaki- és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia. Szombathely, 2015.05.16., Nyugat-magyarországi Egyetem, 2015. 151-162. oldal (ISBN: 978 963 359 053 9)
- [15] **LOCKHEED MARTIN:** (online) url.: <http://www.lockheedmartin.com/us/products/f35.html> (2016.04.30)
- [16] **BÉKÉSI B., SZEGEDI P.:** *Napjainkban fejlesztett fegyverrendszerek megjelenése a jövő hadszínterein, tudás alkalmazás és fejlesztés szempontjából, Repüléstudományi Közlemények,* Szolnok, 2015/3: pp. 105-116. (online) url: http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015_3/2015-3-08-0223_Bekesi_B-Szegedi_P.pdf (2016.02.17)
- [17] **JEREMY BENDER:** *Russia's newest fighter jet is 5th-generation 'in name only'*, (online) url: <http://www.businessinsider.com/russias-newest-fighter-jet-is-fifth-generation-in-name-only-2016-2> (2016.04.28)
- [18] **BÉKÉSI B., PAPP I.:** *UAV future development.* In: Jiří Stodola , Jiří Šťastný, David Vališ, Vlastimil Neumann (szerk.), *Deterioration, Dependability, Diagnostics 2013.* Brno: Univerzita Obrany, 2013. pp. 63-76. (ISBN:978-80-7231-939-8)
- [19] **BÉKÉSI B.:** *Az UAV-k jövőbeni fejlesztési irányai,* XII. Természet-, Műszaki és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia, Nyugat-magyarországi Egyetem, Természetudományi és Műszaki Kar Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, 2013. pp. 101–113.
- [20] **BÉKÉSI B.:** *UAV fejlesztések, új alkalmazások.* In: Békési Bertold, Bottyán Zsolt, Dunai Pál, Halászné dr Tóth Alexandra, Makkay Imre, Palik Mátyás, Restás Ágoston, Wühl Tibor, Palik Mátyás (szerk.) *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek.* 321 p. Második, javított kiadás. Budapest, Nemzeti Közzolgálati Egyetem, 2013. pp. 299-315. ISBN: 978-615-5057-64-9. (online) url: <https://opac.uni-nke.hu/webview?infile=&sobj=10140&source=webvd&cgimime=application%2Fpdf> (2016.04.01)

- [21] **BÉKÉSI B., SZEGEDI P.:** *Preliminary Design of Controller of Longitudinal Motion of the Unmanned Aerial Vehicle Using LQR Design Method*, Proceedings of the 10th International Conference: Transport Means 2006, Kaunas, Litvánia, 2006. pp. 324-327.
- [22] **BÉKÉSI B., SZEGEDI P.:** *Analysis of the Basic Signal Tracking Possibilities of an Altitude Stabilizing System*, Proceedings of the 12th International Conference, Transport Means 2008. Kaunas, Litvánia, 2008. pp. 103-106.
- [23] **SZEGEDI P.:** *Repülésszabályozó rendszerek szabályozóinak számítógépes analízise és szintézise*, (PhD értekezés) Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Katonai Műszaki Doktori Iskola, Budapest, 2005.
- [24] **BÉKÉSI B., SZEGEDI P.:** *Gondolatok a jövőbeni fegyverek alkalmazási lehetőségeiről*, XIV. Természet-, Műszaki- és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia, Nyugat-magyarországi Egyetem, Szombathely, 2015. pp. 183-188. (ISBN: 978-963-359-053-9)
- [25] **BÉKÉSI B., SZEGEDI P.:** *Ötödik generációs vadászrepülőgépek fejlesztésének filozófiai*, Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi régióban 2015, 591 p, Debrecen. 2015. pp. 194-206. (ISBN: 978-963-7064-32-6)

MŰTRÁGYASZÓRÓ GÉPEK VIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ TESZT VISZONYOK ESETÉN

EXAMINATION OF THE FERTILIZER DISTRIBUTORS IN CASE OF DIFFERENT TEST CONDITIONS

HAGYMÁSSY Zoltán¹, GINDERT-KELE Ágnes²

¹egyetemi docens, Debreceni Egyetem

¹Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Agrár-műszaki Tanszék
4032 Debrecen Böszörményi út 138.

Tel: 52/508-444, e-mail: hagymassy@agr.unideb.hu

²egyetemi docens, Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék
e-mail: battane@agr.unideb.hu

Kivonat:

A Debreceni Egyetem, Agrár-műszaki Tanszékén a precíziós gazdálkodás megalapozásának keretében, különböző műtrágyaszóró gépek vizsgálata történt. A vizsgálatok részben vizsgálópályákon részben szántóföldi körülmények között folytak. A méréseknek voltak nemzetközi vonatkozásai is Kolozsváron az USAMV Egyetemen. A munkaminőségi méréseket a műtrágyaszemcsék ellenőrzése előzi meg, amely alapvetően befolyásolja a gép beállításait. Az adagolás egyenlőtlenség a kijuttatás mennyisége és annak időbeli lefolyását elemzi, míg a keresztirányú szórás egyenlőtlenség a területen az egyenletes műtrágya eloszlás szempontjából lényeges. Méréseik alapján megállapítható, hogy a műtrágyaszóró gépek adagolás egyenlőtlensége és keresztirányú szórás egyenlőtlensége a munka minőséget jelentősen befolyásolja.

Kulcsszavak: műtrágyaszóró gép, keresztirányú szórás egyenlőtlenség

Abstract:

Different type's fertilizer distributor was examined by authors in University of Debrecen, Department of Agricultural Machinery within the framework of precision farming. The examinations were conducted partly in the Department test track and partly in field conditions. The examinations had international aspects of USAMV University in Cluj. The examinations are preceded by control measurements of the fertilizer granules which basically affected the machine settings. The unevenness of fertilizer dosage quantity is an important aspect due to the application analyzes, while the transversal unevenness of spreading is an important aspect due to the even fertilizer distribution. Based on our measurements we concluded that the fertilizer spreaders dosage quantity and the transversal unevenness of spreading significantly influence the work. quality.

Keywords: fertilizer distributor, transversal unevenness of spreading

1. BEVEZETÉS

1.1. A kutatási téma aktualitása

A modern agrár-élelmiszeripari ágazat célja, hogy megfeleljen a társadalom igényeinek, mind az élelmiszer-biztonság, mind a fenntarthatóság, mind a termelt élelmiszer mennyiség tekintetében. A cél az, hogy legyen elegendő élelmiszer-termelés és takarmány a jövőben is a környezet, a termőföld megóvása mellett, vagyis fenntartható legyen a gazdálkodás. Ez magában hordozza a tápanyagok hatékony felhasználását a termelési folyamatokban (kertészet, növénytermelés, állattenyésztés). A fejlesztések iránya a kis ráfordítást igénylő gazdálkodás / nagy teljesítményű automatizált traktor és munkagép, amely az önköltséget és a környezeti terhelést is csökkenti. A fejlesztés, a mezőgazdaságban is egy folyamatos innováció. Az ipar és a kutatás is érintettek ebben a fejlődési folyamatban. Napjainkban a high-tech berendezések kezeléséhez a mezőgazdasági cégek és vállalkozók egyre jobban

megkövetelik a magasan specializált munkaerőt is.

1.2. A vizsgálatok előzményei

Vizsgálataink alapját képezte egy nemzetközi kutatási, oktatási program, amely 4 ország egyetemének kutatói és hallgatói bevonásával valósult meg. A Program neve: AGRITECH Intensive Programmes (IP). Registered : ERA/IP/10/3. A program célja: GPS párhuzamvezetők és automata kormányzás használata különböző klimatikus viszonyok esetén. [1]

A résztvevő egyetemek: [1]

1. Stoas University in Dronten Netherland (Applicant organisator, leader)
2. University of Agriculture (USAMV) in Cluj-Napoca (Kolozsvár), Romania
3. Hamk University of Applied Sciences at Mustiala in Finland
4. University of Debrecen, Centre for Agricultural Sciences in Hungary

A biotikus körülmények, a klíma és a terepviszonyok különböztek a 4 helyszínen:

1. Óceáni klíma + mélyföld (Netherlands)
2. Hegyvidéki klíma + lejtős terep Erdélyben (Romania)
3. Közép Európa szárazföldi klíma + alföld (Hungary)
4. Scandínáv klíma + sík, erdei körülmények (South Finland)

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. A vizsgálatok körülményei, és a vizsgált műtrágyák típusai

A vizsgálatok helyszíne: Debreceni Egyetem, Agrártudományi Központ, Látóképi Kísérleti Telep (192 ha)

Vizsgálatainkhoz a következő műtrágyát használtuk fel:

- Péthisó, Genesis (27 % N, Nitrogénművek Rt. Pétfürdő)

2.2. A keresztirányú szórás egyenlőtlenség

A szétosztási egyenlőtlenség meghatározására egyik legjellemzőbb összefüggés a variációs tényező. [2]

$$CV = \frac{100}{\bar{x}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Ahol:

- x_i – a háromszori mérés során egy mérőhelyen felfogott műtrágyamennyiségek átlaga
- \bar{x} – a háromszori mérés során az összes mérőhelyen felfogott műtrágyamennyiségek átlaga
- n - a mérőhelyek száma

3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

A keresztirányú szórás egyenlőtlenség vizsgálata szántóföldi körülmények között történt. A vizsgálatok a Debreceni Egyetem, Agrártudományi Központ, Látóképi Kísérleti Telepének sík parcelláján végeztük el. A traktor (John Deere 6620) és a műtrágyaszóró gép (1. ábra)

beállítási adatai:

Műtrágya szóró gép: ZAM 900
Menet sebesség: 8 km/h
Munkaszélesség: 18m
Szóró tárcsa: OM18/24 Lapát állás: 24/47
Tolózár: (36) 400 kg/ha
Limiter: Műtrágya szórás A8, Határszórás A13
Parcella hossza: 600m



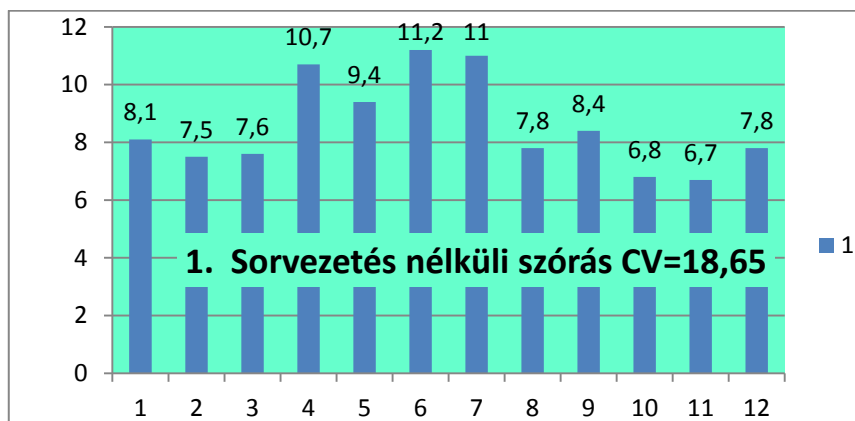
1. ábra. A műtrágya (Genezis, Pétisó 27%N) töltése a tartályba.

A szabványos méretű és kialakítású mérőtálcákat a parcella szélétől 50 m-re keresztirányban raktuk le. A mérőtálcák méretei: 500*500 mm, pattogásgátló ráccsal vannak felszerelve, a tálcából kipattanó szemcsék megakadályozása érdekében. (2. ábra) A munkaszélesség $B=18\text{m}$, a szórásszélesség háromszög alakú szórásképet beállítva $W=36\text{m}$. A mérőtálcák kiosztása: $1,636\text{ m} \times (12\text{ tálc}a - 1)=18\text{m}$



2. ábra. A mérőtálcák a parcellán

Elsőként hagyományos módon GPS sorvezető nélkül végeztünk próbaszórást. A 18 m munkaszélességen belül elhelyezett tálcákat a tálcák előtti a tálcák utáni sorban is oda vissza végigszórtuk. A mérőtálcákban összegyűjtött műtrágyát digitális mérlegen lemértük – melynek pontossága 0,1 g – majd a kapott értékeket diagramban ábráztuk.



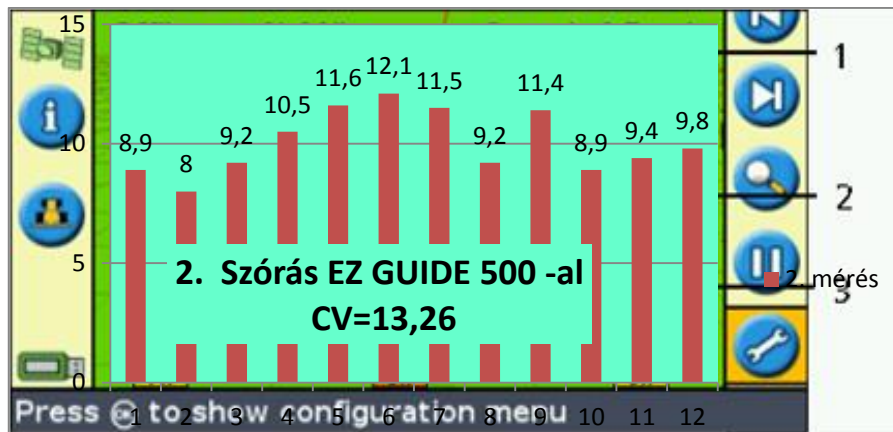
3. ábra. Sorvezetés nélkül a 12 db. mérőtálcában felfogott műtrágya mennyisége

Megállapítható, hogy a keresztirányú szórás egyenlőtlenség variációs tényezője $CV > 15\%$. Ezért a szórás egyenletessége nem kielégítő. A munkaszélesség közepén több a kiszórt szemcse mennyiség, mint a traktor nyomvonalaiiban. Megállapítható, hogy a sorvezetés pontosabbá tételével javítható lenne a kijuttatott műtrágya egyenlő elosztása. Ezen túl a műtrágyaszóró beállításában is korrekció szükséges. (3. ábra)



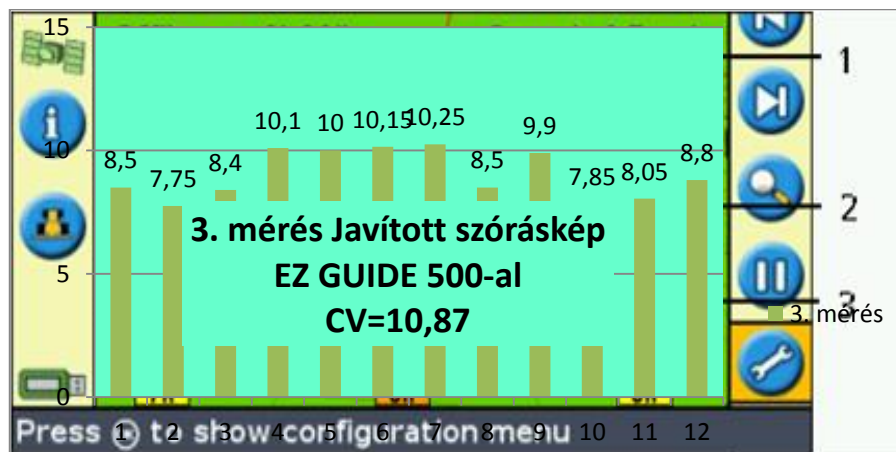
4. ábra. Trimble Ez-Guide 500 párhuzamvezető a traktorban munka közben

Második lépésként Trimble Ez-Guide 500 (4. ábra) párhuzamvezetőt szereltünk a John Deere 6620 traktorba. A GPS helymeghatározás pontossága méréseink szerint 30 cm ezen a készüléken. Ez a pontosság manuális kormányzás, átlagos talajviszonyok és műtrágyázás esetén általában kielégítő pontosságot biztosít. A második méréssorozatban kihelyezett mérőtálcákat már a párhuzamvezetővel vezetett traktorral szórtuk. A mérőtálcákban összegyűjtött műtrágyát most is digitális mérleggel mértük le. A kapott műtrágya mennyiségeket az 5. ábra diagramjában ábrázoltuk.



5. ábra. A mérőtálcák a parcellán

Megállapítható, hogy a keresztirányú szórás egyenlőtlenség variációs tényezője $CV < 15\%$. Ezért a szórás egyenletessége kielégítő (5. ábra). A munkaszélesség közepén még mindig sok a műtrágya mennyisége. Ez arra utal, hogy az oda és visszaszórás, az átfedés során több az összeadódott műtrágya mennyiség mint a traktor középvonalában. Állítva a szórótárcsára jutó műtrágya feladási helyén lehet változtatni a szórásképen.



6. ábra. A mérőtálcák a parcellán

Harmadik lépésben a beállítási paraméterek változtatása után kihelyeztük a tálcákat és lemértük a kijuttatott műtrágya mennyiségét. A mérés eredményét a 6. ábra szemlélteti. Megállapítható, hogy a keresztirányú szórás egyenlőtlenség variációs tényezője $CV < 15\%$. Ezért a szórás egyenletessége kielégítő.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **Z. HAGYMÁSSY – E. ANCZA.** 2011 Experience of an Intensive Program Course on Utilization of High Technology Equipment, agrárinformatika 2011, Agricultural Informatics Debrecen, Hungary. 2011. p. 80-86.
- [2] **CSIZMAZIA Z.** 1993 Technical Conditions Of Equalized Fertilizer Applications. Hungarian Agricultural Research, 1993/12. p. 16-22

A HAGYOMÁNYOS ÉS AZ ALTERNATÍV TÜZELŐANYAGOKKAL MŰKÖDŐ HAJTÓMŰVEK FEJLESZTÉSI IRÁNYAI

THE DEVELOPMENT OF THE CONVENTIONAL, AND THE ALTERNATIVE PROPULSION SYSTEMS

HEGEDŰS Krisztián

honvéd tisztjelölt

Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar,
Katonai Repülő Intézet, Repülőgép Sárkány-hajtómű Tanszék
H-5008 Szolnok, Pf. 1. Email: krissz9403@gmail.com

Kivonat: *A technológia fejlődésével a repülőgépeket egyre szélesebb körben használják. Ahhoz, hogy a modern légijárművek feladatukat az elvárt szinten el tudják látni, szükséges a sárkány-és hajtóműrendszerek folyamatos fejlesztése. Cikkemben a hajtóművek lehetséges fejlesztési irányjaival foglalkozok. Külön tárgyalom a hagyományos, és az alternatív tüzelőanyagot felhasználó hajtóműveket.*

Kulcsszavak: *hagyományos tüzelőanyag, alternatív tüzelőanyag, hajtóműfejlesztések*

Abstract: *The aircrafts have been using in different applications with the improvement of technology. To fulfill their function, it was necessary to develop the airframe and propulsion systems. In this article I am introducing the development trends of the propulsion system. I am presenting the propulsion unit, which use conventional and alternative fuels too.*

Keywords: *conventional fuel, alternative fuel, development of the propulsion systems*

1. BEVEZETÉS

A tudósok azon munkálkodnak, hogy az általuk megalkotott hajtómű a lehető legjobb teljesítményt nyújtsa. Olyan repülőeszközöket fejlesszenek ki, amelyek elérik a hiperszonikus sebességet. A legfontosabb tényezők a hajtóművek hatótávolságának növeléséhez, a tüzelőanyag fogyasztás minimalizálása és a tolóerő maximalizálása. Ezeknek a tulajdonságoknak igen nagy szerepük van mind a polgári, mind a katonai repülésben. A fejlesztéseknek köszönhetően mára olyan szintre ért ez a szerkezeti elem, hogy képesek akár száz tonnás repülőgépeket is a levegőbe juttatni és tartani, mint például az Airbus A-380. Ennek megvalósítása nem kis feladat, hiszen az előbb említett légijármű közel 600 tonnás, így a szükséges felhajtóerő létrehozása egy hajtóművel, még a mai napig sem kivitelezhető. A jelenleg ismert legerősebb hajtómű a Boeing-777-eshez kifejlesztett General Electric GE90-115B nagy kétáramúsági fokú sugárhajtómű is „csupán” 500 kN tolóerő leadására képes [1][16][17].

A hagyományos tüzelőanyagot felhasználó hajtóművek mellett egyre nagyobb szerepet kapnak az alternatív energiával működő meghajtások is. A jövő fejlesztései elsősorban ezeknek az energiaforrásoknak kiaknázására fog koncentrálni. Elsősorban csak ezután indulhat meg az ezeket felhasználó rendszerek további korszerűsítése, habár jelenleg is folynak a kutatások [1].

2. A HAJTÓMŰVEKRŐL ÁLTALÁNOSAN

2.1. A hajtóművek csoportosítása

A hajtóművek fejlesztésének ismertetéséhez szükséges bemutatni, és csoportosítani őket. Működésük szerint három fő csoportra oszthatjuk:

- hagyományos tüzelőanyagot felhasználó;
- alternatív tüzelőanyagot felhasználó hajtóművek;
- hibrid hajtóművek.

A hagyományos üzemanyagok mellett az alternatív megoldások vagy technológiák is egyre nagyobb szerepet kapnak a repülésben. Az utóbbiak jól alkalmazhatóak a pilóta nélküli légijárműveken is, hiszen emberi élet veszélyeztetése nélkül, kisebb-nagyobb anyagi kárral lehet tesztelni az alternatív tüzelőanyagokat, de természetesen nem helyettesítheti teljes egészében a hagyományos repülőgépekkel végzett repüléseket [5][6][8].

3. A HAGYOMÁNYOS TÜZELŐANYAGOKKAL MŰKÖDŐ HAJTÓMŰVEK FEJLESZTÉSI IRÁNYAI

3.1. A sugárhajtóművekről általánosan

A modern repülés elképzelhetetlen lenne sugárhajtómű nélkül. Nem hiába fordítanak a tudósok olyan nagy hangsúlyt ezeknek a hajtóműveknek a fejlesztésére. Ezek a meghajtások, már képesek voltak átlépni a hangsebességet, és így egy új korszakot nyitottak a repülés történetébe, így fontosnak tartom, hogy elsősorban ezt a hajtómű típust mutassam be.

Előnyük, hogy képesek nagy tolóerőt létrehozni. A működési elve, hogy a környezetből beszívott levegőt egy kompresszor sűríti, majd azt az égőtérbe áramoltatják. Itt a tüzelőanyag elégetése után a gáz egy turbinát hajt meg, ami vissza van csatolva a kompresszorhoz, ezzel is növelve a hatásfokot. A gáz maradék energiája tolóerőként hasznosul [5].

A sugárhajtóművek egyik fajta csoportosítási módja a levegő áramlási irányának alapul vétele lehet. Eszerint beszélhetünk:

- egyáramú sugárhajtóműről;
- kétáramú sugárhajtóműről.

A jelenlegi fejlesztések már arra a szintre jutottak el, hogy akár a kétáramú sugárhajtóműveket felválthatja a háromáramú sugárhajtómű. Erről a következő fejezetben részletesebben fogok írni.

Hátrányként jelenik meg a sugárhajtóművek neve mellett, hogy üzemeltetésük drága, és a környezetbe kibocsátott káros anyagok terén is az élmézőnybe tartozik. Emellett üzemeltetéséhez nagyfokú szakértelem szükséges, és kiforrott technológia [6].

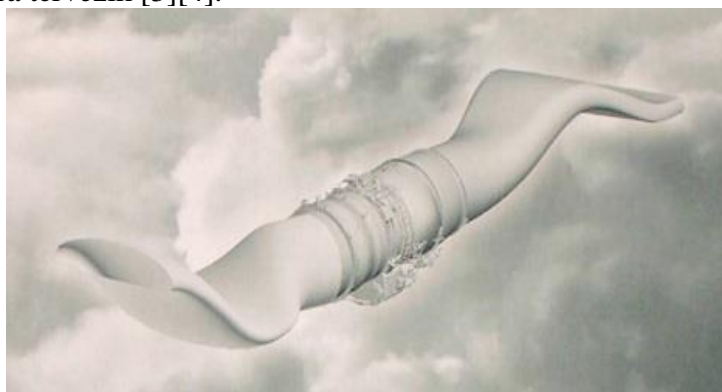
Ezekre a problémákra keresnek, és találnak megoldást azok a tudósok, akik a sugárhajtómű fejlesztéseivel foglalkoznak.

3.2. A sugárhajtóművek fejlesztési irányai

A sugárhajtóművek elsődleges fejlesztési iránya egyértelműen a fogyasztás csökkentése, valamint a környezetszennyezési értékének minimalizálása. A tolóerő növelése is fontos feladat, de tudomány kezd elérni egy olyan szintet, ahol a sugárhajtóművek ezen a téren való továbbfejlesztése megakad. Ez nem egyedi dolog, így volt ez a gőzgépek, és dugattyús motorok esetében is. Épp emiatt válnak fontossá az előbb felsorolt tulajdonságok fejlesztése [1].

A tudósok nagy áttörést értek el a háromáramú sugárhajtómű megalkotásával. Mindez azt jelenti, hogy a levegő nem egy vagy két, hanem három helyen áramlik a hajtóműben. Egy levegőáram közvetlenül a magon keresztül áramlik (belső áram), egy a mag és a hajtóműház között (külső áram), valamint nagy sebességnél a hatásfok növelésére a külső áramot egy szelep segítségével növelni tudják, és egy úgynevezett harmadik áramot hoznak létre. Valójában ez is a külső áram részét fogja képezni. Előnyük, hogy nagy sebességen a fogyasztást drasztikusan lehet csökkenteni, ebből kifolyólag növelhetjük a repülési távolságot [3][4][18].

A projektben a három nagy hajtóműgyártó cég vett részt, a GE Aviation, a Rolls-Royce és a Pratt&Whitney. A program neve, amelynek keretén belül ezt a következő generációs hajtóművet kifejlesztették a GE Aviation részéről az ADVENT (ADaptive Versatile ENgine Technology) a Rolls Royce részéről a HEETE (Highly Efficient Embedded Turbine Engine) névre hallgat. A Pratt&Whitney kis lemaradásban van, ők az új háromáramú sugárhajtóműjük első tesztjét 2016-ra tervezik [3][4].



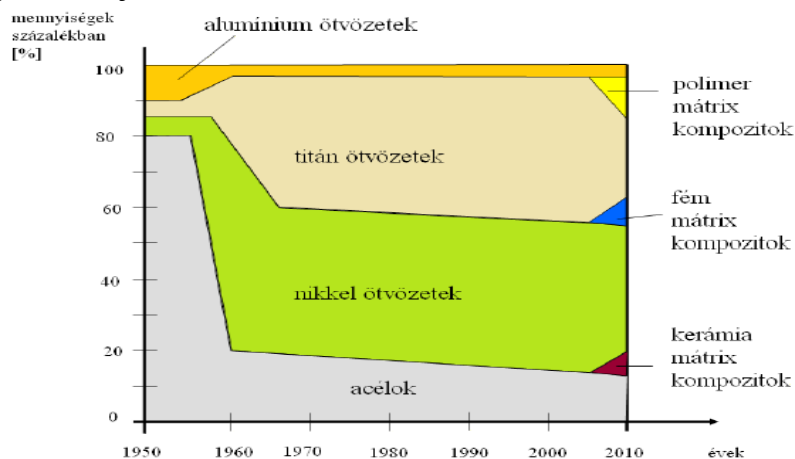
1. ábra Az ADVENT project [4]

A hatótávolság növelésére a legmegfelelőbb megoldás a súly csökkentése. Ezt többnyire különböző kompozit anyagokkal képesek megoldani. Ezeknek az anyagoknak a használata nem csak a sárkányszerkezetet érinti, hanem a hajtóművet is.

A hajtóművekben alkalmazott kompozitok a következők lehetnek:

- polimer mátrix kompozitok;
- fém mátrix kompozitok;
- kerámia mátrix kompozitok.

A kompozit anyagok felhasználása a XXI. században jelent meg, és alkalmazási területük csak bővül. Több új típusú kompozit anyag is megjelent a felhasználási piacon, melynek eredményeként a hajtóművek is jelentős fejlődésen mentek keresztül az elmúlt években (lásd 2. ábra).



2. ábra A hajtóműben használatos anyagok százalékos megoszlása 1950-től napjainkig [2]

Ezeknek a kompozit anyagoknak a közös tulajdonsága, hogy kis sűrűségűek, így a hajtómű tömegét csökkenthetjük velük. Ezen kívül egyéni tulajdonságokkal is rendelkeznek, ami miatt nem minden részén alkalmazhatjuk a hajtóműveknek. Például a polimer mátrix kompozitokat nem alkalmazzuk olyan helyen ahol nagyon magas a hőmérséklet, míg a kerámia mátrix kompozitok beépítését ridegségük miatt a nagy nyomású helyeken kerüljük [2].

A tüzelőanyag fogyasztásnak leginkább a polgári repülésben van jelentős szerepe. Ezeknek a repülőgépeknek hosszú utakat kell megtenniük, így meg kell próbálni csökkenteni a költségeket. A polgári repülésben leginkább a nagy kétáramúsági fokú sugárhajtóműveket alkalmazzák, hiszen ezek a környezeti levegő felgyorsításával hozzák létre a tolóerő nagy részét.

Persze különböző technológiai újításokkal is tudjuk csökkenteni a fogyasztást. Ennek egyik módja az úgynevezett „wide chord fan” (3. ábra) mely lényege, hogy szélesebb és hosszabb húrhosszúságú lapátokat építenek be. Emiatt kevesebb lapátra van szükség, tehát a hajtómű súlyát ismételtelen csökkenteni tudjuk, amiből a tüzelőanyag felhasználás csökkenése is következik. Ráadásul a levegő áramoltatásához is kevesebb energiát kell felhasználnunk, tehát ezt a megmaradt energiát is tolóerő létrehozására tudjuk például fordítani [1].



3. ábra A wide chord fan [1]

Egy 1996-os kutatás keretein belül, a tudósok olyan sugárhajtóművet akartak kifejleszteni, ami képes a hiperszonikus repülésre ($M > 5$). A pilótára ható erők nagysága miatt a projekt csak UAV-vel volt megvalósítható. A kutatás elérte célját ugyanis az X-43A típusú pilóta nélküli repülőgép már 2004-ben átlépte a hiperszonikus repülés határát. Ez a repülőgép a Guinness-rekordok könyvébe is bekerült, mivel sugárhajtóművel sikerült elérnie a 9,6-os Mach-számot [13][14].

4. AZ ALTERNATÍV TÜZELŐANYAGOKKAL MŰKÖDŐ HAJTÓMŰVEK FEJLESZTÉSI IRÁNYAI

4.1. Az alternatív tüzelőanyagok fontossága

A fosszilis energiahordozókra épülő világunk nagy kérdése, hogy mi lesz, ha kőolajkészleteink kifognak. Ez az idő el fog érkezni – egyes előrejelzések szerint már 2050-re, és addigra új energiaforrásokat kell találnunk. Lesz-e más, ami a fosszilis energiahordozókat helyettesítheti? Rengeteg tudós dolgozik jelenleg is e probléma megoldásán.

A repülésben is fontos, hogy tudjuk alkalmazni az alternatív tüzelőanyagokat, hiszen a környezetszennyezés 2–3%-át teszi ki, illetve a jelenleg is magas üzemanyagárak vélhetően tovább fognak emelkedni.

A megfelelő alternatív üzemanyag megtalálása nem egyszerű feladat. Akárcsak a hagyományos tüzelőanyagok, ennek is meg kell felelnie bizonyos követelményeknek a

repülésben. Ilyen például a magas fűtőérték, felhasználása ne igényeljen nagy technológiai átszervezést, biztonságos használat, ne keletkezzen környezetre ártalmas anyag.

Az alternatív tüzelőanyagokat érdemes csoportosítani. Ezt megtehetjük a felhasznált energia jellege szerint a következőképp:

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Bio- és szintetikus üzemanyagok <ul style="list-style-type: none"> ○ CTL, BTL, GTL, alga, faggyú ○ Városi hulladék ○ Légköri CO₂ • Kriogén gázok <ul style="list-style-type: none"> ○ Hidrogén, hélium • Napenergia¹; • Üzemanyagcella; • Teljesen elektromos; • hibrid. | |
|---|--|

Ezekről az anyagokról csak részben mondhatjuk, hogy megújuló energiaforrások. Annyiból igaz ezekre az energiaforrásokra az állítás, hogy nagy mennyiségben megtalálhatóak a természetben, így nem kell azzal törődnünk, egy jó ideig, hogy mivel helyettesítjük majd ezeket [15].

Az alternatív tüzelőanyagot felhasználó hajtóművek elsődleges fejlesztési iránya nem kérdés, hogy a megfelelő alternatív tüzelőanyag kifejlesztése, felkutatása. Csupán ez után jöhetnek az olyan fejlesztések, amik a sugárhajtóművek esetében már megjelentek. Az viszont igaz, hogy a sugárhajtóművek terén elért eredmények mindenképp jó kiindulási alapot fognak biztosítani az alternatív tüzelőanyagot felhasználó hajtóművek esetében is, hiszen célunk itt is a teljesítmény maximalizálása, vagyis a tolóerő növelése [9][19][20][21][22].

4.2. Az alternatív tüzelőanyagok fejlesztési irányai

Jelenleg is több kísérlet zajlik azon célból, hogy a tüzelőanyag fogyasztást csökkentsék. Ezt többnyire a fűtőérték növelésével oldják meg. A fűtőérték növeléséhez általában fosszilis eredetű tüzelőanyagokat kevernek egyéb anyagokkal. Egy másik megoldás, hogy a fosszilis eredetű tüzelőanyag mellett egy más alternatív energiaforrást alkalmaznak a meghajtásra.

A legújabb kutatások az alternatív tüzelőanyagok alkalmas anyag keresésére talán a széndioxid felhasználása. Egyelőre ezzel a lehetőséggel egy vállalat, a kanadai Carbon Engineering foglalkozik. Az elgondolás azért is érdekes, mert ezzel a technológiával csökkenthetnék a levegőben üvegházhatást okozó széndioxid tartalmát. Más kérdés, hogy hosszabb távon mennyire egészséges, ha túl kevés széndioxid marad az atmoszférában, hiszen ezek a gázok az éghajlati viszonyokat befolyásolják.

A széndioxid kinyerését úgy akarják megvalósítani, hogy úgynevezett levegőleválasztó rendszereket építenek ki, melyek szűrik a levegő CO₂ tartalmát. Ez után különböző módszerek állnak rendelkezésre, hogy felhasználjuk tüzelőanyagként vagy elősegítsük a tüzelőanyag előállítását. Egy másik felhasználási mód, hogy a széndioxidot algák termesztésére használják

¹ A repülő szerkezetet napelemek látták el energiával. „A napelem egy fotoelektromos generátor, a Nap elektromágneses sugárzásának (fényének) energiáját közvetlenül elektromos energiává alakító félvezetőkből álló áramforrás. Egy-egy elem igen vékony, nagy tisztaságú egykristályos szilícium lap, (gallium-arszenid), amelynek két eltérő tulajdonságú rétege van. A két réteg között a napfény hatására elektromos feszültség keletkezik.” Dr. Szegedi Péter: A pilóta nélküli repüléshez kapcsolódva... Tanulmány a pilóta nélküli légijárművek működésével és üzemeltetésével kapcsolatban, p.: 80, ISBN 978-963-12-5224-8, 2016 https://ludita.uni-nke.hu/repozitorium/bitstream/handle/11410/10148/Tanulmany_Szegedi_P%C3%A9ter.pdf?sequence=2&isAllo wed=y 12. o.

fel. Ezekből az algákból később bioüzemanyagot készítenek, amelyet a repülésben is fel tudunk használni. A harmadik módszer a széndioxid közvetlen tüzelőanyagként való elégetése. A gáz az előzőekben leírt levegőleválasztó rendszerrel megszűri, és szénhidrogént állítanak elő belőle. Az így kapott tüzelőanyag tökéletesen alkalmas a hajtómű meghajtására és nem bocsát ki „káros” szén-dioxidot. A kutatások folynak a CO₂ felhasználásával kapcsolatban, jelenleg egy olyan üzem felépítésén dolgoznak, ahol szemléltethetik a rendszer működőképességét [9][19][20][21][22].

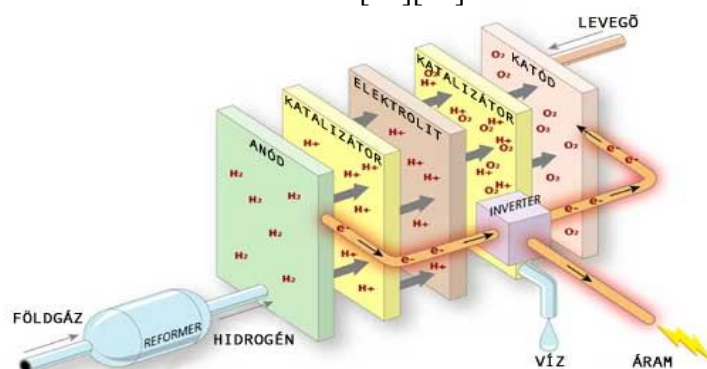
4.3. Az üzemanyagcella

Az üzemanyagcellák az élet minden területén megtalálhatóak. Nincs ez másképp a repülésben sem. A legtisztább energiaforrásnak tartják, ugyanis a keletkező károsanyag-kibocsátása elenyésző. Zajkibocsátása is alacsony, emellett nagyon hatékony. Persze a hátrányokat is meg kell említenünk. Az csak a kisebb probléma, hogy drágák, és csak szakképzett személyzet képes a karbantartására, de gyakori szűrő illetve tisztítócserére is szorulnak. Mindenesetre az utóbbi időben leggyorsabban ezek az üzemanyagcellák fejlődtek a repülésben, és a fejlesztések a mai napig tartanak. A legelterjedtebb változata a hidrogén üzemanyagcella (4. ábra). Röviden összefoglalva a működési elvét: az üzemanyagcella áramot állít elő hidrogénből és oxigénből, melynek mellékterméke a víz. A hidrogén persze veszélyes anyag, melyek tárolása nem egyszerű. Mégis megéri vele fáradozni, hiszen a jelenleg ismert energiatárolókat az üzemanyagcella messze túlszárnyalja. Nem is csoda, hiszen az energiahatékonysága elérheti a 85%-ot is [5][12].

A legújabb kutatások elrugaszkodnak a hidrogéntől és egy új anyaggal próbálkoznak, a metanolos üzemanyagcellával. Működési elve a katalitikus oxidáció, mely a következő lépésekből áll. Az anód oldali cellába 3%-os metanol oldatot vezetnek. Eközben a katód oldali cellába oxigént juttatnak. A metanol víz jelenlétében szén-dioxiddá alakul, így elektronok szabadulnak fel. Az elektronok az oxigénnel vegyülve olyan kémiai reakcióba lép, amelyből víz keletkezik, valamint elektromos áramhoz juthatunk [10][11].

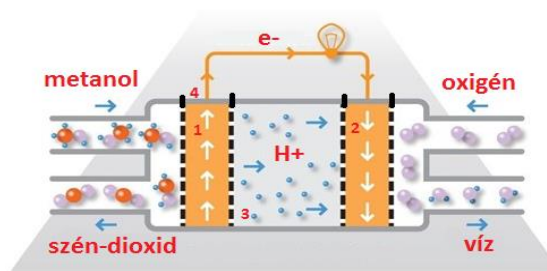
A metanolos üzemanyagcellának (5. ábra) számos előnye van. Egyrészt a hidrogén üzemanyagcellához képesti kis mérete. Emellett képesek hosszú távon energiát biztosítani.

Ha arról beszéltünk miért is jó ez a rendszer, akkor mindenképp meg kell említenünk a hátrányait is. A legfontosabb, hogy az úgynevezett teljesítménysűrűsége kicsi, így nem alkalmas a nagyobb energiát igénylő műszerek fenntartásához. A repülésben talán a kisebb drónok érhetnek el áttörést ezzel a szerkezettel [10][11].



4. ábra A hidrogén üzemanyagcella felépítés, működése [12]

Megfigyelhető, hogy az üzemanyagcellák fejlesztési üteme az elmúlt években rohamosan növekedett. Ennek oka az elenyésző környezetszennyezési értéke, valamint a kiváló hatásfoka.



5. ábra A metanolos üzemanyagcella működési elve [17]

A következő évek kutatási célja talán a hatásfok további növelése, valamint új energiaforráson alapuló üzemanyagcellák kifejlesztése lehet [12][19][20].

ÖSSZEGZÉS

A cikkben összefoglaltam a hagyományos és az alternatív tüzelőanyagot felhasználó hajtóművek legújabb kutatási eredményeit, szemléltettem a várható fejlesztési irányait. Bemutattam milyen technológiákat alkalmaznak a hagyományos tüzelőanyagot felhasználó hajtóműveken. A repülőgépek egyik legelterjedtebb meghajtási rendszerén, a sugárhajtómű típuson, mutattam be a legmodernebb fejlesztéseket, például a háromáramú sugárhajtómű megalkotását, vagy a legújabb kompozitok alkalmazását.

Szót ejtettem a hagyományos tüzelőanyagok alternatív energiaforrásokkal való kiváltásáról. Bemutattam, hogy hasznosítják a szén-dioxidot alternatív energiaforrásként. Szóba kerültek az üzemanyagcellák, mint a jövő elektromos áramot előállító berendezései.

Az előzőekből megállapítható, hogy a hagyományos tüzelőanyagok a repülésben is egyre jobban háttérbe szorulnak az alternatív üzemanyagokkal, azon belül is a villamos energiával szemben. Jelenleg is fejlesztések zajlanak a napenergia és az üzemanyagcella együttes alkalmazására, mely forradalmasíthatja mind a hagyományos, mind a pilóta nélküli repülést.

FELHASZNÁLT IRODALOM:

- [1] **Digivideofestmények:** *Repülőgép hajtóművek fejlesztése* (online) url: <http://hu.digivideofestmenyek.com/hobbijaink/repules/repulogep-hajtomuvek-fejlesztese> (2016.05.24.)
- [2] **ROZOVICSNÉ F. K., KAVAS L., BÉKÉSI L.:** *A hajtómű alkatrész alapanyagok jelene és jövője*, Repüléstudományi Közlemények (1997-TŐL) XXVI:(2) pp. 24-34. (2014), Repüléstudományi Konferencia 2014. Szolnok, Magyarország: 2014.04.10 (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
- [3] **Haditechnikai Kerekasztal:** *Készül a jövő hajtóműve*, (online) url: <http://htka.hu/2011/06/09/keszul-a-jovo-hajtomuve/> (2016.05.24.)
- [4] **Haditechnikai Kerekasztal:** *Készül a jövő sugárhajtóműve*, (online) url: <http://htka.hu/2013/03/01/keszul-a-jovo-sugarhajtomuve/> (2016.05.24.)
- [5] **BÉKÉSI B., JUHÁSZ M.:** *Pilóta nélküli légitjárművek energia forrásai*. Economica (Szolnok), 2014/1, pp. 92-100.
- [6] **BÉKÉSI B.:** *Pilóta nélküli légitjárművek jellemzése, osztályozásuk*. In: Békési Bertold, Bottyán Zsolt, Dunai Pál, Halászné dr Tóth Alexandra, Makkay Imre, Palik Mátyás, Restás Ágoston, Wühl Tibor, Palik Mátyás (szerk.) *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek*. 321 p. Második, javított kiadás. Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2013. pp. 65-110. ISBN:978-615-5057-64-9. (online) url: <https://opac.uni->

- nke.hu/webview?infile=&sobj=10140&source=webvd&cgimime=application%2Fpdf (2016.04.01)
- [7] **SZEGEDI P., ÓVÁRI GY.:** *Hagyományos repülőgép-üzemanyagok kiváltásának lehetőségei és korlátai*, Hadmérnök V. évfolyam. 4. szám, 2010. pp. 16-37.
- [8] **SZEGEDI P., ÓVÁRI GY.:** *Alternatív üzemanyagok alkalmazásának lehetőségei a repülésben*, REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK, 2010/2. pp. 1-12 (online) url: http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2010_cikkek/Ovari_Gyula-Szegedi_Peter.pdf (2016.03.03)
- [9] **ROZOVICSNÉ F. K.:** *Alternatív üzemanyagokhoz, meghajtásokhoz kapcsolódó fejlesztések a 2015-ös évben*, In: Békési Bertold, Szilvássy László (szerk.), Repüléstudományi Szemelvények. Szolnok, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Intézet, 2016. pp. 191-204.
- [10] **Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatikai Tanszék:** *9. fejezet - Üzemanyagcellák történeti áttekintése*, (online) url: http://www.mogi.bme.hu/TAMOP/jarmufedelzeti_elektronika/math-ch09.html#ch-9.3.2 (2016.05.24.)
- [11] **OLÁH GY., ÁNISZFELD R.:** *Új generációjú Üzemanyagcellák*, Magyar Tudomány, 2002/12, p. 1564 (online) url: <http://www.matud.iif.hu/02dec/olah.html> (2016. 05.24.)
- [12] **Független Ökológiai Központ Alapítvány:** *Üzemanyagcella*, (online) url: <http://www.foek.hu/korkep/enhat/uzemanyagcella/uzemanyagcella.html#bemutatas> (2016.03.03.)
- [13] **NASA:** *Faster Than a Speeding Bullet: Guinness Recognizes NASA Scramjet* (online) url: <http://www.nasa.gov/missions/research/x43-main.html> (2016.03.03.)
- [14] **BÉKÉSI B., SZEGEDI P.:** *A Hiper X program*, Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2000/3. pp. 127-133.
- [15] **SZEGEDI P.:** *A pilóta nélküli repüléshez kapcsolódva... Tanulmány a pilóta nélküli légitársaságok működésével és üzemeltetésével kapcsolatban*, p.: 80, ISBN 978-963-12-5224-8, 2016 https://ludita.uni-nke.hu/repozitorium/bitstream/handle/11410/10148/Tanulmany_Szegedi_P%C3%A9ter.pdf?sequence=2&isAllowed=y (2016.04.01)
- [16] **BÉKÉSI B., SZEGEDI P.:** *Napjainkban fejlesztett fegyverrendszerek megjelenése a jövő hadszínterein, tudás alkalmazás és fejlesztés szempontjából*, Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2015/3. pp. 105-116. (online) url: http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015_3/2015-3-08-0223_Bekesi_B-Szegedi_P.pdf (2016.02.17)
- [17] **BÉKÉSI B., SZEGEDI P.:** *Gondolatok a jövőbeni fegyverek alkalmazási lehetőségeiről*, XIV. Természet-, Műszaki- és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia, Nyugat-magyarországi Egyetem, Szombathely, 2015. pp. 183-188. (ISBN: 978-963-359-053-9)
- [18] **DODSON B.:** *"Superjet" variable cycle jet engine could power future fighter aircraft*, (online) url: <http://www.gizmag.com/ge-aviation-develop-advent-variable-cycle-jet-engine/25556/> (2016.05.24.)
- [19] **BÉKÉSI B., WÜHRL T.:** *Redundancy for micro uavs – control and energy system redundancy*. In: Jiří Stodola, Jiří Šťastný, David Vališ (szerk.) Deterioration, Dependability, Diagnostics 2012. Brno, University of Defence, 2012. pp. 123-130. (ISBN: 978-80-7231-886-5)
- [20] **BÉKÉSI B.:** *Redundancy on Board of UAVs – Energy Systems*, In: Donatas Markšaitis, Rolandas Makaras, Ovidijus Putnynas (szerk.). Proceedings of the 16th International Conference: Transport Means 2012. Kaunas, Technologija, 2012. pp. 158-161.

- [21] **BÉKÉSI B., PAPP I.:** *UAV future development*. In: Jiří Stodola , Jiří Šťastný, David Vališ, Vlastimil Neumann (szerk.), *Deterioration, Dependability, Diagnostics 2013*. Brno: Univerzita Obrany, 2013. pp. 63-76. (ISBN:978-80-7231-939-8)
- [22] **BÉKÉSI B.:** *Az UAV-k jövőbeni fejlesztési irányai*, XII. Természet-, Műszaki és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia, Nyugat-magyarországi Egyetem, Természettudományi és Műszaki Kar Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, 2013. pp. 101–113.

EGYDIMENZIÓS FELÜLETEK MINTÁZATAI

ONE-DIMENSIONAL SURFACE PATTERN FORMATIONS

HRICZÓ Krisztián¹, Vadászné BOGNÁR Gabriella²

¹Ph.D., adjunktus, mathk@uni-miskolc.hu

¹Miskolci Egyetem, Matematikai Intézet

²D.Sc., egyetemi tanár, v.bognar.gabriella@uni-miskolc.hu

²Miskolci Egyetem, Gép- és Terméktervezési Intézet,

Kivonat: A dolgozatban vékony, amorf filmek képződésének folyamatát elemezzük. A determinisztikus egyenlet megoldásait vizsgáljuk az egyenletben szereplő fizikai tulajdonságokat ötvöző paramétertől függően. A nemlineáris parciális differenciálegyenlet megoldásait hasonlósági transzformációval keressük. Az így kapott közönséges differenciálegyenlet megoldásait megadott kezdeti feltételek mellett elemezzük. A nemlineáris parciális differenciálegyenlet numerikus megoldását a hely- és az időkoordináta egy intervallumában különböző kezdeti feltételek mellett adjuk meg.

Kulcsszavak: Felületi mintázat, érdesség, determinisztikus egyenlet, vékony film

Abstract: In this paper the evolution of the thin, amorphous film is examined. The solutions to the deterministic equation are investigated for different values of the physical parameter involved in the equation. The solutions to the nonlinear partial differential equation are searched using similarity transformation. The solutions of the reduced ordinary differential equation are analyzed with different initial conditions. The numerical solutions to the nonlinear partial differential equations are given in the domains of spatial and temporal variables for different initial conditions.

Keywords: pattern formation, surface roughening, deterministic equation, thin film

1. BEVEZETÉS

A mintaképződések a természetben mindenütt megtalálhatók és fontos szerepet játszanak a műszaki tudományokban, mivel nem-egyensúlyi rendszereknek a legérdekesebb megjelenési formáival [1].

A felületi architektúrák eredetének megértése elősegíti a bevonatok előállításának jobb kontrollálását, amely új gyártási technológiákat eredményezhetnek. Tipikus példái nagyon sok, rendkívül hasonló interfészekben találhatók meg, amelyek teljesen különböző folyamatok során keletkeznek, mint pl. az amorf [2] és az epitaxiális vékonyrétegek növekedési folyamatában [9], illetve ionnyalábos porlasztásos erózió (IBS) során [11]. Ezek a kialakuló mintázatok, a kialakuló felületek tulajdonságai a tipikus minta hullámhossza szerint különböző kategóriákba osztályozhatók mind a stacioner, mind az időfüggő (durvuló) viselkedés esetében [8].

Egy olyan egydimenziós ellenpélda az interfész egyenletre, amely állandó hullámhosszú és amplitúdójú stacionárius mintázatot eredményez igazán meglepő lenne, mert alátámasztaná a megszakított durvulás folyamatának az értelmezését. Az irodalomban olyan kétdimenziós kontinuum modell került bevezetésre, amely a mikro méreteken írja le az erodálódott IBS felületek jellemzőit [4], [7]. A felületi struktúrák kialakításánál számos alkalmazásban jelentős az ún. Molecular Beam Epitaxy (MBE) eljárás, különösen az elektronikai iparban félvezető anyagoknál a szilárd félvezető szubsztrát felületére a vékony filmréteg felvitelében. Nagyon gyakran a kifejlődő film a növekedési eljárás alatt nem marad sík, hanem különböző felületi struktúrák alakulnak ki. Ezen struktúrák típusai rendkívül változatosak és függenek az

anyag, fizikai jellemzőktől és a növesztés feltételeitől [8].

A „Conserved Kuramoto-Sivashinsky” (CKS) egyenlet egy olyan matematikai modell, amellyel az MBE eljárások során nyert felületi morfológiát lehet modellezni. Ennek numerikus megoldásait elemezzük Muñoz-Garcia, Cuerno és Castro [8] dolgozatának ötlete alapján.

2. MINTÁZATOK KIALAKULÁSA

A morfológiai instabilitás legalacsonyabb rendű közelítésében a felület magasságának időbeli alakulása, ami a következő egydimenziós egyenlettel írható le

$$u_t(x,t) = -\nu u_{xx} - Ku_{xxxx} + \lambda_1(u_x)^2 - \lambda_2((u_x)^2)_{xx}, \quad (1)$$

ahol u a felület magasságát jelöli, ν , K , λ_1 és λ_2 a kísérleti feltételektől és anyagi jellemzőktől függő állandók. Muñoz-García és szerzőtársai az (1) determinisztikus egyenletet részleteiben nem tanulmányozták [8]. A nagy hullámhosszú instabilitás meghatározását tűzték ki célul és vizsgálataikat pozitív ν and K értékekre korlátozták. Valójában a λ_1 és λ_2 paraméterek rendkívül fontosak, meghatározásukat porlasztásra Castro és szerzőtársai adták meg [5]-ben.

Ha $\lambda_2 = 0$, akkor az (1) parciális differenciálegyenlet a jól ismert Kuramoto-Sivashinsky (KS) egyenlettel egyezik meg, amely a tér- és időbeli káosz mintapéldája (l. [6], [10]). A rendszer leírásában a rendezetlen minták egy jellemző hullámhosszon jönnek létre, amely minta nem durvul. Nagy hossz skálán a Kuramoto-Sivashinsky rendszer a sztohasztikus Kardar-Parisi-Zhang (KPZ) egyenlettel hatékonyan jellemezhető [11]; ez az egyenlet pedig a kinetikus érdesítés mintapéldája.

A felületi érdesség $w(x_0)$ (globális RMS szélesség) az $w^2(x_0) = \sum_x [u(x,t) - \bar{u}_{x_0}]^2 / x_0$ képlettel jellemzett érték, ahol \bar{u}_{x_0} az u középértékét jelöli az x_0 helyen. A KPZ interfész egyenlet esetén a rendszer oldalirányú L méret hatványával jellemezhető [11]. Ha $\lambda_2 \neq 0$ és $\lambda_1 = 0$, akkor az (1) egyenlet az ún. „Conserved Kuramoto-Sivashinsky” (CKS) egyenlettel egyezik meg. Ezt az egyenletet vékony amorf filmréteg növekedésének modellezésére és vicinális felületek lépés dinamikájára alkalmazzák. Ebben az esetben a lineáris stabilitás paraboloidok rendezett mintázatának kifejlődését eredményezi zavartalan durvulás mellett [4].

3. CONSERVED KURAMOTO-SIVASHINSKY (CKS) EGYENLET ANALITIKUS VIZSGÁLATA

Célunk az egydimenziós probléma vizsgálata. A felületi struktúrák fejlődésének elemzését leíró Kuramoto-Sivashinsky egyenletet az (1) egyenletből $\lambda_2 = 0$ helyettesítéssel nyerjük:

$$u_t(x,t) = -\nu u_{xx} - Ku_{xxxx} + \lambda_1(u_x)^2.$$

Az (1) egyenlet egy másik speciális esete a „Conserved Kuramoto-Sivashinsky” (CKS) egyenlet, amelyet (1)-ből $\lambda_1 = 0$ helyettesítéssel kapunk:

$$u_t(x,t) = -\nu u_{xx} - Ku_{xxxx} - \lambda_2((u_x)^2)_{xx}. \quad (2)$$

Csökkentsük a paraméterek számát az x és t változókra alkalmazott skálázással, rendre $(K/\nu)^{1/2}$ és K/ν^2 mértékkel. A származtatott egyenlet (2)-ből az

$$u_t + u_{xx} + u_{xxxx} + \gamma(u_x)^2_{xx} = 0, \quad (\text{CKS})$$

alakba írható, ahol $\gamma = \lambda_2/K$.

Vizsgáljuk meg analitikusan az

$$u(t, x) = u(t, \lambda(t) + u)$$

megoldást valamely $\lambda(t)$ hullámhossz mellett.

Vezessük be az u hasonlósági megoldást az

$$u(t, x) = t^\alpha f(x, t^{-\beta}) \quad \text{és} \quad \lambda(t) = ct^\beta \quad (3)$$

alakban, ahol α a felületre érkező részecskék érkezési sebességét jellemzi, β a felület menti sebességet és $1/\beta$ a felület durvulását.

Tekintsük (2)-t az

$$u_t + \frac{\partial}{\partial x^2} [u + u_{xx} + \gamma(u_x)^2] = 0 \quad (4)$$

alakban. Az $\eta = xt^{-\beta}$ hasonlósági változóra (4) egyenletből a (3)-beli hasonlósági transzformációval a

$$t^{\alpha-1}(\alpha f - \beta \eta f') + t^{\alpha-2\beta} f'' + t^{\alpha-4\beta} f^{(4)} + \gamma t^{2(\alpha-\beta)-2\beta} (f'^2)'' = 0 \quad (5)$$

egyenlet adódik. Innen $\alpha = 1$ és $\beta = 1/2$ helyettesítéssel

$$f - \frac{1}{2} \eta f' + f'' + t^{-1} f^{(4)} + \gamma (f'^2)'' = 0. \quad (6)$$

Kiküszöbölve az idő koordinátát tartalmazó tagot az

$$u(x, t) = \begin{cases} -\frac{1}{4\gamma} x^2 & \text{if } |x| < y(t) \\ 0 & \text{if } |x| \geq y(t) \end{cases}$$

alakú pozitív páros megoldásokat keresünk a (4) egyenlethez, ahol az $y(t)$ valamely ismeretlen függvény. Az u megoldás invariáns a magasság irányú $u(x, t) \rightarrow u(x, t) + const.$ eltolásra [8].

Megmutattuk, hogy az $y(0)$ értékének nagyságától függően a felületi struktúráképződés más és más. Ha $y(0) < \sqrt{3}$, akkor a parabola alakú megoldásgörbék véges idő múltával

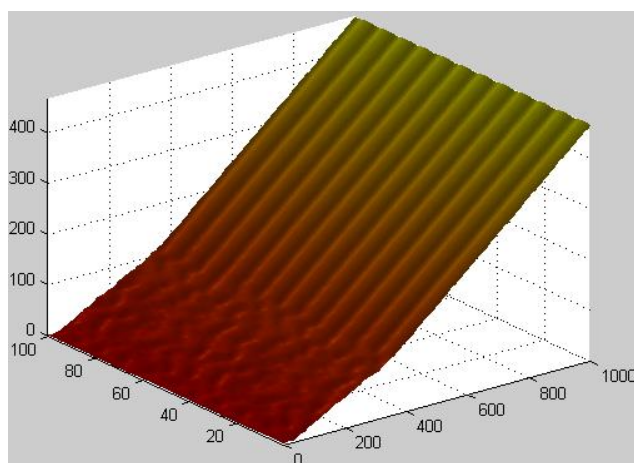
összeomlanak. Ha $y(0) = \sqrt{3}$, akkor ez az idő végtelen; egyébként, ha a kezdeti hullámhossz $\lambda(0)$ nagyobb, mint $2y(0) = 2\sqrt{3}$, akkor mind a periódus, mind az amplitúdó korlátlanul nő; a periódus \sqrt{t} -vel, az amplitúdó t szerint növekszik [3].

4. NUMERIKUS EREDMÉNYEK

A CKS egyenlet numerikus megoldásait vizsgáljuk egydimenziós esetben az x és t változókra. A magasság profilra kapott megoldások függenek az egyenletben szereplő γ fizikai paramétertől és a kiinduló felület jellemzőitől. Tekintsük a (CKS) parciális differenciálegyenlet megoldását az

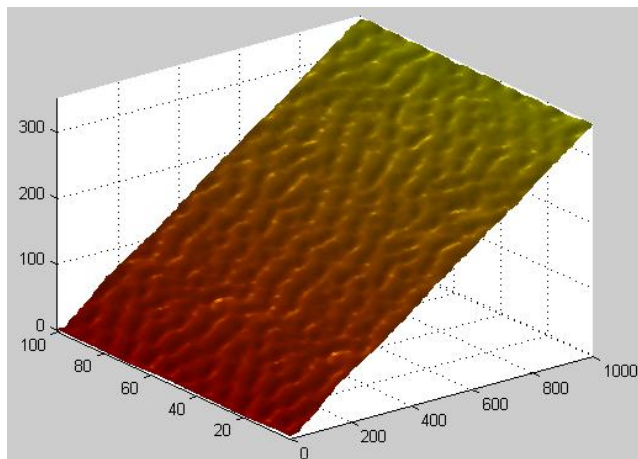
$$u(x,0) = A(0) \sin \frac{x}{8} (1 + \cos \frac{x}{8}) \quad (\text{KF})$$

kezdeti feltétel mellett, ahol a kezdeti amplitúdó értékét 0,5, vagy 1 értékre vesszük fel. Az alábbi ábrák a felületi morfológia alakulását mutatják az idő és a hely függvényében. Az 1-2. ábrák a (CKS) egyenlet megoldását szemlélteti a (KF) feltétel mellett, ha $A(0) = 0,5$, vagy $A(0) = 1$ esetén $T = 1000$ időegységig.

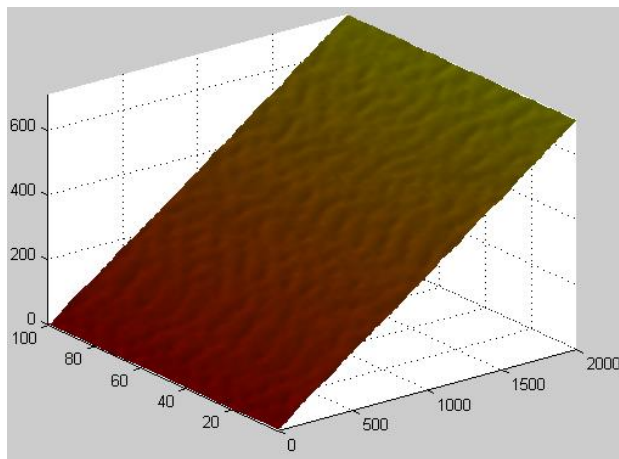


1. ábra Az $u(x, t)$ profil $A(0) = 0,5$ és $\gamma = 0.1$ esetén

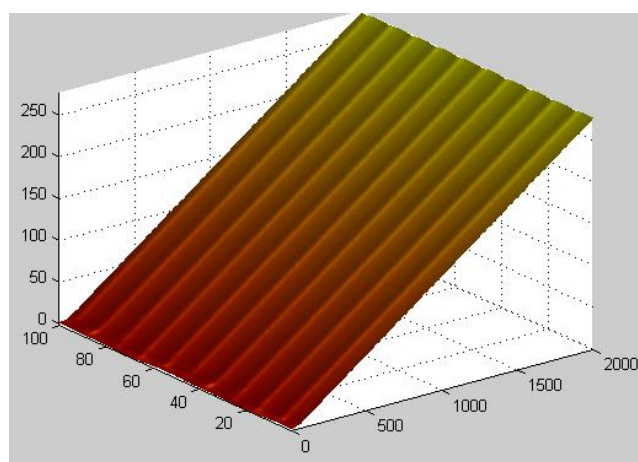
A 3-4. ábrákon a γ paraméter hatását szemléltetjük két különböző érték mellett, ha $\gamma = 0,1$ és $\gamma = 1$.



2.ábra Az $u(x,t)$ profil $A(0) = 1$ és $\gamma = 0.1$ esetén



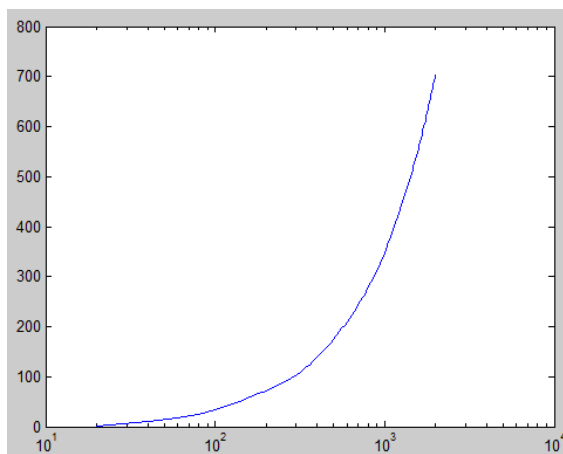
3.ábra Az $u(x,t)$ profil $A(0) = 1$ és $\gamma = 0.1$ esetén



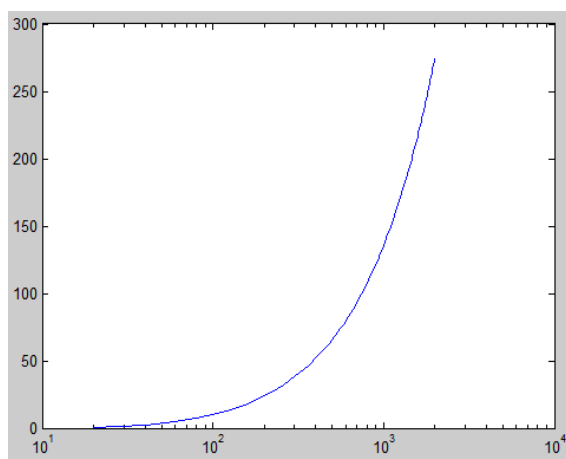
4.ábra Az $u(x,t)$ profil $A(0) = 1$ és $\gamma = 1$ esetén

Az $\bar{u}(t) = \frac{1}{L} \int_0^L u(x,t) dx$ átlagos érdesség és a $w(t) = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L [u(x,t) - \bar{u}(t)]^2 dx}$ felületi érdesség változását az 5-6. illetve a 7-8. ábrákon mutatjuk be a $[0, 32\pi]$ intervallumon az idő

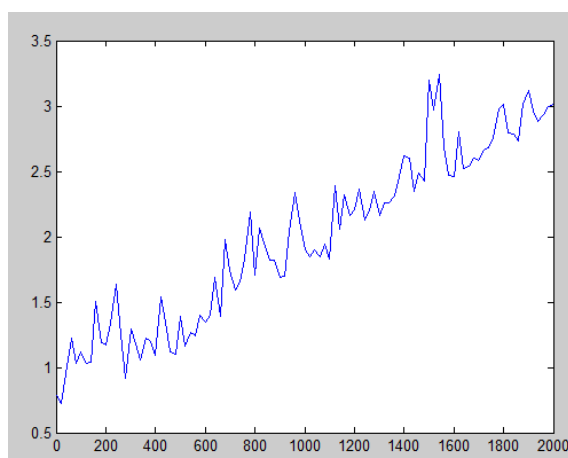
függvényében.



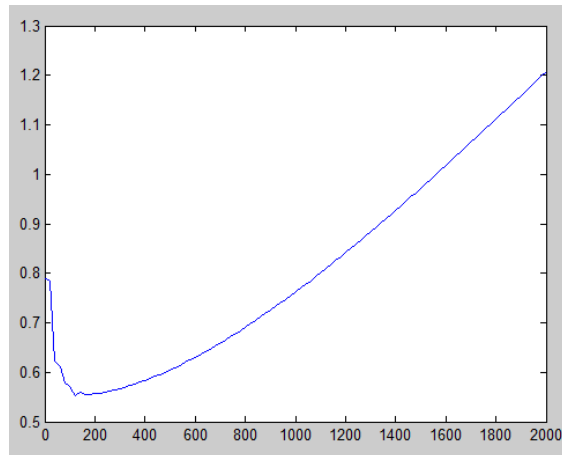
5. ábra Az $\bar{u}(t)$ átlagos érdesség $A(0) = 1$ és $\gamma = 0.1$ esetén a $T=[0, 2000]$ intervallumban



6. ábra Az $\bar{u}(t)$ átlagos érdesség $A(0) = 1$ és $\gamma = 1$ esetén a $T=[0, 2000]$ intervallumban



7. ábra A $w(t)$ felületi érdesség változása $A(0) = 1$ és $\gamma = 0.1$ esetén a $T=[0, 2000]$ intervallumban



8.ábra A $w(t)$ felületi érdesség változása $A(0) = 1$ és $\gamma = 1$ esetén a $T=[0, 2000]$ intervallumban

5. KÖVETKEZTETÉSEK

Az 1-2. ábrák a kezdeti amplitúdó hatását mutatják. Nagyobb amplitúdó kaotikusabb felületi struktúrát eredményez. A 3-4. ábrák a γ fizikai paraméter hatását szemléltetik; γ növelése állandósult hullámhosszhoz vezet. Az átlagos érdesség az időben parabolikus jellegű növekedést mutat. Nagyobb γ esetén az \bar{w} átlagos érdesség nagysága kisebb (lásd 5-6. ábra). A $w(t)$ felületi érdesség időbeli változása nagy idő értékekre lineáris növekedési tendenciát mutat (lásd 7-8. ábra). Nagyobb γ értékekre $w(t)$ változása simább jellegű.

Köszönetnyilvánítás: A dolgozatban ismertetett kutató munka a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap finanszírozásával a TÉT_14_FR-1-2015-0004 számú Francia-Magyar pályázat 1.468 mFt támogatásával a Nanostruktúrák önszerveződése felületeken című projekt keretében valósult meg a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt eredményeire alapozva az Új Széchenyi Terv keretében a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **CROSS M. C., HOHENBERG P. C.:** *Pattern formation outside of equilibrium*, Rev. Mod. Phys. 65 (3), 1993., p. 851-1112
- [2] **BARABÁSI A.-L., STANLEY H. E.:** *Fractal Concepts in Surface Growth*, Cambridge University Press, 1995.
- [3] **BENLAHSEN M., BOGNÁR G., CSÁTI Z., GUEDA M., HRICZÓ K.:** *Dynamical properties of a nonlinear growth equation*, kézirat
- [4] **CASTRO M., CUERNO R., VAZQUEZ L., GAGO R.:** Self-Organized Ordering of Nanostructures Produced by Ion-Beam Sputtering, Phys. Rev. Lett. 94 (1), 2005., 016102
- [5] **CASTRO M., CUERNO R.:** *Comment on “Kinetic roughening of ion-sputtered Pd (001) surface: beyond the Kuramoto-Sivashinsky model”*, Phys. Rev. Lett. 94 (13), 2005., 139601

- [6] **KURAMOTO Y.:** *Chemical oscillations, waves, and turbulence*, Springer, Berlin, 1984.
- [7] **MUÑOZ-GARCÍA J., CASTRO M., CUERNO R.:** *Nonlinear Ripple Dynamics on Amorphous Surfaces Patterned by Ion Beam Sputtering*, Phys. Rev. Lett. 96 (8), 2006., 086101
- [8] **MUÑOZ-GARCÍA J., CUERNO R., CASTRO M.:** *Short-range stationary patterns and long-range disorder in an evolution equation for one-dimensional interfaces*, Phys. Rev. E 74 (5), 2006., 050103
- [9] **POLITI P., GRENET G., MARTY A., PONCHET A., VILLAIN J.:** *Instabilities in crystal growth by atomic or molecular beams*, Phys. Rep. 324, 2000., p. 271-404
- [10] **SIVASHINSKY G. I.:** *Instabilities, Pattern Formation, and Turbulence in Flames*, Annu. Rev. Fluid Mech., 15, 1983., p. 179–199.
- [11] **VALBUSA U., BORAGNO C., BUATIER DE MONGEOT F.:** *Nanostructuring surfaces by ion sputtering*, J. Phys.: Condens. Matter 14 (35), 2002, 8153

HOSSZÚ IDEJŰ CSAPADÉK IDŐSOROK SPEKTRÁLIS ELEMZÉSÉN ALAPULÓ ELŐREJELZÉS KÉSZÍTÉSE DEBRECEN TERÜLETÉRE

FORECAST BASED ON THE CYCLIC PARAMETERS OF LONG TERM PRECIPITATION TIME SERIES IN THE AREA OF DEBRECEN HUNGARY

ILYÉS Csaba¹, TURAI Endre², SZŰCS Péter³

¹doktorandusz,

Miskolci Egyetem Környezetgazdálkodási Intézet,
hgilyes@uni-miskolc.hu

²intézetigazgató egyetemi docens,

Miskolci Egyetem Geofizikai – Térinformatikai Intézet,
gfturai@uni-miskolc.hu

³tanszékvezető egyetemi tanár,

Miskolci Egyetem Környezetgazdálkodási Intézet,
hgszucs@uni-miskolc.hu

^{1,2,3}MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport

Kivonat: A kutatómunka során az volt a cél, hogy a hosszú idejű csapadék idősorokban spektrális adatelemzéses módszerrel különböző ciklusokat azonosítsunk. Négy magyarországi nagyváros 110 év hosszúságú éves és havi adatára végeztük el a számításokat. Az éves adatok felhasználásával 7 ciklust sikerült azonosítani mind a négy adatsorban, míg a havi adatokat felhasználva 13 országos ciklus került kiszámításra. Ezek mellett lokálisan több más periódusidővel rendelkező ciklus is kimutatásra került, amit felhasználva az amplitúdó, fázis szög segítségével előrejelzést is végeztünk Debrecen állomás esetében.

Kulcsszavak: csapadék, spektrális elemzés, klímaváltozás, ciklusok

Abstract: To better understand the periodicity of the hydrologic cycle, we examined 110 year long precipitation datasets to get to know the periodic components of these time series. With an analytic version of the discrete Fourier-transformation we defined 13 cycles in the precipitation datasets, which are representing the weather of the Carpathian-Basin. With annual and monthly precipitation values we defined the amplitude, phase angle and the period of time of these cycles. With these parameters we made a forecast up to 2030.

Keywords: precipitation, spectral analysis, climate change, cycles

1. BEVEZETÉS

Magyarországon az ivóvíz ellátást 95 %-ban a felszín alatti vízkészletek biztosítják [1], aminek fő forrása a lehullott csapadék beszívargása a talajba és a mélyebb rétegekbe. Ezen hidrológiai körforgás során bármilyen változás, amely érinti a ciklus egy paraméterét közvetetten, illetve közvetlenül hatással van a körforgás többi elemére is. [2] [3]. A Miskolci Egyetemen több kutatás is foglalkozik a klímaváltozás hatásaival a felszín alatti vizekre, az arra történő alkalmazkodás lehetőségét vizsgálva [4] [5] [6].

Kutatásunk során arra kerestük a választ, hogy az alapvetően sztochasztikus hidrológiai körforgásban találhatóak-e determinisztikus paraméterek. Éves és havi csapadékösszegeket vizsgáltunk, azokban spektrális elemzéssel ciklikus paramétereket keresve. Ezen ciklusok segítségével jellemezhető egy terület csapadékossága, illetve a matematikai módszer lehetőséget ad arra, hogy extrapoláció segítségével előrejelzést végezzünk az adott területre.

2. MÓDSZER ELMÉLETI ALAPJA

Idősorok elemzésének kétféle módszertana ismert. A hosszú távú hatások kimutatásához a trendanalízis, a különböző egyenletekkel elírható trendvonalak illesztését használják, míg az adatsorban rejlő periodikus komponensek felkutatásához a spektrális elemzés módszere használatos [7].

Amennyiben a csapadékösszegek idősorára úgy tekintünk, mint egyenközüen vételezett diszkrét jelek sorozata, akkor az analitikus Fourier-transzformáció diszkrét változatával az idősor tér-idő tartományból átalakítható frekvenciatartományba.

A vizsgálat elméleti alapjához az f frekvencia definíciója:

$$f = \left(\frac{1}{T}\right) \quad (1)$$

Mivel ezen hosszú idejű idősorok nagy számú periodikus komponenseket tartalmaznak, ezért a diszkrét Fourier-transzformáció egyik analitikus változatát használtuk a spektrális elemzéshez. Az analitikus Fourier-transzformáció harmonikus függvényeket használva adja meg a komplex Fourier-spektrumot $F(f)$, amely egy valós és egy képzetes részből áll. A valós és képzetes rész az alábbi összefüggéssel írható fel:

$$Re[F(f)] = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cos(2\pi ft) dt \quad (2)$$

$$Im[F(f)] = - \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \sin(2\pi ft) dt \quad (3)$$

Ezekből felírható a komplex Fourier-spektrum:

$$F(f) = A(f)e^{j\Phi(f)} \quad (4)$$

Ahol az $A(f)$ spektrumot amplitúdó-, míg a $\Phi(f)$ spektrumot fázisspektrumnak nevezzük. Ez a két spektrum kifejezhető a valós és képzetes tagok felhasználásával is:

$$A(f) = \sqrt{Re^2[F(f)] + Im^2[F(f)]} \quad (5)$$

$$\phi(f) = \arctg \frac{Im[F(f)]}{Re[F(f)]} \quad (6)$$

Az amplitúdó spektrum egy adott frekvenciájú komponens súlyát adja, míg a fázisspektrum a regisztrátumok kezdőpontjától vett távolságot határozza meg [8] [9].

Az eredmények értékelésénél bevezetésre került relatív amplitúdó $(AY(T)_{max})$ a különböző periódusidejű ciklusok amplitúdó értékeit hasonlítja össze az adatsorban fellelhető legnagyobb amplitúdó értékével, azokból arányt képezve.

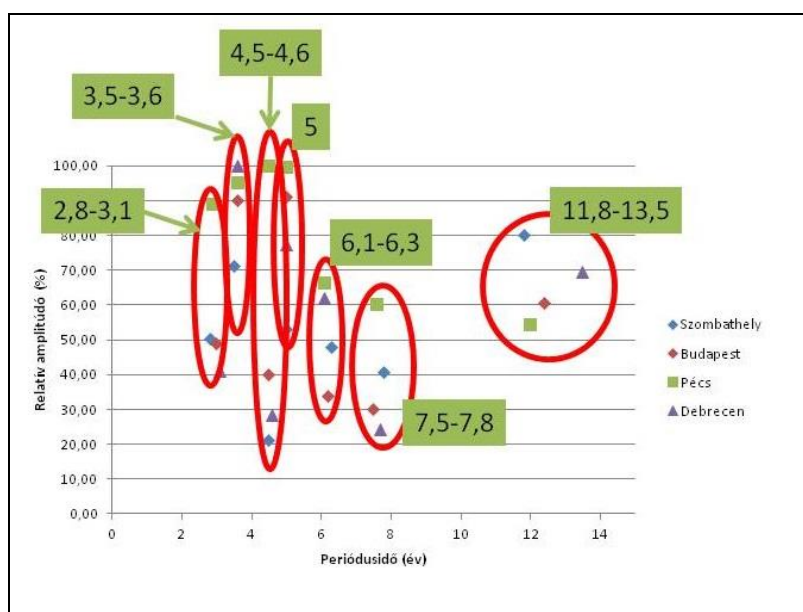
A vizsgálat során az egyébként sztochasztikusnak tekinthető csapadék idősor determinisztikus komponenseit kerestük fel.

3. EREDMÉNYEK

A számítások elvégzéséhez az Országos Meteorológiai Szolgálat interneten elérhető adatbázisát használtuk, ahol 110 év hosszúságú meteorológiai paraméterek állnak rendelkezésre az ország 5 nagyvárosára [10]. Vizsgálatunkhoz Budapest, Debrecen, Pécs és Szombathely állomások idősorait használtuk fel, mivel az adatbázisban szereplő Szeged állomásában adathiány volt tapasztalható, ami miatt az elemzésből kizárásra került a Dél-magyarországi város. A ciklusokat a relatív amplitúdójuk sorrendjében határoztuk meg.

3.1 Éves adatok elemzése

Az éves adatok 1901 és 2010 közötti időszakban állomásonként 110 értéket tartalmaznak. A vizsgálathoz a lehető legrövidebb, 1 éves mintavételi közt használtuk. Ebben az esetben a Nyquist-frekvencia, ami megadja, hogy melyik az a legkisebb periódusidő, ami még nem mutatható ki spektrális elemzéssel, ebben az esetben 2 év. A kimutatott ciklusok az 1. ábrán láthatóak, a relatív amplitúdó és a periódusidő függvényében.



1. ábra: Éves adatokból kimutatott ciklusok.

Az ábrán látható, hogy legdominánsabban az 5 éves ciklus volt kimutatható, amit sorrendben a 3,5-3,6 éves követett, míg a legnagyobb periódusidővel a 12 év körüli ciklus jelentkezett. Országosan a kisebb periódus idővel rendelkező ciklusok közül voltak kimutathatóak, miközben lokálisan több nagy periódus idővel rendelkező ciklust is azonosítottunk, de azok periódusidejében lévő nagy eltérések miatt nem lehetett azonosnak definiálni őket.

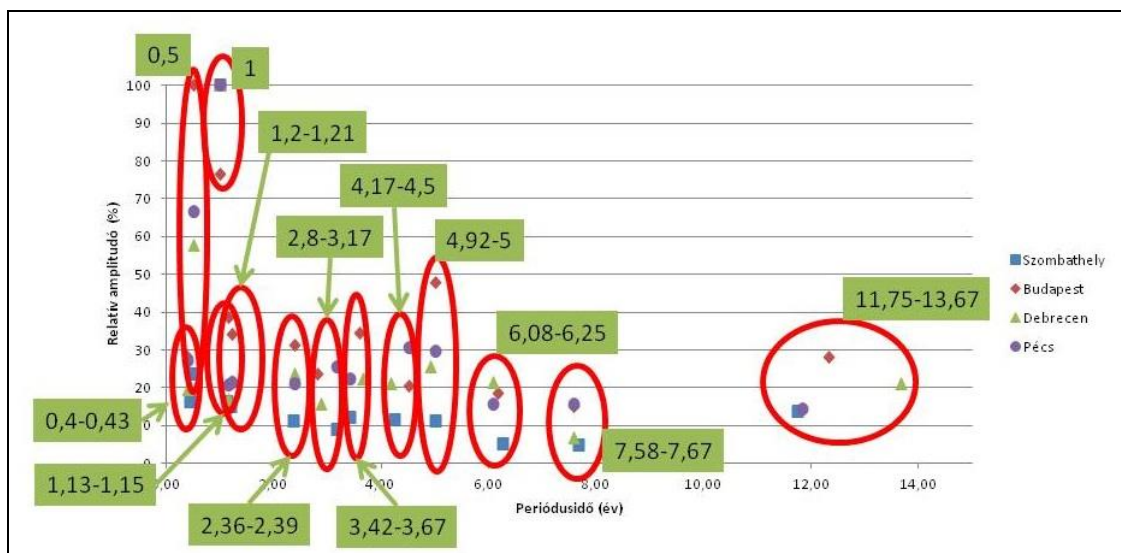
Országosan az alábbi ciklusok kerültek kiszámításra, a relatív amplitúdójuk sorrendjében:

5 év ($AY(T)_{max}=80,17\%$), 3,5-3,6 ($AY(T)_{max}=57,25\%$), 11,8-13,5 ($AY(T)_{max}=66,11\%$), 2,8-3,1 ($AY(T)_{max}=57,27\%$), 6,1-6,3 ($AY(T)_{max}=52,36\%$), 4,5-4,6 ($AY(T)_{max}=47,37\%$), 7,5-7,8 ($AY(T)_{max}=38,79\%$)

A vizsgálatok során lokálisan Budapesten 21, Debrecenben 16, Pécsen 17, míg Szombathelyen 20 ciklus került kiszámításra. Ezek amplitúdójában azonban nagy eltérések voltak tapasztalhatóak. Míg Budapesten a ciklusok túlnyomó többsége 50 %-os relatív amplitúdó érték felett volt, addig Szombathelyen mindösszesen csak 8 volt domináns főciklus, a többi mellékciklusként, időjárást determinisztikusan kevésbé alakítóként lett azonosítva. Pécsen egy kivételével mindegyik 50 %-os relatív amplitúdó felett alakult, így elmondható, hogy ott a csapadék időbelisége könnyebben leírható szabályszerű ciklusokkal, mint a többi város esetében.

3.2 Havi adatok elemzése

A havi adatsor 1901. január és 2010. december közötti időszakot öleli fel, összesen 1320 hónapnyi adatot tartalmaz állomásonként. Ebben az esetben is a lehető legkisebb, 1 hónapos mintavételi köz került alkalmazásra, így a Nyquist-frekvencia ebben az esetben 2 hónap. Az országosan kimutatott ciklusokat a 2. ábra tartalmazza.



2. ábra: Havi adatokból kimutatott ciklusok

A havi adatok vizsgálatakor nagy számú periódust sikerült azonosítani mind lokálisan, mind országosan. Az adatsorokból kimutatásra került a már éves adatok esetén bemutatott 7 ciklus, amit további 6 ciklus követett. Ebben az esetben az állomások összességére elmondható, hogy a csapadék időbeliségében tapasztalható éves és féléves ciklus egyértelműen és dominánsan megjelenik, egyedül Budapest esetében volt tapasztalható, hogy a féléves ciklus alakult dominánsabban, a többi esetben mind a legnagyobb amplitúdóval rendelkezett, aminek közel két-harmada volta féléves ciklus amplitúdója. Sorrendben az 5 éves ciklus volt a harmadik legdominánsabb, a legnagyobb ciklus szintén a 12 év körüli volt.

A kimutatott ciklusok relatív amplitúdójuk sorrendjében a következők:

1 éves ($AY(T)_{max} = 94,16 \%$), 0,5 éves ($AY(T)_{max} = 61,97 \%$), 4,92 – 5,00 éves, ($AY(T)_{max} = 28,61 \%$), 1,13 – 1,15 éves ($AY(T)_{max} = 23,14 \%$), 1,2 – 1,21 éves ($AY(T)_{max} = 23,08 \%$), 3,42 – 3,67 éves ($AY(T)_{max} = 22,83 \%$), 0,4 – 0,43 éves ($AY(T)_{max} = 22,76 \%$), 2,36 – 2,39 éves ($AY(T)_{max} = 21,85 \%$), 4,17 – 4,5 éves ($AY(T)_{max} = 20,88 \%$), 11,75 – 13,67 éves ($AY(T)_{max} = 19,34 \%$), 2,8 – 3,17 éves ($AY(T)_{max} = 17,35 \%$), 6,08 – 6,25 éves ($AY(T)_{max} = 15,21 \%$), 7,58 – 7,67 éves ($AY(T)_{max} = 10,56 \%$)

Az állomások lokális vizsgálatánál nagy különbségek adódtak a városok között. Budapest esetében 71 ciklus került kiszámításra, amihez hasonló a Pécs esetében tapasztalt 65 ciklus. Debrecenben csupán 43 ciklust azonosítottunk, míg Szombathelyen mindösszesen 19-et. Ennek magyarázata lehet, hogy Szombathely meteorológiailag különleges helyen fekszik, az Alpok hegység lábánál, Magyarország legcsapadékosabb vidékén, így abban a régióban máshogy definiálhatóak a csapadék időbeliségének tulajdonságai.

Minden állomás esetében csak az éves és féléves ciklus rendelkezett 50 % feletti relatív amplitúdóval, de ennek oka, hogy a többi periódus ehhez viszonyítva közel sem olyan domináns az adatsorban, mint amennyire a valóságban figyelembe kell venni a determinisztikus komponensek meghatározásánál.

A továbbiakban az éves adatokból kapott ciklusok alapján előrejelzést végeztünk Debrecen területére.

4. ELŐREJELZÉS

A különböző ciklusokhoz kapott $A(f)$ amplitúdó sűrűség és a $\Phi(f)$ fázissűrűség alapján visszaállítható az eredeti $y(t)$ csapadék idősor:

$$y(t) = \bar{Y} + \int_0^{+f_N} A(f) e^{j[2\pi f t + \Phi(f)]} df \quad (7)$$

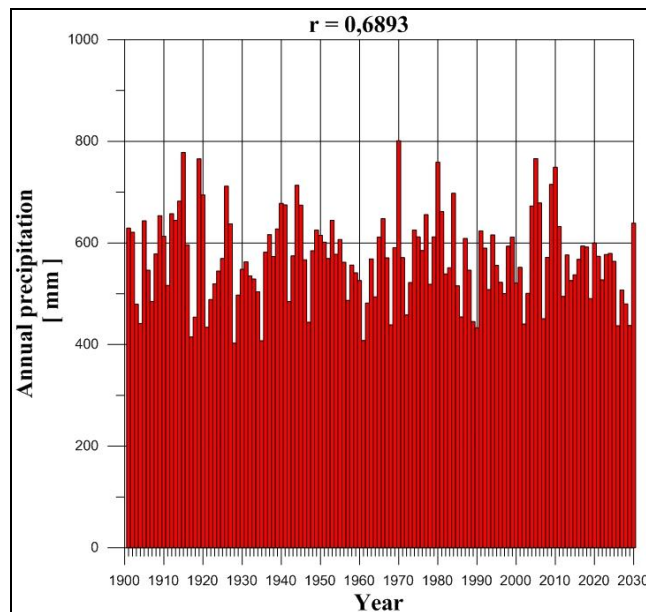
A fő és melléciklusok periódusidőit valamint a hozzájuk tartozó amplitúdó és fázis értékeket használva meghatározható a csapadékmennyiség determinisztikus okokra visszavezethető idősora:

$$y(t)^{det} = \bar{Y} + \frac{2}{T_{reg}} \sum_{i=1}^{18} A_i \cos \left[\frac{2\pi}{T_i} (t - 1901) + \Phi(T_i) \right] \quad (8)$$

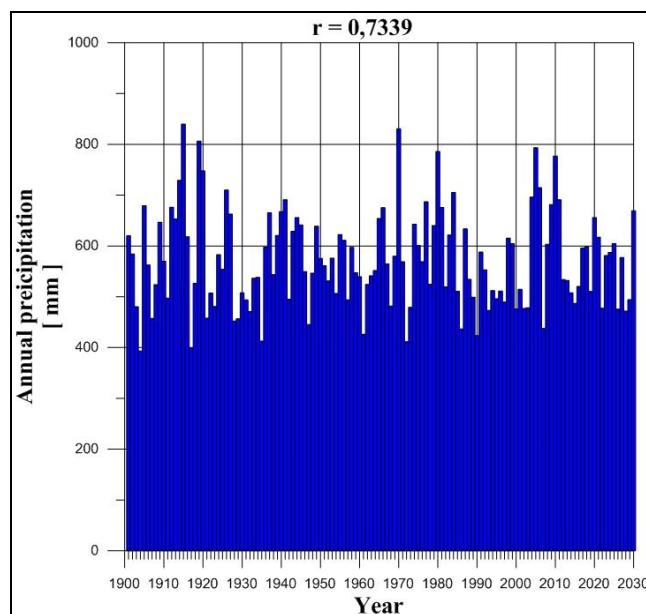
Amennyiben a t paraméter helyére $t > 2010$ értéket helyettesítünk, extrapolációval jövőre vonatkozó becsléseket tudunk tenni. A tényleges $y(t)$ idősor és a determinisztikus $y(t)^{det}$ idősor különbsége a véletlen hatást jelzi, a kettő közötti kapcsolat Pearson-korrelációs számításokkal meghatározható.

Az előrejelzés során a Debrecen adatsorában kimutatott 18 ciklust használtuk fel. Első esetben csak a 10 legdominánsabb ciklust, majd a második esetben mind a 18 kimutatott ciklust, amiből visszaállítva a determinisztikus csapadék idősort, a 3. és 4. ábra mutatja az eredményt. A csapadék idősorok eredeti mért és a számított alakulása között, első esetben 0,689, második esetben (több ciklust használva) 0,7339 korrelációs együttható mutatható ki. A számítások alapján első esetben a 2011-2030 közötti időszakban 437 és 638 mm között alakul az éves csapadékösszeg, 600 mm-t ritkán meghaladó értékekkel, míg mind a 18 ciklus használata esetén többször is nagyobb csapadékösszegek várhatóak.

A ciklusokból visszaállított és az eredeti mérések idősorai közötti különbség a sztochasztikus komponenseket adják meg az idősorban, így előrejelzésnél figyelembe kell venni, hogy determinisztikus megközelítést használtunk.



3. ábra: Debrecen csapadék idősora 10 főciklus alapján, előrejelzéssel 2030-ig



4. ábra: Debrecen csapadék idősora 18 ciklus alapján, előrejelzéssel 2030-ig

5. KÖVETKEZTETÉSEK

Több kutatás is foglalkozott már azzal, hogy a meteorológiai eseményekben, beleértve a csapadékeseményeket is a szélsőségek dominanciája várható, így ez közvetlenül is befolyásolja a hidrológiai ciklust, aminek felgyorsulása várható. Kutatásunkban négy magyarországi nagyváros 110 éves adatsorában kerestünk determinisztikus komponenseket, amik segítségével leírhatóak az ország csapadékoságának ciklikus paraméterei. Az éves adatokból 7, míg a havi összegekből 13 ciklus sikerült az egész Kárpát-medencére azonosítani. A ciklusok okainak feltárása következő kutatások célja lehet, azonban az egy éves illetve a 12 év körüli ciklikusságnak magyarázata már bizonyítottan tekinthető. Az 1 éves ciklust egyértelműen a Föld csillagászati helye és mozgása adja, míg a 12 év körüli ciklus több kutatás alapján is egyértelmű a kapcsolat a napfolt-tevékenységgel [11].

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Az ismertetett kutató munka a Miskolci Egyetemen működő Fenntartható Természeti Erőforrás Gazdálkodás Kiválósági Központ TÁMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0049 jelű „KÚTFŐ” projektjének részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **SZŰCS, P.**, *Hidrogeológia a Kárpát-medencében – hogyan tovább?* Magyar Tudomány, 2012. 5., HU ISSN 0025 0325, 554-565. o.
- [2] **STOCKER, T. F. – QIN, D. – PLATTNER, G.-K. – TIGNOR, M. M. B. – ALLEN, S. K. – BOSCHUNK, J. – NAUELS, A. – XIA Y. – BEX, V. – MIDGLEY, P. M.**, *Climate Change 2013, The Physical Science Basis, Chapter 12: Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility*, Cambridge University Press, 2013
- [3] **BATES, B. – KUNDZEWICZ, W. Z. – WU, S. – PAULUTIKOF, J.**, *Climate Change and Water, IPCC Technical Paper VI*, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2008
- [4] **SZÉKELY, F., SZŰCS, P., ZÁKÁNYI, B., CSERNY, T., FEJES, Z.**, *Comparative analysis of pumping tests conducted in layered rhyolitic volcanic formations*. Journal of Hydrology, ELSEVIER, 520 (2015), January 2015, pp. 180-185., <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.11.038>
- [5] **SZŰCS, P., FEJES, Z., ZÁKÁNYI, B., SZÉKELY, I., MADARÁSZ, T., KOLENCSEKÉ TÓTH, A., GOMBKÖTŐ, I.**, *Results of the WELL aHEAD Project connected to water and mining. Geothermal potential of the Tokaj-Mountains. Pilot test of passive acid mine drainage water management*. FOG – Freiberg Online Geology, ISSN 1434-7512, 2015, Volume 40, pp. 170-177.
- [6] **SZŰCS, P., MADARÁSZ, T.**, *Complex hydrogeological modeling of multifunctional artificial recharge options of the Great-Forest Park in Debrecen, Hungary*. Water Pollution VIII, Modeling, Monitoring and Management. Editors: C.A. Brebbia and J.S. Antunes do Carmo WIT Press, 2006, pp. 177-184., ISBN: 1-84564-042-X.
- [7] **MESKÓ, A.**, *Digital Filtering Applications in Geophysical Exploration for Oil*, Akadémia Kiadó, Budapest, 1984
- [8] **PANTER, F. P.**, *Modulation, Noise and Spectral Analysis – Applied to Information Transmission*, MacGraw-Hill Book Company, 1965
- [9] **TURAI, E.**, *Spektrális adat- és információfeldolgozás – egyetemi jegyzet*, Miskolci Egyetem, Miskolc, 2005
- [10] **OMSZ**, *Országos Meteorológiai Szolgálat internetes adatbázisa*, http://met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_adatsorok/ (letöltve: 2015. június 1.)
- [11] **ZHAO, J – HAN, Y-B – LI, Z-A.**, *The Effect of Solar Activity on the Annual Precipitation in the Beijing Area*, Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics, vol. 4, 2004, No. 2. pp. 189-197.

GÁZÁRAMLÁS RENDKÍVÜL KIS PERMEABILITÁSÚ FORMÁCIÓKBAN

GAS FLOW IN LOW PERMEABILITY RESERVOIRS

JOBBIK Anita

tudományos főmunkatárs
Miskolci Egyetem Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet
MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport
jobbik@afki.hu

Kivonat: A rendkívül kis permeabilitás a tárolókőzetek pórusszerkezetének következménye, ugyanis ezekben a kőzetekben a pórustér túlnyomó többségét mikró, sőt nanoméretű póruscsatornák alkotják, azaz az átlagos pórusugár néhány nanométertől néhány mikrométerig terjed. E rendkívül finom pórusszerkezet okán a kialakuló áramlás leírására már csak korlátozottan alkalmas a Darcy-törvény. Az előadásban bemutatásra kerülnek a gáz áramlását meghatározó, legfontosabb paraméterek.

Kulcsszavak: nanoméretű pórus, Knudsen-szám, gázáramlás

Abstract: The extremely low permeability mainly depends on the pore structure of reservoir rock, these pore size of many shale and tight gas reservoirs are range of micro- and nanometers. The ultrafine pore structure of these rocks can cause violation of the basic assumption behind Darcy's law. This article presents the most determinative parameters of the gas flow regime.

Keywords: nano pores, Knudsen-number, gas flow

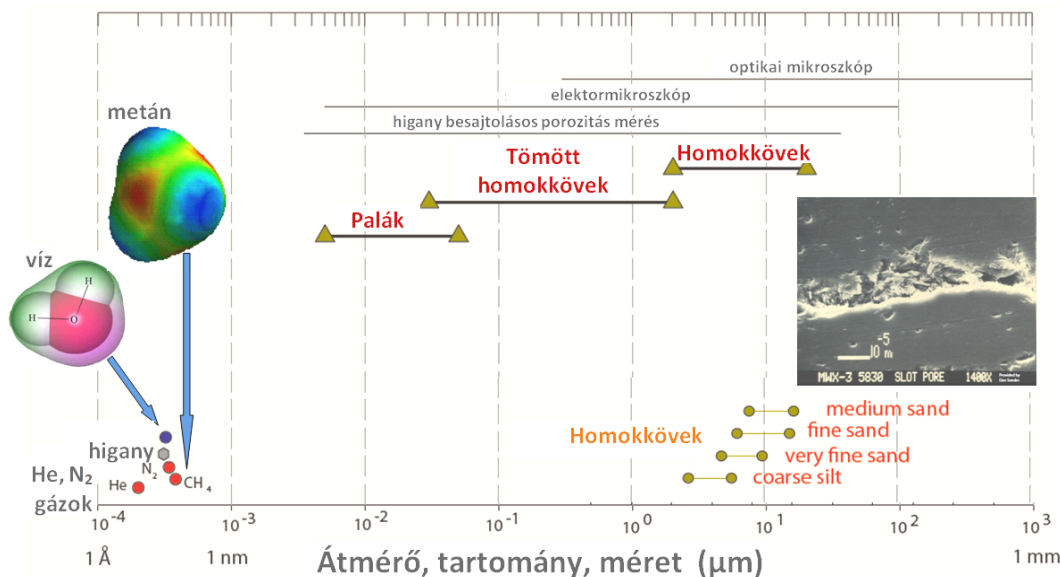
1. BEVEZETÉS

A rendkívül kis permeabilitású formációkból történő földgáz világviszonylatú termelésének növekedése magával hozta a tömött homokkőekben (tight gas), illetve palákban (shale gas) kialakuló gázáramlás leírásának tudományos értékű vizsgálatának igényét [1,2,3,4]. E tároló típusokat általában rendkívül kis gázpermeabilitás jellemzi, melynek értékei tight tárolóknál $k_g < 0.1$ mD, illetve shale tárolóknál $k_g < 0.01$ mD nagyságrendbe esnek (míg a hagyományos szénhidrogén tárolók 100 mD-s nagyságrendű áteresztőképességekkel bírnak).

A rendkívül kis áteresztőképesség a tárolókőzetek pórusszerkezetének a következménye. A fluidumok áramlását lehetővé tevő ún. effektív pórussteret, túlnyomó részben mikró, illetve nanoméretű (üregek) pórusok alkotják, így a kőzetek jellemzésére is használt *átlagos pórusugár* (r_{avg}) értéke a néhány nanométertől (10^{-9} m) a néhány mikrométerig terjed (10^{-6} m) (1. ábra).

Elmondható, hogy az ilyen kis méretű pórusokban kialakuló áramlásokra már nem, vagy csak korlátozottan érvényes a hagyományos gázelfordulásoknál széleskörűen alkalmazott úgynevezett Darcy jellegű áramlási modell. Azaz nem, vagy csak részben érvényesek: a Darcy törvény, az általános gáztörvény, és a porózus kőzetekre felírt folytonossági „kontinuitási” egyenletek segítségével levezetett gázáramlásra jellemző összefüggések. A nano-méretű póruscsatornában lejátszódó áramlásokkal foglalkozó kutatók egyetértenek abban, hogy a nano-méretű póruscsatornában a Darcy jellegű áramláson kívül, szerepet kap az először Klinkenberg által megfigyelt siklásos áramlás (slip flow), azaz a diffúziós jellegű áramlás az úgynevezett Knudsen áramlás is.

Jelen tanulmányban szerző vizsgálja, hogy mely tulajdonságok, milyen mértékben és határok között befolyásolják a ki áteresztőképességű pórusrendszeren átáramló gáz áramlásának jellegét és mennyiségét.



1. ábra Mérettartományok [5]

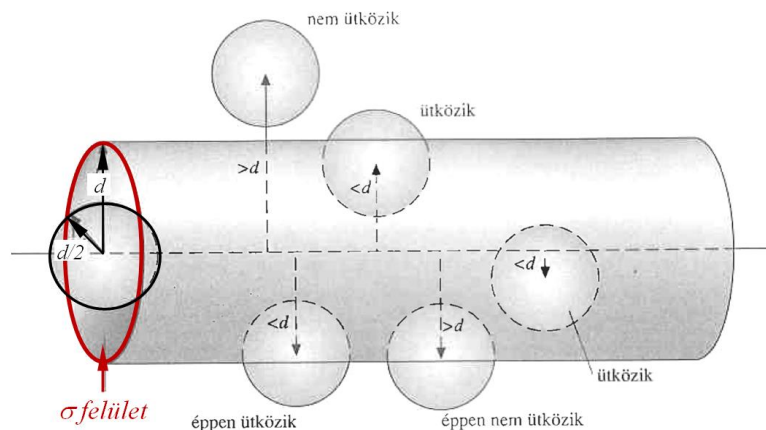
2. GÁZÁRAMLÁS ROSSZ ÁTERESZTŐKÉPESEGŰ TÁROLÓKBAN

2.1. Az anyagmodell

Az anyag állapotának leírására az egyik legeredményesebben és széleskörűen alkalmazható elmélete a kinetikus gázelmélet, mivel alkalmazásával a tökéletes gázok állapotegyenlete levezethető, valamint jó közelítéssel a gázok tulajdonságai, az energia- és anyagtranszportfolyamatok is leírhatók [6].

Az elmélet három kiindulási feltételre alapul:

- (1) A vizsgált gáz gömb alakú molekulákból áll, átmérőjük d , tömegük m és mozgásuk véletlenszerű.
- (2) A molekulák mérete elhanyagolható ahhoz a távolsághoz viszonyítva, melyet szabadon, ütközés nélkül tesznek meg.
- (3) A molekulák között egyetlen kölcsönhatás van, a tökéletesen rugalmas ütközés, amely akkor következik be, amikor a molekulák középpontjainak távolsága éppen d -vel egyenlő.



2. ábra Ütközési hatáskeresztmetszet és ütközési csatorna [6]

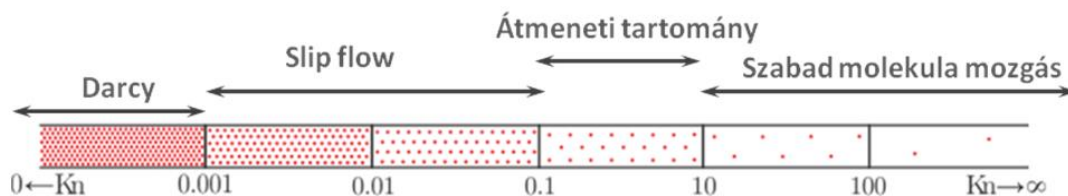
Az ütközések eredményeképpen a részecskék mozgásának iránya és sebességének nagysága állandóan változik. Definiálva a *közepes szabad úthosszat*, a λ -t mint azt az átlagos távolságot, melyet egy molekula két ütközés között megtesz a (2) feltétel matematikai formája a következő lesz: $d \ll \lambda$.

A gázokban lejátszódó történések időskáláját az *ütközési gyakoriság* (z) határozza meg, mely egyetlen molekula időegységre eső ütközéseinek számát adja meg. Két molekula akkor ütközik amikor középpontjaik egy d távolságnál közelebb kerülnek egymáshoz, A d -t *ütközési átmérőnek* nevezzük, és a molekulák átmérőjével azonos nagyságba esik (merev gömbök esetén d éppen egyenlő az átmérővel). Amennyiben egyetlen molekula mozgását figyeljük a rendszerben, akkor a részecske mozgásához hozzárendelhetünk egy ún. ütközési csatornát, melynek keresztmetszete $\sigma = \pi d^2$, melyet *ütközési hatáskeresztmetszetnek* nevezzük.

A nano-méretű pórusrendszerben kialakuló áramlás jellegének meghatározására az úgynevezett Knudsen-szám alkalmas, amely a molekula közepes szabad úthosszának és a vizsgált áramlási rendszer reprezentatív '*átmérőjének*' (porózus rendszerben a pórusátmérő) hányadosa:

$$K_n = \frac{\lambda}{H} \quad (1)$$

Amennyiben $K_n < 0.001$ akkor Darcy jellegű „síkítás” mentes áramlásról, amennyiben $0.001 < K_n < 0.1$ akkor síklásos, ún. Knudsen típusú diffúziós áramlásról beszélünk (3. ábra).



3. ábra Áramlási rendszerek [7]

A gáz *közepes szabad úthosszát* a az alábbi összefüggéssel határozhatjuk meg:

$$\lambda = \frac{k_B T}{\sqrt{2} \sigma p} \quad (2)$$

ahol:

- k_B a Boltzman állandó, $1.3805 \cdot 10^{-23}$ J/K;
- T a hőmérséklet, K;
- p nyomás, Pa;
- σ ütközési hatáskeresztmetszet, m^2 .

2.2. Anyagtranszport

Az anyagtranszport sebességét a J fluxussal (áramsűrűséggel) jellemezzük melynek mértékegysége $kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$. Egy fizikai mennyiség fluxusa arányos a rendszer egy vele kapcsolatban lévő állapotjelzőjének gradiensevel. Például adott irányban áramló anyag fluxusa arányos az anyag adott irányú koncentrációjának gradiensevel. Az arányossági tényezőt *diffúziós együtthatónak* nevezzük.

A kinetikus gázelmélet alapján a diffúziós együttható a *közepes szabad úthossz* és a *molekulák átlagsebességének* szorzatával arányos:

$$D = \frac{1}{3} \lambda \bar{c} \quad (3)$$

melyben

$$\bar{c} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \quad (4)$$

Megvizsgálva az összefüggéseket megállapíthatjuk, hogy

- a λ közepes szabad úthossz csökken a nyomás növekedésével, így nagyobb nyomásokon a D kisebb lesz, azaz a molekulák ekkor lassabban diffundálnak,
- a hőmérséklet növekedése viszont gyorsítja a diffúziót,
- a közepes szabad úthossz csökken az ütközési átmérő növekedésével, vagyis a kisebb molekulák diffúziós együtthatója nagyobb mint a nagyobbaké.

A porózus közetre vonatkozó Knudsen féle diffúziós állandót $D_{K,pm}$ a porózus közet igen komplex szerkezete miatt mérésel célszerű meghatározni, mérés hiányában az alábbi összefüggéssel becsülhetjük

$$D_{K,pm} = \frac{\phi}{\tau} D \quad (5)$$

ahol:

ϕ a közet porozitása, -;

τ a porózus közet tekervényessége, vagy tortuozitása, -.

A nano-méretű pórusokban kialakuló kombinált áramlás, azaz a nyomáskülönbség és a Knudsen típusú diffúzió eredményeképpen létrejövő gázáramlás teljes tömegáram fluxusát \mathbf{J} az alábbi összefüggéssel írhatjuk fel

$$\mathbf{J} = \mathbf{J}_D + \mathbf{J}_a \quad (6)$$

$$\mathbf{J} = D_K \frac{M}{RT} \frac{\Delta p}{L} + F \frac{\rho_{avg} r^2}{8\mu} \frac{\Delta p}{L} = \left(\frac{2r}{3} \frac{M}{RT} \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} + F \frac{\rho_{avg} r^2}{8\mu} \right) \frac{\Delta p}{L} \quad (7)$$

ahol:

\mathbf{J} a teljes gázáramlás tömeg fluxusa, kg/(s m²);

\mathbf{J}_a a nyomáskülönbség vezérelte gáz tömegáram fluxusa, kg/(s m²);

\mathbf{J}_D Knudsen diffúzió tömegáramának fluxusa, kg/(s m²);

r a pórus sugara, m;

F dimenzió nélküli paraméter a siklás figyelembevételére;

μ a gáz viszkozitása, Pa.s

A az áramlás irányára merőleges közetfelület, m²;

M az áramló, illetve diffundáló gáz molekulatömege, kg/kmol;

D_K az úgynevezett Knudsen diffúziós állandó, m²/s;

L az áramlás hossza, m;

R az univerzális gázállandó, 8.314 kJ/(kmol K);

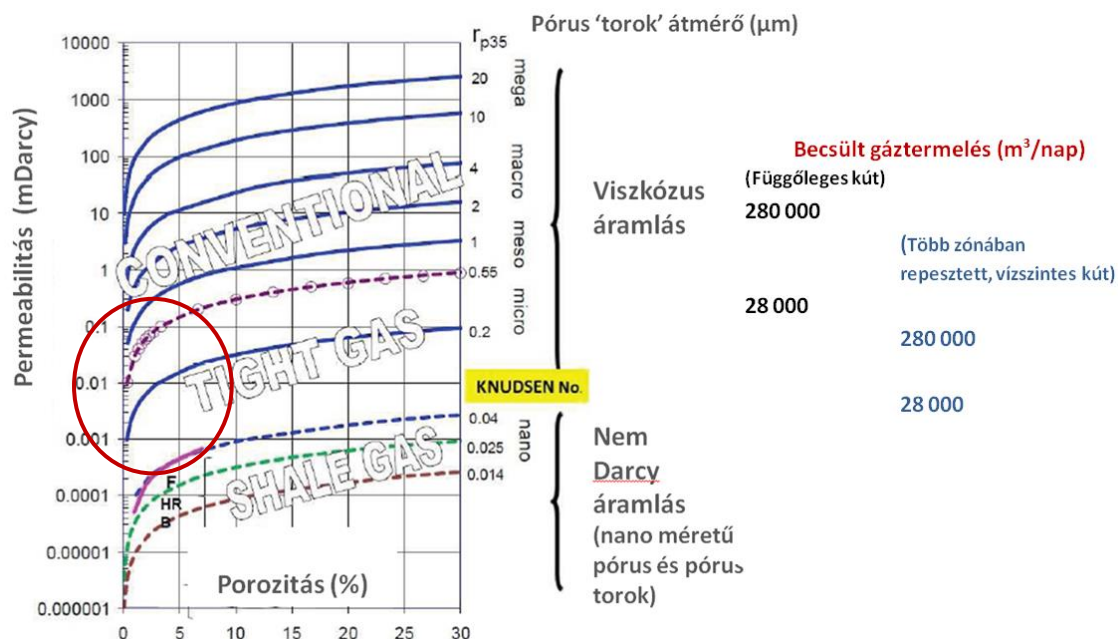
- T az áramlás átlaghőmérséklete, K.
 ρ_{avg} a póruscatornában áramló gáz átlagos sűrűsége $\rho_{avg}=(\rho_1+\rho_2)/2$ az áramlás átlagnyomásán $p_{avg}=(p_1+p_2)/2$, kg/m³;
 Δp a póruscatorna két végének nyomáskülönbsége $\Delta p=p_1-p_2$, Pa;

A (7) összefüggést vizsgálva látható, hogy a fluxus lineáris rendszerű, alapvetően nanoméretű pórusok közötti gázáramlás jellemzésére alkalmas, így az összefüggés kiterjesztése nagyságrendekkel nagyobb dimenziókba, félrevezető kitermelhető gázmennyiségek prognosztizálásához vezethet.

2.3. A transzportmodell alkalmazhatósága

A póruster geometriája (pórusméret-eloszlás, áteresztőképesség, tortuozitás stb.) alapvetően határozza meg a rendszerben kialakuló gázáramlás típusát. Jól jellemezhető a póruster szerkezete a következőkkel: pórusméret-eloszlás görbe, az átlagos pórussugár, a leggyakoribb pórussugár ill. egy 'jellemző' pórussugár (r_{p35}).

Az alábbi (4 ábra) jól szemlélteti a porozitás és permeabilitás függvényében, a különböző r_{p35} értékekhez tartozó kőzetek tartományait, a hagyományos szénhidrogén tárolóktól a legtömörebb ún. shale tárolókig. Az ábrán szerző feltüntette az áramlási rendszereket, továbbá szakirodalmi adatok alapján a becsült gáztermelés értékeit, függőleges hagyományos kútkiképzés illetve többszörösen repesztett vízszintes kútszerkezet kialakításával.



4. ábra Poro-perm diagram, pórusátmérő és az áramlási rendszerek kapcsolata [8]

Fontos hangsúlyozni, hogy a rendkívül kis áteresztőképességű tárolók esetén a gazdaságos termelés csak rétegrepszés(ek) alkalmazásával lehetséges.

Szerző számításokat végzett a ME AFKI-ban korábban a nem-konvencionális kutatásokhoz kapcsolódóan rendelkezésre álló magminták petrofizikai eredményeinek felhasználásával. A minták 3000 métert meghaladó mélységből származtak, eltérő litológiájú, de általában kis vagy egészen ki porozitással (<5%) valamint kis áteresztőképességgel

(<0,1mD) rendelkeztek (jelölve a 4. ábrán).

Annak ellenére, hogy tároló-tulajdonságaik alapján a vizsgált minták abba a tartományba estek, amelynél már az 4. ábra alapján figyelembe kell venni a diffúzió hatását, a fentebb bemutatott paraméterek meghatározásánál, problémát okozott, hogy a hazai tárolók extrém hőmérsékleti- és nyomás viszonyai (UHPHT, ultra magas nyomású és hőmérsékletű) között számított *közepes szabad úthossz* értékek számos esetben kisebb értéket adtak, mint a molekula átmérője, ami a modell alkalmazhatóságának határát jelzi.

Javadpour és társai [1] szerint a nano-méretű pórusokban a gázmolekulák egyrészt a pórus közepén, másrészt a pórus falán adszorbeálódva helyezkednek el. Amennyiben a pórus fala kerogént is tartalmaz akkor a gázmolekulák a kerogénben diszpergálódva is előfordulhatnak.

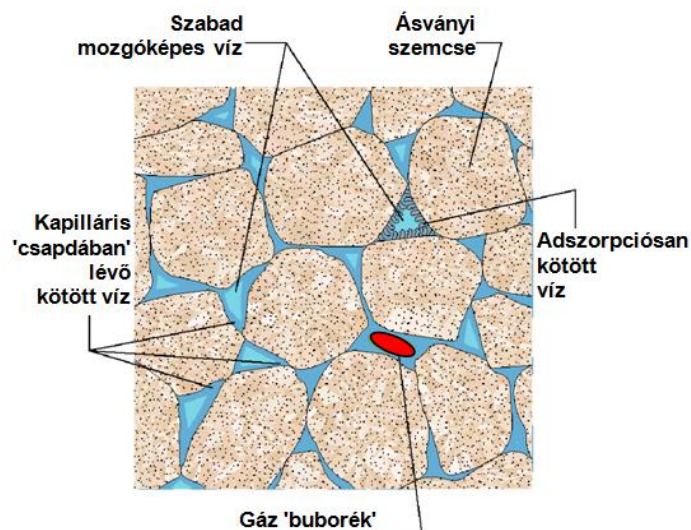
Az áramlás során, a pórus közepén elhelyezkedő gázmolekulák a pórus méretétől, a gázáramlás átlagnyomásán és hőmérsékletén a gázra jellemző közepes szabad úthossztól függően vagy a nyomáskülönbség vezérelte kontinuum jelleggel, azaz siklás nélkül „Darcy” jellegű áramlással mozognak, vagy bekövetkezik az úgynevezett siklásos „Knudsen” típusú diffúziós áramlás, amikor a gázmolekulák előrehaladását a nyomáskülönbségen kívül a koncentráció különbség okozta diffúzió is befolyásolja. Amennyiben a nano-méretű pórus belsejében a gáz nyomása lecsökken, ami együtt jár a gáz koncentrációjának lecsökkenésével is, akkor megindul a pórus falán adszorbeálódott gázmolekulák deszorpciója is.

A fluxus (7 összefüggés) két komponensének arányáról elmondható, hogy a hazai olajipari hasznosíthatóság szempontjából azok a kőzettípusok tarthatnak számot érdeklődésre, amelyekben a nyomáskülönbség a gázáramlás meghatározó hatóereje.

Az UHTHP rendszerek 1000 bar-t megközelítő vagy meg is haladó körülményei ugyanis egyrészt lassítják a diffúziót, másrészt a rétegrepeztségi technológia sikeres alkalmazhatóságának határát is feszegetik.

Hazai viszonylatban, a fentebb bemutatott modell alkalmazása során nem tekinthetünk el attól, hogy a nem-hagyományos tárolók nem csak földgáz telítettséggel, hanem többkevesebb, sőt néhol jelentős víztelítettséggel rendelkeznek.

A két fluidum egyidejű jelenléte kihat a rendszer gázra vonatkozó áteresztőképességére. A kőzet effektív porozitása a pórustér azon térfogatrészének viszonya a teljes kőzettérfogathoz, mely csak az egymással összeköttetésben lévő, a gáz és a folyadékok szabad áramlását biztosító pórusteret valamint a kapilláris erők által a pórus falához 'kötött' folyadékterét tartalmazza.



5. ábra Poro-perm diagram, pórusátmérő és az áramlási rendszerek kapcsolata

Mindkét térfogat magában foglalja viszont az ún. adszorpciósan kötött vizet (5. ábra), mely lyukgeofizikai módszerekkel meghatározható és semmilyen körülmények között nem mozgékony. A legtöbb porózus anyagnál korreláció létezik a tapadóvíz telítettség és az áteresztőképesség között, mivel mindkét mennyiség a pórusméret-eloszlással függ össze.

Az effektív és az ún. relatív áteresztőképesség fogalmának bevezetése abból a felismerésből ered, hogy az egymással nem elegyedő folyadékok (gáz-víz) porózus közegbeli áramlása egymástól független. Az adott fázisra vonatkozóan az áteresztőképességet az határozza meg, hogy a pórusokat a kérdéses folyadék hány százalékban foglalja el, vagyis a fázisra vonatkozó telítettségtől függ. A gyakorlatban minden tárolóközet egyedi gázra vonatkozó effektív és relatív áteresztőképességgel rendelkezik.

ÖSSZEFOGLALÁS

A rendkívül kis permeabilitás a tárolóközetek pórusszerkezetének következménye, ugyanis ezekben a közetekben a pórustér túlnyomó többségét mikro, sőt nanoméretű póruscsatornák alkotják, azaz az átlagos pórusugár néhány nanométertől néhány mikrométerig terjed.

Elmondható, hogy az ilyen méretű póruscsatornában lejátszódó áramlásokra már nem, vagy csak korlátozottan érvényes a széleskörűen alkalmazott Darcy jellegű áramlási modell.

A bemutatott összetett áramlási modell, (nyomás- és diffúzió vezérelte anyag-fluxus) alkalmazhatósága a hazai UHTHP körülmények közötti tárolók esetén korlátokba ütközhet.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **F. JAVADPOUR, D. FISHER, M. UNSWORTH:** *Nanoscale gas flow in shale gas sediments* Journal of Canadian Petroleum Technology, 2007, Volume 46, No. 10.
- [2] **F. JAVADPOUR:** *Nanopores and apparent permeability of gas flow in mudrocks (shales and siltstone)* Journal of Canadian Petroleum Technology, August 2009, Volume 48, No. 8.
- [3] **F. CHIVAN C. S. RAI, C. H. SONDERGELD:** *Shale gas permeability and diffusivity inferred by improved formulation of relevant retention and transport mechanisms.* Transport Porous Media (2011) 86-925-944 DOI 10.1007/s11242-010-9665-x. Published online:14 October 2010 Springer Science+ Business Media B.V. 2010
- [4] **T. ERTEKIN, G. R. KING, F. C. SCHWERER:** *Dynamic gas slippage: A unique dual-mechanism approach to the flow of gas in tight formation* SPE: Formation Evaluation 1986.
- [5] **PH. H. NELSON:** *It's a small world after all – The pore throat size spectrum*, AAPG . presentation Denver 2009.
- [6] **P.W. ATKINS:** *Fizikai Kémia Tankönyvkiadó*, Budapest 1992.
- [7] **B. FÁBIÁN, M. HARANGOZÓ:** *Áramlásos módszerek a pórusos anyagok jellemzésére*, BME Oktatási anyag 2013
- [8] **R. AGUILERA:** *Flow Units: From Conventional to tight-gas to shale-gas to tight-oil to shale-oil reservoirs*, SPE Reservoir Evaluation & Engineering, 2014.

ÜZEMANYAGCELLA ALKALMAZÁSA A REPÜLÉSBEN

APPLICATION OF FUEL CELLS IN AVIATION

KAVAS László¹, ÓVÁRI Gyula², ROZOVICSNÉ FEHÉR Krisztina³

¹alezredes, egyetemi docens, kavas.laszlo@uni-nke.hu

²egyetemi tanár, ovari.gyula@uni-nke.hu

³mérnök-tanár, doktorandusz, rozovicsne.feher.krisztina@uni-nke.hu

^{1,2,3}Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar,
Katonai Repülő Intézet, Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék
H-5008 Szolnok, Pf. 1.

Kivonat: A jelenlegi közlekedési eszközök (köztük a légi járművek) számának, alkalmazásuk gyakoriságának növekedése az általuk okozott környezetszennyezést is fokozza. Eközben a kitermelhető, fosszilis eredetű energiahordozók mennyisége csökken, ami árak – az esetenkénti politikai és/vagy spekulatív szándékú beavatkozások okozta ingadozása ellenére is – hosszabb időtartamra megbízhatóan prognosztizálható, folyamatos emelkedését eredményezi. Széles körben kezdődtek vizsgálatok a repüléstudományban annak tisztázására, milyen eszközökkel lehetne csökkenteni a hajtóművek üzemanyag felhasználását, károsanyag kibocsátását, illetve hogyan illeszthetők hozzájuk az alternatív hajtóanyagok. Az évtizedek óta zajló kutatások eredményei azt bizonyítják, hogy adódnak lehetőségek a repülésben alkalmazott kerozin és benzín részleges, vagy teljes kiváltására, többek között az üzemanyagcellák is ilyen megoldást kínálnak.

A cikkben bemutatjuk az üzemanyagcellák történetét, fajtáit, működését, továbbá azon repülőgépek közül néhányat, amelyek meghajtásukhoz ezeket használják. Áttekintjük, miért előnyös ez a hajtásmód más megoldásokhoz képest – legyen az hagyományos vagy alternatív – milyen hátrányai vannak, és mennyi károsanyag kerül alkalmazásuk nyomán a környezetbe.

Kulcsszavak: üzemanyagcella, repülés, alternatív üzemanyag

Abstract: The high number and the very intense use of the means of transport (including aerial vehicles) increases the related environmental pollution. Meanwhile the amount of available fossil energy sources drops, their price, despite the occasional price fluctuation caused by sometimes political or speculative interventions, well predictable for a long run continuously increases. Wide range of initiations have started in aviation science about the possible methods and devices which would help to decrease the fuel consumption and the harmful emission of the aircraft engines meanwhile there are efforts to find new alternative energy sources in aviation. The results of decades-long researches prove that it is possible to redeem wholly or partly the kerosene and gasoline in aviation transport. Most of them the fuel cells can offer such a solution.

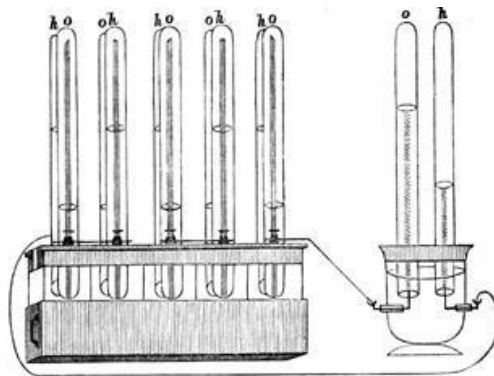
In this paper we show the history, the types, the working principle of fuel cells, furthermore some aircraft which are driven by this solution. We review why this power source beneficial comparing to other methods either traditional alternative, what are their disadvantages and how much harmful pollution is emitted by them into the environment.

Keywords: fuel cell, aviation, alternative fuel

1. AZ ÜZEMANYAGCELLA

1.1. Az üzemanyagcella története

1839-ben Sir William Robert Grove egy olyan berendezést alkotott, melyben két platina elektródát helyezett kénsavba, majd ennek két oldalára hidrogén és oxigén gázzal töltött tartályokat kötött (1. ábra). Ezzel tulajdonképpen létrehozta az első hidrogén üzemanyagcellát, amelyet „gas battery”-nek neveztek el.



1. ábra Grove által készített kísérleti üzemanyagcella rajza [1]

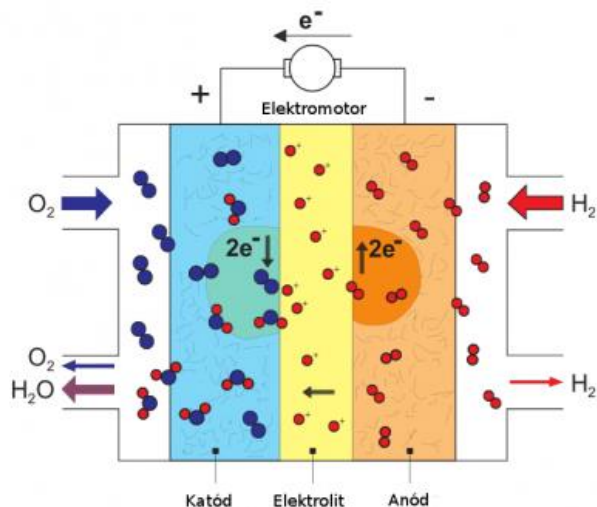
1889-ben Ludwig Mond és Charles Langer megalkották az ún. Mond-eljárást, mellyel nikkelt-tetrakarbonil hőbontásával állítottak elő nagy tisztaságú nikkelt. Emellett elsők voltak, akik Grove által létrehozott berendezés szerkezetét tovább finomítva új generációs üzemanyagcellákat hoztak létre [2].

1893-ban Friedrich Wilhelm Ostwald, a kémiai-fizika megalkotójának tekintünk, - elemezve a „gas battery”-ben lejátszódó fizikai és kémiai reakciókat - kísérleti úton meghatározta az üzemanyagcella részeit: elektródok, elektrolit, oxidáló-redukáló összetevők, anionok, kationok. E vizsgálatok voltak a további kutatások alapjai [2].

1933-ban Thomas Francis Bacon brit mérnök létrehozta az első olyan gyakorlati használhatóságú üzemanyagcellát, amelyet hidrogén és oxigén táplált. 1958-ban pedig bemutatta a lúgos üzemanyagcelláját is. Költséges előállítás ellenére is felkeltette a Pratt&Whitney vállalat, valamint a NASA az érdeklődését, így bevették a Gemini, majd az Apollo programba azért, hogy az elektromosság mellett ivóvízzel is ellássa az űrhajósokat [2].

1.2. Az üzemanyagcella felépítése és tulajdonságai

Az üzemanyagcellákban fordított elektrolízis játszódik le, vagyis kémiai energiából elektromos áramot hoz létre egészen addig, amíg táplálásukhoz szükséges alapanyagok rendelkezésére állnak. Részeit tekintve két elektródából (anód, katód) őket körbevevő elektrolitból és katalizátorból tevődik össze, amely az üzemanyagot elektronokra és protonokra bontja, mindeközben villamos áram és hő termelődik (2. ábra) [32].



2. ábra Üzemanyagcella felépítése [3]

Egy átlagos üzemanyagcella teljes terhelés esetén 0,6–0,7 V közötti feszültséget képes előállítani, többet együttesen alkalmazva nagyobb feszültség is elérhető. Hatásfokuk 40÷60%-os, de a termelődő hőt is hasznosítva ez elérheti a 85%-ot is, így jóval hatékonyabbak a belsőégésű motoroknál, melyeknél ez az érték ~25% [4][5].

E technológia alkalmazásakor károsanyag nem keletkezik, így környezetbarátnak tekinthető, amennyiben alkotó elemeinek előállításakor sem történik környezetszennyezés. Repülőgépnél hasznosítva viszont figyelembe kell venni, hogy hidrogént felhasználva fokozott mennyiségű vízgőz kerül a sztratoszférába, ami növeli az üvegházhatást.

Kedvező, hogy – hagyományos akkumulátorokhoz képest – tömegük és geometriai méretük kisebb, nincs mozgó alkatrészük, gravitációs hatásokra, kozmikus sugárzásokra, hőingadozásra kevésbé érzékenyek [4].

1.3. Az üzemanyagcella típusai

Üzemanyagcelláknak több változata ismeretes (1. táblázat), melyeket rendszerint az alábbi jellemzőik alapján csoportosíthatják:

- elektrolitjuk fajtája;
- működési hőmérsékletük;
- üzemanyaguk típusa [6].

Üzemanyagcella típusa	Elektrolit fajtája	Működési hőmérséklet	Elektromos hatásfok	Üzemanyag	Felhasználási terület
AFC alkáli elektrolitos cella	30% kálium-hidroxid oldat, gél	80 °C	elméleti: 70% gyakorlati: 62%	- tiszta H ₂ - O ₂	- járműipar - hadiipar
PEMFC membránú cella	protonáteresztő membrán	80 °C	elméleti: 68% gyakorlati: 50%	- tiszta H ₂ - O ₂ - levegő	- blokkfűtő erőmű - járműipar - hadiipar
DMFC direkt metanol membrán	protonáteresztő membrán	80÷130 °C	elméleti: 30% gyakorlati: 26%	- metanol, - O ₂ - levegő	- mobiltelefon - laptop, stb. - áramforrása
PAFC foszforsavas cella	tömény foszforsav	200 °C	elméleti: 65% gyakorlati: 60%	- tiszta H ₂ - O ₂ - levegő	- blokkfűtő erőmű - áramforrás
MCFC alkáli-karbonátsó cella	lítium-karbonát, kálium-karbonát	650 °C	elméleti: 65% gyakorlati: 62%	- H ₂ - földgáz - széngáz - biogáz - levegő - O ₂	- gőzturbinás, kétlépcsős blokkfűtő erőmű - áramforrás
SOFC oxidkerámia cella	yttrium-cirkon oxidkerámia	800 °C- 1000 °C	elméleti: 65% gyakorlati: 62%	- H ₂ - földgáz - széngáz - biogáz - levegő - O ₂	- gőzturbinás, kétlépcsős blokkfűtő erőmű - áramforrás

1. táblázat Különböző fajtájú üzemanyagcellák műszaki jellemzői [4]

1.4. Hidrogén tüzelőanyagú üzemanyagcella

Az üzemanyagcelláknál legelterjedtebb üzemanyag a hidrogén, amely a reakciója végén az oxigénnel egyesülve vízzé alakul, így a folyamat végeredményeként a károsanyag kibocsátás

zérusnak tekinthető. E gáz előállítására több módszer is kínálkozik: vízbontás (pl. napenergiával, napelemek segítségével), földgázból vagy szintézisgázból, de a legolcsóbb módja a gőzreformálás. Ennek lényege, hogy magas hőmérsékleten, több lépcsőben, a vízgőzt metánnal reagáltatva, a reakció végén H_2 -t nyerhető ki [5].

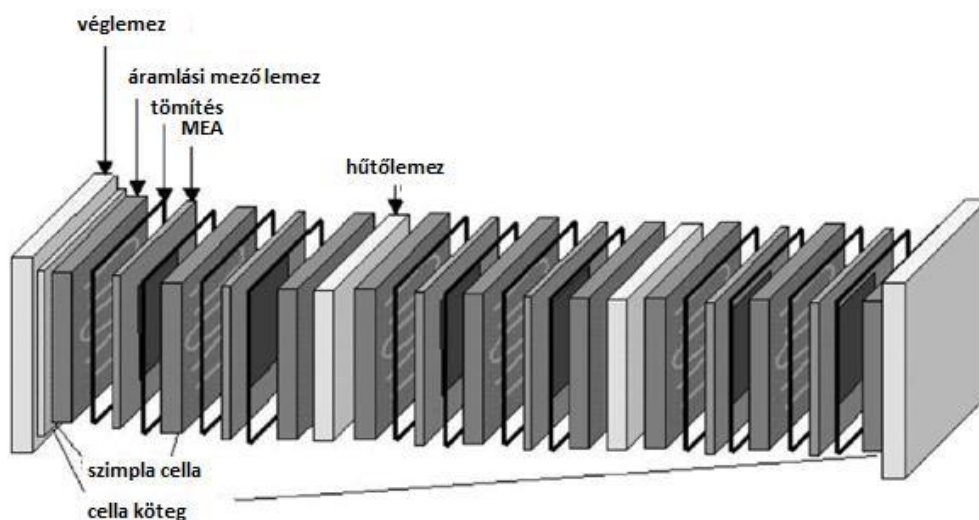
Elterjedésének korlátot szab a drága alapanyag előállítás, az egyelőre még nem kiépített tárolási, szállítási infrastruktúra. Repülőgépeknél, cseppfolyósított állapotban felhasználva elhelyezésük – ellentétben a hagyományos üzemanyaggal – a vastag hőszigetelés és/vagy magas üzemi nyomás miatt a szárnyban nem, csak a törzsben lehetséges, így növelve annak a térfogatát. Ennek viszont nagyobb szerkezeti tömeg és megnövekedett súrlódási valamint homlok ellenállás is következménye. Mivel a hidrogén energiasűrűsége kisebb a kerozinnál, így ehhez képest közel négyszeres tárolási térfogatot igényel.

A repülésben két üzemanyagcella típus terjedt el: az ún. PEMFC (proton áteresztő membránú) és a DMFC (direkt metanolos, ami Oláh György nevéhez fűződik).

1.4.1. PEM üzemanyagcella működése

A PEM üzemanyagcellát eredetileg a NASA Gemini programjához fejlesztették ki. Azóta természetesen sokat fejlődött a hatékonysága, elektromos teljesítménye nőtt, működésekor kevesebb hulladék hő keletkezik. Hatásfoka, a jelenlegi alacsony működési hőmérséklete emelésével tovább növelhető. Viszonylag gyorsan üzembe helyezhető, nem érzékeny a hőingadozásra, nincs mozgó alkatrésze, gyorsan reagál a változó terhelésre, csendes működésű, nagy teljesítménysűrűségű [7][8].

A PEM üzemanyagcella a következő három részből áll: MEA (membrane electrode assembly – membrán elektróda készülék), tömítések, kétpólusú lemez. A membrán elválasztja egymástól a befejezetlen oxidációs és redukációs folyamatokat, a rajta áthaladó protonok fejezik be a teljes reakciót, arra kényszerítik az elektronokat, hogy az anód oldalán „folyjanak” tovább, így táplálva a külső áramkört. A 2–2 katalizátor és diffúziós réteg közül az előbbi feladata, hogy stimulálja a befejezetlen kémiai reakciókat, míg az utóbbi közvetlen hozzáférést biztosít a diffúzor rétegekhez az üzemanyagnak és az oxidálószernek [8].

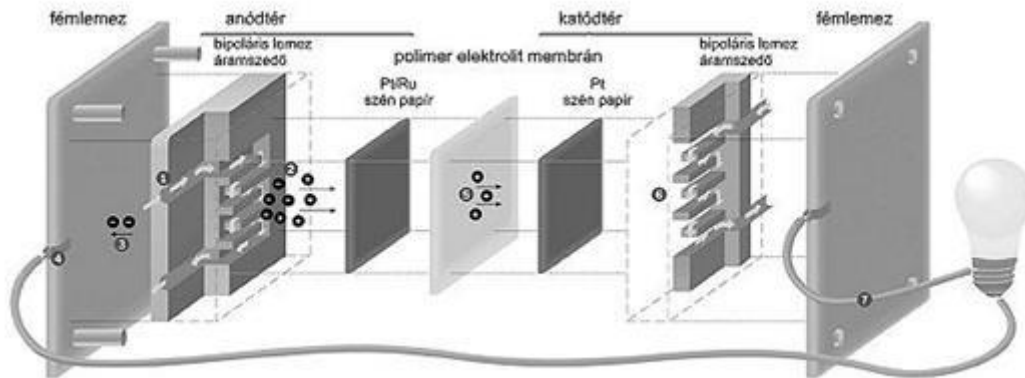


3. ábra PEM üzemanyagcella felépítése [8]

A 16 különféle alapanyagú membránból, a két fajta diffúziós rétegből illetve 100 különböző kétpólusú lemezből több típusú PEM üzemanyagcella is létrehozható [8].

1.4.2. DM üzemanyagcella működése

Működéséhez (4. ábra) szükség van folyékony szerves elektrolit oldatra (rendszerint metanol), illetve az oxidációhoz levegő vagy oxigén szükséges, melynek során elektromos áramot, hőt, szén-dioxidot és vizet termel. A többihez képest ennek az üzemanyagcellának csökkenthető legjobban a mérete.



4. ábra DM üzemanyagcella felépítése [9]

Oláh György és Surya Prakash kutatásaik során megfigyelték, hogy a DMFC-ben lejátszódó folyamatok megfordíthatók, így metil-alkohol vagy belőle származó vegyület nyerhető ki szén-dioxid vizes közegébe elektromos áramot betáplálásával. Ez utóbbi a regeneratív vagy fordított üzemanyagcella. Előnye, hogy ebben az üzemmódban az elektromos energia reverzibilis tárolóként működik, hatékonyabban, mint az akkumulátorok. További előnye, hogy csökkenthető vele a levegőben lévő szén-dioxid mennyisége is [6].

Energiasűrűsége nagy, a hidrogénnel szemben a metanol tárolása és szállítása nem ütközik nehézségekbe. A PEM üzemanyagcellához hasonlóan ennek középső zónájában is proton áteresztő membránt (MEA) helyeznek el.

2. AZ ÜZEMANYAGCELLÁK REPÜLŐGÉPEKBEN TÖRTÉNŐ ALKALMAZÁSA

Már az előző évszázad óta folyamatos az üzemanyagcellák fejlesztése űrhajók, légi- és gépjárművek energiaforrásaként. Ilyeneket jelenleg, az alábbi pilóta által vezetett, illetve pilóta nélküli repülőgépekben használnak önállóan, vagy hibrid rendszerbe kapcsolva:

- Antares repülőgépcsalád;
- Diamond HK36 Super Dimona;
- HY4;
- Rapid-200;
- Ion Tiger UAV;
- Helios;
- Hyfish;
- Puma AE.

A tovább alfejezetekben a fenti felsorolásban ezeket kívánjuk röviden bemutatni.

2.1. Az Antares repülőgépcsalád

A DLR-H2 repülőgépet (5. ábra) a Lange Aviation GmbH vállalat és a DLR (Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt) német lég- és űrügyi központ hozta létre. 2008 szeptemberében mutatták be, majd 2009 áprilisában – akkor még csak a fel- és leszállásához működtetve üzemanyagcelláit – repült először.

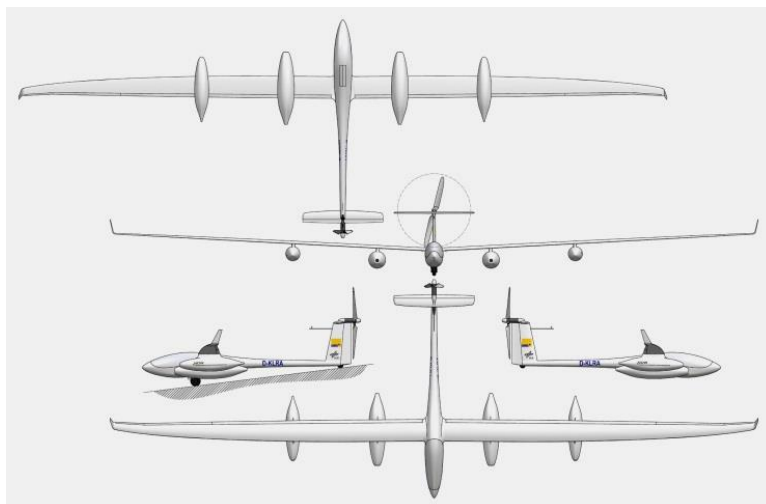
Energiaforrásként hidrogén tüzelőanyagú üzemanyagcellát (tömege ~60 kg) és lítium-ion akkumulátorokat használtak, melyeket a H₂ tárolásra alkalmas tartállyal együtt a szárny alatt helyeztek el. A két különböző energiaforrás külön-külön és együttesen, hibrid üzemmódban is működhet. Üzemanyagcelláját Celtec néven a BASF vállalat gyártotta. Belső védelmet alakítottak ki benne a hidrogénben lévő szennyeződések kiszűrésére. Üzemeltetési feltételei kedvezőek, vízhűtést nem igényel. Kedvező aerodinamikai adottságai miatt is, energiafelhasználása alacsony.

Néhány jellemző technikai adat a repülőgépről: fesztáv: 20 m, szerkezeti tömeg: 672 kg, hasznos teher: 125 kg, motor teljesítmény: 38 kW, maximális vízszintes repülési sebessége: 160 km/h. Tervezett technikai üzemideje hosszú [10].



5. ábra Antares H2 repülőgép [11]

E fejlesztési program folytatását jelentő H3 projekt 2010 augusztusában indult (6. ábra). Az első repülésre 2011-ben került sor, 2012-re az Atlanti-óceán átszelését is tervezték.



6. ábra Antares H3 repülőgépről készült vázlatok [12]

A légi jármű repülési ideje legfeljebb 40 óra, amit 50 órára kívánnak növelni. Ennél, az elődjéhez képest már két üzemanyagcellás rendszert építettek ki, melyeket 4 db külső függesztésű gondolában helyeztek el az üzemanyaggal együtt. Energiaforrásként csak ezeket használja hagyományos, illetve pilóta nélküli (UAV) üzemmódban is. Szárnyának fesztávolsága 23 m, szerkezeti tömege 750 kg, a szállítható hasznos terhelése 200 kg, beépített motorjának teljesítménye 32 kW, maximális vízszintes repülő sebessége 200 km/h. A H2 és H3 repülőgépek alapjául a 20E repülőgép szolgált. Hibrid változata, 42 kW-os elektromos motorral és lítium-ionos akkumulátorokkal épül. Sorozatgyártása 2004-ben kezdődött [10].

2.2. Diamond HK36 Super Dimona

2003-ban indult a Boeing FCD (Fuel Cell Demonstrator) projekt célja, üzemanyagcellával működtetett repülőgép létrehozása volt, amely a BR&TE (Boeing Research and Technology Europe) vállalat közreműködésével 2008-ban levegőbe is emelkedett (7. ábra). A fejlesztés bázisa az osztrák Diamond Aircraft által gyártott, kétüléses 16,3 fesztávolságú motoros vitorlázó repülőgép volt. Hidrogén tüzelőanyagú PEM üzemanyagcella és lítium ionos akkumulátorok szolgált benne energiaforrássul. Csak tesztrepüléseket végeztek vele, illetve egy-két bemutatóra, kiállításra vitték el. Fel-, leszállásnál továbbá emelkedésnél, – amikor a legnagyobb az energia igény – akkumulátorait is használja. Egyik kísérleti repülés során 1000 m magasságba emelkedett hibrid rendszerével, majd csak üzemanyagcelláját igénybe véve 20 percet haladt vízszintes irányban 100 km/h-s sebességgel. A repülőgép maximális energia igénye 45 kW, amelynek fele az akkumulátorból, fele az üzemanyagcellából származik [13][32].



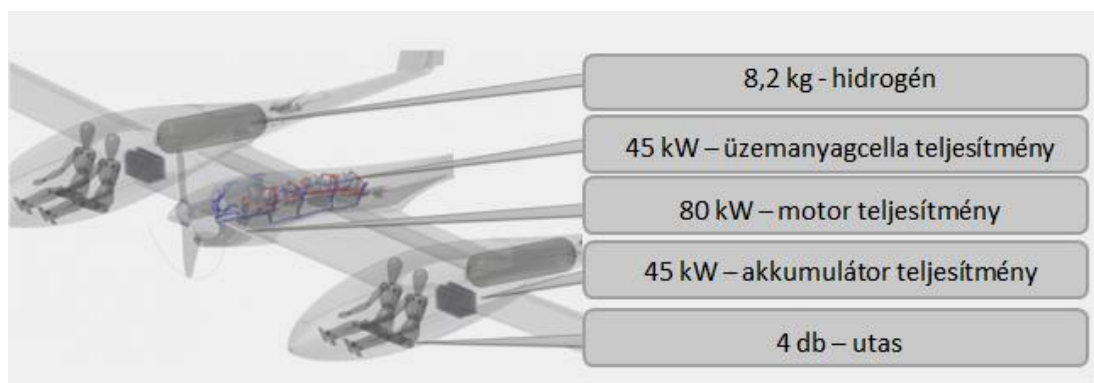
7. ábra Diamond HK36 [14]

2.3. HY4

Az első négyüléses, zero emissziójú, üzemanyagcellával működtetett repülőgépet is a DLR fejleszti. Az elődjének tekinthető a Taurus G4 – mely 2011-ben megnyerte a Green Flight Challenge-t – meghajtását újratervezték. A HY4-be 80 kW teljesítményű motort építettek. Felszállás és emelkedés közben lítium-ionos akkumulátorai is, az utazó magasságot elérve kizárólag hidrogént használó PEM üzemanyagcellái szolgáltatják az energiát. A tervek szerint 200 km/h maximális végsebességet és 145 km/h-s utazósebességet kívánnak vele elérni. Első levegőbe emelkedésére 2016 nyarán kerülhet sor. A kedvezőbb meghajtás és tömeg elosztása érdekében a repülőgép iker törzsű sárkánnyal épül. Tervek szerint nagyobb németországi városok között légi taxi hálózatban (Sky Taxi koncepció) kívánják üzemeltetni [15].

Technikai adatai:

- szárnyfesztávolság: 21,36 m;
- hossza: 7,4 m;
- szerkezeti tömege: 630 kg (üzemanyagcella és akkumulátorok nélkül);
- megengedett maximális felszálló tömeg: 1500 kg;
- hatótávolság: 750 és 1500 km között (időjárás függvényében változik);
- üzemanyagcella és akkumulátorok leadott teljesítménye: 45 kW + 45 kW [16].



8. ábra HY4 felépítése és technikai adatai [17]

Alapkövetelmény volt, hogy a felszálláshoz a hibrid meghajtásának maximális üzemmódon 3 percig kell stabilan működnie, amiből már jelenleg több mint 10 percre képes.

2.4. Rapid-200 FC

2006 októberében indították Torinóban a 3 éves ENFICA (Environmentally Friendly Inter City Aircraft)-FC programot. A 4,5 millió € költségű kutatások sorozatából álló projekt keretében kidolgozták, az üzemanyagcellát a repülésbe, fizikálisan pedig a repülőgépbe integrálásának lehetőségét. A fejlesztések olyan repülőeszköz megalkotására irányultak, amelyek a helyközi légi személyszállításban a csekély hang-kibocsátású üzemanyagcellás meghajtás miatt lehetővé tennék a városokon belüli le- és felszállást [18].



9. ábra Rapid-200 FC [20]

A konstrukció bázisául egy cseh gyártmányú ultrakönnnyű repülőgép szolgált, melybe egy 20 kW-os PEM üzemanyagcellából és egy szintén 20 kW-os lítium polimer akkumulátorból álló hibrid meghajtást építettek (9. ábra). Első 11 perces repülésére 2010. május 20-án került sor 700 láb (kb. 215 m) magasságot és 130 km/h sebességet elérve. Ezt követően május 26-án rekordot döntött 135 km/h-s sebességével a C osztályú repülőgépek között (4 egymást követő 3 km-es kört teljesítve). A Rapid-200 FC fesztávolsága ~10 m, szerkezeti tömege 550 kg, és közel egy órát képes a levegőben tartózkodni üzemanyagcellájának köszönhetően [19].

2.5. Ion Tiger

Az Amerikai Haditengerészet laboratóriumában fejlesztették ki ezt a hidrogén üzemanyagcellával működő UAV-t (10. ábra). Nehezebben deríthető fel, mint a hagyományos drónok, hiszen kevesebb szennyezőanyagot és zajt bocsát ki. Első repülésére 2009-ben került sor és 23 óra 17 percet töltött a levegőben. Rekordja 26 óra, amelyet ugyanebben az év novemberében ért el. Meghajtásához PEM típusú üzemanyagcellát használtak (kb. 1 kg tömegű), tüzelőanyagként először hidrogén gázzal volt feltöltve tartálya, de 2013-ban lényegesen sűrűbb kriogén hidrogénnel is kipróbálták. Szárnyfesztávolsága 5,18 m, motorjának teljesítménye 550 W, szerkezeti tömege 16,78 kg, maximális teherbírása 2,25 kg [21].



10. ábra Ion Tiger [21]

2.6. Helios HP03

1994-ben indította el a NASA az ERAST (Environmental Research Aircraft and Sensor Technology) programját. Ennek keretében olyan UAV-k kifejlesztése volt a cél, amelyek feladataik közé tartozik az időjárás adatgyűjtés is. Az eredmény az AeroVironment vállalat közreműködésével a Helios repülőgép lett (11. ábra). Elődjei a Pathfinder, Pathfinder Plus illetve a Centurion volt. Két prototípusa is elkészült Helios HP01 és HP03 néven (csak ez utóbbiban volt üzemanyagcella) [22][32].

A Helios először 1999-ben repült, de 2001-ben már repülési magasság csúcstól állított fel 29 524 méterre emelkedve. 6 részből álló flexibilis szárnyának fesztávolsága 75 m, amely felső felületét napelem¹ cellák borították, ebből nyerve a repüléséhez szükséges energiát nappal, illetve a hidrogént a tartályaiból oxigén az atmoszférából kinyerve üzemanyagcellájával éjszakai repülésekre is alkalmas volt. Az éppen fel nem használt energiát a lítium ionos akkumulátorok tárolták. A tervezők először egy elektrolizáló cellával látták el, amely előállította a hidrogént nappal (ami este vagy éjszaka került volna felhasználásra az üzemanyagcellában), de a nagy repülési magasságban uralkodó külső körülmények miatt (extrém hideg és alacsony nyomás) nem működött megfelelően. Ezért úgy döntöttek, hogy a repülőgép tartályokban szállítja magával a hidrogént. A 725 kg-os szerkezeti tömegű Helios HP03 utolsó repülésére 2003. június 26-án került sor, amikor is Hawaii partjaitól eltávolodva turbulenciába került, amely felfelé hajló szárnyvégeit megroppantotta, ezt követően a Csendes-óceánba zuhant [22][23][30][31][32].

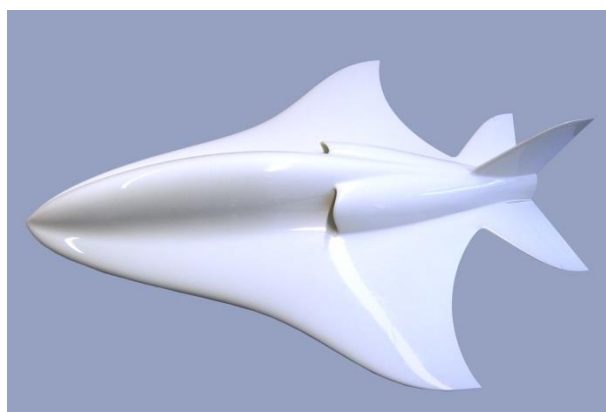
¹ Szegedi Péter: A maximális teljesítményű pont követésének lehetőségei napelemes rendszerekben 2. Repüléstudományi Közlemények 1997/1. p. 122. „A napelem egy fotoelektromos generátor, a Nap elektromágneses sugárzásának (fényének) energiáját közvetlenül elektromos energiává alakító félvezetőkből álló áramforrás. Egy-egy elem igen vékony, nagy tisztaságú egykristályos szilícium lap, (gallium-arszenid), amelynek két eltérő tulajdonságú rétege van. A két réteg között a napfény hatására elektromos feszültség keletkezik.”



11. ábra Helios HP03 [24]

2.7. HyFish

A halalak ihlette a DLR és a SmartFish vállalat UAV üzemmódú közös alkotását (12. ábra). Nehézséget jelentett a fejlesztés elején az 1,3 m hosszú, 1 m szárnyfeszítávolságú repülőgépbe a teljes üzemanyagcella rendszer – benne a 200 literes hidrogén tartályt – beépítése. További kihívás volt, az optimális súly-teljesítmény arány kialakítása úgy, hogy a szerkezet ellenálljon a mechanikai igénybevételeknek. 2007 márciusában emelkedett először a levegőbe Svájcban. Úttörőnek számít a gótikus szárny-kialakítása miatt. Üzemanyagcellával meghajtva ~200 km/h-s sebességet ért el [25][26].



12. ábra HyFish [27]

2.8. Puma AE

2008. március 7-én az AeroViroment által gyártott Puma SUAV (Small Unmanned Air Vehicle) rekordot döntött (13. ábra). 9 óra 11 percet töltött a levegőben a hibrid (lítium-ion akkumulátor és PEM üzemanyagcella) meghajtó rendszerének köszönhetően. Alacsony, 5,6 kg szerkezeti tömege, 2,6 m feszítávolsága valamint 25÷50 km/h-s repülési sebessége miatt kézből indítható. Feladatai közé tartozik a hírszerzés, felderítés, felügyelet, 30 és 150 m közötti magasságban képes repülni. Akkumulátorait felszálláskor illetve ütközést elkerülő manőverezéskor használja. A tesztrepüléseket követően szerződést kötött a vállalat az amerikai légierő kutató laboratóriumával, további fejlesztésekre [28][32].

„Plug and play” megoldásának köszönhetően a repülőgép energiaforrása további üzemanyagcellákkal vagy napelemekkel is bővíthető, a hosszabb levegőben tartózkodáshoz.



13. ábra Puma AE kézből indítása [29]

ÖSSZEGZÉS

Tapasztalatok szerint az üzemanyagcellákat egyelőre csak kisméretű repülőgépek és UAV-k meghajtásánál használják. Természetesen nagyobb utasszállító esetében is folyik a fejlesztés, de egyelőre csak segédhajtóművek energiaellátására, fedélzeti áramellátásra, légkondicionáló rendszerek működtetésére hasznosítják. A működésük közben keletkező többlet hőt fagymentesítésre, illetve kézmosóknál vízmelegítésre hasznosítják. Ilyen fejlesztést indított el a DLR és az Airbus közösen, létrehozva az Airbus A320-ATRA 20 kW teljesítményű üzemanyagcelláját, amely a segédhajtómű energiaellátásába, illetve vészhelyzetben, a három hidraulikus rendszer közül az egyik szivattyújának működtetésére hasznosul.

Az üzemanyagcellák károsanyag kibocsátását figyelembe véve környezetbarátnak tekinthetőek, ha a bennük üzemanyagként felhasználandó hidrogént fosszilis energiaforrások bevonása nélkül állítják elő. Légijárművekbe szerelve egy tisztább, csendesebb meghajtás lehetőségét demonstrálja, bár némileg drágítja előállítását, ha platina benne a katalizátor alapanyaga, hiszen e kémiai elem a természetben csak korlátozottan érhető el. Várhatóan az üzemanyagcellák fejlesztése a jövőben – új lehetőségeket is felkutatva – tovább folytatódik, ebből adódóan hatékonyabbak, kedvezőbb árúak és szélesebb körben hasznosíthatóak lesznek.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] *William Grove's drawing of an experimental "gas battery" from an 1843 letter.* <http://americanhistory.si.edu/fuelcells/origins/orig1.htm> (letöltve: 2016.04.13)
- [2] **ANDÚJAR, J. M., SEGURA, F.:** *Fuel Cells: History and Updating. A walk along two centuries.* *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 13 (2009), 2309-2322, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032109001336> (letöltve: 2015.10.08)

- [3] *hidrogencella.png*.
http://rblst.info/wiki/_detail/fenntarthato_kozlekedes:hidrogencella.png?id=fenntarthato_kozlekedes%3Atuezeroanyagcellak (letöltve: 2016.04.15)
- [4] *Üzemanyagcella*. Független Ökológiai Központ Alapítvány.
<http://www.foek.hu/korkep/enhat/uzemanyagcella/uzemanyagcella.html#tipus> (letöltve: 2014.12.02)
- [5] *Üzemanyagcella*. MyWiki.
http://rblst.info/wiki/fenntarthato_kozlekedes:tuezeroanyagcellak (letöltve: 2016.04.15)
- [6] **OLÁH, GY., ÁNISZFELD R.:** *Új generációjú üzemanyagcellák*. Magyar Tudomány. 12 (2002) 1564, <http://www.matud.iif.hu/02dec/olah.html> (letöltve: 2014.11.26)
- [7] **KLESIUS, M.:** *How Things Work: Flying Fuel Cell. Out of gas? Not a problem!* Air&Space Magazine. February 2009. <http://www.airspacemag.com/flight-today/how-things-work-flying-fuel-cells-47181830/?all&no-ist> (letöltve: 2015.10.08)
- [8] **MEHTA, V., SMITH COOPER, J.:** *Review and analysis of PEM fuel cell design and manufacturing*. Journal of Power Sources. 114 (2003), 32-53, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775302005426> (letöltve: 2016.04.18)
- [9] *A metanol vizes oldatával működő közvetlen oxidációjú üzemanyagcella sémája (DMFC)*. <http://epa.oszk.hu/00700/00775/00049/1564-1569.html> (letöltve: 2016.04.19)
- [10] *Entwicklung für die forschung – Forschung für die entwicklung*. Lange Aviation honlapja. <http://www.lange-aviation.com/de/produkte/andere-produkte/forschungsflugzeuge/> (letöltve: 2016.04.20)
- [11] *Antares H2*. Lange Aviation honlapja. <http://www.lange-aviation.com/service/galerie/> (letöltve: 2016.04.20)
- [12] *Antares_H3_3_Skizze_gross.jpg*. DLR honlapja.
http://www.dlr.de/en/Portaldata/1/Resources/standorte/stuttgart/Antares_H3_3_Skizze_gross.jpg (letöltve: 2016.04.25)
- [13] **KOEHLER, T.:** *A green machine*. Boeing honlapja. May 2008
http://www.boeing.com/news/frontiers/archive/2008/may/ts_sf04.pdf (letöltve: 2015.10.19)
- [14] **ADAMBRO:** *Boeing Fuel Cell Demonstrator AB1*. jpg.
https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen-powered_aircraft#/media/File:Boeing_Fuel_Cell_Demonstrator_AB1.JPG (letöltve: 2016.04.25)
- [15] **SIGLER, D.:** *G4 to HY4 – Swapping Batteries for Fuel Cells*. Sustainable Skies. 10/19/2015, <http://sustainableskies.org/g4-to-hy4-swapping-batteries-for-fuel-cells/> (letöltve: 2016.01.19)
- [16] *HY 4 – Zero-emission passenger flights*. DLR Portal. 26 November 2015., http://www.dlr.de/tt/en/desktopdefault.aspx/tabid-10743/19267_read-44808/ (letöltve: 2016.01.29)
- [17] *Technic facts*. H2FLY honlapja. <http://h2fly.de/wp-content/uploads/2015/12/technic-facts-1000x288.png> (letöltve: 2016.04.27)
- [18] *ENvironmentally Friendly Inter City Aircraft powered by Fuel Cells*. ENFICA-FC honlapja. <http://www.enfica-fc.polito.it/Presentation> (letöltve: 2016.04.27)
- [19] *World records for EU-funded fuel cell-powered aircraft*. European Commission Research & Innovation honlapja. 20/02/2012., http://ec.europa.eu/research/transport/projects/items/world_records_for_eu_funded_fuel_cell_powered_aircraft_en.htm (letöltve: 2016.04.18)

- [20] *ENFICA-FC Rapid 200FC*. EVHangar honlapja. <https://www.evhangar.com/aircraft/poc-aircraft/enfica-fc-rapid-200fc/> (letöltve: 2016.04.27)
- [21] *Ion Tiger UAV, United States of America*. Naval Technology honlapja. <http://www.naval-technology.com/projects/ion-tiger-uav/> (letöltve: 2016.04.19)
- [22] *NASA Helios*. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/NASA_Helios (letöltve: 2014.10.09)
- [23] *NASA's Helios HP-03 high-altitude drone and its fuel cell*. Catalytic Engineering honlap. April 3, 2015, <http://www.catalyticengineering.com/regenerative-pem-fuel-cell-and-high-altitude-drones/> (letöltve: 2016.04.29)
- [24] *Helios*. NASA honlapja. http://www.nasa.gov/centers/dryden/images/content/370752main_ED03-0152-32_3x4_946-710.jpg (letöltve: 2016.04.29)
- [25] *Erfolgreicher Erstflug des „HyFish”- ein Brennstoffzellen-Flugmodell geht in die Luft*. DLR Portal. 3. April 2007., http://www.dlr.de/desktopdefault.aspx/tabid-4550/127_read-8329/ (letöltve: 2016.04.28)
- [26] *Hyfish*. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Hyfish> (letöltve: 2016.04.29)
- [27] *Hyfish*. DLR honlapja. http://www.dlr.de/Portaldata/1/Resources/portal_news/newsarchiv2007/HyFish.jpg (letöltve: 2016.04.29)
- [28] **MCKEEGAN., M.:** *AeroVironment's hibrid fuel cell UAV sets flight record*. Gizmag. March 6., 2008., <http://www.gizmag.com/aerovironment-puma-hybrid-fuel-cell-uav-flight-record/8948/> (letöltve: 2016.05.02)
- [29] **POCOCK, C.:** *Nineteen Countries Have Bought Aerovironment UAVs*. AINonline. June 15, 2012., <http://www.ainonline.com/aviation-news/defense/2012-06-15/nineteen-countries-have-bought-aerovironment-uavs> (letöltve: 2016.05.02)
- [30] **SZEGEDI P.:** *A pilóta nélküli repüléshez kapcsolódva... Tanulmány a pilóta nélküli légi járművek működésével és üzemeltetésével kapcsolatban*, p.: 80, ISBN 978-963-12-5224-8, 2016 https://ludita.uni-nke.hu/repozitorium/bitstream/handle/11410/10148/Tanulmany_Szegedi_P%C3%A9ter.pdf?sequence=2&isAllowed=y (letöltve: 2016.05.02.)
- [31] **SZEGEDI P.:** *A maximális teljesítményű pont követésének lehetőségei napelemes rendszerekben 2*. Repüléstudományi Közlemények (1997-től) 9:(23/1) pp. 121-138.
- [32] **BÉKÉSI B., JUHÁSZ M.:** *Pilóta nélküli légi járművek energia forrásai*. Economica (Szolnok), 2014/1, pp. 92-100.

SOK KICSI SOKRA MEGY

LITTLE STREAMS MAKE GREAT RIVERS

KEREKES Attila

tanszéki mérnök

Debreceni Egyetem Műszaki Kar, 4028 Debrecen, Ótemető utca 2-4.

kerekesa@eng.unideb.hu

Kivonat: *Az energia nem csak olajkút, bányá, erőmű, hanem sok apró tétel összessége is, bár kétségtelen, hogy 10 kg gyümölcsöt könnyebb learatni görögdinnye formájában, mint ribizliként.*

A magyarországi több mint 4 millió háztartás 27 millió m² ablakfelülete és szellőztetése évente 49 PJ nettó hőigényt jelent, amely több mint az éves energiafelhasználás közel 5%-a, valamint méretezési állapotban kb. 7000 MW teljesítményigényt köt le, azaz sok kicsi sokra megy.

Az épületek fosszilis energiafogyasztásának és ezzel az ÜHG kibocsátás csökkentésére két lehetőség van: az igények csökkentése és a megújuló energiák intenzívebb hasznosítása.

A szokásos energiahatékonysági rekonstrukciók elmaradhatatlan fázisa az ablakcsere, amelyhez az új nyílászáró építési, a régi nyílászáró bontási, ártalmatlanítási, újrahasznosítási költsége, energiaigénye, ÜHG kibocsátása kapcsolódik.

Bemutatásra kerül egy hatékony megoldás, amely a régi ablak kibontása nélkül utólagos hozzáépítéssel egyrészt hatékonyan csökkenti az épületek fűtési energiaigényét, másrészt hozzájárul a szoláris energia hasznosításához. Mivel egy épületeletről van szó, amely mozgó alkatrészt nem tartalmaz, működtetéséhez segédenergiát nem igényel, fizikai élettartama eléri az épület fizikai élettartamának felét, ez a megoldás a beépített anyagok, a beépített energia és az azzal járó kibocsátás szempontjából jóval előnyösebb, mint egy aktív szoláris rendszer. Utóbbiak fizikai élettartama negyede az épület fizikai élettartamának, a többszöri csere többször igényel anyagot, beépített energiát és az újrahasznosítás, ártalmatlanítás problémái is ezáltal sokszorozódnak.

Kulcsszavak: *ablakok hővesztesége, szellőzés hőigénye, beépített energia, ÜHG kibocsátás, passzív szoláris rendszer, indirekt szoláris rendszer, addicionált konvex ablak*

Abstract: *The energy is not only oilwell, mine, power plant, etc., but it is also the sum of minor amounts. Although no doubt about it is easier harvesting 10 kg of fruit in case of watermelon, compare to blackberry. In Hungary over 4million households with their 27million m² window surfaces and their ventilation mean net 49 PJ heat demand yearly, which is over 5% of the annual energy consumption, moreover in designing status it means about 7000 MW, therefore little streams make great rivers.*

There are two possibilities of decreasing the fossil energy consumption and its emission: decreasing the demands and use renewable energies more intensively. One of the usual energy conscious refurbishment's inevitable phase is the change of the windows, this process is concerned the costs, the energy demands and GHG (greenhouse gas) emissions of removing the existing, old windows, the installation of the new openings and the recycling and disposal.

An effective measure will be presented, which is without removing the existing openings, installing new windows, this solution on one hand decreases the energy demand of the building, on the other hand it contributes to the use of solar heat. While the additional new opening is part of the building and does not require auxiliary power, its lifetime reaches half of the building one's, therefore it is much more convenient than the active solar system, according to the embodied energy and its emission. The above mentioned active solar systems lifetime is a quarter of the buildings physical lifetime, the numerous changes require material, energy and the problems of recycling and disposal are multiplied at the same time

Keywords: *heat loss of the windows, heat demand of the filtration, embodied energy, GHG emission, passive solar system, indirect solar system, additional convex window*

1. BEVEZETÉS

Az energia nem csak olajkút, bányá, erőmű, hanem sok apró tétel összessége is, bár kétségtelen, hogy 10 kg gyümölcsöt könnyebb learatni görögdiñnye formájában, mint ribizliként.

A Magyarországon található több mint 4 millió lakás [1], hozzávetőleg 27 millió négyzetméter ablakfelülettel rendelkezik. Az ablakok hőátbocsátási tényezőjét $U_{abl} = 2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ átlagos értékkel véve figyelembe, a magyarországi $H = 72 \text{ kWh/a}$ fűtési hőfokhíd esetén az ablakok $Q_{tr} = \Sigma A_{abl} \cdot U_{abl} \cdot H = 27 \cdot 10^6 \cdot 2,3 \cdot 72 = 4,4712 \text{ TWh/a}$ éves fűtési hőigényt jelentenek. A transzparens szerkezetek esetében azonban nem csak hőveszteséggel, hanem számottevő szoláris nyereséggel is számolnunk kell. Amennyiben bevonat nélküli kétrétegű üvegezésű ablakkal számolunk, akkor annak az összes sugárzásátbocsátó képessége $g_{ü} = 0,75$, átlagos üvegezési aránya $A_{üveg}/A_{abl} = 0,65$, az épület hasznosítási tényezője $\epsilon = 0,75$. A hagyományos fűtési idényre vonatkozó sugárzási energiahozam átlagos értéke $Q_{TOT} = 200 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, így az ablakok szoláris nyeresége $Q_{sd} = \epsilon \cdot \Sigma A_{ü} \cdot A_{üveg}/A_{abl} \cdot g_{ü} \cdot Q_{TOT} = 0,75 \cdot 27 \cdot 10^6 \cdot 0,65 \cdot 0,75 \cdot 200 = 1,9744 \text{ TWh/a}$. A szoláris nyereséggel csökkentett veszteség $Q_{abl} = Q_{tr} - Q_{TOT} = 4,4712 - 1,9744 = 2,4968 \text{ TWh/a} = 8,9885 \text{ PJ/a}$. Még ha eltekintünk az átalakítási veszteségektől, ez akkor is Magyarország közel 1000 PJ/a éves primerenergia felhasználásának a 0,9 %-át teszi ki.

A lakóépületek szellőzése a hagyományos épületek esetén az ablakokon át történik. A lakások összes fűtött térfogata átlagos 80 m^2 alapterület és $2,75 \text{ m}^2$ alapján 880 millió m^3 . A fűtési szezonban $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$ légcsereszámval számolva az éves szellőzési hőigény $Q_{szell} = 0,35 \cdot n \cdot V \cdot H = 0,35 \cdot 0,5 \cdot 880 \cdot 10^6 \cdot 72 = 11,0880 \text{ TWh/a} = 39,9168 \text{ PJ/a}$, amely az ország éves primerenergia felhasználásának közel 4 %-a.

Az ablakok szoláris nyereséggel csökkentett hővesztesége és az épületek szellőzési energiaigénye így 49 PJ-ra tehető, amely az ország éves energiafelhasználásának jelentős, 4,9 %-át teszi ki, igaz, ez nagyon sok apró tételből tevődik össze.

A csúcsteljesítmény igény oldaláról sem érdektelen megvizsgálni a kérdést. A méretezési állapotban $t_i = 20^\circ\text{C}$ belső hőmérséklettel és $t_e = -13^\circ\text{C}$ külső hőmérséklettel számolva az ablakok hővesztesége és a szellőzési hőveszteség jelentős, mintegy $\dot{Q} = (\Sigma A_{abl} \cdot U_{abl} + 0,35 \cdot n \cdot V) \cdot (t_i - t_e) = (27 \cdot 10^6 \cdot 2,3 + 0,35 \cdot 0,5 \cdot 880 \cdot 10^6) \cdot [20 - (-13)] = 7131,3 \text{ MW}$ teljesítményt köt le. Összevetve a 2016. január havi országos órai csúcs földgázfogyasztás $2814 \text{ m}^3/\text{h}$ értékével [2], amely 26577 MW hőterhelést jelent, látható, hogy az általunk vizsgált tétel ennek közel a 27%-át teszi ki.

2. ÉPÜLET KORSZERŰSÍTÉSI KÉRDÉSEK

A magyarországi lakásállományból 2000-2009 között éves átlagban 4800 lakás került lecserélésre, a 2010-2015 években ez a szám már csak alig több mint 2000 lakást érintett [3]. Az utóbbi szám nem teszi ki a lakásállomány 0,05%-át, de az előbbi esetben is csak alig több mint 0,1%-ról van szó, amely azért aggasztó, mert ebben az ütemben a lakásállomány teljes lecseréléséhez legalább ezer évre lenne szükség. Az épületeket ezzel szemben általában 100 év élettartamra építik, azaz a kívánatos lecserélési ütem az 1%-os érték lenne, amely hozzávetőlegesen 40 ezer lakást jelentene évente. A 100 éves tervezett élettartam természetesen nem azt jelenti, hogy az épület minden egyes alkotórészének élettartama 100 év. A nem teherhordó épületszerkezetek (külső-, belső burkolatok, fedések, szigetelések, nyílászáró szerkezetek, bádogozás szerkezetek, stb.) valamint az épületgépészeti és épületvillamossági rendszerek élettartama ennél lényegesen alacsonyabb, azaz ezeket az alrendszereket az épület élettartama alatt rendeltetésszerű használat és jó karbantartás mellett

is akár többször cserélni kell. A nyersanyagok biztosítása, az építőanyagok előállítása, szállítása, beépítése, majd az épület elbontásakor maga a bontás, az építési hulladékok elszállítása, kezelése, ártalmatlanítása, elhelyezése új építés és felújítás esetén egyaránt energiafelhasználással és ÜHG kibocsátással jár. A többszöri csere esetén az ehhez kapcsolódó energiafelhasználás és ÜHG kibocsátás is többször jelentkezik. A meglévő épület természetesen érték, azonban azokat energiafelhasználás csökkentése miatt illetve állagvédelem szempontjából is korszerűsíteni kell, amennyiben az épület várható élettartama eléri vagy megközelíti a beépítésre kerülő alrendszerek élettartamát.

A magyarországi épületek fajlagos primerenergia igénye $100-551 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ [4], amelyből jelentős részt, hozzávetőlegesen $70-500 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ -t tesz ki az épületek fűtése. Az alacsonyabb értékek a korszerűbb épületekre a magasabb értékek a régebben épült épületekre vonatkoznak. A fűtési energiaigényre jellemző, hogy alacsony hőmérsékleten rendelkezésre álló hőt igényel, amely nagyon kedvező lehet a megújuló energiaforrásokból származó hő alkalmazására. A szoláris energiahozam magyarországi viszonylatban a fűtési szezonban azaz októbertől áprilisig vízszintes felületen irodalmi adatok szerint $430 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ [5], amely akár többszintes épület hőigényét is fedezhetné.

A napenergia közvetlen hasznosítása történhet aktív és passzív rendszerekkel. A napenergia hasznosítás során a következő három fő feladatot kell ellátni:

- 1) a napenergia begyűjtése, átalakítása,
- 2) energiatárolás /jelen esetben hőtárolás/,
- 3) célba juttatás, hasznosítás.

Az aktív rendszerekben mindhárom feladatot gépészeti berendezések látják el, amelyeket kifejezetten erre a funkcióra hoznak létre, más egyéb funkciót ezen túlmenően általában nem látnak el, és fizikai élettartamuk jellemzően harmada, negyede az épület élettartamának (pl. napkollektoros rendszer fűtés rásegítésre).

A passzív rendszerekben a hármask feladatot kizárólag épületszerkezetek látják el, amelyek egyébként más szerkezeti funkciót is betöltenek, élettartamuk általában megegyezik az épületével, esetleg bizonyos részeitet egyszer felújítani vagy cserélni szükséges. A legegyszerűbb passzív rendszer a direkt szoláris rendszer, amelyben a begyűjtés a helyiség ablakán keresztül történik, az átalakítás és tárolás a helyiség határoló szerkezeteiben megy végbe és a hasznosításra az adott helyiségben kerül sor. Az indirekt szoláris rendszerekben a három funkciót szintén épületszerkezetek látják el, azonban azok nem egy helyiségen belül valósulnak meg, egymástól térben szétválnak.

Az aktív rendszerek esetén a rendszer elemek beépített energiatartalma és az ahhoz tartozó ÜHG kibocsátás valamint a kapcsoló környezetvédelmi problémák az épület élettartama alatt többször jelentkeznek, a passzív rendszerek esetében pedig csak egyszer, esetleg egyszeri részleges felújítás során részlegesen még egyszer kell velük számolni.

3. ADDICIONÁLT KONVEX ABLAK

Az épületek energiafelhasználásának és az ÜHG emissziójának csökkentésére két lehetőség kínálkozik, egyrészt az igények csökkentése, másrészt a megújuló energiaforrások nagyobb mértékű alkalmazása.

Az épületek gyengepontja az ablak és a filtráció. A felújítások elmaradhatatlan (sokszor csak egyetlen) fázisa az ablakcsere. A régi épületek zömében kapcsolt gerébtokos, pallótokos, vagy egyesített szárnyú ablak van. Az ablakcsere során korszerű fa, műanyag esetleg alumínium tokos ablak beépítésére kerülhet sor, amelyeknek tokvastagsága jóval kisebb, mint az eredeti ablaké volt, emiatt építőmesteri munkák elvégzése is szükséges, amely a lakásban jelentős felfordulással jár, ugyanakkor az ablakkárában a tok csatlakozásánál kialakuló

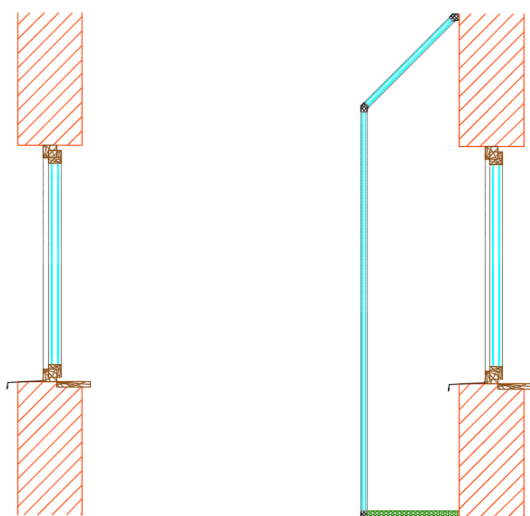
jelentős hőhíd továbbra is megmarad. A passzív szoláris nyereség az új ablakok beépítésével, és ha sor kerül rá a külső oldali utólagos hőszigeteléssel, általában csökken a következők miatt: a korszerű üvegezések összes sugárzásátbocsátó képessége alacsonyabb, mint a hagyományos kétrétegű ablakoké, és az ablakok üvegezési aránya is csökken. A hőszigetelés növeli a káva mélységét, és az ablak a végleges külső homlokzati síktól mélyebben fog beülni a kávéban, ezért az ablakkáva árnyékoló hatása is növekszik [7]. A filtrációs hőigényt az ablakcsere csak annyiban csökkenti, hogy kiküszöböli a vetemedett szerkezetek miatt fellépő nem kívánatos légcserét.

3.1. Egy passzív indirekt szoláris rendszer: az addicionált konvex ablak és kialakítása

Kívánatos lenne egy olyan megoldás, amelynek alkalmazása esetén:

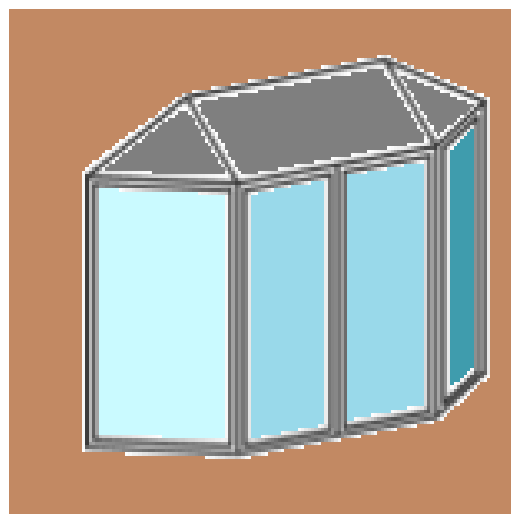
- nem kellene kibontani a régi ablakot
- csökkenti a hővesztéséget
- jó légzárást biztosít, gátolja az akaratlan légcserét, de lehetővé teszi a szabályozott szellőzést
- csökkenti a filtrációs energiaigényt a levegő előmelegítésével, megújuló energia passzív hasznosítása révén.

Ezen elvárásoknak megfelelő megoldás lehet az addicionált konvex ablak. Az eredeti ablak megtartásával az ablakot magába foglaló, de annál nagyobb méretű külső homlokzati felületre egy javarészt transzparens felületekből álló járulékos szerkezetet helyezünk el. A szerkezet nyitható szárnyat is tartalmaz a szellőztetés és a tisztíthatóság céljából. A szerkezet felső része kifelé lejt, ezzel biztosítható az öntisztulás. A takart felület méreteinél és a szerkezet homlokzati kiülésénél figyelembe kell venni a tisztíthatósági és a kezelhetőségi szempontokat, ezért a szerkezet az eredeti ablak káva méreténél nem lehet nagyobb, mint 20-60 cm, a kiülése pedig szintén 20-60 cm lehet maximum. A szerkezet alsó része tömör hőszigetelt lapból készül. A nyári hővédelem biztosításához a szerkezet teljes magasságban vagy alul-felül nyitható, és külső oldali vagy a pufferzónában elhelyezett árnyékolóval ellátott legyen. A szerkezet egy lehetséges kialakítási módját mutat az 1. ábra.



a) eredeti

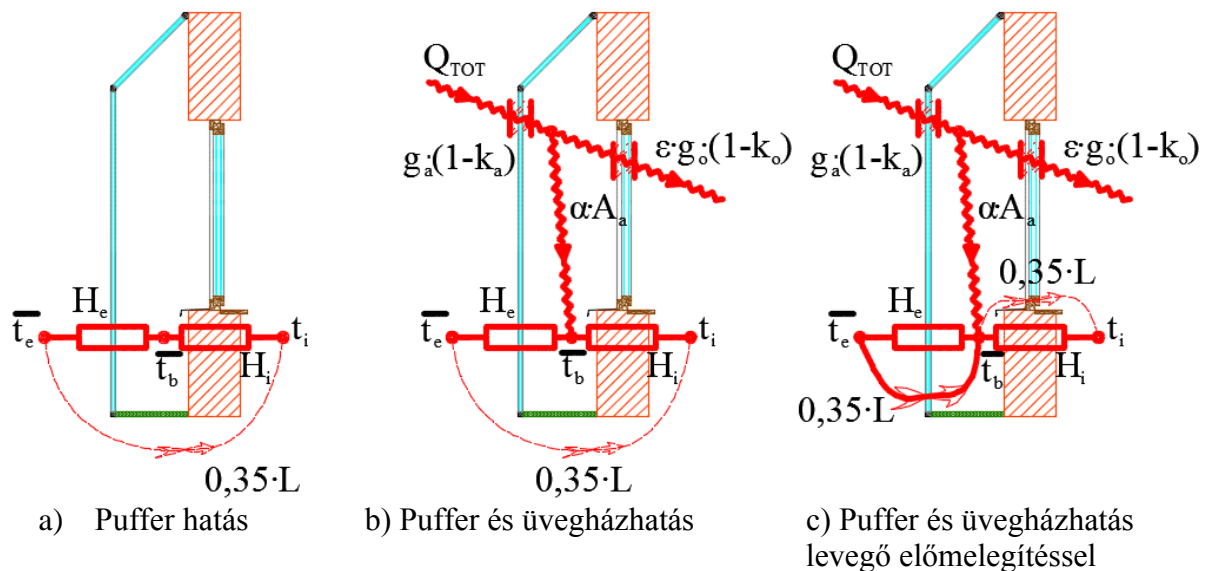
b) átalakított



c) homlokzati kép

1. ábra. Addicionált konvex ablak kialakítása [8, 9]

Az addicionált konvex ablak működése során fellépő hatásokat szemlélteti a 2. ábra.



2. ábra. Az addicionált konvex ablak működése [8]

A 2. ábra jelölései: H_i – veszteségtényező a szoba és a pufferzóna között, [W/K]; H_e – veszteségtényező a pufferzóna és a külsőtér között, [W/K]; A_a – az addicionált ablak által lefedett opac felület, [m²]; t_i – helyiség hőmérséklet, [°C]; t_e – külső hőmérséklet, [°C]; t_b – pufferzóna hőmérséklet, [°C]; Q_{TOT} – hagyományos fűtési idényre vonatkozó sugárzási energiahozam, [kWh/a], α – rövidhullámú abszorpciós tényező, [-]; g – összes sugárzásátbocsátó képesség, [-]; k – üvegezési arány, [-].

Puffer hatás: a takart homlokzat előtt az előtét szerkezet plusz hőátadási ellenállást képez a rétegek hővezetési ellenállása, a bezárt légréteg ellenállása és a közbeiktatott rétegek felületén jelentkező hőátadási ellenállások által. A takart felületen lévő valamennyi hőhidás csomópont lefedésre kerül, azaz hatásukat jelentősen csökkenti.

Üvegházhatás, ahol a transzparens felületet az addicionált konvex ablak, az elsődleges elnyelő felületet és hőtároló tömeget az eredeti falfelület takart külső oldala jelenti.

Levegő előmelegítés, az által, hogy a helyiség szellőzőlevegőjét az addicionált konvex ablakon keresztül vezetjük a helyiségben.

A helyiség természetes megvilágítása biztosított, illetve részleges direkt szoláris nyereséggel is rendelkezik.

4. MÓDSZER

A következőkben bemutatásra kerülnek egy addicionált konvex ablakkal betakart homlokzatrész szezonális adatok alapján számított energiafelhasználás adatai [8] a felújítás előtti állapotra, a 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet szerint költségoptimalizált

követelményszintre felújított homlokzatra, valamint az addicionált konvex ablakkal felszerelt homlokzatra vonatkozóan. A számítások különféle ablakméretekre készültek el.

A meglévő épületszerkezetek adatai: $U_{fal}=1,42 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{abl}=2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{ü}=0,78$.

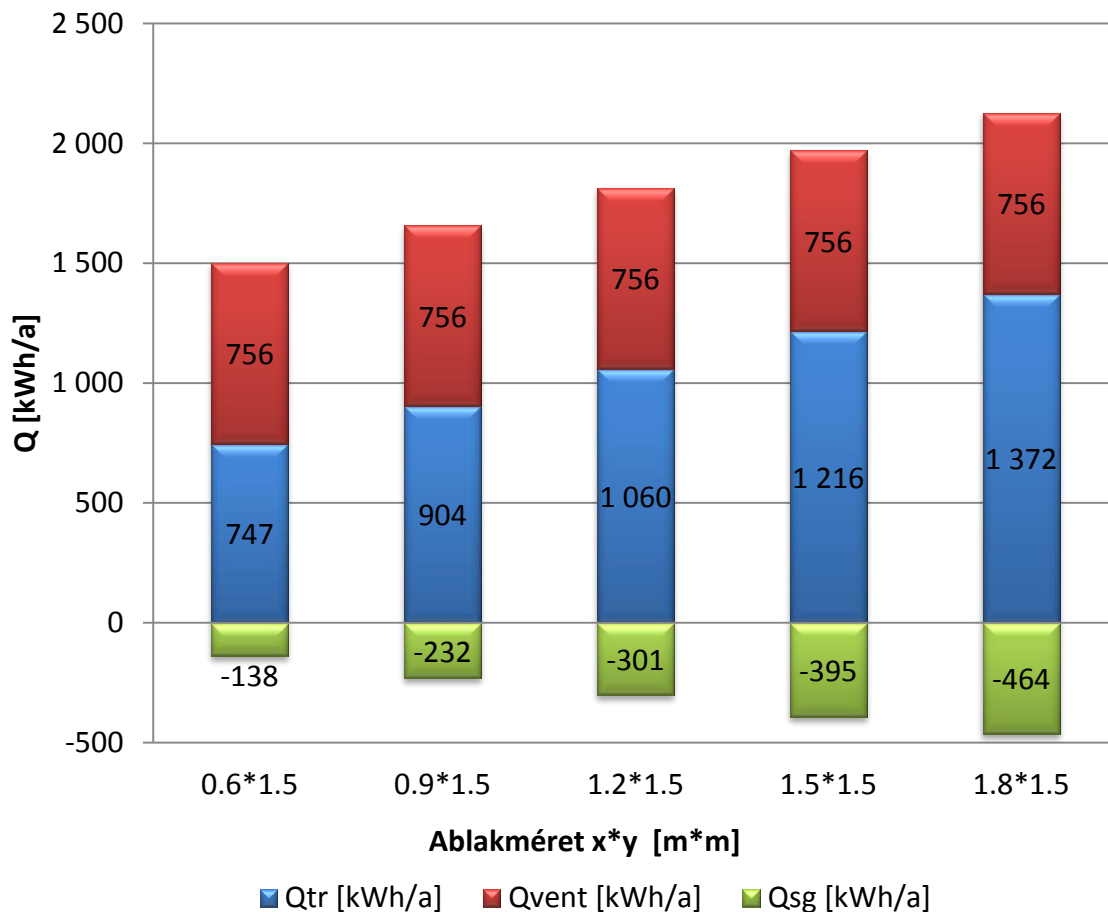
A költségoptimalizált szintre felújított épületszerkezetek adatai: $U_{fal}=0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{abl}=1,15 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{ü}=0,52$.

Az addicionált konvex ablak adatai: $U_{abl}=1,27 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_{ü}=0,78$. A takart homlokzatrész mérete az ablakméret plusz 60-60 cm körben.

A belső hőmérséklet $t_i=20^\circ\text{C}$, a fűtési hőfokhíd $H=72000 \text{ hK}$, a fűtési idény hossza $Z_F=4400\text{h/a}$, a fűtési szezonban az átlagos külső hőmérséklet: $t_{e,átl}=3,64^\circ\text{C}$. A légcsereszám: $n=0,5 \text{ h}^{-1}$, a helyiség térfogata 60 m^3 .

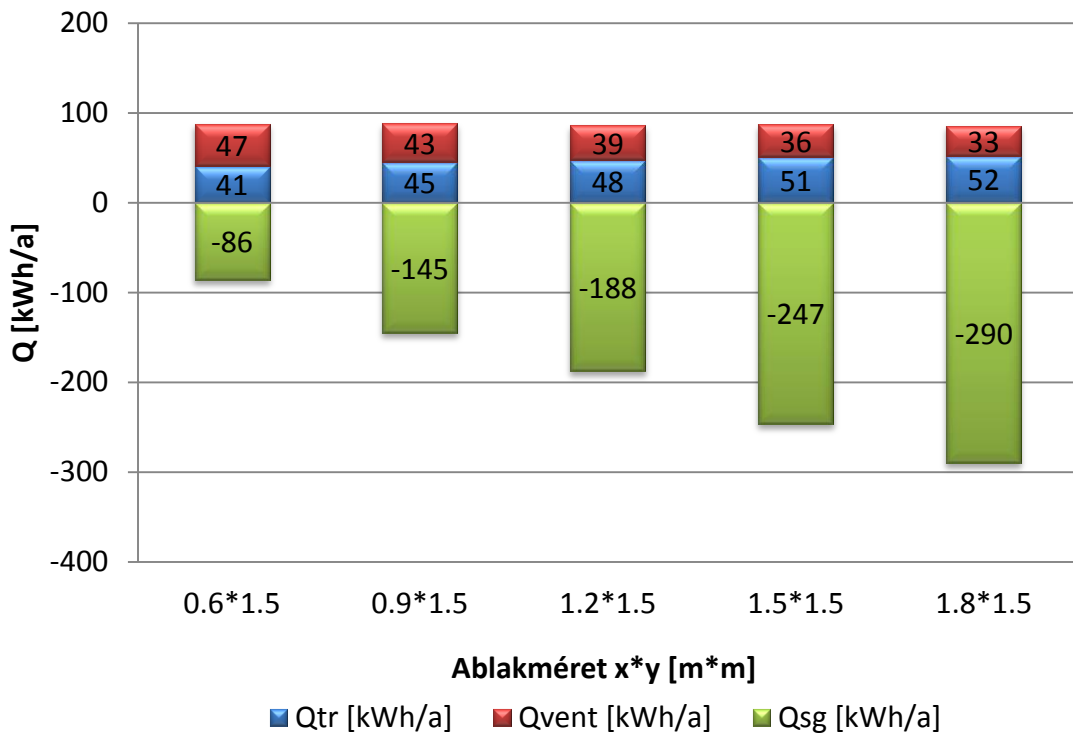
EREDMÉNYEK

A kapott eredmények a következő diagramokban kerülnek bemutatásra (a megadott értékek szigorúan csak a betakart méretű homlokzatra vonatkoznak).

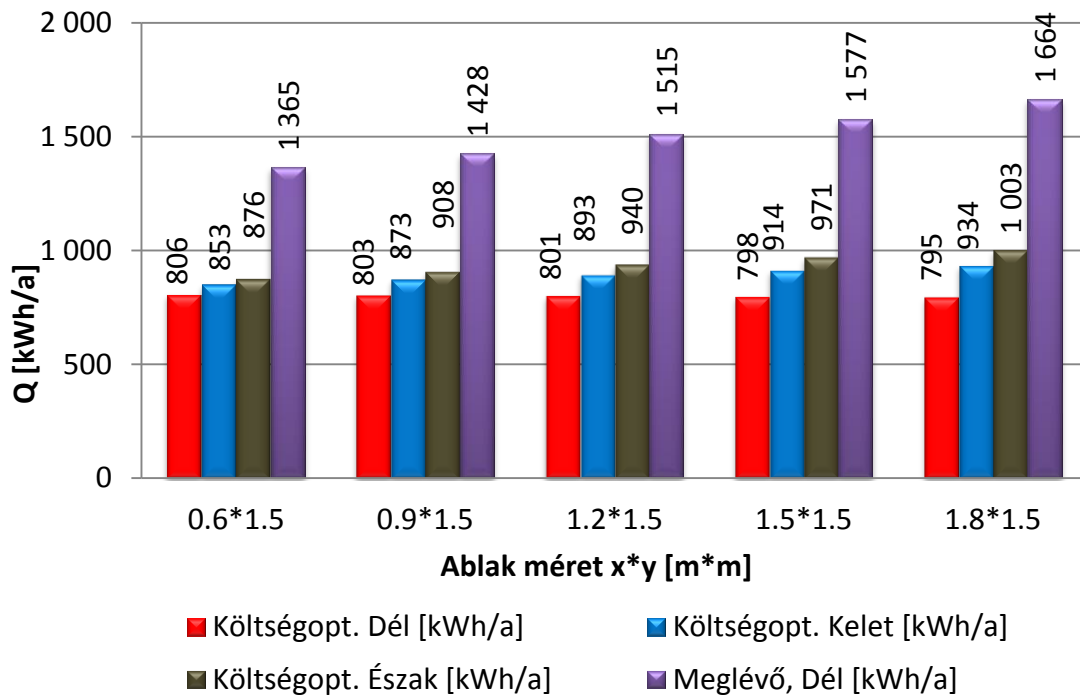


3. ábra. Eredeti szerkezet, Déli tájolás.

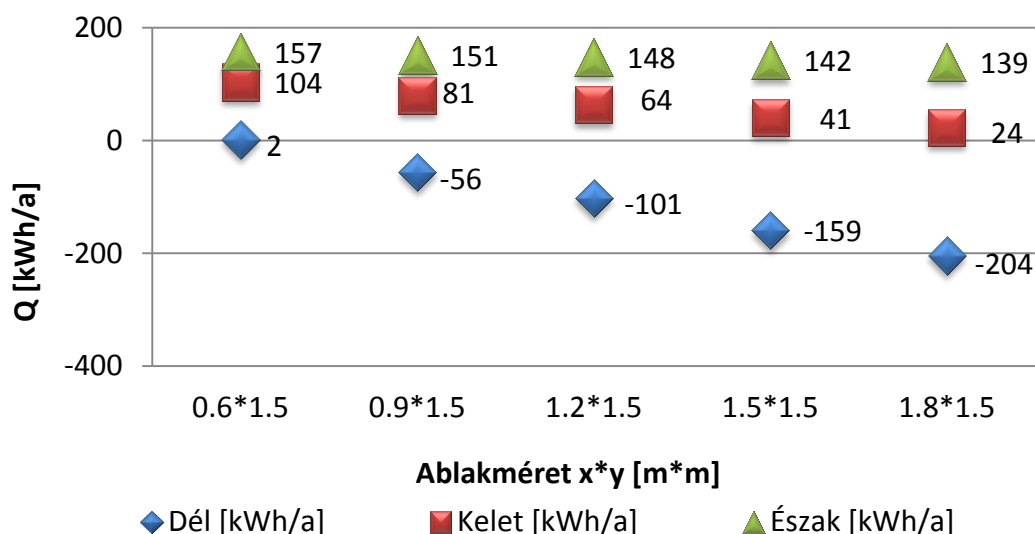
Az ábrán Q_{tr} - a transzmissziós hőigény, [kWh/a], Q_{vent} - a filtrációs hőigény, [kWh/a], Q_{sg} - a helyiség direkt szoláris nyeresége, [kWh/a].



4. ábra. Eredeti szerkezet + Addicionált konvex ablak, Déli tájolás.
Az ábrán Qtr - a transzmissziós hőigény, [kWh/a], Qvent - a filtrációs hőigény, [kWh/a],
Qsg – a helyiség direkt szoláris nyeresége, [kWh/a].



5. ábra. Meglévő és költségoptimalizált szintre felújított szerkezetek éves hőigényei (transzmissziós, filtrációs és indirekt szoláris nyereség algebrai összege)



6. ábra. Eredeti szerkezet + addicionált konvex ablak éves hőigényei, különféle tájolások esetén (transzmissziós, filtrációs és indirekt szoláris nyereség algebrai összege)

A költségoptimalizált követelményszintre történő felújítás esetén a homlokzatrész (betakart falfelület + az ablak) hőigénye az eredeti szerkezet hőigényének 50–60 %-ára csökken. Az addicionált konvex ablak alkalmazásával még kedvezőtlen ablakméret és északi tájolás esetén is 12%-ra csökken a hőigény, déli tájolásnál pedig a szerkezet nyereségesé válik, országos átlagban pedig joggal feltételezhető a nullszaldós eredmény.

Tovább folytatva a cikk elején megkezdett számítást, amennyiben a lakóépület állomány 50%-ának korszerűsítését a költségoptimalizált szintre történő felújítással végezzük el, akkor az éves nettó hőigény megtakarítás 9,8 PJ/a lenne, amely földgázzal számolva évente több mint 550000 tonna szén-dioxid kibocsátás csökkenést eredményezne. Ugyanezen épületállomány a nullszaldós addicionált konvex ablakkal történő felújítás esetén 24,5 PJ/a nettó hőigény megtakarítást és több mint 1375000 tonna szén-dioxid kibocsátás csökkenést jelent.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] https://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_wde001b.html (letöltve: 2016. 05.11.)
- [2] <http://mekh.hu/foldgazipari-tarsasagok-2016-evi-adatai> (letöltve: 2016. 06. 23.)
- [3] https://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_zrs001.html (letöltve: 2016. 05.11.)
- [4] *Nemzeti Épületenergetikai Stratégia,*
- [5] http://www.kormany.hu/download/d/85/40000/Nemzeti%20E%CC%81pu%CC%88let_energetikai%20Strate%CC%81gia%20150225.pdf (letöltés időpontja: 2016. 01. 20.).
- [6] **DR. GYURCSOVICS LAJOS,** (1982): *A napenergia hasznosítása az épületgépészetben,* Műszaki Könyvkiadó, Budapest, ISBN 963 1 4364 9
- [7] **KEREKES A,** *A napenergiahasznosítás figyelembevétele: szabályozási anomáliák az épületenergetikában* (IV. Környezet és Energia Konferencia, 2015. 03. 11-12.)

- [8] **A. KEREKES**, *Effect of wall thickness on the solar gain* (CIE 2016. Journal of Sustainable Energy, Issue in progress).
- [9] **ATTILA KEREKES, ANDRÁS ZÖLD**, *Added convex windows for improving the energy balance*, Applied Mechanics and Materials Vol. 824 (2016) pp 339-346
- [10] **GELESZ A., DR. REITH A.** *A kéthéjű üveghomlokzatok* Alaprajz 15. évf (1), 2008. : pp. 50-53.
- [11] **X LONCOUR, A. DENEYER, M. BLASCO, G. FLAMANT, P. WOUTERS**, *Ventilated double skin facades*. BBRI, 2006
- [12] *EU, 244/2012. Commission delegated regulation No 244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculating cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements.*
- [13] *7/2006. (V. 24.) TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról.*

NITROGÉN DÓPOLT BAMBUSZ SZERKEZETŰ KARBON NANOCŐVEK SZINTÉZISE ÉS ALKALMAZÁSA KATALITIKUS FOLYAMATOKBAN

PRODUCTION AND EXAMINATION OF NOBLE METAL CONTAINING N-DOPED CARBON NANOTUBE SUPPORTED NANOCOMPOSIT CATALYSTS

**KISS Adrienn¹, SIKORA Emőke², HUTKAINÉ GÖNDÖR Zsuzsanna³,
KRISTÁLY Ferenc⁴, VANYOREK László⁵**

¹egyetemi hallgató, adrienn9624@gmail.com

²egyetemi hallgató, emoke.sikora@gmail.com

³mérnökstanár, fkmhut@uni-miskolc.hu

⁴mérnökstanár, askkf@uni-miskolc.hu

⁴Miskolci Egyetem, Ásványtani és Földtani Intézet, 3515 Miskolc-Egyetemváros

⁵egyetemi adjunktus, kemvanyi@uni-miskolc.hu

^{1,2,3,5}Miskolci Egyetem, Kémiai Intézet, 3515 Miskolc-Egyetemváros

Kivonat:

A nanocsöveket 1991-ben történt felfedezésük óta töretlen érdeklődés övezi különleges fizikai és kémiai tulajdonságaik miatt, amelyek többek között a katalízis területén is jól kihasználhatóak. Egyfalú, többfalú változataik is ismertek, és a feltekeredett grafitlapszerű képződmények egy különleges típusa, a bambusz szerkezetű cső is számos kutatás középpontjában áll. A nitrogén dópolt bambusz szerkezetű szén nanocsöveken (BCNT, bamboo shaped carbon nanotubes) hibahelyek találhatóak a szerkezetbe beépült heteroatomoknak köszönhetően, így szénatomjaik könnyebben alakítanak ki kötéseket idegen atomokkal. Ez magyarázza katalizátor hordozóként betöltött különleges szerepüket. Kutatásaink során BCNT-t szintetizáltunk CCVD (katalitikus kémiai gőzfázisú leválasztás) módszerrel, melyből nemesfém-tartalmú katalizátorokat készítettünk. Morfológiai vizsgálatokhoz HRTEM-et, a beépülő nitrogén atomok vizsgálatához XPS módszert használtunk. A katalizátor minták hatékonyságát oktadecén hidrogénezési folyamatában teszteltük. Leghatékonyabbnak az Rh/BCNT és Pd/BCNT katalizátorok bizonyultak. Az Ir/BCNT, Ru/BCNT, Pt/BCNT katalizátorok aktivitása elmaradt a várthoz képest, az eltérés okainak kutatása még folyamatban van.

Kulcsszavak:

bambusz szerkezetű szén nanocső hordozós nemesfém katalizátorok, katalízis, oktadecén hidrogénezése

Abstract:

Carbon nanotubes seem to be very promising catalyst support materials owing to their extraordinary properties. The absence of porous structure makes them a lot more efficient in catalytic reactions than traditional activated carbons. Bamboo shaped carbon nano tubes (BCNTs) are special types of multi walled carbon nano tubes (MWCNTs), as they are made from nitrogen containing carbon compounds. Their specific morphology gets them of great promise because of their mechanically high stability. Additionally, BCNTs have more energy defect sites, which makes high energy absorption place for catalytically active metal particles. BCNTs were prepared from butylamine on MgO supported Ni (5 wt%) catalyst by catalytic chemical vapour deposition (CCVD). The carbon content of the samples was tested by thermogravimetry. HRTEM was made to check the morphology of catalysts and diameters of nanoparticles. The chemical forms of incorporated nitrogen atoms to the wall of carbon nanotubes were examined by XPS. The process of hydrogenation was examined by FTIR. The catalytic performance of the synthesized BCNT supported (Ir, Pd, Rh, Ru, Pt) catalysts were tested in the hydrogenation of 1-octadecene. The best results were achieved when the bamboo shaped nanotubes support were decorated with 5wt% palladium and 5wt% rhodium.

Keywords:

noble metal containing N-doped carbon nanotube supported nanocomposit catalysts, catalysis, hydrogenation of octadecene

1. BEVEZETÉS: NITROGÉN DÓPOLT BAMBUSZ SZERKEZETŰ KARBON NANOCSSÖVEK TULAJDONSÁGAI, SZINTÉZISE

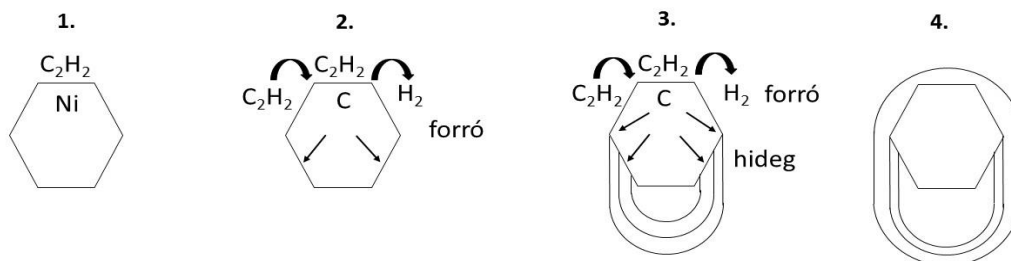
A karbon nanocsövek és egyéb nano mérettartományba eső anyagok kutatása a XX. század végén kezdődött, de ma is gőzerővel zajlik. Nem véletlenül: a karbon nanocsövek szerkezeti vizsgálata, az elektromos és a mechanikai tulajdonságaik tesztelése világított rá igazán arra a tényre, hogy milyen sokrétűen felhasználható anyagot állított elő Iijima japán kutató 1991-ben. [1]

A nanocsöveknek 3 fő típusa különíthető el, és mindegyikük kissé eltérő viselkedéssel, szerkezettel rendelkezik. Történetileg először a többfalú nanocsövek felfedezésére került sor, majd ezt követte az egyfalú, végül pedig a bambusz szerkezetű változat megismerése.

1.1. A bambusz szerkezetű karbon nanocsövek szerkezete

A bambusz szerkezetű karbon nanocsövekkel (bamboo like carbon nanotube - BCNT) kapcsolatban nem véletlen a névben található bambuszos hasonlat: akárcsak az ázsiai perjeféle, úgy a bambusz szerkezetű nanocső is üreges felépítésű, görbült grafitcsíkok által felosztott, lezárt csőszakaszokkal tagolt, kis tömegű és nagyon hajlékony, rugalmas anyag.

Kowalewski írta le elsőként e különleges szerkezet kialakulásának magyarázatát. Szerinte a katalizátor fémrészecskéibe beoldódó szén a telítettségi állapot elérése után kiválik a fém részecske felületére, és ott kialakít egy grafitréteget, egyfajta tok keletkezik. Amennyiben a szénburok felszakad a katalizátorrészecske térfogatának növekedése miatt, a fémrészecske kijut a szénburokból, és újabb szénréteg alakulhat ki a felszínén. Ekkor lehetséges a bambusz szerkezet létrejötte, mivel a folyamat ismétlődik. [2]



1. ábra: Bambusz szerkezetű karbon nanocső létrejöttének magyarázata

A nitrogén atomok beépítésének köszönhetően hibahelyek alakíthatóak ki a nanocsövek grafitos szerkezetében. Ebből következő pozitív hatás, hogy a nanocsövek tengelye mentén, a cső külső falán, annak teljes hosszában számtalan olyan szénatom helyezkedik el, amely könnyen kémiai kötést alakíthat ki egyéb atomokkal, atomcsoportokkal. Ebből adódóan a bambusz szerkezetű nanocső igen reakcióképes anyag.

Koós és kollégái azt is kimutatták, hogy a nitrogéntartalom növekedése növeli a bambuszstruktúra hányadát a keletkezett mintában, ezáltal csökken az oxidációs ellenállás, így egyszerűbben alakíthatóak ki a felületükön oxigéntartalmú csoportok, karboxil, hidroxil, és karbonil funkciós csoportok, mint a nem dópolt, jól grafitizált csövek esetében. A disszociációra hajlamos, oxigén tartalmú funkciós csoportok, a katalitikusan aktív fémek ionjaival ioncsere, valamint felületi komplexképződés útján biztosítják a megfelelő erősségű fém és hordozó közötti kapcsolatot. A nanocsövek grafitos szerkezetébe beépülő heteroatomok jelenléte, ebben az esetben a nitrogén az által segíti a fémek felületre történő kapcsolódását, hogy gyengíti a szomszédos két szén atom közötti π kötést, és így lehetőség

nyílik a katalitikusan aktív fém, valamint a szén közötti kölcsönhatás kialakítására p-d pályák hibridizációja útján. [3]

1.2. BCNT szintézis CCVD módszerrel

A nanocsövek előállításakor a leggazdaságosabb módszernek a szénhidrogének gázfázisú katalitikus bontása (CCVD módszer) bizonyult. Nem csak a tudományos kutatásokban, hanem az iparban is ezzel lehet a leggyakrabban találkozni. Ez az eljárás jó termelékenységet biztosít, és esetenként hulladékok (pl. PET palack, szerves oldószerek) is felhasználhatóak a szintézishez.

Bambusz szerkezetű szén nanocsövek előállításánál a szénforrás valamilyen amin, (pl. ciklohexil-amin, benzil-amin, butil-amin) vagy egyéb nitrogén tartalmú szerves vegyület. (pl. melamin, piridin). [4-10] A katalizátor (pl. Ni-MgO) kvarccsónakban kerül be egy magas hőmérsékletű csökemencében elhelyezett reaktorba, ahol a katalizátor felületén kialakulnak a szén nanocsövek a szénforrás katalitikus, termikus bomlása révén.

1.3. Karbon nanocsövek, mint katalizátorhordozó anyagok

A katalizátorok olyan vegyületek, amelyek alacsonyabb aktiválási energiájú reakció utakat nyitnak meg, megnövelve ezzel a kívánt reakció sebességét. Mivel a nanocsövek nem rendelkeznek mikropórusokkal (ellentétben az egyéb szén alapú hordozókkal), ezért katalízis során nagyobb sebességgel történik meg a csövek felületén a reaktáns molekulák migrációja az aktív centrum irányába. Katalizátorként történő felhasználásuk során másik előnyös tulajdonságuk, hogy ellenállóbbak az oxidációval szemben, mint az aktív szenek. [11, 12]

A nitrogén atomok jelenléte nem csak a bambuszos szerkezet kialakulása miatt előnyös. A nemesfém részecskék felületen történő kötődésének mechanizmusát ugyanis alapvetően módosítja a szerkezeti nitrogén jelenléte azáltal, hogy elektronvonzó képessége miatt csökkenti a mellette található két szomszédos szénatom közötti π - π kölcsönhatás erősségét, rontva ezzel a delokalizáció mértékét, így aktiválva az említett két szénatomot, ahová a nemesfém részecske kötődik.

A nitrogén atomok jelenléte továbbá rácshibák megjelenését vonja maga után, ugyanis bizonyos típusú szerkezeti elrendeződés (elsősorban a piridin típusú nitrogén beépülési formák) közvetlen környezetében vakancia lép fel a grafitos szerkezetben, amely nagy energiájú adszorpciós helyet teremt a katalitikusan aktív fémeknek.

2. KARBON NANOCSŐ HORDOZÓS KATALIZÁTOROK ELŐÁLLÍTÁSA ÉS TESZTELÉSE HIDROGÉNEZÉSI REAKCIÓBAN

2.1. A kísérleti munka során felhasznált anyagok

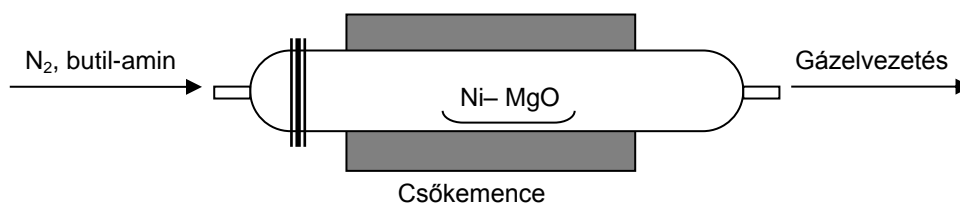
- Ammónium-hexakloroiridát (IV) $[(\text{NH}_4)_2\text{IrCl}_6]$: Sigma-Aldrich
- Butil-amin $[\text{C}_4\text{H}_{11}\text{N}]$: Merck Chem

- Hidrogén [H₂]: Messer
- Magnézium-oxid [MgO]: Reanal
- Nikkel(II)-nitrát-hexahidrát [Ni(NO₃)₂*6H₂O]: Merck Chem
- Oktadec-1-én [C₁₈H₃₆]: Acidum Kft.
- Oktanol [C₈H₁₇OH]: Sigma-Aldrich
- Palládium (II)-acetát [C₄H₆O₄Pd]: FlurochemLtd.
- Patosolv: 77-82% etanol, 16-22% 2-propanol, 0,5-1% terc-butanol, [C₂H₅OH + C₃H₇OH + C₄H₉OH]: Molar
- Platina (IV)-klorid [PtCl₄]: Reanal
- Ródium (II)-acetátdimer [(CH₃CO₂)₂Rh]₂: Sigma-Aldrich
- Ruténium (III)-klorid [RuCl₃]: Sigma-Aldrich
- 36%-os sósav [HCl]: Molar

2.2. Nitrogén dópolt karbon nanocsövek szintézise CCVD módszerrel

Munkánk során a nitrogén dópolt bambusz szerkezetű karbon nanocsövek szintéziséhez butil-amin alkalmaztunk szénforrásként, a nitrogén pedig az inert atmoszféra biztosítására, valamint vivőgázként szolgált. A szintézist 0,5 g, 5 m/m% Ni-tartalmú MgO hordozós katalizátoron hajtottuk végre 750 °C hőmérsékleten. A vivőgáz áramlási sebessége 50 ml/perc, a butil-amin betáplálási sebessége 3 ml/óra volt.

A katalizátort kvarcsónakban juttattuk be egy magas hőmérsékletű csőkemencében elhelyezett reaktorba, ahol a katalizátor felületén kialakultak a szén nanocsövek a szénforrás katalitikus, termikus bomlása révén.



2. ábra: A CCVD szintézis vázlata

A szintézist követően a katalizátor magnézium-oxid, nikkel-oxid és elemi állapotú nikkelt formájában marad a termékben, mely kedvezőtlenül hatna felhasználhatóságukra, ezért a keletkező szén nanocső mintánkat savas oldással tisztítottuk meg ezektől a szennyezőktől. A termogravimetriát (azaz az anyagok hő hatására bekövetkező tömegváltozásának vizsgálatát) a tisztított nanocső minták széntartalmának meghatározására használtuk, azaz a tisztítás hatékonyságát ellenőriztük. A termogravimetriai mérés során 37,52 mg BCNT mintát mértünk be. A vizsgálatot 900 °C-ig végeztük 10 °C/perc felfűtési sebességgel. A levegőáramlás sebességét 5 liter/óra értékre állítottuk.

A mérési eredményekből megállapítottuk, hogy a minta izzítási vesztesége 94,4 m/m% volt, tehát a tisztított karbon nanocső mintánk széntartalma 94,4 m/m%.

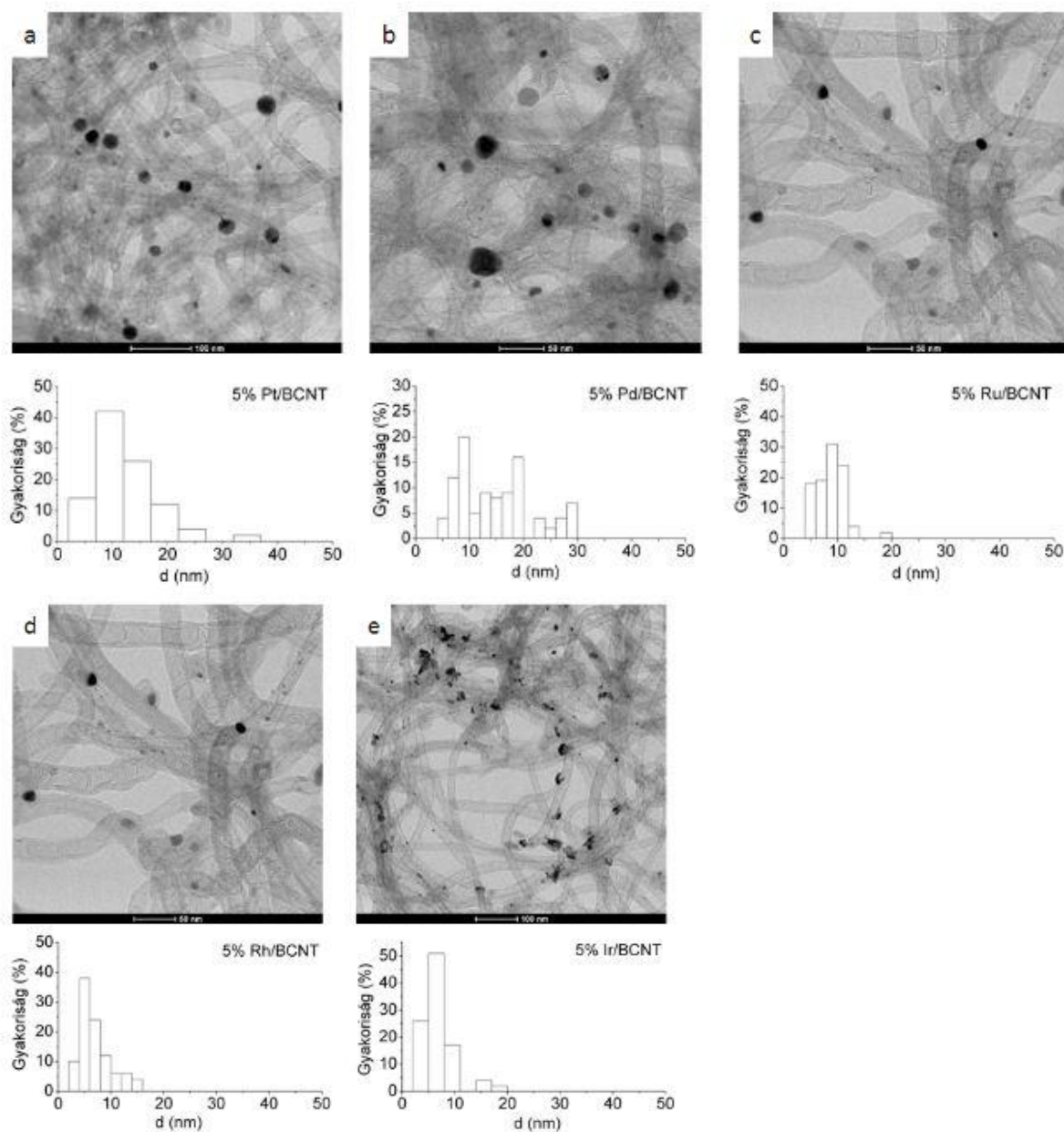
2.3. Nemesfém tartalmú karbon nanocső hordozós katalizátorok előállítása

A katalizátor mintákat úgy állítottuk elő, hogy felszuszpendáltunk 0,95 g bambusz szerkezetű karbon nanocsövet 200 ml Patosolvban, majd ehhez hozzáöntöttük a nemesfém tartalmú sók desztillált vizes oldatát. Minden katalizátor készítés esetén az volt a cél, hogy azok fémtartalma 5 m/m% legyen.

Ezt követően együtt homogenizáltuk a keletkezett oldatokat 10 percig, majd rotációs vákuumbepárlón szárazra pároltuk őket, végül 1 éjszakán át 105 °C-on tömegállandóságig szárítottuk. Minden katalizátorminta esetében 400 °C-on, hidrogénnel történő redukció útján alakítottuk ki a katalitikusan aktív formát. A hidrogénezést 20 percen keresztül tartó kalcinálás előzte meg, amelyet nitrogén atmoszférában hajtottunk végre.

2.4. Az előállított katalizátorok vizsgálata

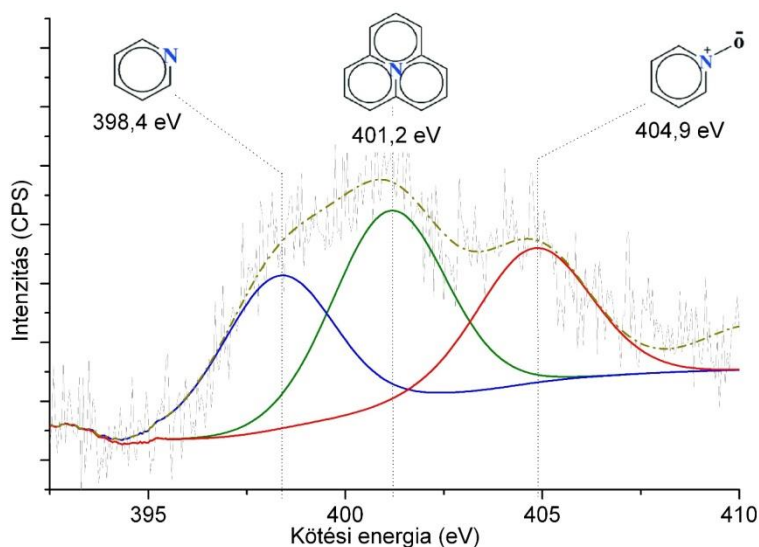
A transzmissziós elektronmikroszkóp (TEM) egy speciális típusának segítségével információkat nyerhettünk a szén nanocsövek, valamint a környezetükben található nanorészecskék méretéről, és nyomon követhettük a csövek szerkezetében bekövetkező változásokat. A TEM felvételeken található méretsáv (scalebar) segítségével, felhasználva a pixelarányokat, meghatároztuk a csövek felületén található nemesfém részecskék méretét, majd méreteloszlás görbéket készítettünk.



3. ábra: Nanocsövek és nemesfém részecskék TEM felvételei

Röntgen fotoelektron spektroszkópia (XPS) segítségével a nanocsövekben található C-N kötéstípusokat vizsgáltuk.

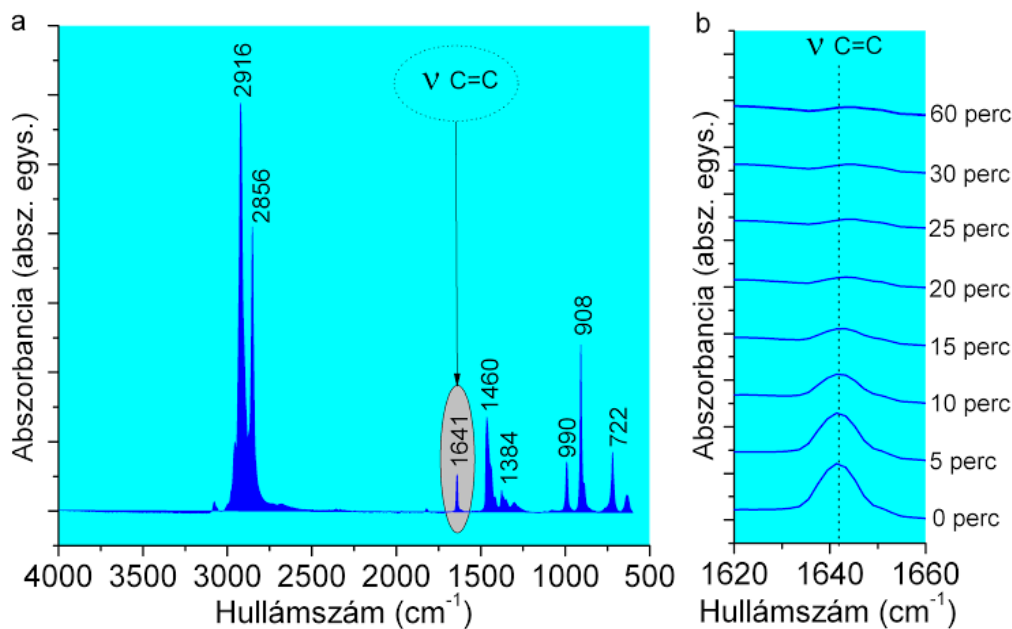
Az N1s sáv felbontásával kapott kötési energiák megfelelnek a nanocsövek falába piridin szerkezethez hasonlóan beépült N-atom C-N kötésének (398,4 eV). A 401,2 eV kötési energiánál jelentkező sáv a grafitrácsban található kvaterner C-N kötés jelenlétét támasztja alá. A 402-405 eV között megjelenő csúcsok az oxidált nitrogén jelenlétére utalnak.



4. ábra: BCNT minta fotoelektron spektruma

2.5. A hidrogénezés folyamatának nyomon követése, konverziós diagramok

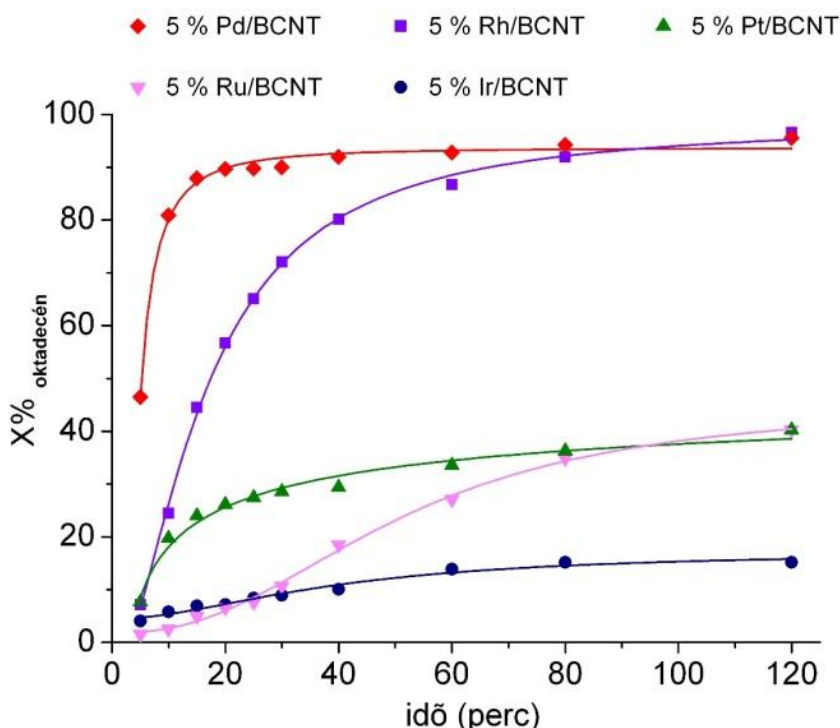
A katalizátor minták hatékonyságát oktadecén hidrogénezése során teszteltük. A hidrogénezés során megadott időközönként vett mintáinkat FTIR (Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópia) vizsgálatnak vetettük alá. Az FTIR spektrumok segítségével a hidrogénezés folyamata, azaz a kettős kötések telítődése jól követhető a $\nu(\text{C}=\text{C})$ 1610-1690 cm^{-1} és a $\nu_{\text{as}}(\text{=CH}_2)$ 3075-3095 cm^{-1} hullámszám tartományban található vegyértékrezgések sávjainak eltűnésével.



5. ábra: A hidrogénezés során vett minták FTIR vizsgálatának eredményei

Az FTIR mérések során kapott adatokat kiértékelve - az oktadecén átalakulására jellemző - konverziós diagramokat készítettünk. A leghatékonyabb katalizátornak a ródiummal, illetve a palládiummal dekorált BCNT bizonyult, ugyanis 2 óra elteltével mindkét katalizátoron 90% feletti konverzió értéket értünk el. A különbség közöttük csupán az, hogy a

Pd/BCNT már az első 10 percben igen magas – közel 90 m/m% - konverzió értéket adott, később jelentősen lassult a hidrogéneződés mértéke. A ródium tartalmú katalizátor esetében folyamatos volt a konverzió értékének növekedése: 10 perc elteltével 25%, 20 perc után 50%, a 40. percet követően 80%, és csupán 90 perc körül érte el a 90 m/m%-ot.



6. ábra: Konverziós diagramok

A platinát és ruténiumot tartalmazó katalizátorok tesztje során a 120. percben mért konverzió értékek maximálisan is csak 40% körül mozogtak, a legkevésbé hatékonynak pedig az irídiummal borított BCNT katalizátor bizonyult: alkalmazásával csupán 17-18%-os konverziót értünk el 2 óra elteltével. Az eltérések okának feltárásához további mérések, vizsgálatok elvégzése szükséges.

ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk során bambusz szerkezetű karbon nanocsöveket állítottunk elő CCVD módszerrel, mintáinkat tisztítottuk, majd nemesfém tartalmú katalizátorokat készítettünk belőlük. A katalizátorokat különböző vizsgálatoknak vetettük alá (HRTEM, XPS), és teszteltük őket oktadecén hidrogénezési reakciójában. A leghatékonyabbnak a ródiumos és a palládiumos BCNT hordozós katalizátorok bizonyultak. A kevésbé hatékony katalizátorokkal további mérések elvégzése szükséges.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozom Pekker Péternek a HRTEM felvételekért, amelyet az MTA ME Anyagtudományi Kutatócsoport elektronmikroszkópjával készített.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **IJIMA S.:** Nature 354, (1991) 56–58
- [2] **KOWALEWSKI, V., SAFRONOV, A.N.,** Carbon, 36 (1998) 963–968
- [3] **KOÓS, A. A., DOWLING, M., JURKSCHAT, K., CROSSLEY, A., GROBERT, N.,** Carbon 47 (2009) 30–37
- [4] **SEN, R., SATISHKUMAR, B.C., GOVINDARAJ, A., HARIKUMAR, K.R., RAINA, G., ZHANG, J. P., CHEETHAM, A.K, RAO, R.,** Chem. Phys. Lett., 287, 1998, p. 671–676.
- [5] **LIANG CHENA KAISHENG XIA,, LIZHEN HUANG, LIWEI LI, LIBIN PEI,** Shunxin Fei. international journal of hydrogen energy, 38, 2013, p. 3297-3303.
- [6] **HAO LIU, YONG ZHANG, RUYING LI, XUELIANG SUN, SYLVAIN DE'SILETS, HAKIMA ABOU-RACHID, MOUNIR JAIDANN, LOUIS-SIMON LUSSIER,** Carbon, 48, 2010, p. 1498–1507.
- [7] **MAYNE, M., GROBERT, N., TERRONES, M., KAMALAKARAN, R., RÜHLE, M., KROTO, HW., DRM WALTON,** Chem. Phys. Lett., 338, 2001, p. 101.
- [8] **REYES, M., GROBERT, N., KAMALAKARAN, R., SEEGER, T., GOLBERG, D., RÜHLEC, M., BANDOD, Y., TERRONES, H.,** Chem. Phys. Lett., 396, 2004, p. 167-173
- [9] **ANTAL, A., DOWLING, M., JURKSCHAT, K., CROSSLEY, A., GROBERT, N.,** Carbon, 47, 2009, p. 30–37
- [10] **TAO, X.Y., ZHANG, X.B., SUN, F.Y., CHENG, J.P., LIU, F., LUO, Z.Q.,** Diamond & Related Materials, 16, 2007, p. 425–430
- [11] **SERP PHILIPPE, CORRIAS MASSIMILIANO, KALCK PHILIPPE,** Carbon nanotubes and nanofibers in catalysis Applied Catalysis A: General, 253, 2003, p. 337–358
- [12] **JIN LUO, FENG PENG, HONGJUAN WANG,** Enhancing the catalytic activity of carbon nanotubes by nitrogen doping in the selective liquid phase oxidation of benzyl alcohol, Catalysis Communications Available online, 13 May 2013

ÚJ KÖZETFIZIKAI MODELLEK AZ AKUSZTIKUS TERJEDÉSI SEBESSÉGEK ÉS JÓSÁGI TÉNYEZŐK NYOMÁSFÜGGÉSÉNEK LEÍRÁSÁRA – ALKALMAZÁS SZÉN MINTÁKON

NEW ROCK PHYSICAL MODELS TO DESCRIBE THE PRESSURE DEPENDENCE OF ACOUSTIC WAVE VELOCITIES AND QUALITY FACTORS – APPLICATION ON COAL SAMPLES

KISS Anett¹, SOMOGYINÉ MOLNÁR Judit²

¹tudományos segédmunkatárs

¹Miskolci Egyetem, Geofizikai Intézeti Tanszék

¹gfka@uni-miskolc.hu

²tudományos munkatárs, egyetemi adjunktus

²MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport; Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai-Elektronikai Intézeti Tanszék

²gfmj@uni-miskolc.hu

Kivonat: A longitudinális és transzverzális akusztikus hullámok terjedési sebességeinek ismeretében meghatározhatók a dinamikus Lamé paraméterek. Ismert tény, hogy a sebességek függenek a kőzetre ható nyomástól. A folyamatot leíró kvalitatív modellek helyett egy, a fizikai kapcsolatot magyarázó kvantitatív modellt javasolunk. A sebességek együttes inverziós algoritmusból történő feldolgozásával meghatározott modellparaméterekkel a terjedési sebességek egy tetszőleges egytengelyű nyomástartományra számíthatók. Közismert, hogy a kőzetekben terjedő hullámok csillapodnak. A P és S hullámok terjedése kapcsán mérhető Q_α és Q_β jósági tényezők nyomásfüggésére új közetfizikai modellt javasolunk. A modellparaméterek inverziós meghatározása után, a jósági tényezők tetszőleges nyomás értékekre számíthatók. A modellek alkalmazhatóságát irodalomban közölt, szénmintákon mért adatokon teszteltük, majd megadtuk a nyomásfüggő Lamé paraméterek és veszteségi szögek értékeit. Az eredmények alátámasztották a modellek alkalmazhatóságát.

Kulcsszavak: akusztikus sebesség, jósági tényező, közetfizikai modell, dinamikus rugalmassági paraméterek

Abstract: Dynamic Lamé parameters can be determined from longitudinal and transverse acoustic wave velocities. It is known that velocities depend on pressure effecting on the rocks. Instead of the qualitative models we suggest a quantitative one explaining the physical relationships of the process. The propagation velocities can be calculated for any pressures after determining the model parameters with the joint inversion processing of velocities. It is well known that waves attenuate in rocks. We suggest a new rock physical model for the pressure dependence of quality factors measured in connection with P and S wave propagations. After the determination of model parameters in joint inversion procedure the quality factors can be calculated for any pressure. The applicability of the models was tested on literature data measured on coal samples, then the pressure dependent Lamé parameters and loss angles were derived as well. Results proved the applicability of the models.

Keywords: acoustic velocity, quality factor, rock physical model, dynamic elastic parameters

1. BEVEZETÉS

A geofizikának számos eszköz áll rendelkezésére, hogy információt nyerjen a felszín alatti szerkezetek felépítéséről, legyen szó nyersanyag kutatási, mérnök geofizikai, vagy akár régészeti feladatokról. A rugalmas hullámok terjedésén alapuló módszerek széles körben alkalmazottak. Ezek alapelve hasonló, mesterségesen keltetnek szeizmikus/akusztikus hullámokat, melyek haladnak a közegben, réteghatárokon, illetve visszaverődnek azokról. A visszaérkező hullámok beérkezési idejét mérve – ha ismert a közegben a terjedési sebesség –

meghatározhatjuk egy objektum mélységét, vagy fordítva, ismerve a mélységet, megadhatjuk a közeg terjedési sebességét, mely fontos kőzetfizikai jellemzőkről adhat információt. Az egyes módszerek alapvetően az alkalmazott frekvenciákban, így a behatoló képességeik, horizontális és vertikális felbontó képességeikben különböznek. A szeizmika alacsony frekvenciájú hullámaival képet ad a felszín alatti geológiai szerkezetekről. Ettől nagyobb frekvenciával működik, így nagyobb vertikális felbontóképességet biztosító módszer a fúrólukban végzett akusztikus mélyfúrési geofizikai szelvényezés, ez azonban meglehetősen lokális információval szolgál. Laboratóriumi körülmények között is lehetőség van az akusztikus hullámok vizsgálatára. Ennek előnye, hogy a méréseket ismert és kontrollált nyomásállapotok, alakváltozások, hőmérséklet mellett végezhetjük el. Ez azért fontos, mert a nyomás, illetve nyomásváltozás hatással van az akusztikus terjedési sebességekre, melyekből további fontos paraméterek, a dinamikus rugalmassági modulusok is megadhatók.

Számos laboratóriumi vizsgálat [1] [2] [3] [4] [5] foglalkozik a longitudinális (P , α) és transzverzális (S , β) hullámterjedési sebességek változó nyomás alatti meghatározásával. Az eredmények alapján ismert tény, hogy a nyomás növelésével exponenciális növekednek a sebességek. Ennek oka Birch [6] szerint a póruster záródása, Walsh és Brace [7] a mikrorepedések összezárulásával magyarázza a folyamatot. A kutatások során számos empirikus összefüggés született, vagyis mérési sorozatok alapján meghatározták a regressziós függvények paramétereit [8] [9] [10] [11], ezek azonban nem tekinthetők fizikai alapokon nyugvó magyarázatnak. A következőkben új kőzetfizikai modellt vezetünk be, mellyel ezt a hiányosságot igyekszünk pótolni a sebességadatok pontosabb és megbízhatóbb kiértékelése céljából.

Az akusztikus hullámok terjedési sebessége mellett gyakran vizsgált és fontos jelenség a hullámok csillapodása (abszorpciós együttható), illetve az ezzel kapcsolatban álló jósági tényező (Q_α , Q_β). A csillapodás leírására több modell is található a nemzetközi szakirodalomban, többek között a nemlineáris sűrűlódás modell, a Biot modell [12] [13], a viszkoelasztikus modell [14], és az elasztikus diszperzió modell. A sebességek nyomásfüggését leíró elméletek [6] [7] alkalmasak a jósági tényező és nyomás kapcsolatának levezetésére is. A növekvő nyomás csökkenő pórusterfogatot okoz, a szemcsék közelebb kerülnek egymáshoz, így a mérhető abszorpciós együttható értéke csökken, vagyis a jósági tényező értéke – a sebességhez hasonlóan – növekszik.

A következőkben új kőzetfizikai modelleket mutatunk be az akusztikus sebességek és jósági tényezők nyomásfüggésének leírására. Az akusztikus hullámterjedés jelenségét a konstans Q modell feltételezésével tárgyaljuk, melynek értelmében a sebességek és jósági tényezők kőzetfeszültség függő paraméterek. A modellt jellemző paraméterek inverziós meghatározása után a sebességek és jósági tényezők tetszőleges nyomásra számíthatók a modellegyenletekkel, valamint további mennyiségek, a nyomásfüggő dinamikus rugalmassági modulusok és veszteségi szögek is származtathatók.

2. KŐZETFIZIKAI MODELL AZ AKUSZTIKUS TERJEDÉSI SEBESSÉGEK NYOMÁSFÜGGÉSÉNEK LEÍRÁSÁRA

A szakirodalomban található kvalitatív modellek nem adják meg a jelenség fizikai és matematikai leírását. Ezért a következőkben Birch [6] elgondolásait követve - miszerint a póruster záródása az oka a sebességnövekedésnek terhelés hatására - vezetünk be egy új kvantitatív kőzetfizikai modellt. Feltételezve, hogy a $d\sigma$ feszültség növekedés dV pórusterfogot csökkenést okoz a kőzetben, felírható az alábbi differenciálegyenlet

$$dV = -\lambda_v V d\sigma, \quad (1)$$

ahol:

- dV – a pórustérfogat megváltozása [m^3];
- λ_V – új kőzetfizikai paraméter (fizikai jelentését a (9) egyenletben adjuk meg) [$1/MPa$];
- V – a pórustérfogat [m^3];
- $d\sigma$ – a feszültségváltozás [MPa].

Lineáris kapcsolatot feltételezve az akusztikus sebesség (behelyettesíthető a longitudinális vagy transzverzális hullám sebességével) infinitezimális megváltozása és a pórustérfogat változás között felírható a második modell törvényt jelentő differenciálegyenlet

$$dv = -\kappa dV, \quad (2)$$

ahol:

- dv – akusztikus sebesség infinitezimális megváltozása [m/s];
- κ – arányossági tényező, új anyagjellemző paraméter [$1/m^2s$].

Egysítve és megoldva az (1) és (2) egyenleteket az alábbi összefüggésre jutunk

$$dv = \kappa \lambda_V V_0 \exp(-\lambda_V \sigma) d\sigma \rightarrow v = K - \kappa V_0 \exp(-\lambda_V \sigma), \quad (3)$$

ahol:

- V_0 – feszültségmentes állapotban mérhető pórustérfogat ($\sigma=0$) [m^3];
- σ – aktuális feszültség [MPa].
- K – integrációs konstans [-].

Terheletlen állapotban a v_0 sebesség és V_0 pórustérfogat mérhető laboratóriumban, így a K integrációs konstans számítható a (3) alapján felírható $v_0 = K - \kappa V_0$ összefüggés szerint. Felhasználva ezt az eredményt és bevezetve a $\Delta v_0 = \kappa V_0$ jelölést (3) egyenlet átírható

$$v = v_0 + \Delta v_0 (1 - \exp(-\lambda_V \sigma)), \quad (4)$$

ahol:

- v – adott nyomáshoz tartozó sebesség [m/s];
- v_0 – terheletlen állapothoz ($\sigma=0$) tartozó sebesség [m/s];
- Δv_0 – sebesség-esés [m/s].

A modell keretén belül a sebesség terhelés hatására a nyitott pórustér mellett mért v_0 kezdeti értékről a v_{max} maximális nyomáson (teljesen összezárt pórustér esetén) mérhető sebesség értékre növekszik. A kettő közötti különbséget jelentő $\Delta v_0 = v_{max} - v_0$ sebesség-esést így a zérus nyomáson jelenlévő pórusok okozzák [15].

Mivel a modell alapját az izotróp pórustérfogat változás adja, a modell longitudinális (P) és transzverzális (S) hullámokra is alkalmazható. Ennek megfelelően a (4) modellegyenlet

$$\alpha = \alpha_0 + \Delta\alpha_0 (1 - \exp(-\lambda_v \sigma)), \quad (5)$$

$$\beta = \beta_0 + \Delta\beta_0 (1 - \exp(-\lambda_v \sigma)) \quad (6)$$

szerint írható fel, ahol:

α – a longitudinális hullámsebesség adott σ nyomáson [m/s];

α_0 – a longitudinális hullámsebesség terheletlen állapotban ($\sigma = 0$) [m/s];

$\Delta\alpha_0$ – a longitudinális hullámsebesség-esés [m/s];

β – a transzverzális hullámsebesség adott σ nyomáson [m/s];

β_0 – a transzverzális hullámsebesség terheletlen állapotban ($\sigma = 0$) [m/s];

$\Delta\beta_0$ – a transzverzális hullámsebesség-esés [m/s].

Laboratóriumi mérések alapján látható, hogy egyes kőzettípusok eltérően reagálnak a feszültségváltozásra. Bizonyos esetekben kis feszültségnövekedés is jelentős sebességváltozást okoz, azaz az adott kőzet érzékenyebben reagál a megváltozott feszültségállapotra. Az (5) és (6) modellegyenletekben szereplő λ_v kőzetfizikai paraméter jelentése ezért a geofizikában széleskörűen alkalmazott érzékenységi függvények segítségével adható meg [16]. Alkalmazva a $\Delta\alpha = \alpha_{max} - \alpha$ és $\Delta\beta = \beta_{max} - \beta$ jelöléseket (a σ nyomáson nyitva lévő pórusok okozta sebességesések), (5) és (6) egyenletek a

$$\Delta\alpha = \Delta\alpha_0 \exp(-\lambda_v \sigma) \quad (7)$$

$$\Delta\beta = \Delta\beta_0 \exp(-\lambda_v \sigma) \quad (8)$$

alakban írhatók, így bevezetve a sebességesések logaritmikus feszültségérzékenységét ($S(\sigma)$) az alábbi egyenletet kapjuk eredményül

$$S(\sigma) = -\frac{1}{\Delta\alpha} \frac{d\Delta\alpha}{d\sigma} = -\frac{d \ln(\Delta\alpha)}{d\sigma} = -\frac{1}{\Delta\beta} \frac{d\Delta\beta}{d\sigma} = -\frac{d \ln(\Delta\beta)}{d\sigma} = \lambda_v, \quad (9)$$

melyből látható, hogy a λ_v kőzetfizikai paraméter a sebességesés logaritmikus feszültségérzékenységével egyezik meg. A (9) egyenletből az is látható, hogy σ^* karakterisztikus feszültségnél a $-\lambda_v \sigma^*$ kitevő 1, ezért $\Delta\alpha_{\sigma^*} = \Delta\alpha_0 / e$ és $\Delta\beta_{\sigma^*} = \Delta\beta_0 / e$, vagyis a sebességesések a „kiindulási” sebességesések e -ad részére csökkennek. Az (5) és (6) egyenletekben szereplő λ_v közös paraméter, kapcsolatot biztosít a P és S hullámsebesség adatok között, így lehetőség van azok együttes inverziós kiértékelésére.

3. KÖZETFIZIKAI MODELL A JÓSÁGI TÉNYEZŐK NYOMÁSFÜGGÉSÉNEK LEÍRÁSÁRA

A rugalmas hullámok csillapodásának fizikai magyarázatát két módon jellemezhetjük [17]. A modellek egyik típusa a csillapodást általánosított lineáris rugalmas egyenletekkel (Hooke-törvény) vagy bizonyos nem linearitást megengedő módosított egyenletekkel magyarázzák. A modellek másik csoportja új fizikai és matematikai leírást alkalmaz a lehetséges csillapodási mechanizmusok értelmezésére, melyeket a kőzetek mikroszkopikus jellemzőihez és azok hullámterjedés során való viselkedéséhez kötnek. Utóbbi elgondolásokat követve az alábbiakban új kőzetfizikai modellt vezetünk be a jósági tényezők (Q_α , Q_β) nyomásfüggésének leírására. A konstans Q modell feltételezésével felállított modell alapját a

sebességekhez hasonlóan, a nyomásváltozás hatására bekövetkező pórustérfogat változás adja.

A növekvő nyomás hatására a szemcsék kompaktálódnak és ezáltal csökken a pórustérfogat, mely a csillapodás mértékének is a csökkenését okozza, így növekvő jósági tényező értékek mérhetőek. A jósági tényező modell első modelltörvényének a sebességmodellből ismert (1) egyenletet írhatjuk fel. Valamint lineáris kapcsolatot feltételezve a pórustérfogat megváltozása és a jósági tényező változás között felírható a (10) modelltörvény

$$dQ = -\chi dV, \quad (10)$$

ahol:

dQ – a jósági tényező változás [-];
 χ – arányossági tényező [$1/m^3$].

Az (1) és (10) egyenletek egyesítésével felírható az alábbi differenciálegyenlet és megoldása

$$dQ = \chi \lambda_Q V_0 \exp(-\lambda_Q \sigma) d\sigma \rightarrow Q = K - \chi Q_0 \exp(-\lambda_Q \sigma), \quad (11)$$

ahol:

λ_Q – új közetfizikai paraméter, jelentése a sebességmodellnél megfogalmazott gondolatokat követve felírható, mint a „jósági tényező-esés” logaritmikusan feszültségérzékenysége [$1/MPa$];
 Q_0 – a terheletlen állapotban mérhető jósági tényező [-].

Terhelésmentes állapotban a jósági tényező értéke méréssel meghatározható, így a K integrációs konstans számítható a (11) alapján felírható $Q_0 = K - \chi Q_0$ összefüggés szerint. Felhasználva ezt az eredményt és bevezetve a $\Delta Q_0 = \chi Q_0$ jelölést (11) egyenlet átírható

$$Q = Q_0 + \Delta Q_0 (1 - \exp(-\lambda_Q \sigma)), \quad (12)$$

ahol:

Q – adott nyomáshoz tartozó jósági tényező [-];
 ΔQ_0 – „jósági tényező-esés”, mely a maximális és zérus nyomásokhoz tartozó jósági tényező értékek különbségét jelenti [-].

Mivel a modell alapja újra az izotróp pórustérfogat változás, ezért a (12) modell egyenlet felírható a longitudinális és transzverzális hullámok jósági tényezőire

$$Q_\alpha = Q_{\alpha 0} + \Delta Q_{\alpha 0} (1 - \exp(-\lambda_Q \sigma)), \quad (13)$$

$$Q_\beta = Q_{\beta 0} + \Delta Q_{\beta 0} (1 - \exp(-\lambda_Q \sigma)), \quad (14)$$

ahol:

- Q_α – a longitudinális hullám jósági tényezője adott σ nyomáson [-];
 $Q_{\alpha 0}$ – a longitudinális hullám jósági tényezője terheletlen állapotban ($\sigma = 0$) [-];
 $\Delta Q_{\alpha 0}$ – a longitudinális hullám jósági tényező-esése [-];
 Q_β – a transzverzális hullám jósági tényezője adott σ nyomáson [-];
 $Q_{\beta 0}$ – a transzverzális hullám jósági tényezője terheletlen állapotban ($\sigma = 0$) [-];
 $\Delta Q_{\beta 0}$ – a transzverzális hullám jósági tényező-esése [-].

Látható, hogy λ_Q a (13) és (14) egyenletekben egyaránt szereplő paraméter, így ha longitudinális és transzverzális hullámok jósági tényezőire is rendelkezésre állnak adatok, lehetőség van azok együttes kiértékelésére.

4. A LAMÉ PARAMÉTEREK ÉS VESZTESÉGI SZÖGEK NYOMÁSFÜGGÉSE

A közetek rugalmassági paramétereinek leírására gyakran alkalmazott a lineárisan rugalmas izotrop test vagy Hooke-test modellje. Ebben az esetben a közegben létrejövő feszültségek lineáris függvényei a deformációnak és ez a kapcsolat két rugalmassági jellemzővel, a Lamé paraméterekkel adható meg

$$\mu = \rho \beta^2, \quad \lambda = \rho \alpha^2 - 2\mu, \quad (15)$$

ahol:

- μ – a második Lamé paraméter [MPa];
 λ – az első Lamé paraméter [MPa];
 ρ – a közet sűrűsége [kg/m³].

A P és S hullám sebesség adatok inverziójával megbecsült modellparaméterek alapján, az (5) és (6) egyenletekkel kiszámított nyomásfüggő sebességeket a (15) egyenletbe helyettesítve megadhatók a nyomásfüggő Lamé paraméter értékek. Mivel a közetek sűrűsége nagyságrendileg sokkal kisebb nyomásfüggést mutat, mint a sebességek, ezért ezt a változást a vizsgálataink során elhanyagolhatónak tekintettük és konstans értékekkel számoltunk.

Amennyiben jósági tényező adatok szintén rendelkezésre állnak lehetőség van a veszteségi szögek megadására is

$$\varepsilon = \frac{1}{Q_\beta}, \quad \varepsilon' = \frac{\lambda + 2\mu}{\lambda Q_\alpha} - \frac{2\mu}{\lambda Q_\beta}, \quad (16)$$

ahol:

ε és ε' – a veszteségi szögek.

5. MODELLEK ALKALMAZHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA SZÉN MINTÁN

A bevezetett új közetfizikai modellek alkalmazhatóságát szakirodalomban Yu és szerzőtársai [18] által publikált, 15 jelű szén mintán mért sebesség és jósági tényező adatokon mutatjuk be, majd származtatjuk a nyomásfüggő Lamé paraméterek és veszteségi szögek értékeit is. A mérési adatok alapján együttes minősített inverziós eljárásban határoztuk meg a

modellegyenletekben / (5) és (6), (13) és (14) / szereplő modellparamétereket ($\alpha_0, \Delta\alpha_0, \beta_0, \Delta\beta_0, \lambda_V$, valamint $Q_{\alpha_0}, \Delta Q_{\alpha_0}, Q_{\beta_0}, \Delta Q_{\beta_0}, \lambda_Q$). Mivel a feladat túlhatározott (az adatok száma nagyobb, mint a modellparaméterek száma) a Gauss-féle legkisebb négyzetek módszerét alkalmaztuk [19]. Ezen paramétereket a direkt feladatot jelentő modellegyenletekbe visszahelyettesítve lehetőség van tetszőleges nyomáshoz tartozó sebességek és jósági tényezők számítására. Az inverzió eredményét a sebességek vonatkozásában az 1. táblázatban, a jósági tényezők vonatkozásában a 2. táblázatban közöljük. Zárójelben feltüntetjük a paraméterek becslési hibáit, melyet az alábbi formulával határoztunk meg [19]

$$var_i = \sqrt{cov(\mathbf{m})_{ii}}, \quad (17)$$

ahol:

- var_i – az i -edik modellparaméter becslési hibája;
 $cov(\mathbf{m})_{ii}$ – paramétertérbeli kovariancia mátrix főátlóbeli elemei;
 i – a modellparaméterek száma (jelen esetekben $i=1,2,\dots,5$).

α_0 [m/s]	$\Delta\alpha_0$ [m/s]	λ_V [1/MPa]	β_0 [m/s]	$\Delta\beta_0$ [m/s]	D [%]	S [-]
1974 (±19)	580 (±20)	0.1765 (±0.0119)	1002 (±6)	166 (±6)	0.77	0.50

1. táblázat P és S hullám sebesség adatokból inverzióval meghatározott modellparaméterek és becslési hibáik, relatív adattérbeli távolság és átlagkorreláció.

Q_{α_0} [-]	ΔQ_{α_0} [-]	λ_Q [1/MPa]	Q_{β_0} [-]	ΔQ_{β_0} [-]	D [%]	S [-]
0.39 (±0.85)	68.20 (±4.02)	0.0294 (±0.0034)	14.53 (±0.62)	35.13 (±2.31)	6.49	0.64

2. táblázat P és S hullám jósági tényező adatokból inverzióval meghatározott modellparaméterek és becslési hibáik, relatív adattérbeli távolság és átlagkorreláció.

A Yu és szerzőtársai [18] által mért P és S hullám sebességeket az 1. ábrában piros szimbólumokkal, az inverzióval meghatározott modellparaméterekkel számított sebességeket kék folytonos vonallal jelöljük. Ehhez hasonlóan a mért jósági tényezőket piros szimbólumok, a számított értékeket kék folytonos vonal mutatja a 2. ábrán. Látható, hogy mind a sebesség, mind a jósági tényező értékek exponenciális növekedést mutatnak a növekedő terhelés hatására. A mért és számított adatok közötti távolság kicsi. Ennek számszerűsítésére relatív adattérbeli távolságot is számítottunk [19]

$$D = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \left(\frac{d_k^{(m)} - d_k^{(sz)}}{d_k^{(m)}} \right)^2} \cdot 100 [\%] \quad (18)$$

ahol:

- D – a relatív adattérbeli távolság [%];

- N – az adatok száma [-];
 $d_k^{(m)}$ – k-adik mért adat;
 $d_k^{(sz)}$ – k-adik számított adat.

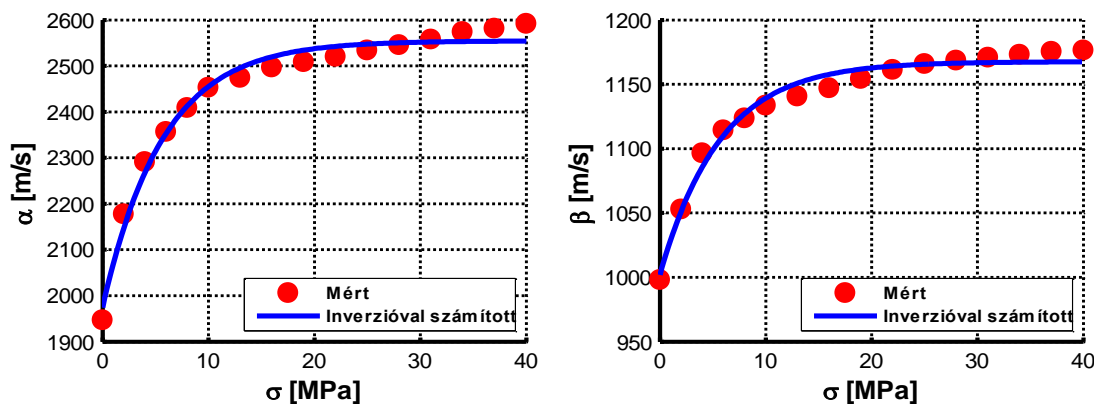
Az inverzió során utolsó iterációs lépésben kiszámított legkisebb adattérbeli távolságok a sebességek esetében $D = 0.77\%$, a jósági tényezők esetében $D = 6.49\%$, mely értékek alátámasztják a modellek alkalmazhatóságát. A jósági tényezők esetében jelentkező nagyobb távolság oka lehet, hogy mérésük sok nehézséget okoz, ezért a mérési adatok nagyobb hibával terheltek. Az inverzió megbízhatóságának alátámasztására átlagkorrelációt számítottunk

$$S = \sqrt{\frac{1}{M(M-1)} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M (\text{corr}(m)_{ij} - \delta_{ij})^2}, \quad (19)$$

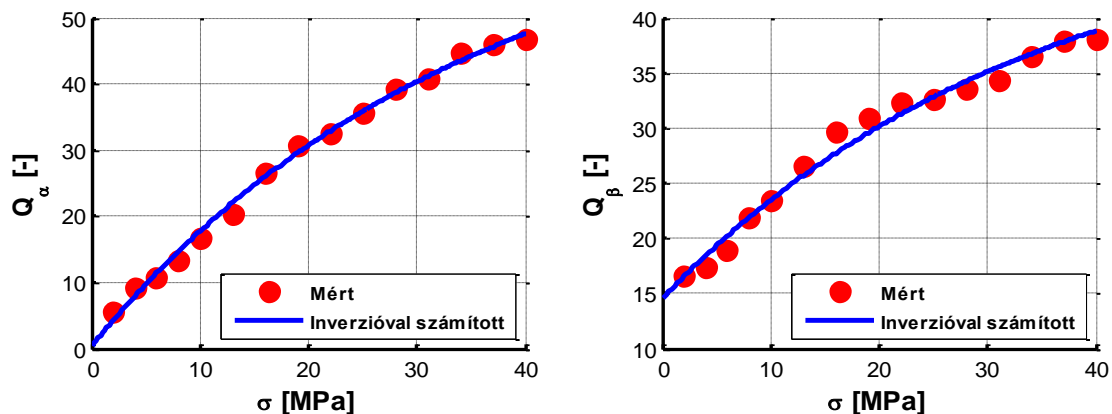
ahol:

- S – az átlagkorreláció [-];
 M – a modellparaméterek száma [-];
 $\text{corr}(m)$ – paraméter térbeli korrelációs mátrix, mely megadja a modellparaméter párok közötti lineáris kapcsolat erősségét;
 δ – Kronecker-delta szimbólum ($\delta=1$, ha $i=j$, egyébként 0).

Az eredményül kapott $S = 0.5$ (sebességek) és $S = 0.64$ (jósági tényezők) értékek azt mutatják, hogy közepes korreláció áll fenn a modellparaméterek között, tehát megbízható az inverziós eljárás eredménye.

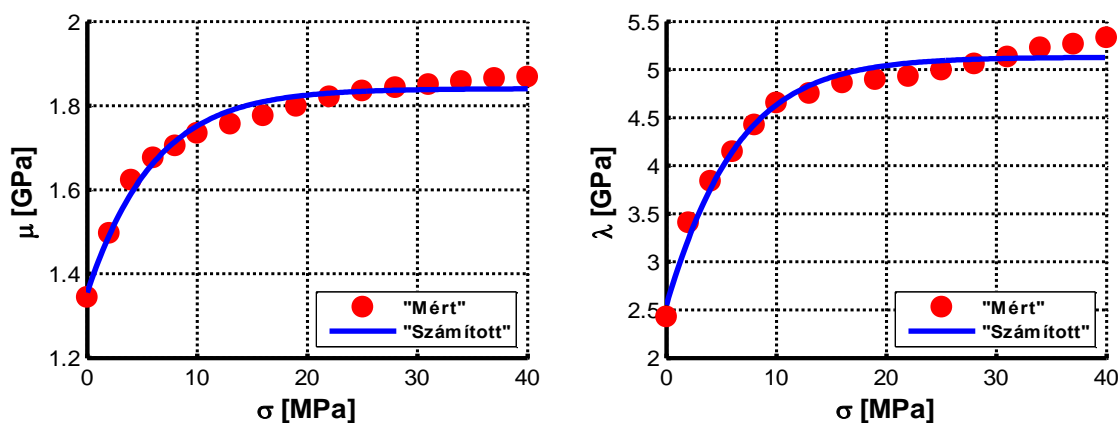


1. ábra Mért [18] és inverzióval becsült modellparaméterekkel számított longitudinális (α) és transzverzális (β) hullámterjedési sebességek nyomásfüggése.

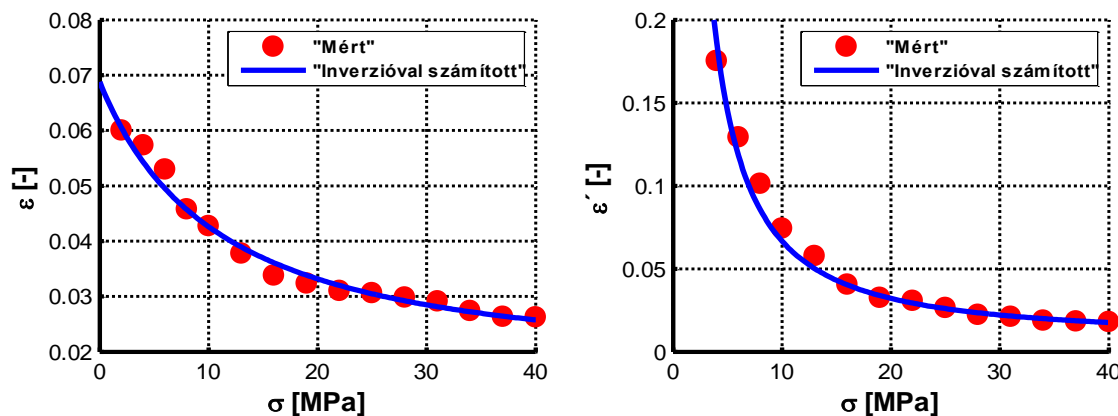


2. ábra Mért [18] és inverzióval becsült modellparaméterekkel számított longitudinális (Q_α) és transzverzális (Q_β) jósági tényezők nyomásfüggése.

A nyomásfüggő terjedési sebességek és a közet sűrűségének ismeretében (15) egyenletekbe helyettesítve megadhatók a nyomásfüggő Lamé paraméterek értékei. A nyomásfüggő veszteségi szögek pedig a jósági tényezőket is bevonva, a (16) egyenletek alapján számíthatók. Ezeket az eredményeket a 3. és 4. ábrák szemléltetik, ahol szimbólumok jelölik a mért sebességekből/jósági tényezőkből, valamint folytonos vonal mutatja a számított sebességekből/jósági tényezőkből paramétereket.



3. ábra Mért és számított sebességekből származtatott nyomásfüggő Lamé paraméterek.



4. ábra Nyomásfüggő veszteségi szögek.

ÖSSZEFOGLALÁS

Új közetfizikai modellekre tettünk javaslatot, melyek háromparaméteres exponenciális modellegetekkel leírják az akusztikus terjedési sebességek és jósági tényezők nyomásfüggését. Bevezettünk két új közetfizikai paramétert (λ_V és λ_Q), melyek a maximális nyomás és terheletlen állapot között fellépő sebesség-, illetve jósági tényező-esések logaritmikus feszültség érzékenységet adják meg. A mért adatok együttes inverziója során meghatározott modellparaméterekkel a sebesség és jósági tényező értékek tetszőleges nyomásra számíthatók. Az eredmények alapján megadhatók a nyomásfüggő Lamé paraméterek és veszteségi szögek is. A modellek alkalmazhatóságát irodalmi, szén mintán mért adatrendszeren mutattuk be. Az inverziós eredmények alátámasztották a gyakorlati hasznosíthatóságot.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **WYLLIE, M.R.J., GREGORY, A.R., GARDNER, G.H.F.,** *An experimental investigation of factors affecting elastic wave velocities in porous media.* Geophysics 1958. 23:459-493.
- [2] **NUR, A., SIMMONS, G.,** *The effect of saturation on velocity in low porosity rocks.* Earth and Planetary Science Letters 1969. 7:183-193.
- [3] **STACEY, T.R.,** *Seismic assessment of rock masses.* In: Proceedings of Symposium on Exploration for Rock Engineering, Johannesburg, 1976.
- [4] **SENGUN, N., ALTINDAG, R., DEMIRDAG, S., YAVUZ, H.,** *P-wave velocity and Schmidt rebound hardness value of rocks under uniaxial compressional loading.* International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 2011. 48:693-696.
- [5] **HE, T., SCHMITT, D.R.,** *Velocity measurements of conglomerates and pressure sensitivity analysis of AVA response.* In: Proceedings of 76th SEG International Exposition and Annual Meeting, New Orleans, USA, 2006.
- [6] **BIRCH, F.,** *The velocity of compression waves in rocks to 10 kbars.* Journal of Geophysical Research 1960. 65:1083-1102.
- [7] **WALSH, J.B., BRACE, W.F.,** *A fracture criterion for brittle anisotropic rock.* Journal of Geophysical Research 1964. 69:3449-3456.
- [8] **FREUND, D.,** *Ultrasonic compressional and shear velocities in dry clastic rocks as a function of porosity, clay content, and confining pressure.* Geophysical Journal International 1992. 108:125-135.
- [9] **KHAKSAR, A., GRIFFITHS, C., MCCANN, C.,** *Effective stress coefficient for P- and S-wave velocity and quality factor in sandstone, Example from Cooper Basin, Australia.* In: Proceedings of 69th SEG Annual Meeting, Houston, USA, 1999.
- [10] **EBERHART-PHILLIPS, D., HAN, D.H., ZOBACK, M.D.,** *Empirical relationships among seismic velocity, effective pressure, porosity, and clay content in sandstone.* Geophysics 1989. 54:82-89.
- [11] **WEPFER, W.W., CHRISTENSEN, N.I.,** *A seismic velocity-confining pressure relation, with applications.* International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 1991. 28:451– 456.
- [12] **BIOT, M.A.,** *Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solids, I: Low frequency range.* Journal of the Acoustical Society of America 1956. 28.
- [13] **BIOT, M.A.,** *Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solids, II: High frequency range.* Journal of the Acoustical Society of America 1956. 28.
- [14] **BLAND, D.R.,** *The theory of linear viscoelasticity.* Pergamon Press, Oxford. 1960.

- [15] **JI, S., WANG, Q., MARCOTTE, D., SALISBURY, M.H., XU, Z.,** *P wave velocities, anisotropy and hysteresis in ultrahigh-pressure metamorphic rocks as a function of confining pressure.* Journal of Geophysical Research 2007. 112:B09204.
- [16] **DOBRÓKA, M., SOMOGYI MOLNÁR, J.,** **The pressure dependence of acoustic velocity and quality factor: new petrophysical models.** Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica 2012. 47:149–160.
- [17] **TOKSÓZ, M.N., JOHNSTON, D.H.,** *Preface.* In: SEG Geophysics reprint series 1981. No. 2 *Seismic Wave Attenuation*, 1–5.
- [18] **YU, G., VOZOFF, K., DURNEY, D.W.,** *The influence of confining pressure and water saturation on dynamic elastic properties of some Permian coals.* Geophysics 1993. 58:30–38.
- [19] **MENKE, W.,** *Geophysical data analysis – Discrete inverse theory.* Academic Press, Inc. London, 1984.

POTENCIÁLIS BIOMASSZA MENNYISÉGÉNEK BECSLÉSE GIS TÁMOGATÁSSAL

QUANTITY OF POTENTIAL BIOMASS ESTIMATE WITH GIS

KISS Levente¹, LADÁNYI Richárd²

¹Tudományos munkatárs, levente.kiss@bayzoltan.hu

¹Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft.

²Tudományos munkatárs, richard.ladanyi@bayzoltan.hu

²Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft.

Kivonat: Napjainkban egyre több energiát igényel a szükségleteink kielégítése. Ebben közre játszik a Föld népességének növekedése, valamint az emberek többsége vágyik az „okosabb” telefonra, nagyobb TV-re. Életünket észrevétlenül egyre több számítógép segíti. A növekvő energiaigény kielégítéséhez az egyik megoldás az alternatív energiaforrások bevonása az energiatermelésbe. Magyarország nagy biomassza termő potenciállal rendelkezik, ezért érdemes elemeznünk a benne rejlő lehetőségeket. Szállítása azonban csak kis távolságon belül gazdaságos, ezért precíz logisztikai tervezést igényel. A térinformatika eszközeit felhasználva vizsgálhatjuk, hogy mely települések energiaigényét tudnánk részben, vagy egészben biomassza forrásból fedezni.

Kulcsszavak: térinformatika, biomassza, alternatív energiaforrás

Abstract: The main aim of this paper is providing technical information on development of a GIS based planning tool which is able to support the establishment process of biomass supply logistic system of power plants. Supporting the planning of the logistic processes of the power plant operation (such as locating the warehouses and planning the vehicle routes) was in the focus of the development, nevertheless all the connected fields of biomass plant production planning was taken into account during the set up of the GIS based planning tool.

Keywords: GIS, biomass, alternative energy source

1. ENERGIAIGÉNYEK

Napjainkban egyre több energiát igényel a szükségleteink kielégítése. Ebben közre játszik a Föld népességének növekedése, valamint az emberek többsége vágyik az „okosabb” telefonra, nagyobb TV-re. Egyre több háztartásban jelenik meg légkondicionáló készülék, az életünket észrevétlenül egyre több számítógép segíti.

A növekvő energiaigény kielégítéséhez két megoldás körvonalazódik. Dolgoznunk kell minél hatékonyabb energiafelhasználású termékek kifejlesztésén, valamint – környezetvédelmi szempontokat is figyelembe véve – alternatív energiaforrásokat vonhatunk be az energiaigények kielégítésébe.

Az energiatartósság és környezetvédelmi szempontokat figyelembe véve világszerte teret nyernek a megújuló energiaforrások. A magyarországi előrejelzések is a megújuló energiák, ezen belül is a biomassza energetikai célú felhasználásának bővülését vetítik előre.

Magyarország jó biomassza termelő potenciállal rendelkezik, a napsütéses órák száma 1700-2100 közé esik, az éves átlagos csapadékmennyiség 500-800 mm a terület függvényében. [1] Ezen növények termelése megvalósulhat ártereken, mezőgazdasági művelés alól kivont területeken, rekultivált személtlerakókon, és használaton kívüli szükségtározók területén is.

A biomassza energetikai célú hasznosítása, azonban csak rövid távolságok esetén gazdaságos, ezért pontos logisztikai tervezést igényel. A térinformatika segítségével adatbázist építhetünk, amelyből különböző algoritmusok segítségével területeket határolhatunk le, ahol energianövényeket termelhetünk. Abban az esetben, ha egy adott területről tudom, hogy onnan milyen mezőgazdasági melléktermék, esetleg energianövény takarítható be, akkor a terméshozam, illetve a fűtőérték tudatában meg lehet becsülni a területről kinyerhető a biomassza potenciális fűtőértékét.

A területhasználati adatbázis kialakítása során felhasználható adatforrások:

- Országos Térinformatikai Alapadatbázis (OTAB)
- Agrotopo adatbázis
- Digitális topográfiai térkép
- SRTM domborzatmodell
- CORINE felszínborítottság adatbázis
- Országos Területfejlesztési és területrendezési Információs Rendszer

2. A TERVEZÉST SEGÍTŐ SZOFTVER KÖRNYEZET

A térinformatikai szoftverek piacán előkelelő helyet foglal el az ESRI (Environmental Systems Research Institute) ArcGIS termékcsaládja. A cég úttörőnek számít a térbeli adatok feldolgozásával való információ- előállítás területén. Az ESRI 1969 óta foglalkozik az általuk földrajzi információs rendszernek nevezett alkalmazás- együttes elemeinek fejlesztésével (GIS – Geographic Information System). Számos iparági szabványnak minősülő adatstruktúra és az informatika területén újdonságnak számító technológia kidolgozóiként váltak mára a legismertebb térinformatikai megoldás- szállítókká. [2]

A szoftver főbb jellemzői:

- valamennyi szabványos, térbeli jelentéssel bíró adattípus támogatása,
- adatintegráció és adatbázis- kezelés megvalósítása (létrehozás, sémák definiálása, az integritás adminisztrációja),
- szerkesztő- és koordinátageometriai eszközök az adattervezés, adatbevitel és adattisztítás műveleteinek elvégzéséhez, térképsablonok, térképelemek használatával részben automatizálható a térképkészítés, emellett térképi tartalomszolgáltatók alaptérképei és kereskedelmi adatok is hozzáférhetőek.

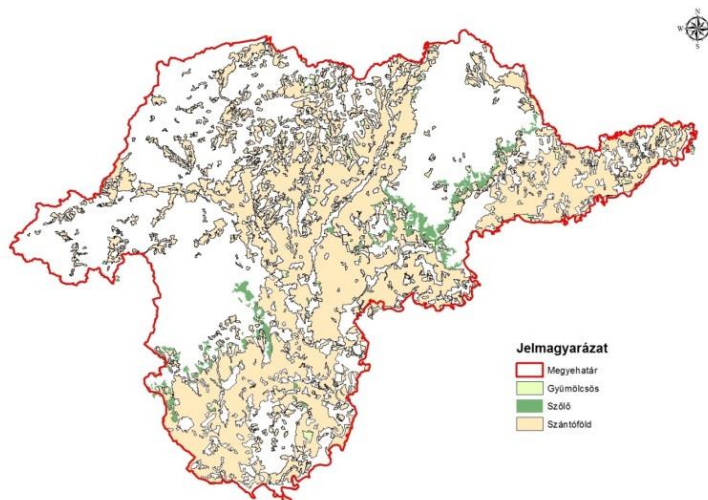
3. A MINTATERÜLET BEMUTATÁSA

Az adatbázis teszteléséhez és az algoritmus kidolgozásához, szükségünk van egy mintaterületre. Borsod Abaúj Zemplén megye ideális választásnak tűnik a változatos felszínformái, valamint sokszínű mezőgazdasági termelésének köszönhetően.

A fenti képen, a mintaterületen található települések láthatóak. A lakosságszámból becsült fűtési energiaigény függvényében kaptak színeket a települések. A továbbiakban is mindig a lakossági fűtési energiaigény kielégítésére törekszik a modell. Szépen kirajzolódik a mintaterületen található nagyobb és kisebb települések elhelyezkedése. A mintaterület kiválasztásánál mindig felmerül a kérdés, hogy természet-, vagy társadalom-földrajzi határokhoz igazodjon. Ennek meghatározásakor figyelembe kell venni, hogy az egyes megoldásokkal milyen területeket szabadlok fel. Jelen esetben a biomassza források között nem számolok az erőkkal, valamint a védett területeket sem vizsgálom, ezért nem okoz

gondot pl. a Bükk „kettévágása”.

A biomassa forrásokat két csoportba oszthatjuk a szerint, hogy direkt energetikai felhasználásra természetem őket (elsődleges biomassa), vagy a mezgazdasági melléktermékeket kívánom egy kazánban hasznosítani (másodlagos biomassa). A mintaterületen elhelyezkedő másodlagos biomassa forrásokat a 4. ábra szemlélteti. Felhasználható mezőgazdasági melléktermékek lehetnek pl. búza, kukorica és napraforgó nem hasznosított részei. Elsődleges biomassa forrás lehet pl: smaragdifa, energiafűz, energianyár, akác, stb.



1. ábra. Másodlagos biomassa források

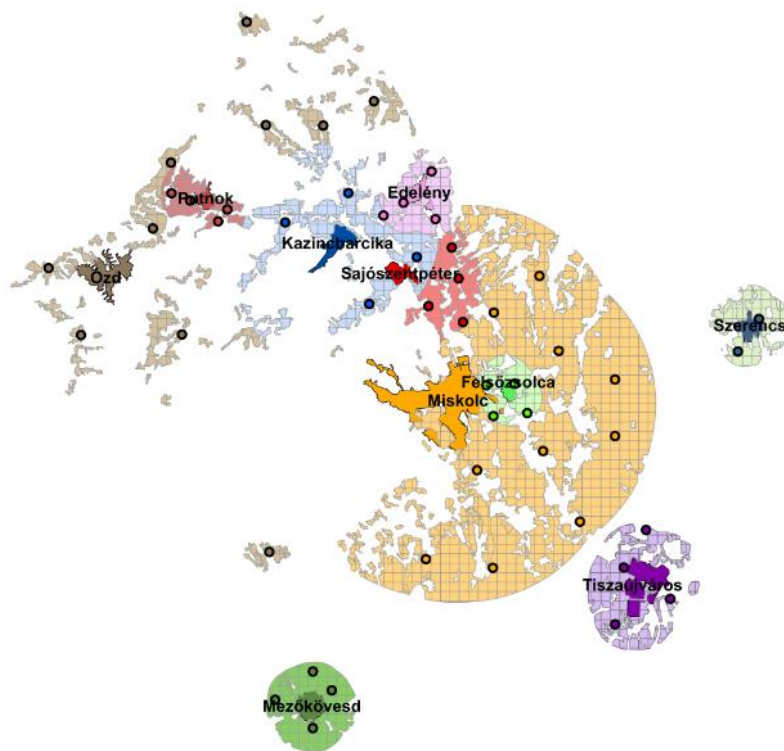
4. AZ ADATBÁZIS LÉTREHOZÁSA

A forrásterületek digitalizálását elvégezhetjük egyesével saját kezűleg, vagy ha raszteres adatforrással rendelkezünk, akkor irányított vagy irányítatlan osztályozással, majd a kapott eredmény vektorizálásával. Célszerű az különböző forrásterületeket külön rétegeként kezelni és geoadatbázisba rendezni. Minden réteg attribútum táblájában rögzítjük, az adott területen termő növény – számunkra fontos részének a – hozamát és fűtőértékét.

A forrásterületeket 1 km²-es cellákra osztottam. Ezáltal könnyebben becsülhetjük meg az egyes területekről betakarítható biomassa mennyiségét. A megfelelő adatok birtokában az energiapotenciál becslés bármilyen területre elvégezhető.

5. AZ ALGORITMUS MŰKÖDÉSE

A vizsgálandó település – lakosságszámból becsült – fűtési energiaigényét a település köré húzott 1 km sugarú körben található biomassa mennyiségéből kívánja fedezni. Amennyiben erről a területről nem gyűjthető be a kívánt mennyiség, akkor a pufferezóna mérete, addig növekszik, amíg a területéről be nem takarítható a kívánt mennyiség.



2. ábra. Adott városokhoz rendelt forrásterületek

6. TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

A forrásterületek szigetszerű elkülönülésének kezelése mindenképpen megoldásra vár. Ilyen szintű széttagolódás esetén sokat veszítene a betakarítás költséghatékonysága. A jövőben vizsgálni fogom, hogy lehet az a lélektani határ, amely felett már le kell mondani egy-egy terület forrásként való megjelöléséről.

Ennek a problémának a megjelenése is azt mutatja számomra, hogy nem kell feltétlenül egy település teljes lakossági fűtési energiaigényét biomassza energiaforrásból fedezni, mert egyes esetekben gazdaságosan nem gyűjthető be a szükséges mennyiség. Azonban kiegészítő rendszerként jó szolgálatot tehet, ez a megújuló – vagy talán pontosabban fogalmazva megújítható – energiaforrás.

Véleményem szerint fontos tényező a domborzat is. A későbbiekben a modellt szeretném alkalmassá tenni arra, hogy egy meglévő – biomassza fogadására alkalmas – erőmű körül olyan területeket ajánljon, ahová energiaültetvények telepíthetők. Ebben az esetben a domborzat vizsgálata kiemelt szerepet, mivel befolyásolja a telepíthető növények körét, valamint a betakarítást és a szállítást sem lehet egy adott lejtőszög fölött végezni. Járatervezés esetén a tehergépjárművek tekintetében is szerepet játszhat a domborzat, a jövőben erre is szeretnék figyelmet fordítani.

Minden ilyen modell pontosságát nagyban befolyásolja, hogy milyen adatokból dolgozik. Az adatbázisok frissítése pedig egy véget nem érő feladatnak tudható be.

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **PÉCZELY, GY.:** *Éghajlatlan*, Nemzeti Tankönyvkiadó, 2009., ISBN 9789631939385
- [2] **LÉNÁRT, CS., TAMÁS, J., JUHÁSZ, CS., CIFER, A., SZABÓ, A.:** *Általános térinformatikai alapok*, Miskolci Egyetem, 2003., ISBN 963 661 599 3

A HÁROMFÁZISÚ SZIVÁRGÁS MODELLEZÉSE STABIL VÍZIZOTÓPOKKAL

MODELLING OF THE UNSATURATED FLOW WITH STABLE WATER ISOTOPES

KOMPÁR László¹, OSVÁTH Kristóf², SZŰCS Péter³, PALCSU László⁴

¹doktorjelölt, tudományos munkatárs, komparlaszlo@isotoptech.hu

¹Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, Isotoptech Zrt.

²MSc hallgató, kristof.osvath@gmail.com

²Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet

³egyetemi tanár, intézeti tanszékvezető, hgszucs@uni-miskolc.hu

³Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport

⁴osztályvezető, laboratóriumvezető, palcsu@atomki.mta.hu

⁴MTA Atommagkutató Intézet

Kivonat: Kutatásunk célja a telítetlen vízföldtani rendszer háromfázisú szivárgásának szimulációja stabilizotóp-vizsgálatok alapján, hidrodinamikai és transzport modellezés segítségével. Vizsgálatunk során egy kijelölt mintaterületen talajmintázást végeztünk, és a talajmintákból kinyert nedvességtartalom stabil oxigén-18 (¹⁸O) izotóp-arányainak meghatározásával izotópos mélység profilt állítottunk fel. Korábbi kutatások során trícium/hélium-3 (³H/³He) módszerrel vizsgálták a területen a csapadékból történő beszivárgást. Mi ezeket a méréseket kiegészítve, a telítetlen zóna szivárgási viszonyait vizsgáltuk. A stabilizotóp profil és a terület léghőmérsékleti görbéjének illesztésével meghatároztuk, hogy a lehullott csapadékvíz 18 hónap alatt szivárog át a telítetlen zónán. Ezen becslésünk számításokkal történő megerősítésére elkészítettük a kutatási területre a telítetlen vízföldtani rendszer hidrodinamikai és izotóp transzport modelljét a HYDRUS-1D szoftverrel.

Kulcsszavak: stabil vízzotópok, háromfázisú zóna, izotóp transzport modellezés, HYDRUS-1D

Abstract: The main goal of our research is the simulation of the unsaturated flow of water with stable isotope transport modeling, based on stable isotope ratio measurements. In this study we carried out a soil sampling test, and we determined the stable oxygen-18 (¹⁸O) isotope profile of the unsaturated zone from the water samples which were extracted from the soil. In previous studies the infiltration process from precipitation was examined with tritium-helium-3 (³H/³He) method. We continued these measurements with the examination of the unsaturated flow conditions. With the suiting of the average temperature curve and the stable isotope profile we estimated that the infiltrating rainwater reached the groundwater level in eighteen months. Finally, we confirmed this estimation with the stable isotope transport model of the unsaturated flow made by HYDRUS-1D software.

Keywords: stable isotopes of water, unsaturated zone, isotope transport modeling, HYDRUS-1D

1. BEVEZETÉS

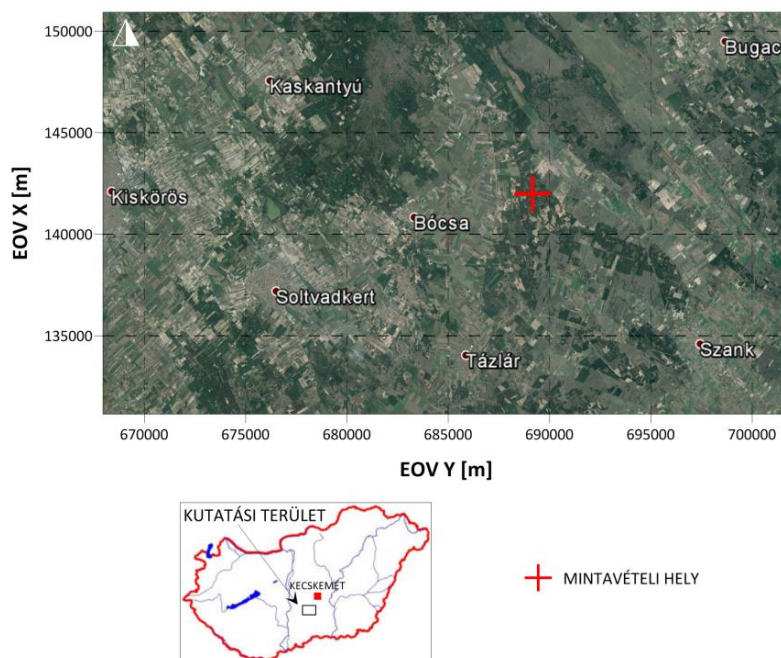
A felszín alatti vízkészletek fenntartható hasznosításához elengedhetetlen az utánpótlódásuk ismerete, mely folyamatban kulcsszerepet játszik a felszín és a talajvíztükör közötti háromfázisú vagy telítetlen zóna. Kutatásunkban a háromfázisú rendszerből kinyert talajnedvesség stabil vízzotóp (oxigén-18 izotóp) vizsgálatával foglalkoztunk. Izotóphidrológiai és talajmechanikai vizsgálatainkat a Duna-Tisza közti Homokhátságról származó homokmintákon végeztük el. A talajvíztükör elérési idejének meghatározására a terület meteorológiai adatait, illetve a talajmintákból kinyert vízminták stabilizotóp-összetételi

arányait használtuk fel. A hőmérsékleti görbe illesztéssel becsült időtartamot a stabilizotóp transzport modell segítségével pedig sikeresen alátámasztottuk.

2. KUTATÁSI TERÜLET

A kutatáshoz kijelölt mintaterület a Duna-Tisza közti Homokhátság középső részén, a Bugaci-homokhát területén, Fischerbócsa településtől kb. 2 km-re K-i irányban helyezkedik el. A telítetlen zónát is magukba foglaló felszín közeli talajrétegek uralkodóan szél által szállított, eolikus üledékekből, főként futóhomokból épülnek fel a területen [1]. A Duna-Tisza közti Homokhátság az Alföld egyik legjelentősebb porózus regionális leáramlási területe. A kiemelt topográfiai helyzet miatt a felszín alatti vizek áramlása lefelé irányuló, ezért a terület alkalmas a telítetlen zóna szivárgási viszonyainak vizsgálatához.

A mintázás helyszínének kiválasztásában fontos szerepet játszott, hogy korábbi vizsgálatok során kialakítottak itt egy négy kútból álló, különböző mélységszintekre szűrözött kútfészket, melynek segítségével trícium profilt állítottak fel [2].



1. ábra. A kutatási terület elhelyezkedése (Osváth K., 2016)

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

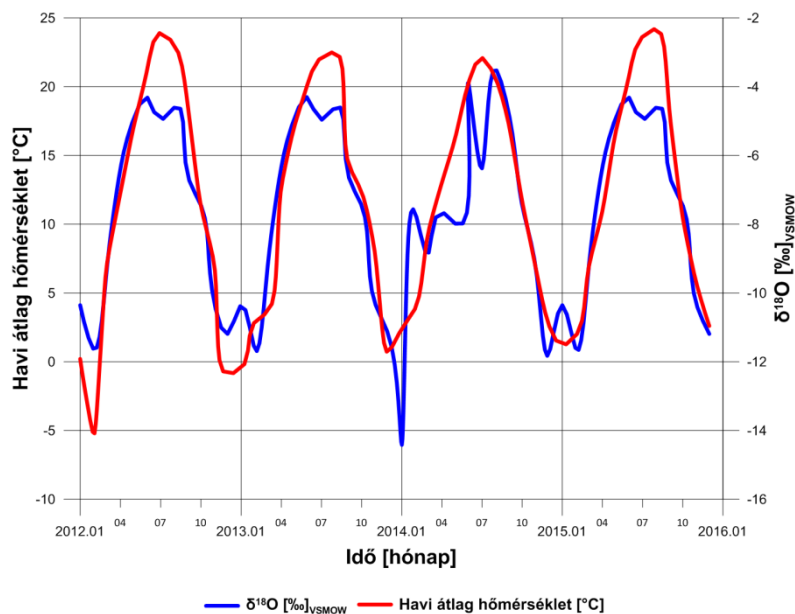
Kutatásunk eszközei a víz stabil izotópjai. Ezeket a természetes nyomjelzőket ma már sikeresen használják vízföldtani kutatásokban is [3]. A stabilizotóp-arányokat a vizek eredetének meghatározására és keveredésének kimutatására alkalmazzák [4]. Vizsgálatunkban a csapadékvíz telítetlen zónába való beszivárgásának lekövetésére használtuk fel őket.

A stabilizotóp arányokat egy nemzetközi standardhoz viszonyítva, ezrelékben adjuk meg [3]. Ezeket az alábbi képletekkel számíthatjuk ki [5]:

$$\delta = \frac{R_{\text{minta}} - R_{\text{standard}}}{R_{\text{standard}}} * 1000 \text{ [‰]}$$

$$R = \frac{\text{nehéz izotópok}}{\text{könnyű izotópok}} [-]$$

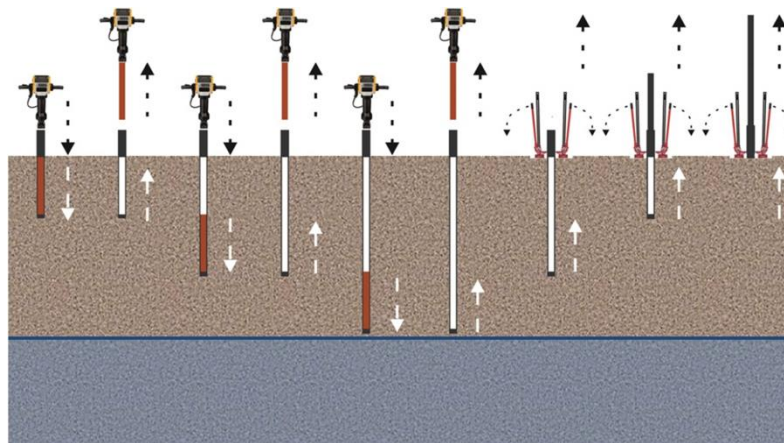
A csapadékvíz stabilizotóp-összetételét több tényező is befolyásolja, melyeket összefoglalva izotóphidrológiai effektusoknak nevezünk. Vizsgálatunk a hőmérsékleti izotópeffektuson alapul, tehát azon a jelenségen, hogy az izotóp frakcionációs folyamatokban jelentős szerepe van a léghőmérsékletnek. Korábbi vizsgálatok során bizonyították, hogy erős kapcsolat van a csapadékvíz $\delta^{18}\text{O}$ koncentrációja és a csapadékhulláskor mért léghőmérséklet között [6]. Minél alacsonyabb hőmérsékleten csapódott ki a csapadékvíz, annál kevesebb nehéz izotópot tartalmaz [3]. A szezonális izotóp-trend egy sinus-görbét ír le a lehullott csapadékban, melyet a nemrég beszivárgott talajnedvességben is megfigyelhetünk [7].



2. ábra. Debrecen havi átlaghőmérséklete és a debreceni csapadékban mért stabil oxigén izotóp arányok 2012-2016 között (OMSZ és MTA ATOMKI adatok alapján Osváth K., 2016)

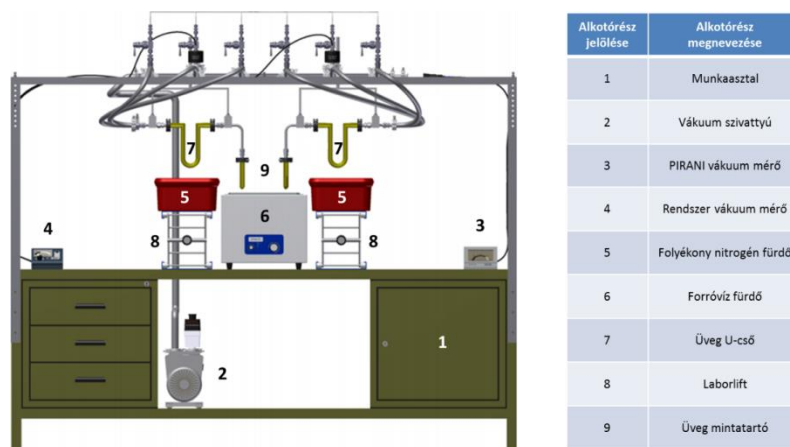
4. TEREPI ÉS LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATOK

A terepi mintavételezést a Fischerbócsa település mellett kijelölt mintaterületen, közvetlenül a korábban itt kialakított kútfelek mellett hajtottuk végre. A mintázást egy dugattyús mintavevő segítségével végeztük el, mely alkalmas folytonos, zavartalan magminta vételére. 5 m-es mélységig mintáztunk, így sikerült elérni a nyugalmi talajvízszintet, biztosítva a telítetlen zóna teljes vastagságban történő megmintázását. A mintatartó csöveket légmentesen záró kupakkal láttuk el, ezáltal megőrizhető volt a minták eredeti stabilizotóp-összetétele.



3. ábra. A talajmintázás folyamata (Kompár L., 2015)

A talajminták feldolgozását Debrecenben, a MTA ATOMKI Hertelendi Ede Környezetanalitikai Laboratóriumában végeztük el. A talajmintákból kinyertük a talajnedvességet, melyhez egy speciális vákuum-desztillációs rendszert alkalmaztunk. Az eljárás lényege, hogy vákuum hatására a vírzecskék elszakadnak a talaj szilárd szemcséitől. Azért ezt a módszert használtuk fel, mert az eredeti nedvesség csaknem teljesen kinyerhető vele a talajmintából, illetve a kinyerés során elkerülhető az izotóp frakcionáció, így megőrizhető a vízminta eredeti stabilizotóp-összetétele. A vízminták stabil oxigén izotóp-arányait ($\delta^{18}\text{O}$) tömegspektrometriával határozták meg.



4. ábra: A vákuum-desztillációs rendszer felépítése (Kompár L., 2015)

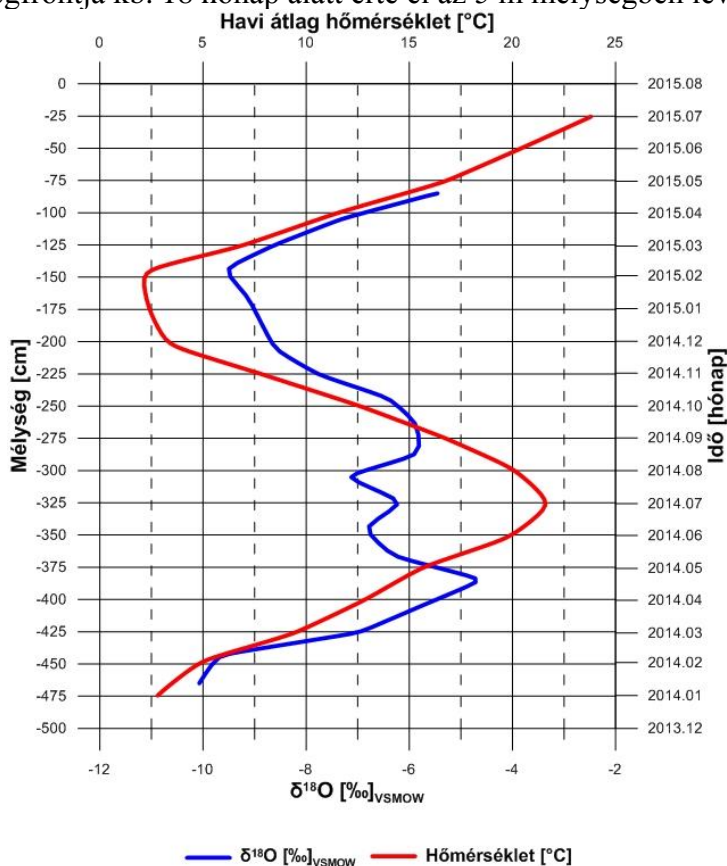
A mintákon továbbá talajmechanikai vizsgálatokat is végrehajtottunk, a Miskolci Egyetem Környezetgazdálkodási Intézetének Geotechnikai Talajvizsgáló Laboratóriumában. Meghatároztuk a minták víztartalmát, szemcsesűrűségét, száraz térfogatsűrűségét és hézagterfogatót. Szitálással felvettük a minták szemcseeloszlási görbéit. A görbékből Zamarin-módszerrel kiszámítottuk, merev falú, változó víznyomású permeabiméteres kísérlettel pedig meg is mértük a szivárgási tényezőket. A kapott eredményeket az izotóp transzport modell elkészítéséhez használtuk fel.

5. A STABILIZOTÓP-VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEINEK ÉRTELMEZÉSE

5.1. Hőmérsékleti görbe illesztés

A kutatási terület meteorológiai adatainak feldolgozása után az izotópos vizsgálat eredményeinek értelmezését végeztük el, a hőmérsékleti adatok izotópos görbére való illesztésével [8]. Az 5. ábrán az oxigén-18 koncentráció értékek láthatók a mélység, illetve a havi átlaghőmérséklet értékek az idő függvényében. Az illesztés során a hőmérsékleti görbe negatív csúcsait feleltettük meg a stabilizotóp-profil negatív csúcsainak, a hőmérsékleti izotóp effektus alapján. Az értelmezés során a mélység felé visszafelé haladunk az időben. A talajmintákból kinyert nedvességből meghatározott stabil oxigénizotóp-arányok a 85-485 cm közötti mélységszintből szolgáltatnak vízföldtani információt.

85 cm-től lefelé az izotóp-koncentráció egyre negatívabb, majd 145 cm-es mélységben egy negatív csúcsot láthatunk, mely a 2015 telén lehullott csapadékot jelentette. Tovább haladva, 2014 nyarához közeledve, a magasabb hőmérséklettel az izotópkoncentráció egyre pozitívabbá vált, majd 260-380 cm között szabálytalan ingadozást mutatott, melynek valószínűleg földtani okai lehettek. Az ingadozás megszűnése után fokozatosan csökkenő koncentrációk láthatók, a görbe alján, 465 cm-nél egy újabb negatív csúccsal, mely a 2014 telén hullott csapadékot jelenti. Az izotópos görbe negatív csúcsai alapján a beszivárgó csapadék nedvességfrontja kb. 18 hónap alatt érte el az 5 m mélységben lévő talajvíztükröt.



5. ábra. A havi átlag hőmérséklet és a $\delta^{18}\text{O}$ koncentráció a mélység függvényében (OMSZ és MTA ATOMKI adatok alapján Osváth K., 2016)

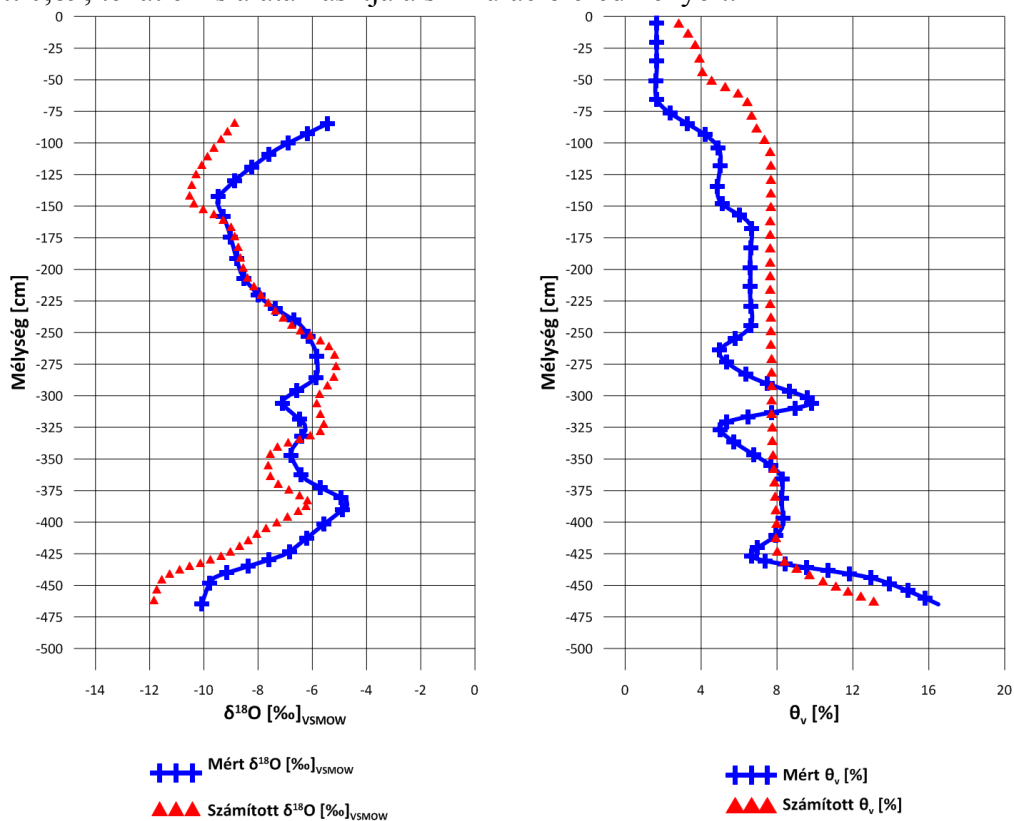
5.2. Izotóp transzport modellezés

A hőmérsékleti görbe illesztéssel kapcsolatban felmerült a kérdés, hogy becsült elérési idő mennyire tekinthető pontosnak. Ennek megválaszolására a HYDRUS-1D programmal elkészítettük a telítetlen zóna izotóp transzport modelljét.

A modellünk alapja egy 5 m vastagságú, homogén-izotróp talajoszlop volt, melyben csak függőleges szivárgás lehetséges, és az oszlop legalján található a statikus talajvízszint. A talajparamétereket a laboratóriumi méréseink eredményei alapján, illetve a programba épített talajkatalógusból adtuk meg. A hidrodinamikai modell felső peremfeltétele az adott hónapban lehullott csapadékösszeg volt, míg a transzport modellnél a debreceni csapadékvízben mért stabilizotóp-koncentrációkat adtuk meg. Ezeket az értékeket havi bontásban vittük be a modellbe, majd a szimulációt a vizsgált 18 hónapos időtartamra futtattuk.

A 6. ábrán a modellezési eredmények láthatók. A bal oldali diagram a talajnedvességben mért és a modellezett izotóp koncentráció értékeket mutatja be a mélység függvényében. Az izotópos görbe negatív és pozitív csúcsai azonos mélységben vannak, de a stabilizotóp-koncentráció értékek között kisebb eltérések mutatkoznak, melyek oka, hogy a modell elkészítéséhez havi bontású adatok álltak rendelkezésemre, amivel nehéz lekövetni a valós időjárási viszonyokat. A mért és a modellezett adatsor közötti korreláció mértéke 0,79, az összefüggés közel erősnek mondható.

A modell validálásához a talajmintákban mért és a számított térfogati víztartalom értékeket használtuk fel, mely a jobb oldali ábrán látható. A Pearson-féle lineáris korrelációs együttható értéke itt 0,89, tehát ez is alátámasztja a szimuláció eredményeit.



6. ábra. A mért és a modellezett izotóp koncentrációk, illetve a mért és a számított térfogati víztartalom értékek a mélység függvényében (Osváth K., 2016)

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **MOLNÁR B., BALÁZS R.:** *A Duna-Tisza köze földtani fejlődéstörténete és földtani értékei.* A Kiskunsági Nemzeti Park weboldala. <http://knp.nemzetipark.gov.hu/a-duna-tisza-koze-foldtani-fejlodestortenete-es-foldtani-ertekei>. Leötlés: 2015.09.29.
- [2] **DEÁK J.:** *A Duna-Tisza köze rétegvíz áramlási rendszerének izotóp-hidrológiai vizsgálata.* Doktori (PhD) értekezés, Budapest, 2006.
- [3] **DEÁK J., FÓRIZS I., VALLASEK I.:** *A Kárpát-medence ásvány- és gyógyvizeinek izotóp-vízföldtani jellemzése.* In: Borszéki B. Gy. (szerk.) (2013): *A Kárpát-medence ásvány- és gyógyvizei.* (Nagy és Társa Nyomda és Kiadó Kft., Budapest, 2013). 208-239.
- [4] **SZUCS P., KOMPAR L., PALCSU L., DEAK J.:** *Estimation of the groundwater replenishment change at a Hungarian recharge area.* Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences. 10, 227 – 236.
- [5] **MOOK, W. G.:** *Introduciton, Theory, Methods, Rewiev.* IAEA - Environmental Isotopes in the Hydrological Cycle. (Vol. 1., 2001), 19-33.
- [6] **VODILA G., PALCSU L., FUTO I., SZANTO ZS.:** *A 9-year record of stable isotope ratios of precipitation in Eastern Hungary: Implications on isotope hydrology and regional palaeoclimatology.* Journal of Hydrology. 400, 2011. 144–153.
- [7] **GEYH, M.:** *Groundwater Saturated and Unsaturated Zone.* IAEA - Environmental Isotopes in the Hydrological Cycle. (Vol. 4., 2000). 349-389.
- [8] **OSVÁTH K.:** *Izotóphidrológiai vizsgálatok a telítetlen zónában.* Diáktudomány. A Miskolci Egyetem Tudományos Diákköri Munkáiból. Miskolci Egyetem Tudományos Diákköri Tanács (ME TDT) VIII. Kötet. 2016. .

FELSZÍNI VIZEK KÉMIAI PARAMÉTEREINEK AUTOMATIZÁL IN-SITU MÉRÉSE

IN-SITU MEASUREMENT OF CHEMICAL PARAMETERS OF SURFACE WATER

KONYHA József¹, FÜVESI Viktor²

¹tudományos segédmunkatárs, konyha@afki.hu
Miskolci Egyetem, Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet, 3515 Miskolc, Egyetemváros Pf. 2.

²tudományos munkatárs, PhD, fuvesi@afki.hu
Miskolci Egyetem, Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet, 3515 Miskolc, Egyetemváros Pf. 2.

Kivonat: A felszíni vizeink minőségének védelméről ma már kormányrendeletek szólnak. Az Európai Unió, erre a területre szóló, szabályozásainak gyűjteménye az „EU Víz Keretirányelv”, melynek előírásai minden tagállamra érvényesek. Ebben a cikkben bemutatásra kerülnek a főbb irányelvek lényegi elemei és a Víz Keretirányelv szerinti vízminőség-modell is. Ezek után a felszíni vizeink kémiai paramétereinek részletes elemzésére kerül sor. Végül a szerzők bemutatnak egy egyedi fejlesztésű mérőrendszer, mely autonóm módon képes a felszíni vizek főbb kémiai paramétereinek online automatizált monitorozására. A cikkben ismertetésre kerül a rendszer felépítése, majd a tesztidőszak alatt szerzett tapasztalatok.

Kulcsszavak: környezetvédelem, vízminőség, mérés-adatgyűjtés, beágyazott rendszerek

Abstract: Nowadays government regulations exist in protection of surface water. The EU Water Framework Directive is a collection of the European Union regulations, which requirements applicable to all member states. In this article, the authors describe the essential elements of the EU Water Framework Directive and write about the water quality model. Later some details will be shown about the analysis of the chemical parameters of surface waters. Finally, new custom-developed measuring system will be introduced, which is capable to autonomously measure and monitor the main chemical parameters of surface water. Finally the structure of the system and some results of the experience from the test period will be described.

Keywords: environment protection, water quality, measurement and data acquisition, embedded systems

1. BEVEZETÉS

A víz az élet alapvető, semmivel sem pótolható feltétele, valamint az élő szervezetek nélkülözhetetlen alkotórésze. A felszínen igen változatos formában jelenhet meg a víz, egyik gyakori megjelenése a vízfolyás. Az emberek már a történelem korai szakaszában a vizek közelében készítettek maguknak lakóhelyet. A vízfolyás szolgáltatta a mezőgazdasági munkához nélkülözhetetlen vizet, később energiát adott az ipari munkához. A fejlődés során, ahogy az ember terjeszkedett, egyre több területet foglalt el a vízfolyások környezetéből.

A társadalom fejlődésével az ember szokatlan, és gyors mértékben módosította a víz természetes körforgását, felborítva a vízi élet állandóságát - beleszólt annak természetes tisztulási folyamataiba - ezen felül a környezet szennyezésével lehetetlenné tette az egyensúly önerőből való helyreállítását, így a modern társadalmak legégetőbb feladata a környezeti problémák, kiemelten a vízszennyezés kezelése és megoldása, ami a jelen és a jövő generációi szempontjából kulcsfontosságú.

A vízmonitoring jelentősége a felszíni vízkészletek mennyiségének és minőségének vizsgálata a víz állapotának folyamatos észlelése, megfigyelése annak érdekében, hogy

a környezeti rendszerről megszerzett ismereteinket bővítsük és határozottan tudjunk fellépni megóvása és fenntartása érdekében.

2. FELSZÍNI VIZEINK FONTOSSÁGA

A víz a Föld felszíne alatt és felszínén előforduló állandó körforgásban lévő természeti kincs, amelynek mennyisége lényegesen nem változik. A víznek ősidők óta fontos szerepe volt

a földi élet, a termelés és a társadalmi-gazdasági fejlődés alakulásában, annak fejlődésében. Korunk társadalmi és gazdasági élete szinte minden vonatkozásban összefügg a vízviszonyokkal.

Az élet fenntartásához kifogyhatatlan készletekre lenne szükségünk, azonban Földünk édesvízkészlete sajnos véges. Mára már korunk egyik legnagyobb globális problémájává vált az ivóvízhiány. Az ENSZ előrejelzése szerint 2025-re az emberiség kétharmadának nem jut majd elegendő mennyiségű és megfelelő minőségű ivóvíz [1], [2].

A folyók, tavak, tengerek és mesterséges víztározók képezik a felszíni vizek csoportját. A felszínen összegyűlő csapadékvízből, a talajból kiszivárgó és mesterségesen kiemelt vízből tevődik össze a patakok és folyók vize. A folyóvízben mindig található szerves anyag is, mindig tartalmaz oxigént is, ami az élőlények számára nélkülözhetetlen. A folyóvizek baktériumtartalma a folyóba kerülő szerves szennyezések oldására képes. Ez a folyóvíz öntisztulását teszi lehetővé. A folyók vizét megfelelő szűrők beiktatásával ipari célra általában közvetlenül is fel lehet használni, ivóvizet a part mentén létesített ún. partszűréses eljárással nyernek. A termőutak vizét a vezetékes ivóvízhálózatba juttatják. Az átfolyós tavak (pl. Balaton) vize származásuk analógiája alapján is hasonló a folyóvizekhez. A lefolyástalan tavaknál (pl. Kaszpi-tó) a víz csak párolgás útján tud eltávozni, így jelentős mérvű sófelhalmozódás érzékelhető, ezek vize a tengervízhez hasonló vagy még sósbabb. A Föld víztömegének zömét adó tengervíz felhasználása nagy sótartalma miatt korlátozott [3].

2.1. Vizek minősége

A vízminőség a vizek fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságainak összessége. A víz minőségének meghatározása szakszerű mintavételből, valamint helyszíni fizikai, kémiai, biológiai és bakteriológiai vizsgálatok elvégzéséből áll. A vizek szennyező anyagokkal való terhelhetőségéhez a vízmennyiség, a vízhozamok ismerete is szükséges.

A vizsgálati adatok rendszerezése vezet a víz minősítése felé, amelyet természettudományos rendszerekben

- a sótartalom mértéke és minősége;
- a szennyezettség (pl. oxigénfogyasztás, öntisztító képesség);
- mérgezőanyag tartalom (pl. nehézfémek, cianidok);
- egészségügyi szempontok (pl. fertőzöttség, radioaktivitás)
- és sok egyéb megfontolás alapján történhet.

A felszíni vizekre jellemző, hogy nagy tömegűek, magasságkülönbségből eredően mozgáskészségük jelentős, időben és térben változó mennyiségűek, utánpótlásuk gyors, erodáló és hordalékmozgató hatásuk jelentős, élőszervezet tartalmuk nagy. A vizeket a gyakorlati felhasználás minőségi követelményei alapján célszerű osztályozni:

- ivóvízellátásra;
- ipari vízhasználatra;

- öntözésre;
- egyéb vízhasználatra való alkalmazás alapján [1], [4].

2.2. Magyarország vízhelyzete

Magyarország a még meg lévő, jó minőségű vízkészleteinket figyelembe véve jelenleg kedvező helyzetben van, de ennek hosszú távú megőrzése stratégiai kérdés. A vízzel való gazdálkodásunk egyik legfontosabb feladata az édesvízkészletek pontos megismerése, a vízkörforgásban lejátszódó mennyiségi és minőségi folyamatok minél pontosabb megértése. Ahhoz, hogy a jövőben is mindenkinek jusson tiszta ivóvíz, hogy megmaradhassanak a folyók és tavak, erőfeszítéseket kell tennünk vizeink megóvásáért, állapotuk javításáért. Ezt célozza meg az Európai Unió Víz Keretirányelve, amely kimondja, hogy a tagállamokban 2015-ig jó állapotba kell hozni a felszíni és felszín alatti vizeket, valamint fenntarthatóvá kell tenni ezt a jó állapotot.

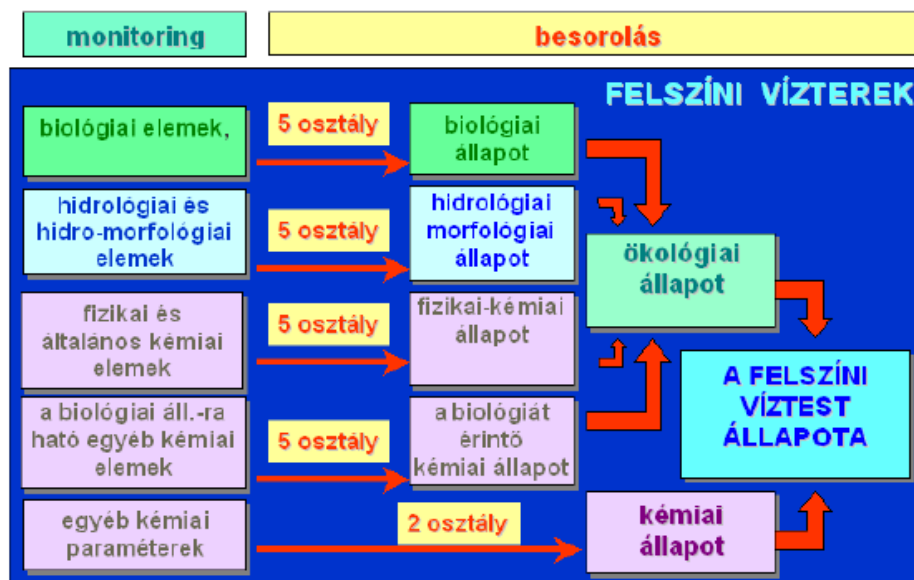
„A vízbiztonsági terv a fenti célok teljesülése érdekében kidolgozott olyan hatékony intézkedéssorozat kell, hogy legyen, amely képes szavatolni az ivóvízellátás biztonságát a nyersvíz kitermeléstől a lakossági hálózatba táplálásig, és így az ivóvízellátás minőségirányításának hatékony eszköze lehet. Az ivóvíz-ellátási folyamat teljes vertikumának feltárásával a kritikus ellenőrzési pontok veszélyanalízis és kockázatértékelés alapján történő kijelölésével, valamint a hatékony eseménykezelési és vészhelyzet-kezelési komponensével az ivóvíz minőségének biztosításán túlmenően a vízbiztonsági terv hivatott kifejezni ugyanakkor az ivóvíz szolgáltató elkötelezettségét az ivóvízellátás biztonságának – azaz veszélymentes állapotának – megőrzése mellett. A vízbiztonsági terv felépítésének és tartalmi elemeinek egységes követelményrendszerét kell tehát az ajánlások és útmutatók mellett kidolgozni, aminek érdekében szükséges a jövőben a vízbiztonsági tervezés feltárt nehézségeit kiküszöbölni és így a kidolgozás egységes feltételeit biztosítani.” [4], [5], [6]

2.3. Az EU Víz Keretirányelv (EU VKI)

A VKI az EU vízgazdálkodásra vonatkozó legfontosabb jogszabálya, amelynek előírásait minden tagállamnak végre kell hajtania. Ezen irányelvnek az a célja, hogy keretet adjon a szárazföldi felszíni vizek, az átmeneti vizek, a parti tengervizek és a felszín alatti vizek védelmének, amely:

- megakadályozza a vízi ökoszisztémák, és a vízi ökoszisztémáktól közvetlenül függő szárazföldi ökoszisztémák és vizes területek további romlását, védi és javítja azok állapotát;
- elősegíti a hasznosítható vízkészletek hosszú távú védelmére alapozott fenntartható vízhasználatot;
- a vízi környezet fokozott védelmére és javítására irányul, többek között célzott intézkedések révén a veszélyes anyagok bevezetésének, kibocsátásának és veszteségeinek fokozatos csökkentésére, továbbá a különösen veszélyes anyagok bevezetéseknek, kibocsátásának és veszteségeinek megszüntetésére vagy fokozatos kivonására;
- biztosítja a felszín alatti vizek szennyezésének fokozatos csökkentését, és megakadályozza további szennyezésüket; és
- hozzájárul az árvizek és aszályok hatásainak mérsékléséhez.

A VKI szerint az ökológiai állapot alapján történik a felszíni vizek osztályba sorolása. A felszíni víztest állapotát az ökológiai és a kémiai állapot együttesen adja, ahogyan az 1. ábrán is látható [7].



1. ábra. A vizek minősítése a VKI alapján [7]

3. AUTOMATIZÁLT IN-SITU VÍZMINŐSÉGVIZSGÁLÓ RENDSZEREK

Felszíni vizeink jó állapotának megőrzése nem csak kötelességünk, hanem már kormányzati szintű előírások is léteznek. Ebben a fejezetben az Intézetünkben fejlesztett, automatizált, in-situ vízminőséget monitorozó rendszerek kerülnek bemutatásra.

Az Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet 2010 óta több vízminőség vizsgálatához kapcsolódó prototípus fejlesztési projektben vett részt. Első projektünk célja egy konténer alapú vízminőség monitorozó állomás kifejlesztése volt, majd ezt a koncepciót továbbfejlesztve létrehoztunk egy komplex, grid alapú vízminőség-mérő hálózatot. Az alábbiakban mindkét hálózatot részletesen bemutatjuk.

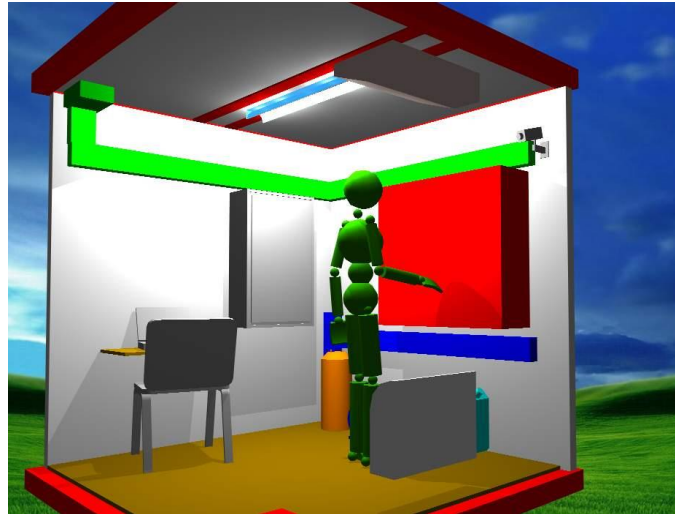
3.1. Konténer alapú vízminőség-monitoring koncepció - AVITAR

A pályázat fejlesztési célja egy olyan mérőhálózat kiépítése volt, amely egységes, robot-analizátoron alapuló, korszerű mérőállomás adataihoz való hozzáférést biztosított a felhasználó részére, a megfelelő informatikai rendszeren keresztül. A vízminőség-mérőállomás akkreditált üzemeltetését (akkreditált laboratórium) a szakszemélyzet és az informatikai rendszer biztosította, vagyis a rendszerközpontban a monitorozott adatok objektívan dokumentált formában álltak rendelkezésre.

Ahogyan a 2. ábrán látható, a pirossal jelölt helyen került felszerelésre a robot-analizátor, az analizátor alatt a mintavevő szivattyú a kiszolgáló egységekkel, a PLC pedig a baloldalon látható szürke szekrényben került elhelyezésre. A zöld kábelcsatornába a villamos vezetékezés, a kék színű csatornába pedig a hidraulikus csövezés kapott helyet.

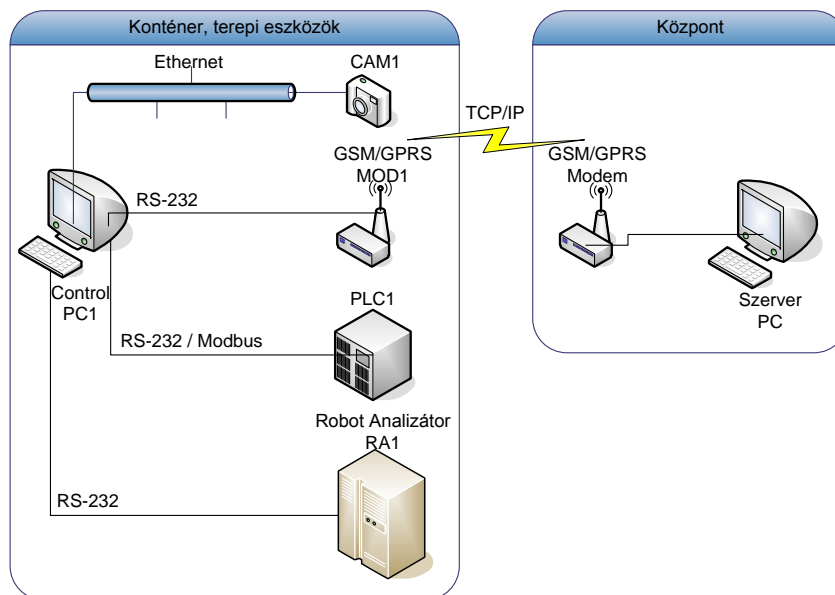
A vízpartra telepített konténer egy csövön keresztül szívta be a vizet, melyet elemzést követően a folyóba (vagy tóba) engedett vissza. A konténer GPRS kapcsolaton keresztül tartotta a kapcsolatot a központi szerverrel. 3 üzemmódot különböztettünk meg, melyek:

- automatikus, előre programozott mérési ciklusok végrehajtása;
- távoli vezérlés, GPRS kapcsolaton keresztül;
- helyi (kézi) vezérlés.



2. ábra. A konténer belső kialakításának 3D-s terve.

A vízminőségi távmérő rendszerben egy PLC és egy PC végezte a távadók jeleinek kezelését, a szükséges vezérléseket, a kamera jelének és a vészjelzéseknek a kezelését, és nem utolsósorban a távmérő rendszer kommunikációjának biztosítását a felső szintű rendszer felé mindkét irányban (3. ábra).



3. ábra. A rendszer belső és külső kommunikációs kapcsolatai

A 3. ábrán mutatja a rendszer belső felépítését és az egyes rendszerelemek közti kommunikációs kapcsolatokat. A rendszerben található egy robot analízátor (RWA Multiparameter Analyser), amely egy on-line, 11 csatornás vizsgáló egység. Az RWA ammónia, nitrát, ortofoszfát fotometriás és TOC (szerves széntartalom) roncsolásos módszer szekvenciális mérésének elvégzésére alkalmas. A kifejlesztett analízátornak a szűrő nem volt része. Az RWA analízátor a lebegőanyagot a mintafelszívás során in-situ ülepítéssel távolította el, azaz a mintafelszívás sebessége kisebb az ülepedési sebességnél, így a pipetta a minta tisztáját szívta fel.

A mérőegység mérési elve kolorimetria, ami fényelnyelésen alapuló analitikai módszer. A módszer fényfelbontást nem igényel, a referenciát és a mintát polikromatikus fényvel világítjuk meg. A készülék az ismeretlen koncentrációjú színes anyag adott rétegvastagságú oldatát ugyanazon anyag ismert koncentrációjú oldatával hasonlította össze. A műszer nullázási feladatot végzett, amikor a referencia oldatot a fényútba helyezte, majd a mintát a fényútba helyezve, összehasonlítás alapján mérte a fényintenzitás csökkenését.

A TOC meghatározása UV roncsolással történik. Sav hozzáadás és a szerves széntartalom kilevegőztetése után ismert módon peroxi-diszulfát oxidálószerrel és UV-besugárzást alkalmazva oxidálja a mintában lévő szerves komponenseket. Az oxidáció során keletkező szén-dioxidot NDIR-detektor segítségével méri [8].

3.2. Oszlop alapú vízminőség-monitoring koncepció - GRID

A rendszer célja a felszíni vizek minőségi jellemzőinek folyamatos monitorozására, online információszolgáltatásra alkalmas szenzor alapú, távvezérelhető mérőeszközökre alapozott, grid alapú mobil mérőrendszer kialakítása.

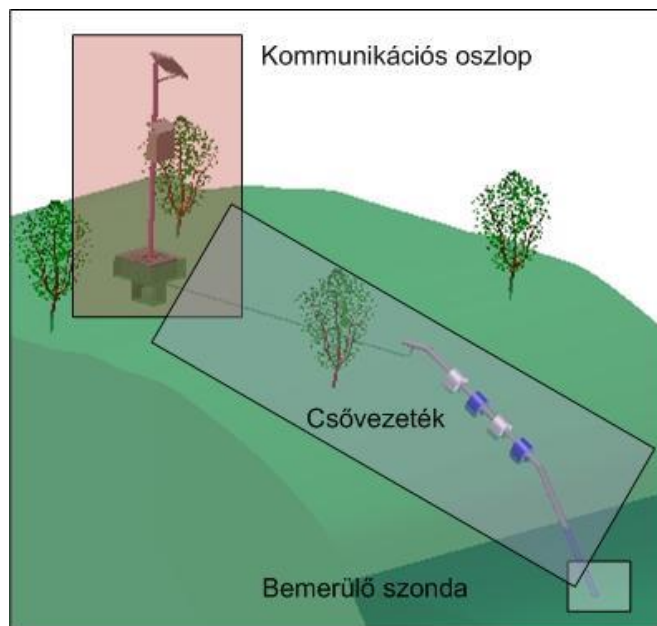
A terepi vízminőség vizsgáló rendszer a következő fontosabb komponensekből áll:

- kommunikációs oszlop
- összekötő csővezeték
- bemerülő mérőszonda

A kommunikációs oszlop feladata, hogy a mérőszondából nyert információkat továbbítsa a központ felé illetve a központból kapott méréssel kapcsolatos parancsokat teljesítse.

Az összekötő csővezetésnek elsődleges feladata, hogy megvédje az összeköttetést biztosító kábeleket a kommunikációs oszlop és a mérőszonda között.

Bemerülő mérőszonda a benne elhelyezett érzékelők segítségével méréseket végez, majd az információkat továbbítja a kommunikációs oszlop felé, az oszlop pedig a központi szerver állomással áll kapcsolatban. A következőkben ezeknek az alegységeknek a fontosabb paramétereit tárgyalom. A főbb egységek elhelyezkedése az 4. ábrán látható.



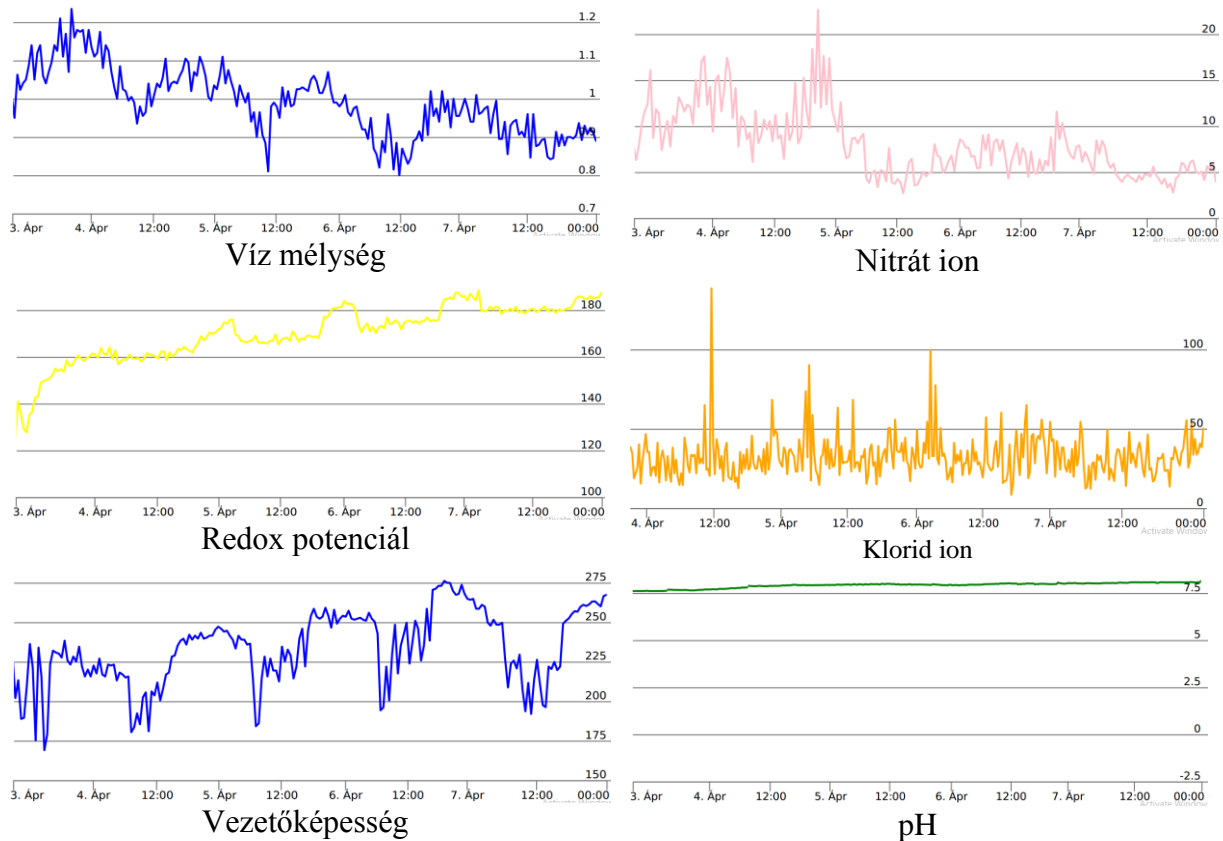
4. ábra. A mérőrendszer főbb komponensei

A rendszer a beépített akkumulátornak és napelemnek köszönhetően az elektromos hálózattól elszigetelten is képes működni. A moduláris bemerülő szonda maximum 6 db mérő elektróda illesztésére alkalmas. A tesztrendszerben az 1. táblázatban található mérőelektródákat illesztettük és használtuk.

Vízminőségi mutató neve	Szenzor gyártó és típus
Vízszint (mélység)	Mercoïd - SBLT2-10-40
Redox potenciál	Jumo - ORP 01860676 01 0 1336
pH	Hanna Instruments - HI 1001
Vezetőképesség	Jumo - 1887155 01 0 1349
hőmérséklet	Jumo - 1887155 01 0 1349
Oldott oxigén	Aquaterra - 451-741 014/DJ/S8
Ammónium Ion	Aquaterra - E-531-ise-NH4
Klorid Ion	Aquaterra - E-531-ise-Cl

1. táblázat. A prototípus rendszerben használt érzékelők

A rendszer pilot területe a Sajó folyó, Miskolc környéki szaka. A tesztidőszak alatt mérőoszlopokat helyeztünk ki a Sajó partjára az alábbi településeknél: Sajóecseg, Sajókeresztúr, Miskolc, Sajópetri és Ónod. A tesztrendszer közel 1 évig üzemelt és ezalatt értékes adatokat gyűjtött a térségben. Az 5. ábrán látható grafikonokon a Miskolcnál lévő oszlop mérési eredményei láthatóak 2015.04.03 – 2015.04.08 időszakban [9], [10].



5. ábra. A Sajó miskolci szakaszánál telepített oszlop mérési eredményei
2015.04.03 – 2015.04.08

ÖSSZEFOGLALÁS

A kifejlesztett rendszerek olyan európai uniós pályázatok eredményei, melyeknek köszönhetően jövőbe mutató, magas hozzáadott értékű innovatív termékek jöttek létre.

A mindkét bemutatott koncepciónak megvannak az előnyei és hátrányai, ezeket figyelembe véve telepítés előtt érdemes mérlegelni melyik konstrukció a legalkalmasabb az adott feladatra az adott helyszíni körülmények között.

Összességében elmondható, hogy a megvalósított rendszerek elősegítheti a felszíni vízfolyások, állóvizek minőségi ellenőrzését; a folyamatos, szakszerű kontroll szinte már nélkülözhetetlen a fenntartható fejlődés elérése érdekében és nagy hatással lehet az ökológiai egyensúly megőrzésére, helyreállítására.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **Dr. Ligetvári Ferenc:** *A vízgazdálkodás alapjai*, 2011.
- [2] **Dávidovits Zsuzsanna:** *A lakossági ivóvízellátás környezetbiztonsági kockázatai és a vízminősítés laboratóriumi módszerei*, Védelem Online, 2011. december,
- [3] http://www.agr.unideb.hu/ebook/vizminoseg/a_vz_jelentsge.html (letöltve: 2016.06.14)

- [4] **Az Európai Parlament és a Tanács:** *2000/60/EK irányelve (2000. október 23.) a vízpolitika terén a közösségi fellépés kereteinek meghatározásáról a „Víz Keretirányelvnek”*(2000/60/EK)
- [5] **Berek Tamás – Dávidovits Zsuzsanna:** *Vízbiztonsági terv szerepe az ivóvízellátás biztonsági rendszerében,* 2012. Hadmérnök
- [6] **Rácz László István:** *Magyarország felszíni és felszín alatti vizeinek minősége, védelme* – 2014. Hadmérnök
- [7] **Csegényi József:** *Felszíni és felszín alatti vizeink állapota*
- [8] **Kovács Zsófia, Kovács Szilárd, Dióssy László, Rédey Ákos:** *On-line Monitoring of the Water Pollution Using Robotic Water Analyser* - Global Conference on Environmental Studies (CENVISU-2013), 24-27 April 2013, Antalya, Turkey
- [9] **Csaba Vörös:** *Development of water quality monitoring station* - The Publications of the MultiScience - XXIX. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference, 9-10 April 2015, Miskolc
- [10] **Konyha József:** *Grid-based wide area water quality measurement system for surface water* – ICC 2016 - 17th International Carpathian Conference - High Tatras, Tatranská Lomnica, Grandhotel Praha, Slovak Republic, May 29 - June 1, 2016

A KÉSZLETGAZDÁLKODÁS KÖLTSÉGEINEK ÖSSZEFÜGGÉSEI

THE CONTEXTS OF THE INVENTORY MANAGEMENT EXPENSES

KORPONAI János¹, BÁNYAINÉ TÓTH Ágota², ILLÉS Béla³

¹MSc, doktorandusz,, janos.korponai@gmail.com

¹Miskolci Egyetem

²PhD, egyetemi docens, altagota@uni-miskolc.hu

²Miskolci Egyetem

³Prof. habil. intézetigazgató egyetemi tanár, altilles@uni-miskolc.hu

³Miskolci Egyetem

Kivonat: A vásárolt alkatrészeink optimális készlet szintjének meghatározása során fontos szerepet játszanak a beszerzéssel és a készletek tartásával kapcsolatos költségek valamint a készlethiány következményei. A készlethiányt megengedő gazdaságos rendelési tétel nagyság modell alkalmazásával meghatározhatjuk azt az optimális rendelési mennyiséget, mely alkalmazásával a készletgazdálkodásunk a legkedvezőbb költség szint mellett biztosítható. A fajlagos költségtényezők egymás függvényében történő ábrázolása és az egyszeri rendelési költség megjelenítése megmutatja az egymáshoz viszonyított arányukat, és az elmozdulásuk összköltségre gyakorolt hatását, megadják az optimalizálás behatárolt lehetőségeit.

Kulcsszavak: beszerzés, készlethiány, készlet tartás, fajlagos költség, rendelési tétel nagyság

Abstract: During the definition of the optimal inventory level of purchased parts, the purchasing and stock holding costs and also the consequence of shortages play an important role. By using the economic order quantity with planned shortage model, we can define the optimal order quantity, along which our stock management can be guaranteed by the most favourable cost level. The presentation of the specific expense factors in each other's function and the representation of the onetime order expenses show their proportion compared to each other, and the effect of their change on the total cost, and define the opportunities of the optimisation.

Keywords: purchasing, shortage, stock holding, specific expense, order quantity

1. A KÉSZLETGAZDÁLKODÁS KÖLTSÉG KATEGÓRIÁI

A gyakorlati logisztikában számos esetben előfordul, hogy a mindenkori felhasználási igény azonnali kiszolgálása nem biztosítható. Az esetek egy részében az ellátási lánc valamely lépésénél bekövetkező zavar töri meg a kiszolgálás folyamatosságát, ezzel jelentős bonyodalmat okozva úgy a vevő, mint a beszállító számára, míg más esetekben valamilyen gazdaságossági szempontra visszavezethető tervezett készletezési stratégiáról van szó.

A klasszikus készletgazdálkodás a készlet szint optimalizálását a költségek oldaláról közelíti meg, vagyis az optimális készlet szintet a legalacsonyabb összköltségből levezetett készlet jeleníti meg. A készletgazdálkodási rendszer költségei között alapvetően három költség kategóriát különböztethetünk meg, úgy mint:

- a beszerzési tevékenységgel összefüggésben felmerülő költség elemek,
- a készlet tartásból adódó költségek, valamint,
- a készlethiány következményeinek költség vonzata [1] [2].

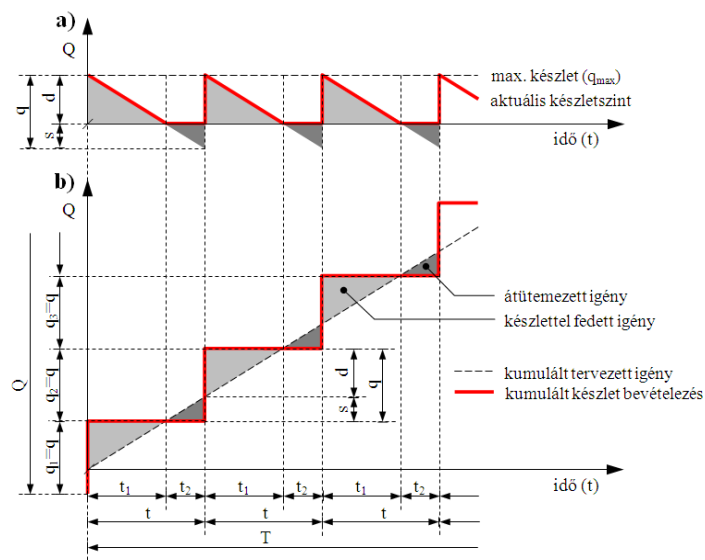
E három költség csoport egymás rovására változtathatók [1] [3]. A készlet tartás költsége a tétel nagyság növekedésével egyenletesen lineárisan nő, míg a beszerzéssel összefüggésben felmerülő költségek a rendelési tétel nagyság növekedésével csökkennek [4]. Hasonlóképpen a készletek tartásának költsége ellentétes irányú a készlethiány költségeivel. A feladat a

költségminimalizáló célt teljesítő összköltségfüggvény optimumának a meghatározása, és abból levezethető rendelési tétel nagyság valamint rendelési periódusköz számszerűsítése.

2. GAZDASÁGOS RENDELÉSI TÉTEL NAGYSÁG KÉSZLETHIÁNY ESETÉN

Kiindulási feltételként rögzítjük, hogy a készlethiány következtében ki nem szolgált igény valamely meghatározott költségszint mellett átütemezhető, és egy későbbi időpontban teljes mértékig kiszolgálásra kerül [5]. A készletezési modellek fő kérdésköre, hogy a legkedvezőbb összköltség mellett mekkora az egy-egy alkalommal beszerzendő optimális mennyiség, és mi a beszerzés optimális ütemezése. A készlet szint és a költségek közötti egyensúlyt a tervezett hiányt megengedő gazdaságos rendelési tétel nagyság modell segítségével határozhatjuk meg, mely modell kiindulási feltételeit az alábbiak alkotják [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8]:

- a beszállítási ráta végtelennek tekinthető, így a beszállítás azonnali,
- a megrendelt mennyiség egyetlen tételként érkezik,
- a beszállítások gyakorisága azonos periódusonként ütemezett,
- a szükséglet teljes bizonyossággal ismert,
- a szükségletet minden esetben ki akarjuk szolgálni,
- a kereslet folytonos és a felhasználás egyenletes intenzitású,
- a készlethiány valamilyen költség mellett elfogadott,
- a rendelési költség független a rendelt mennyiségtől,
- az egy egységre jutó készlettartási költség konstans,
- az egységnyi beszerzési ár a mennyiségtől független,
- végtelen időhorizontot feltételezve a költségek az időtényezőtől függetlenek.



1. ábra. Optimális raktárkészlet, állandó időközű készletfeltöltés és egyenletes intenzitású szükséglet esetén készlethiányos időszakokkal [saját szerkesztés]

A teljes vizsgált időszak során felmerülő beszerzési költség megadható az egyszeri beszerzési költség és a beszerzések gyakoriságának szorzatával (1. ábra) [9]:

$$K_1 = \frac{Q}{q} \cdot k_1 \quad (1)$$

ahol:

- K_1 – a vizsgált időszakra vonatkoztatott teljes beszerzési költség,
- Q – a vizsgált időszakra vonatkoztatott teljes beszerzési igény,
- q – egyetlen periódusra vonatkoztatott beszerzési igény, rendelési tétel nagyság,
- k_1 – egyszeri beszerzés költsége.

A készlettartás költsége kifejezhető a fűrészfog diagram t_1 időszakára esedékes szakaszainak területével [9]:

$$K_2 = \frac{1}{2} \cdot d \cdot t_1 \cdot \frac{Q}{q} \cdot k_2 = \frac{1}{2} \cdot d^2 \cdot \frac{T}{q} \cdot k_2 \quad (2)$$

ahol:

- K_2 – a vizsgált időszakra vonatkoztatott teljes készlettartási költség,
- d – készlettel fedett igény mértéke egy beszerzési cikluson belül,
- t_1 – készlettel fedett igény időtartama egy beszerzési cikluson belül,
- k_2 – a készlettartás időegységre vonatkoztatott fajlagos költsége,
- T – a vizsgált időszak teljes hossza.

A készlethiány költsége kifejezhető a fűrészfog diagram t_2 időszakára esedékes szakaszainak területével [2] [9]:

$$K_3 = \frac{1}{2} \cdot (q - d) \cdot t_2 \cdot \frac{Q}{q} \cdot k_3 = \frac{(q - d)^2}{2 \cdot q} \cdot T \cdot k_3 = \frac{s^2}{2 \cdot q} \cdot T \cdot k_3 \quad (3)$$

ahol:

- K_3 – a vizsgált időszakra vonatkoztatott teljes készlethiány költsége,
- t_2 – készlettel nem fedett igény időtartama egy beszerzési cikluson belül,
- k_3 – a készlethiány időegységre vonatkoztatott fajlagos költsége,
- s – készlethiány miatt felhalmozott elmaradás mértéke egy beszerzési cikluson belül.

Az összköltség függvény felírható e három költség összegeként. A célfüggvény az összköltség függvény minimumának meghatározása:

$$K = K_1 + K_2 + K_3 \rightarrow \min \quad (4)$$

ahol:

- K – készletgazdálkodással kapcsolatos összköltség a teljes időszak alatt.

Az (1) (2) (3) összefüggések behelyettesítésével az összköltség kifejezhető az alábbi képlettel [2] [4] [5] [9]:

$$K(q; d) = \frac{Q}{q} \cdot k_1 + \frac{1}{2} \cdot d^2 \cdot \frac{T}{q} \cdot k_2 + \frac{1}{2} \cdot (q - d)^2 \cdot \frac{T}{q} \cdot k_3 \rightarrow \min \quad (5)$$

Az összköltség függvény q és d szerinti parciális deriváltjainak formáját nullával egyenlővé téve képezhető egyenletrendszer megoldásával megadható az optimális rendelési tétel nagyság [2] [4] [5] [9]:

$$q = d \cdot \frac{k_2 + k_3}{k_3} = \sqrt{\frac{2 \cdot Q}{T} \cdot \frac{k_1}{k_2}} \cdot \sqrt{\frac{k_2 + k_3}{k_3}} \quad (6)$$

A teljes periódus során felmerülő minimális összköltség a vásárolt készletekre kiadott pénztömegeggel együtt:

$$K'' = \sqrt{2 \cdot Q \cdot T \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{k_3}{k_2 + k_3}} + Q \cdot v \quad (7)$$

ahol:

- K'' – beszerzett áru értékét magába foglaló készletgazdálkodással kapcsolatos összköltség a teljes időszak alatt,
- v – egységnyi mennyiség beszerzési ára.

3. A KÖLTSÉGTÉNYEZŐK ÉS A SZINTVONALAK KÖZÖTTI ÖSSZEFÜGGÉS

A költségtényezőket célszerű egymás függvényében is ábrázolni. A 2. ábra mutatja a készlettartás fajlagos költségének arányában a készlethiány fajlagos költségét. A diagramot úgy kell értelmezni, hogy megmutatja e két fajlagos költségtényező különböző aránypárjához rendelhető együttes költség szinteket. A vastag piros folyamatos vonallal rajzolt görbe jeleníti meg a készlettartásból és készlethiányból eredő költségek együttesét az adott k_2 és k_3 szintek mellett. A folyamatos vonallal jelölt költség a görbe minden pontjában azonos szintet tükröz, amiből az következik, hogy egy adott költség szint egy magas készlettartási költségtényező esetén csak egy alacsony készlethiányos költségtényező mellett érhető el. Ezek a negatív meredekségű konvex görbék egy-egy szintvonalat jelenítenek meg, melyek az origótól távolodva egyre magasabb értéket tükröznek.

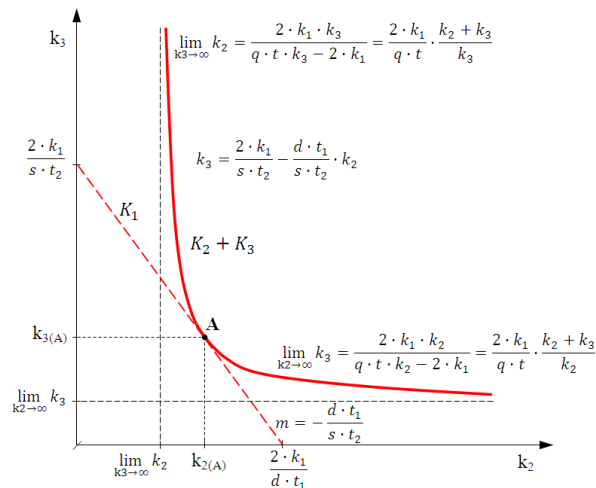
Megfigyelhető, hogy a költség görbe mindkét fajlagos költségtényező irányában a pozitív számok halmazán belül alulról korlátos. A függvénynek számszerűsíthető értékei vannak a határérték alatti tartományban is, azonban az eredmény negatív értéket ad. A függvény negatív szakasza kiesik az értelmezési tartományból, hiszen ez azt jelentené, hogy negatív készlettartási vagy készlethiány költséggel kellene számolni, ami a gyakorlatban nem értelmezhető. Az alsó határértékek egyben azt is jelentik, hogy az optimalizálás csak egy megadott tartományon belül valósítható meg, ez az optimalizációs mozgástér. A nullánál nagyobb szintű alsó határértékek azt is jelentik, hogy rögzített q mennyiséget feltételezve minden $0 < k_2 < 1$ esetén létezik valamilyen hosszúságú készlettartás és készlethiány időszak.

A készletgazdálkodással kapcsolatos teljes költség ott éri el a minimumát, ahol a beszerzési költsége megegyezik a készlettartás és készlethiány együttes költségével. Ebből az is következik, hogy a folyamatos piros vonallal rajzolt görbe minden pontja megegyezik az adott szintvonal esetében egy meghatározott q mennyiséghez tartozó K teljes készletezési költség felével.

A modell kiindulási feltétele, hogy a q , Q , T , és k_1 tényezők rögzített konstansok, amiből következően a t értéke is rögzített, így csak a k_2 , k_3 költségtényezők, a d , s szintek, valamint a

t_1, t_2 időszakok hossza változtathatók. Mivel a k_1, Q és q értékek állandók, így az ezekből levezethető K_1 beszerzési költség is állandó, ami optimális esetben megegyezik a teljes készletezési költség felével. Feladat az összköltség minimális szintjének meghatározása.

A diagramba berajzolható a beszerzéssel összefüggésben felmerülő költség is. A szaggatott piros vonallal rajzolt egyenes jeleníti meg a K_1 beszerzés költségét, ami rögzített q értéke esetén független a k_2 és k_3 tényezőktől. Az egyenes minden pontjában azonos $K/2$ szintet jelenít meg. Meredekségét a készlettartás és a készlethiány időtartama alatt számszerűsíthető átlagos készlet szint és átlagos elmaradás aránya eredményezi.



2. ábra. A költség tényezők és a szintvonal közötti összefüggés, az optimum pont és a határértékek ábrázolása [saját szerkesztés]

A beszerzési költség optimális egyensúlyi helyzetben megegyezik a készlettartás és a készlethiány költségének összegével:

$$\frac{Q}{q} \cdot k_1 = \frac{1}{2} \cdot d \cdot t_1 \cdot \frac{Q}{q} \cdot k_2 + \frac{1}{2} \cdot s \cdot t_2 \cdot \frac{Q}{q} \cdot k_3 \quad (8)$$

Az egyenlet átrendezésével megkaphatjuk az alábbi egyenlőséget, mely kifejezi a k_3 készlethiány költségét a k_2 készlettartás függvényében:

$$k_3 = \frac{2 \cdot k_1}{s \cdot t_2} - \frac{d \cdot t_1}{s \cdot t_2} \cdot k_2 \quad (9)$$

Ebből a képletből már közvetlenül megadható a K_1 beszerzési költség egyenesének meredeksége:

$$m = -\frac{d \cdot t_1}{s \cdot t_2} \quad (10)$$

ahol:

m – beszerzési költség meredeksége

A (9) képletből megadhatók a beszerzési költség tengely metszéspontjai is, így a meredekség és a metszéspontok ismeretében ábrázolható a beszerzési függvény:

$$\text{függőleges tengelymetszet: } \frac{2 \cdot k_1}{s \cdot t_2}; \quad \text{vízszintes tengelymetszet: } \frac{2 \cdot k_1}{d \cdot t_1} \quad (11) (12)$$

Az optimális összköltség megadható a $K=K_1+K_2+K_3$ összefüggéssel, illetve az egyensúlyi helyzetben a $K_1=K_2+K_3$, a két képlet átrendezéséből következik:

$$K = 2 \cdot K_1 \quad (13)$$

Behelyettesítéssel megadható az egyenlőség az alábbi formában:

$$\sqrt{2 \cdot Q \cdot T \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{k_3}{k_2 + k_3}} = 2 \cdot \frac{Q}{q} \cdot k_1 \quad (14)$$

Pozitív értelmezési tartományon belül a (14) képletből levezethetők az egyes fajlagos költség tényezők alsó határértékei is, melyek rögzítik a K_2+K_3 görbe helyzetét, és behatárolják az optimalizációs mozgásteret:

$$\lim_{k_3 \rightarrow \infty} k_2 = \frac{2 \cdot k_1 \cdot k_3}{q \cdot t \cdot k_3 - 2 \cdot k_1} = \frac{2 \cdot k_1}{q \cdot t} \cdot \frac{k_2 + k_3}{k_3} \quad (15)$$

$$\lim_{k_2 \rightarrow \infty} k_3 = \frac{2 \cdot k_1 \cdot k_2}{q \cdot t \cdot k_2 - 2 \cdot k_1} = \frac{2 \cdot k_1}{q \cdot t} \cdot \frac{k_2 + k_3}{k_2} \quad (16)$$

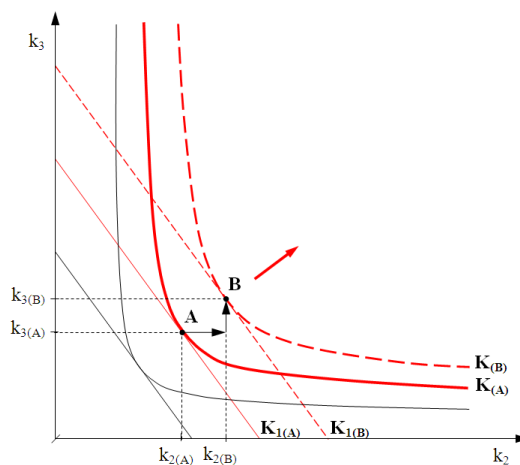
A diagram hasonlóan viselkedik a mikro-ökonómiából jól ismert közömbösségi görbéhez és költségvetési egyeneshez, azonban ki kell hangsúlyozni, hogy a k_2 készlet tartás költsége és a k_3 készlethiány költsége között a gyakorlatban csak ritka kivételes esetben fordul elő helyettesíthetőség, hiszen az egyes költség tényező változtatása, pl. növelése miatt a másik nem fog csökkenni, egy optimalizálás során csak az adott t_1 és t_2 időtartam aránya fog változni. A modell jelentősége abban mutatkozik, hogy jól szemlélteti a költségek szintvonalát, az egyes költség tényezők egymáshoz viszonyított mozgását és a működési mechanizmusukat, így segítséget nyújt a költségek ábrázolásához és az optimalizálás irányának meghatározásához.

Abban az esetben, ha a k_2 és k_3 tényezők megtartva az eredeti arányukat $k_{2(A)}; k_{3(A)}$ pontról $k_{2(B)}; k_{3(B)}$ pontra növekednek, akkor egy magasabb K_2+K_3 költségszint mellett a q értéke továbbra is változatlan maradt. A 3. ábra szemlélteti a szintvonalak közötti elmozdulást, távolodva az origótól.

Egyensúlyi állapotban a magasabb szintvonalhoz is berajzolható egy K_1 beszerzési költség egyenes, aminek a meredeksége a $k_2; k_3$ aránypár változatlansága miatt azonos marad. Ha a két fajlagos költség tényező drágul, annak a beszerzésre gyakorolt hatása a kisebb q mennyiségek melletti gyakoribb beszerzést eredményezne. Mivel a q mennyiség a kiindulási feltételek során rögzítésre került, egy magasabb szintvonalhoz húzott beszerzési egyenes egyensúlyi állapotban csak egy magasabb értékű k_1 egyszeri beszerzési költség mellett rajzolható meg. A $k_2; k_3$ változása a gyakorlatban azonban nem hat a k_1 egyszeri beszerzés költségére, így belátható, hogy ez az egyensúlyi állapot nem tükröz optimális állapotot. Az optimális állapot eléréséhez fel kellene oldani a q rögzítettségét, aminek eredményeképpen egy új q érték mellett optimalizálható a rendelési tétele nagyság. A gyakorlatban azonban előfordulhat az a

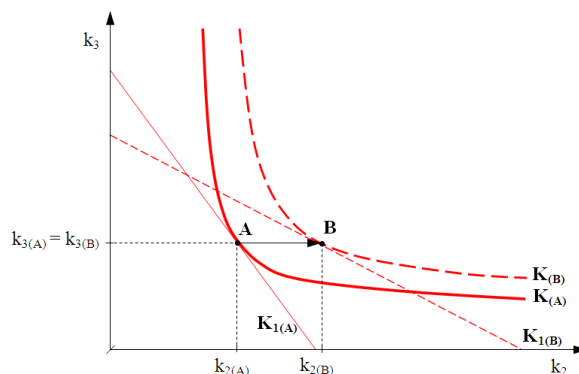
helyzet, hogy a q rögzítettsége nem oldható fel, pl. a szállítások gyakorisága nem sűrítethető. Ilyenkor a kialakult állapot nem tekinthető optimálisnak.

Abban az esetben, ha a k_1 egyszeri beszerzési költség megemelkedik, az változatlan beszerzési gyakoriság mellett egy megemelkedett K_1 beszerzési költséget eredményezne. Ez csökkenthető a beszerzési gyakoriságok ritkításával, ami azonban a szállítási mennyiségek növeléséhez, így a készletek átlagos szintjének növekedéséhez vezetne. Mivel a k_1 egyszeri beszerzési költsége nincs hatással a k_2, k_3 tényezőkre, a k_1 változása csak a q beszerzési mennyiségeken keresztül hat a K_2+K_3 költségek együttes szintjére. Ha a q mennyiség rögzítésre kerül, akkor belátható, hogy a kialakult állapot nem tekinthető optimálisnak, mivel az optimalizáláshoz a beszerzések gyakoriságát kell változtatni, ami a q mennyiség rögzítettsége miatt nem valósítható meg.



3. ábra. Összköltség szintvonalának elmozdulása a fajlagos készlettartási és készlethiány költségek arányos változása esetén [saját szerkesztés]

Ha a k_2 és k_3 fajlagos költségek közül csak az egyik változik, akkor az egyes t_1 és t_2 időtartamok aránya is megváltozik. Az azonos költség szintet megjelenítő K_2+K_3 görbén való elmozdulás nem lehetséges, mivel a görbén való elmozdulást csak a másik költségtényező ellentétes irányú változtatásával lehetne elérni. Mivel azonban e két fajlagos költségtényező a gyakorlatban nem helyettesíti egymást, az egyik tényező változása nem idézi elő a másik tényező ellentétes irányú mozgását, így ebben az esetben a K_2+K_3 költségek új szintvonalat fognak kirajzolni. Ha a fajlagos költségtényező értéke növekszik, akkor a szintvonal az origótól távolodik (4. ábra).



4. ábra. Összköltség szintvonalának elmozdulása a fajlagos készlettartási költség változása esetén [saját szerkesztés]

Az új szintvonal $k_{2(B)};k_{3(B)}$ pontjaihoz is érintőként berajzolható a beszerzési költség egyenese. A szintvonal és az egyenes érintési pontja adja meg az új $k_{2(B)};k_{3(B)}$ értékekhez tartozó optimumot. Ha a k_2 és k_3 tényezők közül csak az egyik változik, vagy mindkettő változik oly módon, hogy az egymáshoz viszonyított arányuk is változik, akkor az új szintet jelölő görbéhez húzható K_1 beszerzési költség függvény meredeksége megváltozik. Ez abból következik, hogy a készlettartás és az elmaradás fajlagos költségeinek egymástól való elmozdulása miatt átrendeződik a t_1 és t_2 időszakok aránya is, így a teljes periódusra vetítve változik az optimális rendelési tételemnagyság mértéke. Az új szintvonalhoz tartozó érintő megrajzolásához a kiindulási feltételek között q rögzítettségét fel kell oldani, ennek hiányában a K_1 beszerzési költség változatlan maradna, amit az egyensúly érdekében egyenlővé kell tenni az új költségszinttel.

ÖSSZEGRZÉS

Bármely esetről is legyen szó, a kiindulási állapot megvizsgálásához és az optimalizálás lehetőségének feltárásához célszerű egymástól függetlenül felvázolni a beszerzési egyenest és a k_2 , k_3 költség tényezők pontszerű helyzetét. Ha ezek nem esnek egybe, akkor a kiindulási állapot nem tükröz optimumot. A leírt működési mechanizmus mentén a változtatható paraméterek ismeretében lehet elvégezni az optimalizálást. Ha az optimalizáláshoz szükséges tényezők közül egyetlen tényező is rögzített, akkor a teljes optimum nem érhető el.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatómunka a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Logisztikai, Informatikai, Mechatronikai Kiválósági Központ keretében valósult meg. This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 691942.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **HALÁSZNÉ S. E.:** *Logisztika – szolgáltatások, versenyképesség*, Magyar Világ Kiadó, 1998., ISBN 963 9075 019
- [2] **KRAMPE H., LUCKE H.-J., SCHENK M.:** *Grundlagen der Logistik* (Logisztika alapjai), Huss-Verlag GmbH, München, 2012., ISBN: 978-3-9411418-80-6
- [3] **KUMMER, S., GRÜN, O., JAMMERNEGG, W.:** *Grundzüge der Beschaffung, Produktion, Logistik* (Beszerzés, termelés, logisztika alapjai), Pearson Studium, München, 2009., ISBN 978-3-8273-7351-9
- [4] **VÖRÖS J.:** *Termelés- és szolgáltatásmenedzsment*, Akadémia Kiadó, Budapest, 2010., ISBN 978 963 05 8835 5, ISSN 2061-6430
- [5] **VÖRÖS J.:** *Termelés-menedzsment*, Jannus Pannonius Kiadó, Pécs, 1991., ISBN 963 641 284 7
- [6] **ILLÉS I-né.:** *Társaságok pénzügyei*, SALDO Kiadó, Budapest, 1998., ISBN 963 621 872 2
- [7] **KOLTAI T.:** *Termelés-menedzsment*, Typotex Kiadó, Budapest, 2009., ISBN 978 963 279 035 0, ISSN 1787-9655
- [8] **SZEGEDI Z., PREZENSZKI J.:** *Logisztika-menedzsment*, Kossuth Kiadó, Budapest, 2003., ISBN 963 09 4434 0
- [9] **KULCSÁR B.:** *Ipari logisztika*, LSI Oktatóközpont, Budapest, 1998., ISBN 963 577 242 4

SZÉLENERGETIKAI VIZSGÁLATOK ADOTT TURBINATÍPUSOK MELLETT

WINDENERGETIC INVESTIGATION FOR WIND TURBINES

KOSTYÁK Attila¹, SZODRAI Ferenc²

¹Gépészmérnök hallgató, attila.kostyak@univerza.hu

¹Debreceni Egyetem Műszaki Kar Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék

²tanársegéd, szodrai@eng.unideb.hu

²Debreceni Egyetem Műszaki Kar Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék

Kivonat: Dolgozatunkban különböző magyarországi mérési pontokon vizsgáltuk meg a szélviszonyokat szél-eloszlás és potenciális energiaszint szempontjából. Az adott mérési pontokon becslőfüggvények segítségével közelítettük a mért adatokat, vontuk le következtetéseinket. A szélviszonyok vizsgálata után a turbinatípusok vizsgálatát végeztük el. Vizsgálatunk során, a létesítmény szinten telepíthető kis átmérőjű turbinákra fókuszáltunk. Az előzetes feltételeinek megfelelő turbina energetikai görbét az adott szélmérési pontokon tapasztalt szélviszonyok között vizsgálva vontuk le következtetéseinket. A turbinatelepítés megvalósíthatóságát gazdasági szempontok alapján is áttekintettük. Indirekt meghatároztuk a projekt megvalósíthatóságának maximális költségeit.

Kulcsszavak: szélenergia, jelenérték, kihasználtsági tényező

Abstract: In our paper we examined various Hungarian location in wind distribution and wind energy potential point of view. For every measured location we made functions for the measured values. When the wind profile was calculated we examined the possible turbines for the locations. In our investigation we focused on turbines with small diameter. Then we analysed of the location wind profiles in relation of the wind turbine and after we made the conclusions. We also examined the financial aspect of the feasibility of the wind turbine. We determined the cost of the feasibility with an indirect method.

Keywords: wind energy, present value, availability factor

1. BEVEZETÉS

A megújuló energiák felhasználása egyre elterjedtebb a világban. Rengeteg fejlesztéssel, különleges megoldásokkal találkozhatunk e területen, amiknek köszönhetően egyre gyakrabban figyelhetünk meg megújuló energiákat hasznosító eszközöket, nemcsak az ipari területeken, de háztartási és egyéb létesítmény szinten is.

Cikkünkben a létesítmény szinten telepíthető szél-turbinák vizsgálatával foglalkoztunk, azon belül kifejezetten a magyar szélviszonyok közötti üzemeltetése és megvalósíthatósága képezte vizsgálataink központi témáját. Vizsgálatainkat a mérési pontok adatainak feldolgozásával kezdtük. A rendelkezésre álló adatsorokat a Weibull eloszlás sűrűségfüggvényével közelítettük. A becslőfüggvénnyel szemben elvárásunk volt, hogy a széladatokra a lehető legjobban illeszkedő görbét kapjuk úgy, hogy az fajlagosan egységnyi területre eső átlagos szélenergia potenciál értéke egyezzen meg a mért adatsorból származtatott értékkel. Ezáltal az energetikai becslések során pontosabb következtetéseket vonhatunk le. A széladatok elemzése után igyekeztünk áttekinteni a piacon kapható kisebb méretű (8m turbina átmérő alatti) turbina típusok megvizsgálni, miként képesek működni a mérési pontokon tapasztalható szélviszonyok mellett.

Az adott turbina típus vizsgálata során meghatározhatóvá vált az adott szélviszonyok mellett, milyen éves termelési potenciál lehet kiaknázni a rendszer által. Az így meghatározott

éves hozamok jelenértékének meghatározása után a projekt megtérülésére és alap szintű gazdasági vizsgálatára lehetőségünk nyílt.

A cikkben leírt vizsgálati folyamat véleményünk szerint hatékony, egyszerű, és gyors módszert ad a mérési pontok áttekintésére és a turbina viselkedésének előzetes megbecslésére. A vizsgálatok jellege alapján számos ponton, lehetne a modellt és a vizsgálati rendszert javítani, kiegészíteni, amit későbbi elemzéseink során kívánunk bevezetni.

2. SZÉLVISZONYOK ELEMZÉSE

A bevezetőben megfogalmazottak szerint, célunk a létesítmény szinten telepíthető, városi vagy város közeli telepítésre alkalmas turbinák vizsgálata volt. Ezen turbinákra jellemző, hogy kis magasságban kerülnek alkalmazásra, így a lokális természetes és mesterséges domborzati viszonyok erőteljesen befolyásolják működésüket.

Ez a körülmény nem teszi lehetővé, hogy a mérési pontok eredményeit, annak környezetére is kivetítsük, így a telepítés elméleti helyét minden esetben a szélmérési pontok helyén jelöltük ki. A vizsgálatunkban csak a lokális, mérési ponton mért eredményekre támaszkodtunk, annak domináns hatása miatt. Így általánosan a helyi környezetre vonatkoztatható szélviszonyokat nem vizsgáltunk, általános következtéseket nem vontunk le.

A mérési pontok kiválasztása során, a szabadon elérhető adatbázisok [1] közül az alábbi térképen bejelölt településeken működő szélmérési pontokat választottuk ki:



1. ábra. Mérési pontok [2]

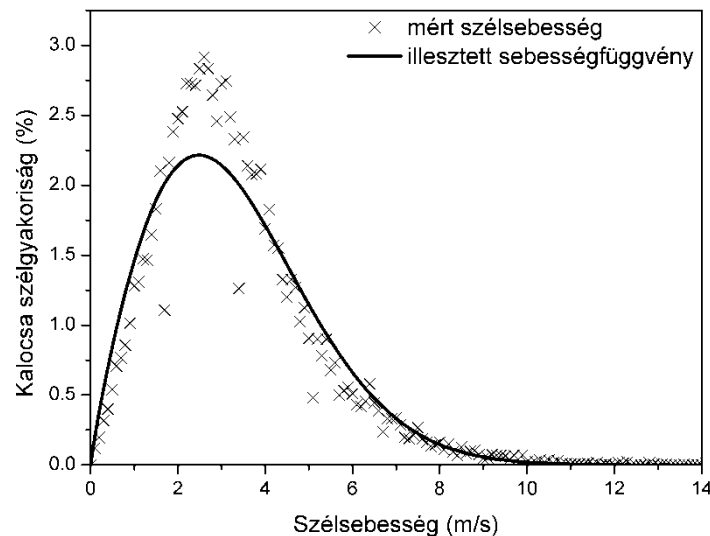
A mérési pontok kiválasztása során nem törekedtünk az egész ország lefedésére. Ennek egyik oka az elérhető adatsorok hiánya, illetve az adatsorok jellege. Mivel a legtöbb szabadon elérhető mérési pont magán üzemeltetésű, illetve településeken belül helyezkednek el, így a mérési pontok országszerte való vizsgálata mellett sem vonhatunk le általános, tájegységre jellemző következtetéseket, így erre nem is törekedtünk.

2.1. Adatsorok feldolgozása

Az adatokat a mérési pontokon 2010-2015 között vizsgáltuk. Az adatsorokban a 3 órás átlag szélességek szerepeltek, így a szél hirtelen változékonyságát, volatilitását nem állt módunkban vizsgálni.

A széladatok elemzésekor először a megfigyelt adatokat nagyság szerint rendeztük, majd megvizsgáltuk, hogy a mérési ponton tapasztalható, adott erősségű légmozgás mekkora hányadában volt megfigyelhető a teljes időszakban. Emellett kiszámoltuk adott szélerősség esetén az egységi felületre eső potenciális mozgási energiáját a légmozgásnak, melyből a lehető legtöbbet szeretnénk a szélturbinákkal kinyerni.

A megfigyelt szélerősségek teljes időszakra vetített hányadát a kalocsai mérési pont esetében az alábbi diagram szemlélteti. Ahhoz, hogy az adatsort matematikailag a lehető legjobban leírassuk és ez által az energetikai számításaink pontosabbak legyenek a Weibull-eloszlás sűrűségfüggvényével közelítettük az adatsort.



1. diagram. Kalocsára készített Weibull diagram

Becslésünk során a kétparaméteres Weibull eloszlással közelítettük adatsorunkat [3]. Alapfeltevésünk volt, hogy a becslő függvény várható értéke a mért adatsor átlag szélerősségével egyezzen meg. Emellett további feltételünk volt, hogy a mérési ponton tapasztalt szélviszonyokból 1 m^2 származtatott mozgási energia átlaga egyezzen meg a becslőfüggvényből származtatott energetikai görbe átlagával. Ezáltal olyan becslőfüggvényt kaptunk, ami energetikai szempontból jól közelíti a mért adatsort. A legjobban illeszkedő görbét a peremfeltételeink mellett iterációs módszerrel kaptuk meg.

A fenti eljárást az összes mérési ponton elvégeztük. A becslőfüggvények r^2 értékeit és paramétereit az alábbi táblázat foglalja össze:

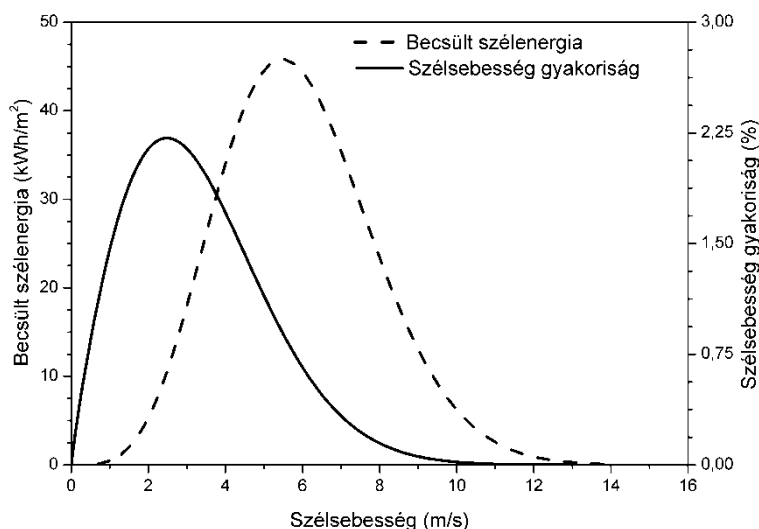
	Kalocsa	Siófok	Nagy-Kevély	Keszthely	Vértesszőlős
l	3,722789	3,88652	3,451345	3,593803	3,62987
k	1,878266	1,639033	1,729221	1,566087	1,723692
$U_{(x)}$	3,304746	3,477248	3,07603	3,228789	3,23579
r^2	0,939372	0,917354	0,871702	0,79517	0,855528

1. táblázat. Weibull függvényadatok

2.2. Energetikai görbék

Az adatsorok becslése után az energetikai görbék vizsgálatát végeztük el. A becslőfüggvények megalkotása során peremfeltételünk volt, hogy az időszak alatt mért adatokból származtatott átlag potenciális szélteljesítmény egyezzen meg a becslőfüggvényből számított értékével.

A vizsgált időszak alatt a szélviszonyok alakulását és az energetikai görbe viszonyát az alábbi ábra szemlélteti a példaként használt kalocsai mérési ponton:



2. diagram. kalocsai becslült szélenergia és szélsebesség gyakoriság görbék

A diagramon összevontan látható a becslült szélgörbe és az időszak alatt egységnyi felületen számított potenciális szélenergia mértéke. A fenti diagram sok szempontból érdekes. Látható rajta, hogy a szélenergetikai görbe csúcspontja nem esik egybe a széleloszlás becslőfüggvényének csúcspontjával. Amennyiben az a célunk, hogy a turbina a telepítés helyén a lehető legtöbb energiát legyen képes felhasználni adott időszak alatt, úgy az energetikai görbe szerint érdemes optimalizálnunk turbinánkat, vagyis a telepítendő turbina hatásfokgörbéjének a lehető legnagyobb területet kell lefednie a mérési pont energetikai görbe alatti területből.

Ha az energetikai görbe és a szél becslőfüggvényének a viszonyára tekintünk, akkor látható, hogy egy energetikailag optimalizált turbina a vizsgált időszak jelentős részében áll, vagy csak kis hatásfokkal termel.

Mivel ez a megfigyelés az összes mérési pont esetében fennáll, így kijelölhető fejlesztési célok közül kettő kiemelendő. Egyrészt a turbinák hatékonyságának növelése fontos, illetve a turbinák által megtermelt energia hatékony tárolásának, felhasználásának megoldása is a fejlesztések középpontját kell képeznie.

E fejlesztési pontok kielemezése nem képezi részét cikkünknek, de jelenleg is folytatunk kutatásokat a témában a Debreceni Egyetem Műszaki Karának Épületgépész és Létesítménymérnöki tanszékén.

3. TURBINA KIVÁLASZTÁSA, VIZSGÁLATA

A széladatok elemzése után próbáltuk megkeresni a piacon kapható kis átmérőjű turbinák közül azt a típust, ami jó hatékonysággal képes működni az adott mérési pontokon tapasztalható szélviszonyok mellett.

Az urbanisztikus integrálhatóság miatt fontos volt számunkra, hogy a hatásfoka a rendszernek jó legyen, mivel ebben a környezetben nincs lehetőség arra, hogy a rossz hatásfokot felületnöveléssel kompenzáljuk.

A piacon kapható szélturbinák közül azokat tudtuk vizsgálni, amelyekről hivatalos mérési adatok is rendelkezésre álltak. A függőleges tengelyű ellenálláson alapuló turbinákat rossz hatékonyságuk miatt kizártuk. Fontos kiemelni, hogy nem vizsgáltuk a szárnyprofilozott lapátsorral rendelkező függőleges tengelyű turbinákat, illetve amiről nem állt rendelkezésünkre hivatalos mérési dokumentum.

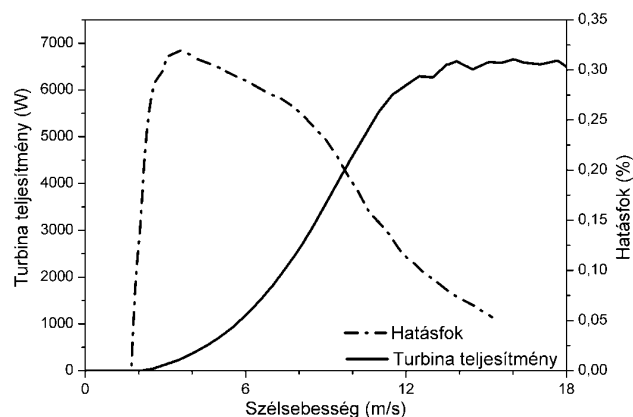
A lassú járású turbinák karakterisztikájuk miatt nem kerültek kiválasztásra. Mind az amerikai stílusú, mind a függőleges tengelyű turbinák kevésbé alkalmasak a legtöbb energia kinyerése szempontjából, viszont kis szélesebbég esetén is képesek elindulni és energiát termelni, így az időszak jelentős részében ezek a turbinák működésre képesek. Mivel alapcélunk a lehető legtöbb energia kinyerése volt egységnyi területről, így nem ezek a típusok kerültek kiválasztásra.

A vizsgált turbinatípusok közül választásunk a magasabb gyorsjárású tényezőjű 3 lapátos turbinára esett. Az excel6 típusú 6m átmérőjű szél turbina a méretekkel szemben támasztott elvárásunk felső határát súrolja, de alkalmazhatónak véltük peremfeltételeink alapján.



2. ábra. excel6 típusú 6m átmérőjű szél turbina [4]

A turbináról közadatok alapján a megrajzolt teljesítmény és az abból származtatott hatásfok görbéje az alábbi 3. diagramon látható [4]:



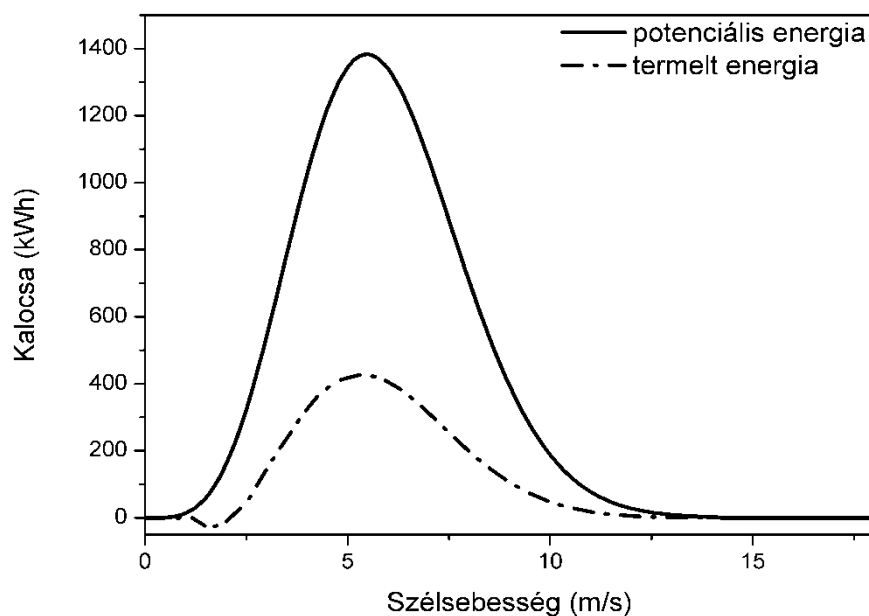
3. diagram. Turbina teljesítmény és hatásfok diagram

A 3. diagram alapján látható, hogy a kiválasztott turbina típus hatásfoka 3,6-6,5 m/s szélviszonyok között 30% felett van, ami az energetikai görbénk alapján való optimalizálás szerint pont az energetikailag értékes 5-6 m/s intervallumot is magába foglalja. Ez alapján a turbinát a mérési pontokon történő telepítésre alkalmasnak véltük.

3.1. Turbina hozama a mérési pontokon

A turbina karakterisztikájának megismerése után megvizsgáltuk, hogy a vizsgált időszakban mennyi energiát képes kinyerni a turbina felületén átáramló levegő mozgási energiájából.

Az alábbi ábrán látható, hogy a kalocsai mérési pont esetében a teljes vizsgált időszak alatt a turbina felületén átáramló potenciális és a turbina által kinyerhető energia miként oszlik meg a szélesség függvényében.



4. diagram. Számolt és mért energia adatok 2010 és 2015 között

A teljes időszak alatt a turbina által a potenciális mozgási energiából kinyert energia hányad, a szélviszonyokhoz jól illeszkedő turbina karakterisztikának köszönhetően, az 27-28% között mozgott a mérési pontokon, amit az alábbi táblázatban láthatunk.

Mérési pontok	Kalocsa	Siófok	Nagy-Kevély	Keszthely	Vértesszőlős
Kihasználtság	27,8%	27,5%	28,3%	27,5%	28,2%

2. táblázat. Kihasználtság a mérési pontokon

A teljes időszakra megadott hatásfokok alapján a turbina, véleményünk szerint, javasolható a mérési pontokon uralkodó szélviszonyok mellett.

A mérési pontokon a vizsgált időszak alapján átlagolt éves kinyerhető energiaszintet az alábbi táblázat foglalja össze:

Mérési pont	vizsgált időszak átlaghozama [kWh/év]
Kalocsa	3836
Siófok	5203
Nagy-Kevély	3464
Keszthely	4428
Vértesszőlős	4036

3. táblázat. Vizsgált területek átlaghozamai

3.2. A turbinatelepítés, mint beruházás értékelése

A vizsgálatunkban nem egy adott turbina bekerülési árával akartunk számolni, hanem indirekt módon meghatározni, hogy mekkora lehet a turbina maximális bekerülési költsége, hogy 12 éves futamidő esetén a projekt megtérülhessen.

A projekt vizsgálata során csak az áram visszavételi áraival számoltunk. Amennyiben a turbina be tud kapcsolódni egy létesítmény energiaellátó rendszerébe, úgy jóval kedvezőbb hozamszintek is elérhetőek. Ehhez viszont konkrét projekteket kellett volna ismertetnünk, az egyszerűsítés kedvéért ezért a számításainkban ettől eltekintettünk.

Az áramvisszavétellel számolva a projekt minimális hozamait határoztuk meg. Amennyiben e feltételek mellett a turbina ára a projekt hozamainak jelenértéke alatt marad, úgy biztosítható, hogy minden más esetben is kedvező projekt jelenértéket érünk el.

A számítások során az áram visszavétel egyes időszakok szerinti árának átlagával számoltunk. A jelenérték számítás során 1,05% jegybanki alapkamatot vettük figyelembe.

A turbina telepítés hozamát 12 éves futamidő mellett az alábbi táblázat foglalja össze, ami így meghatározza a turbina maximális árát is, tekintve, hogy ettől nagyobb ár esetén a projekt veszteséges lesz.

Mérési pont	Jelenérték (HUF)
Kalocsa	1.152.000
Keszthely	1.330.000
Siófok	1.563.000
Nagy-Kevély	1.040.000
Vértesszőlős	1.212.000

4. táblázat. Jelenértékek a mérési pontokon

A 4. táblázat alapján látható, hogy a turbina projekt 1 millió Ft körüli önköltség mellett racionalizálható a mérési pontokon uralkodó szélviszonyok között. Ez az érték valószínűleg nem fedezi a turbina árát, valamint telepítésének a díját, így egyéb telepítési támogatás nélkül nem valósítható meg.

Fontos azonban kiemelni, hogy dolgozatunkban a legrosszabb turbinaalkalmazási móddal számoltunk. Amennyiben egy létesítmény számára értékes, hogy hálózattól független energiaforrással lássa el magát, úgy a beruházó preferenciája növelheti a projekt rezervációs árát, ami így megvalósulhat.

ÖSSZEGZÉS

Vizsgálataink során, a létesítmény szinten telepíthető turbinák közül próbáltuk megtalálni azt a típust, ami a lehető legjobb hatásfokkal képes működni a mérési pontokon tapasztalható szélviszonyok között és méreténél fogva alkalmas kis magasságú, létesítmény közeli telepítésre.

Az általunk megadott módszertannal gyors és olcsó elemzése elérhető a területnek, illetve a projekt bekerülési költségének meghatározására. Vizsgálataink több tényezővel kiegészíthetőek, pontosíthatóak lehetnének, de ebben a formájában kis erőforrás igényű, ami egy előzetes kalkuláció során fontos tényező.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Windguru széladatbázis, <http://www.windguru.cz/>
- [2] hu.wikipedia.org/wiki/Fájl:Magyarország.png
- [3] **Kostyák A., Szodrai F.:** Az alföldi szélenergia-potenciál vizsgálata, XXI F fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka Előadásai, 2016, szerk. Bitay Enikő; 233-236 o.
- [4] EXCEL6 summary report, www.bergey.com

FORRÁS ÉS KÚT HIDROGRAM ELEMZÉSEK EREDMÉNYEI A BÜKK HEGYSÉGBEN

ANALYSIS OF SPRING AND WELL HYDROGRAPHS IN THE BÜKK MOUNTAIN

KOVÁCS Attila¹, DARABOS Enikő², Pierre PERROCHET³, MIKLÓS Rita⁴, LÉNÁRT László⁵

¹kovacs.attila@mfgi.hu

¹Ph.D., tudományos Főmunkatárs, MTA-ME, Műszaki Földtudományi Kutatócsoport, Magyar Földtani és Geofizikai Intézet

²daraboseniko@gmail.com

²Tanársegéd, Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Környezetgazdálkodási Intézet

³pierre.perrochet@unine.ch

³Egyetemi tanár, CHYN, University of Neuchâtel, Svájc

⁴miklos_rita@yahoo.com

⁴MSc Hidrogeológus, Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Környezetgazdálkodási Intézet

⁵hgll@uni-miskolc.hu

⁵Egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Környezetgazdálkodási Intézet

Kivonat: Munkánk során egy új, analitikus elven működő hidrogram (vízszint/hozam – idő diagram) elemzési módszer alkalmazási lehetőségét és eredményeit szeretnénk bemutatni a Bükk hegységben. A módszer karsztos vízadók hidraulikai és térbeli paramétereinek becslésére alkalmas, alkalmazása során a kiürülési együttható segítségével tudjuk meghatározni a vízadó hidraulikai jellemzőit, továbbá a karsztjárat rendszer geometriai jellemzőit. A módszert – a mérési gyakoriság és a mérések hosszát tekintve, európai szinten is egyedülálló – Bükki Karsztvíz Észlelő Rendszer 1992 óta, 15 percnként, folyamatosan regisztrált vízszint adatainak alkalmaztuk. A forrás (Szinva-forrás, Garadna-forrás) és kút (Nv-17, M-6 és K-2) hidrogramok segítségével a Bükk karsztrendszerének általános tulajdonságaira, strukturális és hidraulikai viselkedésére, ill. a karsztos kőzetblokkok lokális jellemzőire vonatkozó új információkat kaptunk eredményül.

Kulcsszavak: Bükk, karszt, forrás hidrogram, kút hidrogram, analitikus módszer

Abstract: The analytical formulae provided in this study link aquifer properties with hydrograph recession coefficients, and provide quantitative characterisation of the spatial and temporal variations of the water table. Generally, spring hydrograph analytical techniques provide information on the characteristic hydraulic parameters and conduit spacing in a karstic catchment, while well hydrograph analysis provides information on local hydraulic and geometric properties of individual matrix blocks and in certain cases on the deep unkarstified aquifer zone. The combination of the spring and well hydrograph analytical methods represents a useful tool for understanding the structure and hydraulic behaviour of karst systems. The proposed parameter estimation method is demonstrated through the application of field data. The test site is located in the Bükk Mountains, Hungary. Hydrograph analysis of both springs and three well hydrographs were performed to investigate the hydraulic behaviour of the karst system and to estimate the spatial geometry of karst conduits.

Keywords: Bükk Mountains, karst, well hydrograph, spring hydrograph, analytical method

1. BEVEZETÉS

A karsztos vízadók áramlási sajátosságainak megértéséhez és modellezéséhez a hidraulikus jellemzők és a karsztjárat rendszer geometriájának ismerete nélkülözhetetlen. [1, 2, 3, 4, 5]. A

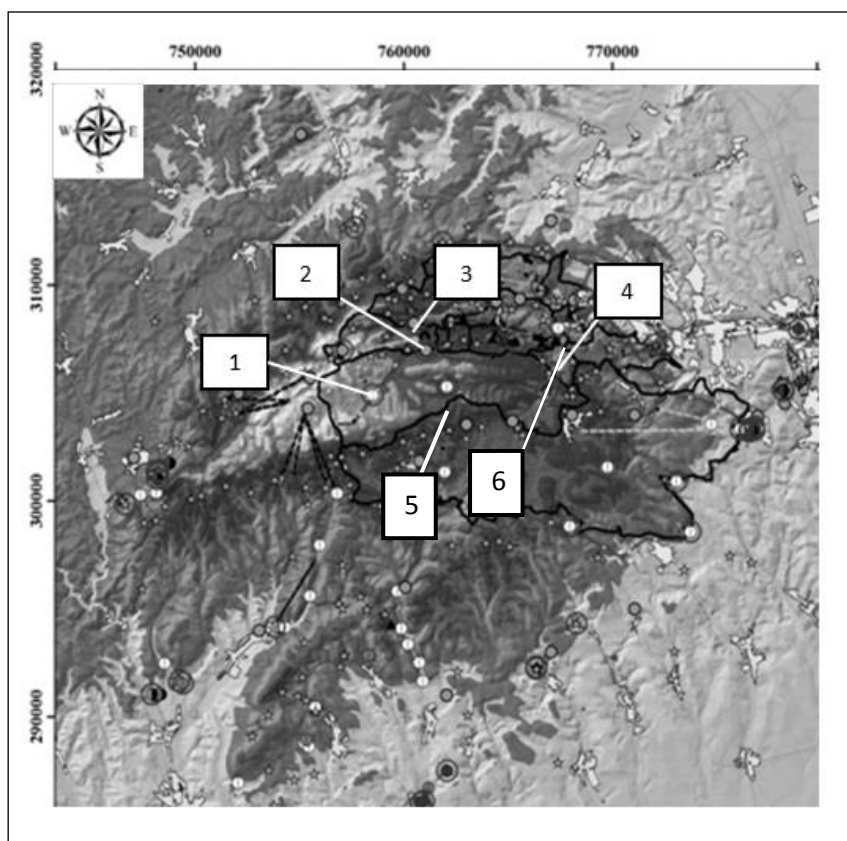
karszthidrogeológiában általában alkalmazott módszerek, mint a klasszikus geológiai és hidrogeológiai vizsgálatok, barlangi és geofizikai mérések, hidraulikai tesztek, nyomjelzéses vizsgálatok alkalmazhatósága gyakran korlátozott hatósági vagy pénzügyi akadályok miatt, továbbá eredményeik viszonylag kevés információt szolgáltatnak a karsztrendszer hidraulikai és geometriai paramétereinek tekintetében.

Jelen kutatásaink során viszont a Bükk hegység területén 24 éve működő, gyakorlatilag a teljes karsztot lefedő monitoring rendszer lehetővé teszi számunkra a hosszú és különböző vízállási szituációkból származó kút és forrás hidrogramok elemzését, melyek által az imént említett paraméterek tekintetében megfelelő információkhoz juthatunk.

Munkánk során szeretnénk felvázolni az alkalmazott hidrogram analízis elméleti alapjait, majd a BKÉR adatain alkalmazzuk a módszert és ismertetjük az eredményeket.

2. A VIZSGÁLT TERÜLET, FELHASZNÁLT ADATOK – BÜKKI KARSZTVÍZ ÉSZLELŐ RENDSZER (BKÉR)

Vizsgálataink során alapadatokként a Bükki Karsztvíz Észlelő Rendszer (BKÉR) napi csapadék és vízszintadatait használtuk fel. A vizsgálati terület a Bükk központi részén elhelyezkedő Szinva és Garadna-forrás vízgyűjtő területei voltak. A két forrás Miskolc és Ómassa vízellátása szempontjából kiemelt figyelmet érdemel, ill. a hegységben előforduló, a környező településeket is veszélyeztető nagyobb árvizekért felelősek. Vízgyűjtőjük nagyrészt különböző karsztosodottsági fokú mészköveken helyezkedik el.



1. ábra. A Bükk hegységben lévő mérőhelyek (1=Nv-17 monitoring kút, 2=Jávorkúti meteorológiai állomás, 3=Szinva-forrás, 4= Garadna-forrás, 5=M6-figyelőkút, 6=K2-figyelőkút) (alaptérkép: Hernádi, 2016, in: [7])

Az (1. ábrán) látható a teljes monitoring rendszer jelenlegi lefedettsége, mérési pontjai, ill. a vizsgálatba bevont 2 db forrás és 3 db megfigyelőhely, amely a Szinva-forrás (3), a Garadna-forrás (4) és a vízdomborzat szempontjából tetőhelyzetben elhelyezkedő Nagyvisnyó 17-es monitoring-kút (1), az M6-figyelőkút (5), valamint a K2-figyelőkút (6).

A térképen jelölve láthatjuk még a Jávorkúti automata meteorológiai állomás (2) helyét is, korábbi eredményeink szerint ez a mérőállomás csapadék mennyiség szempontjából a Bükk egészét jól reprezentálja. Csapadék és vízszintadatok tekintetében szintén napi átlag adatokat alkalmaztunk.

A 2013 és 2015 között megvalósított KÚTFŐ projekt keretében az 1992 óta gyűjtött adatok egy adatbázisba kerültek, ami a felhasználásukat nagymértékben megkönnyíti. [6]

3. AZ ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

A karsztrendszer hidraulikus viselkedését elsősorban a karsztjáratok térbeli geometriája, illetve a kőzetmátrix hidraulikai tulajdonságai szabják meg.

Mindezek vizsgálata alapvetően kétféle megközelítés szerint történhet: disztributív vagy globális modellek segítségével.

Disztributív megközelítés esetén a karsztos víztartót geometriailag definiáljuk, az áramlási közeget és az áramlást leíró matematikai formulákat elemi egységekre bontjuk fel, diszkretizáljuk. A módszer előnye hogy tér és időbeli információt szolgáltat a vizsgált rendszer valós fizikai működéséről. Nehézsége, hogy nagy az adatigénye és fontos a hidraulikai paraméter eloszlás pontos meghatározása, ami a karsztok heterogenitása miatt nehéz feladat.

A globális megközelítésű módszerek esetén a karsztos rezervoár egységes hidrogeológiai válaszát vizsgáljuk, magát a geológiai környezetet csupán, mint egy jelátalakítót tekintjük, mely a beszivárgási és a megcsapolási folyamat között helyezkedik el, számszerűsített áramlási paramétereit, valamint tér- és időbeli fizikai működését nem ismerjük. Ezek a módszerek a víztartó területi különbségeit nem veszik figyelembe, előnyük viszont, hogy viszonylag kis adatigényűek és más módszerekkel kombinálva alkalmasak lehetnek bizonyos áramlási és geometriai paraméterek becslésére.

Ebbe a vizsgálati körbe tartoznak a klasszikus hidrogram elemzések is. A görbeillesztés céljából végzett forrás hidrogram elemzési módszerek már régóta ismertek [8, 9, 10, 11]. Viszont a legújabb kutatások arra is rávilágítottak, hogy a forrás hidrogramok a karsztos járatok geometriájának és a kőzetmátrix hidraulikai paramétereinek becslésére is alkalmasak. [5, 10] A jól karsztosodott vízvezető járatok hidraulikai jellemzőit az árvíz során regisztrált forrás hozamok segítségével vizsgálhatjuk, míg a repedések és karsztjáratok geometriáját és a kőzetmátrix hidraulikai tulajdonságait alaphozam csökkenés során határozhatjuk meg.

Korábbi kutatások [11] már rávilágítottak arra, hogy források hidrogram analízise során csupán három, egymástól érdemben is elkülönülő exponenciális szakaszra érdemes a görbét felosztani, ami a megfigyelőkutakban mért adatsorokról is elmondható [12, 13]. A felosztott három szakasz három különböző kiürülési együtthatóval ($\alpha_{1,2,3}$) jellemezhető, melyek a jelen kutatás során használt fő hidrogram paraméterek voltak.

A hidrogram analízis olyan új kvantitatív eszközként használható, melynek segítségével komplex hidrogeológiai rendszerek geometriai és hidraulikai paraméterei meghatározhatóak [5, 10]. A vizsgálat elvégezhető oly módon, hogy szimmetrikus blokkokat feltételezünk. Ebben az esetben az anizotrópia elhanyagolható. Ez a megoldás praktikus, ha megfelelő mennyiségű vagy minőségű adat hiányában csak az alaphozamhoz tartozó kiürülési együttható határozható meg. Ezen módszer alkalmazásával a blokkok hidraulikai

paramétereinek ismeretében becsülhető a blokk mérete, fordított esetben pedig, a blokk méreteinek ismeretében a hidraulikus diffuzivitás.

Asszimmetrikus blokkokat feltételezve egy új analitikus megoldás segítségével megadható a vízszint idő- és térbeli eloszlása a kiürülési időszakban egy 2D-s mátrix blokk belsejében [12, 13].

$$H_{(x,y,t)} = \frac{16H_0}{\pi^2} \begin{pmatrix} \cos\left(\frac{\pi x}{L_x}\right) \cos\left(\frac{\pi y}{L_y}\right) e^{-a(1+\beta^2)} - \frac{1}{3} \cos\left(\frac{\pi x}{L_x}\right) \cos\left(\frac{3\pi y}{L_y}\right) e^{-a(1+9\beta^2)} + \frac{1}{5} \cos\left(\frac{\pi x}{L_x}\right) \cos\left(\frac{5\pi y}{L_y}\right) e^{-a(1+25\beta^2)} \\ -\frac{1}{3} \cos\left(\frac{3\pi x}{L_x}\right) \cos\left(\frac{\pi y}{L_y}\right) e^{-a(9+\beta^2)} + \frac{1}{9} \cos\left(\frac{3\pi x}{L_x}\right) \cos\left(\frac{3\pi y}{L_y}\right) e^{-9a(1+\beta^2)} \\ -\frac{1}{15} \cos\left(\frac{3\pi x}{L_x}\right) \cos\left(\frac{5\pi y}{L_y}\right) e^{-a(9+25\beta^2)} + \frac{1}{5} \cos\left(\frac{5\pi x}{L_x}\right) \cos\left(\frac{\pi y}{L_y}\right) e^{-a(25+\beta^2)} \\ -\frac{1}{15} \cos\left(\frac{5\pi x}{L_x}\right) \cos\left(\frac{3\pi y}{L_y}\right) e^{-a(25+9\beta^2)} + \frac{1}{25} \cos\left(\frac{5\pi x}{L_x}\right) \cos\left(\frac{5\pi y}{L_y}\right) e^{-25a(1+\beta^2)} \dots \end{pmatrix} \quad (1) [13]$$

ahol:

$$a = \frac{\pi^2 T t}{S L_x^2};$$

$$\beta = \frac{L_x}{L_y};$$

H - vízszint [m];

T - a vizsgált blokk transzmisszibilitása [$L^2 T^{-1}$];

S - blokk tárolási tényezője [-];

L_x, L_y - blokk méretei [L];

β - asszimmetria faktor [-];

x, y - megfigyelőkút távolsága a blokk középpontjától [L].

A forráshidrogramok elemzése során a Kovács, valamint Kovács és Perrochet által közzétett [5, 11] analitikus megoldást alkalmaztuk. A vízszint idősorok elemzése során pedig az (1) egyenletet használtuk fel. Minden forrás és megfigyelőkút adatsorában egyrészt olyan önálló csúcsok, valamint a hozzájuk tartozó lecsengési szakaszok kerültek elemzésre, mely periódusban nem történt csapadékhullás. Másrészt a megfigyelési pontok jelleggörbéire is elkészültek a vizsgálatok, melyek olyan - forrásonként, valamint megfigyelőkutanként - előállított görbék, melyek általánosan alkalmazhatóak lecsengési szakaszok vizsgálatára. [14]

4. EREDMÉNYEK

A fentebb vázolt analitikus módszereket alkalmazva a következő eredményekre jutottunk (1. táblázat):

- A három exponenciális komponensre felbontott leürülési görbék esetében a kiürülési együttható értékek között több nagyságrendi eltérések mutatkoztak.
- Az első kiürülési együttható (α_1) értékére kétféle, három nagyságrenddel kisebb értékek adódtak, mint a második kiürülési együttható (α_2) értékére. A szimmetrikus blokkokat feltételező számítás esetében általánosan kifejezve: $\alpha_2=5 \alpha_1$; asszimmetrikus blokkok megléte esetében pedig (extrém asszimmetriást (1:10) feltételezve): $\alpha_2=8,92 \alpha_1$.
- A blokkok méretére irányuló számítási eredmények a következőket mutatják: minden megfigyelési pont esetében az alaphozamot jellemző együttható (α_1) esetében egy nagyméretű, kiterjedt vízgyűjtő terület adódott $L \sim 20$ km értékkel. Árvízi (α_3) és

középvízi (α_2) szakaszok esetében a mátrix blokk méretei $L \sim 200-500$ m közötti értékeket vesznek fel.

- A fentiekből következik, hogy, a frissen beszivárgott csapadékot elsőként a blokkok közötti karsztjárat rendszer vezeti el (2.a ábra), ez meg is jelenik a forráshidrogramon, mint árvízi hozam és korai alaphozam. A kiürülés közbeni szakaszában a források utánpótlódását továbbra is a blokkokból a karsztjáratok irányába történő szivárgás biztosítja (2.b ábra). Hosszú csapadékmentes időszakban a karsztvízszint a karsztosodott zóna szintje alá süllyed, a karsztjárat rendszer hidraulikai szerepe megszűnik, és a blokkokhoz képest jóval nagyobb, vízgyűjtő léptékű összefüggő áramrendszer működik. Ekkor már csak a litoklázis rendszer biztosítja a források alaphozamát (2.c ábra). Ebben az esetben az áramlási domén mérete a vizsgálat szerint vízgyűjtő méretűre adódott, ami azt jelenti, hogy ekkor már tagozódás nélküli, összefüggő diffúz áramrendszerrel beszélhetünk.
- A Garadna-forrás α_1 együttható értéke három nagyságrenddel nagyobbak mutatkozott, mint a többi megfigyelőponté (1. táblázat), ez azt jelenti, hogy a Garadna vízgyűjtő területe önálló, elszeparált helyzetben van a Nagyfennsík karbonátos összetételéhez képest, attól egy vető választja el. A számítások során adódott blokkméret $L=1200$ m.
- Az NV-17-es megfigyelőkút α_1 együttható értéke egy nagyságrenddel kisebb, mint a többi megfigyelőállomásé. Ez valószínűleg abból a sajátos helyzetből adódik, hogy a megfigyelőkút a Szinva-forrás vízgyűjtőjének határán fekszik, és csapadékszegény időszakban előfordulhat, hogy az NV-17 a szomszédos kisebb vízgyűjtők egyikéhez tartozik.
- A megfigyelőkutak és források kiürülési görbéit vizsgálva a blokkok mérete 200-500 m nagyságúra adódott, mely értékek megfelelnek a terepi megfigyeléseknek.

ÖSSZEFOGLALÁS

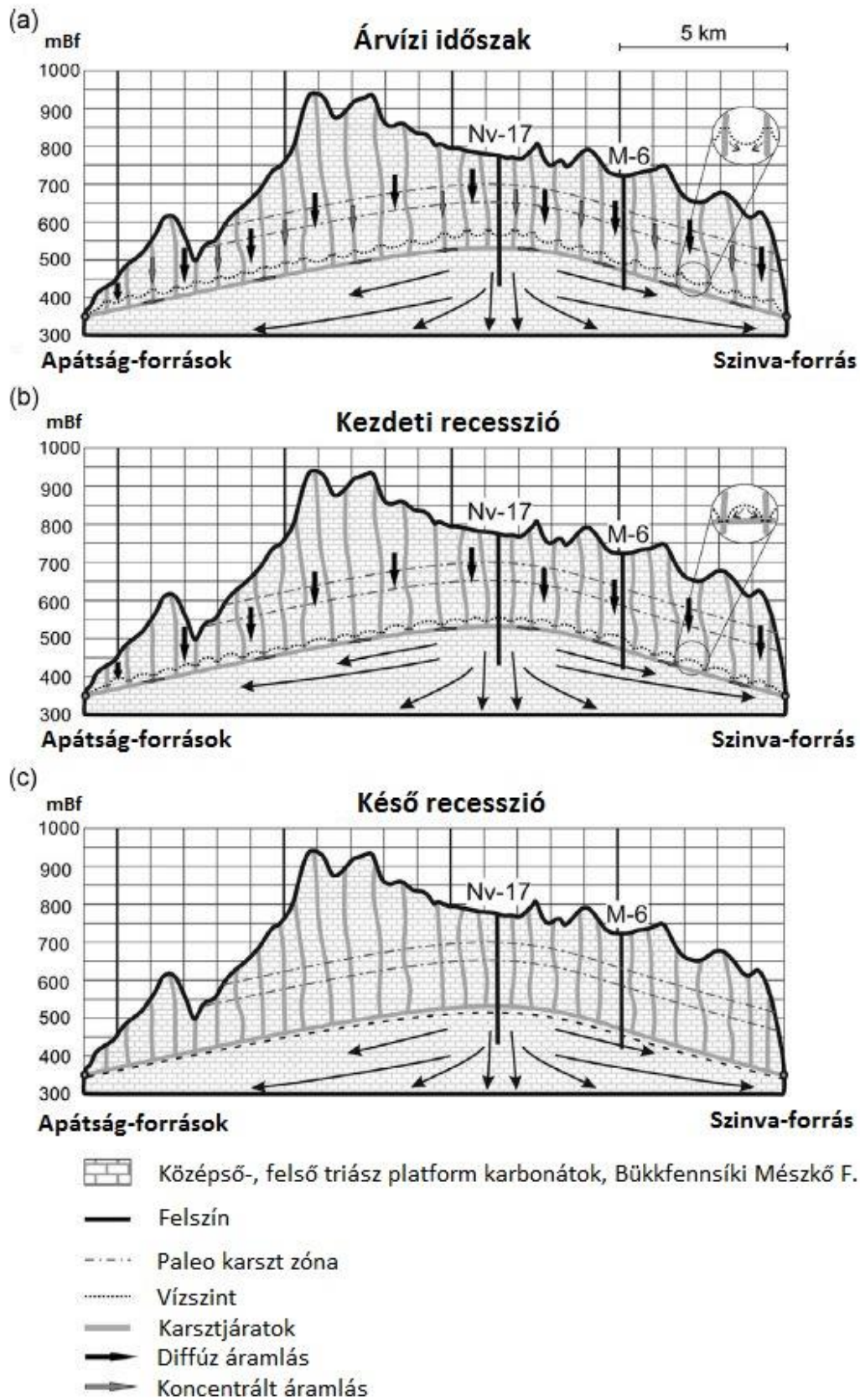
Munkánk során bemutattunk egy új hidrogram elemzési módszert, melynek segítségével egy karsztos vízáadó hidraulikai, valamint térbeli kiterjedésének paraméterei becsülhetőek. A módszert a Bükk területén található 4 karsztvízszint-figyelő kút, valamint 2 forrás adatsorain alkalmaztuk, melyek az egyedülálló, több mint két évtizede működő BKÉR méréseiből származnak.

A kidolgozott analitikai módszer alkalmazásának eredményei nemzetközileg is több szempontból újdonságnak számítanak. A hidrogram elemzések során nyert kiürülési együttható értékek különböző vízállások mellett különböző léptékű áramrendszerek jelenlétére utalnak. Az árvízi csúcsokat követő kiürülés korai szakaszában a kőzetblokkokat határoló karsztjáratok irányába történő diffúz áramlás, és a karsztjáratokban a forrás irányába történő koncentrált áramlás dominál. A számítások ebben a fázisban 200-500 m nagyságú áramlási domént adnak, ami megegyezik a kőzetblokkok megfigyelt méretével. A kiürülés kései szakaszában a karsztvíz szintje a karsztosodott zóna szintje alá süllyedhet, ilyenkor a karsztjáratok hidraulikai szerepe megszűnik, és a számításokból jóval nagyobb, mintegy ~20 km nagyságrendű áramlási domén jelenlétére lehet következtetni. Ez azt jelzi, hogy kisvízi időszakban a Bükk Fennsík hidraulikai egységként funkcionál.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Az ismertetett kutató munka a Miskolci Egyetemen működő Fenntartható Természeti Erőforrás Gazdálkodás Kiválósági Központ TAMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0049 jelű

„KÚTFŐ” projektjének részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.



2. a, b, c. ábra. - A Bükk Fennsík elméleti hidrogeológiai modellje [13]

Megfigyelő pont	Periódus	α_1 [1/s]	α_2 [1/s]	α_3 [1/s]	L_x blokk [m]	L_y blokk [m]
NV-17	1	7,00E-10	6,00E-07			
	2	7,50E-10	5,00E-07	2,00E-06	251	324
	3	5,00E-10	4,00E-07			
	Átlag	6,13E-10	4,75E-07	1,50E-06	241	384
M-6	1	5,00E-11				
	2	8,00E-11	2,00E-07			
	3	5,00E-11	1,50E-07			
	Átlag	5,50E-11	2,17E-07			
K-2	1	5,00E-11	7,00E-07	5,00E-06	192	349
	Átlag	7,50E-11	4,50E-07	3,50E-06	229	518
Szinva	1	7,00E-11	1,00E-06	1,50E-05	168	257
	2	4,00E-11	6,00E-07	2,00E-05	240	277
	3	4,00E-11	6,00E-07	2,00E-05		
	Átlag	4,75E-11	7,00E-07	1,83E-05	215	270
Garadna	1	2,00E-08	3,80E-07	3,00E-06	284	381
	2		2,50E-07		281	
	3		2,00E-07	1,50E-06	314	
	4	2,00E-08	1,50E-07	2,00E-06	402	838
	5	5,00E-08		2,00E-06		
	Átlag	2,75E-08	2,46E-07	2,13E-06	321	600

1. táblázat. - Az analitikus számítások során felhasznált paraméter értékek, az eredményül kapott blokkméretek [13]

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] SZÉKELY, F., SZŰCS, P., ZÁKÁNYI, B., CSERNY, T., FEJES, Z. : *Comparative analysis of pumping tests conducted in layered rhyolitic volcanic formations*. Journal of Hydrology, ELSEVIER, 520 (2015), January 2015, pp. 180-185.
- [2] SZŰCS, P., MADARÁSZ, T.: *Complex hydrogeological modeling of multifunctional artificial recharge options of the Great-Forest Park in Debrecen, Hungary*. Water Pollution VIII, Modelling, Monitoring and Management. Editors: C.A. Brebbia and J.S. Antunes do Carmo WIT Press, 2006, pp. 177-184., ISBN: 1-84564-042-X.
- [3] KIRÁLY, L., MOREL, G. : *Remarques sur l'hydrogramme des sources karstiques simulé par modèles mathématiques*. Bull. d'Hydrogéol. Neuchatel 1, 1976, pp. 37–60.
- [4] KIRÁLY, L. : *Karstification and groundwater flow*. In: Proceedings of the Conference on Evolution of Karst: From Prekarst to Cessation. Postojna Ljubljana, 2002., pp. 155–190.
- [5] KOVÁCS, A. : *Geometry and Hydraulic Parameters of Karst Aquifers: A Hydrodynamic Modeling Approach*. Doctoral Thesis, University of Neuchâtel, Switzerland, 2003. 131 p.
- [6] SZŰCS, P., FEJES, Z., ZÁKÁNYI, B., SZÉKELY, I., MADARÁSZ, T., KOLENCSEKNÉ TÓTH, A., GOMBKÖTŐ, I. : *Results of the WELLlaHEAD Project connected to water and mining. Geothermal potential of the Tokaj-Mountains*.

- Pilot test of passive acid mine drainage water management.* FOG – Freiberg Online Geology, ISSN 1434-7512, 2015, Volume 40, pp. 170-177.
- [7] **LÉNÁRT, L.:** *A Bükkben keletkezett kitermelhető karsztvízkészlet folyamatos meghatározásának módszere. (Az 1992. 10. 10. - 2016. 01. 01. közötti mérések értékelése).* Észak-magyarországi Regionális Vízművek Zrt., Heves megyei Vízművek Zrt., Mezőkövesdi VG Zrt. 2016. (megbízás)
- [8] **RORABAUGH, M.I.:** *Changes in Bank Storage.* Publication No. 63, IASH, Gentbrugge, 1964, pp. 432–441.
- [9] **BERKALOFF, E.:** *Limite de validité des formules courantes de tarissement de débit.* Chronique d'Hydrogéol. 10, 1967, 31–41.
- [10] **KOVÁCS, A., PERROCHET, P., KIRÁLY, L., JEANNIN, P.-Y.:** *A quantitative method for the characterization of karst aquifers based on spring hydrograph analysis.* J. Hydrol. 303, 2005., 152–164.
- [11] **KOVÁCS, A., PERROCHET, P.:** *A quantitative approach to spring hydrograph decomposition.* J. Hydrol. 2008., 352, 16–29.
- [12] **KOVÁCS, A., PERROCHET, P.:** *Well hydrograph analysis for the estimation of hydraulic and geometric parameters of karst aquifers.* In: Mudry J; LaMoreaux JW (eds) (2014) H2Karst Research in Limestone Hydrogeology. Environmental Earth Sciences Book Series; Springer Science and Business Media, 2014, Heidelberg. 97-114.
- [13] **KOVÁCS, A., PERROCHET, P., DARABOS, E., LÉNÁRT, L., SZÚCS, P.:** *Well hydrograph analysis for the characterisation of flow dynamics and conduit network geometry in a karst aquifer, Bükk Mountains, Hungary.* Journal of Hydrology 530 (2015), pp. 484-499.
- [14] **DARABOS, E.:** *Examining relationships in data recorded with the Bükk Karst Water Monitoring System.* Karst Development 1. (1), 2010, pp. 6–12, ISSN: 1585–5473.

VONÓSZEM FÁRADT TÖRÉSE

KOZMA Ferenc¹, RÁTHY Istvánné², VARGA Ferenc³

¹nyug. főiskolai docens, igazságügyi műszaki szakértő, fg.kozma@gmail.com

¹Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék

²főiskolai tanár, rathyne@eng.unideb.hu

²Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék

³nyug. főiskolai docens, vargaf@eng.unideb.hu

³Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék

1. BEVEZETÉS

Napjainkban a műszaki tudományos kutatások területén nemcsak az új tudományos eredmények elérése a cél, hanem az eredmények, illetve az új vizsgálati módszerek alkalmazása is fontos, nemcsak a szakmai életben, hanem más szakmák működési területein is. Ilyen módon az igazságszolgáltatás is széles körben igénybe veszi a modern anyagvizsgálati lehetőségeket.

Néhány érdekes és tanulságos esetet szeretnénk megosztani szakember társainkkal.

A Rendőrhatóság kirendelő határozata alapján kettőnél több ember halálát eredményező közúti baleset gondatlan okozása vétségének megalapozott gyanúja miatt folyamatban lévő büntetőügyben egy pótkocsi eltört vonóháromszögét kellett megvizsgálni. (Ezt megelőzően igazságügyi közlekedési szakértőt is kirendelt a hatóság.)

2. ELŐZMÉNYEK

Egy vontatójárműből és egy pótkocsiból álló járműszerelvény haladt Nyíregyháza felől Debrecen irányába az út menetirány szerinti jobb oldalán. A főút 244. km. szelvényébe érve a járműszerelvény pótkocsija levált a vonó járműről, áttért az úttest baloldalába, és összeütközött egy vezetett gépkocsival, amelyben összesen öten voltak. Az ütközés következtében valamennyien életüket veszítették.

A fent említett gépkocsi mögött érkezett az ütközés helyszínére egy másik gépkocsi, amelyik a pótkocsiról az úttestre szóródott rönkfákra hajtott és jelentősen megsérült.

A helyszíni szemlén megvizsgáltuk a pótkocsi vonóháromszögét, és kézi gyors-darabolóval

mintát vettünk a vonóháromszögon maradt vonórúdvégből. A mintát vegyelemzés céljából vegyésznek adtuk át.



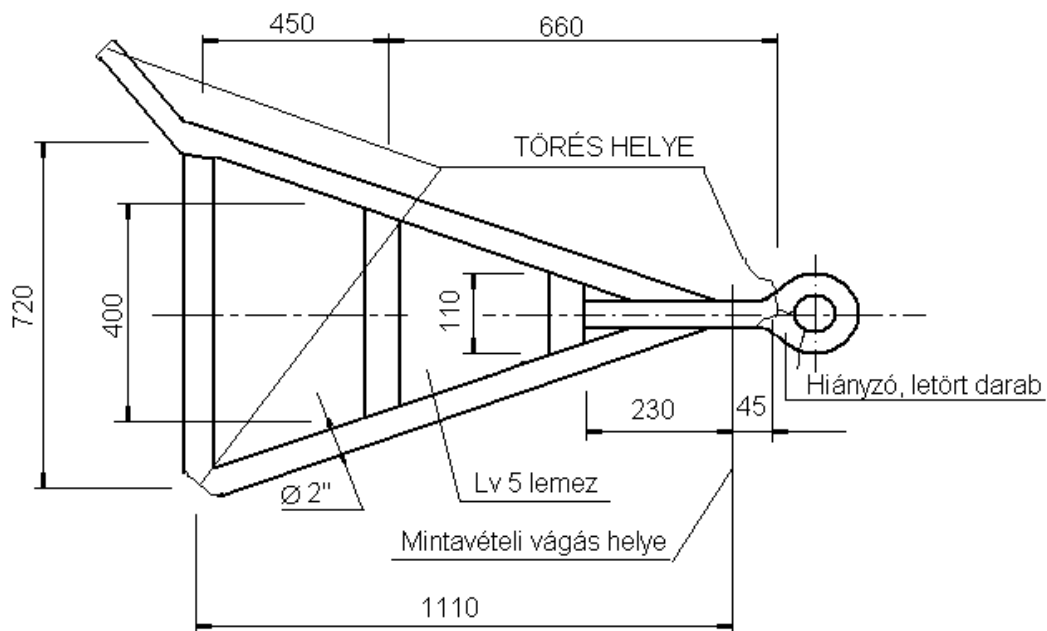
1. kép. A pótkocsi összetört első futóműve



2. kép. A letört vonóháromszög

3. VIZSGÁLATOK

3.1 Szemrevételezéses vizsgálat



1. számú ábra

1. ábra. A vonóháromszög vázlata

A vizsgált vonóháromszög 2"-os acélsőből, Lv 5 mm-es acéllemezről és kovácsolt acélból kialakított vonószemből hegesztett szerkezet.

Az 1. ábra felső részén látható törés a cső anyagában bekövetkezett szívós törés. A tört felület a 3. számú képen látható.

Az ábra alsó részén megadott törés a hegesztett kötés mellett létrejött rideg törés, a tört felület a 4. számú képen látható.



3. kép. A cső tört felülete



4. kép. A cső felső részének törésképe

Mindkét törés ütésszerű mechanikai túlterhelés következtében jött létre, a kezdő repedéstől számítva néhány század vagy ezred másodperc alatt.

Az alsó törés vonala a varrattól néhány mm-re húzódik, szabálytalan törési vonal mentén. Ez az anyagréssz a varrat hőhatásövezetében volt, amely a hegesztett kötés leggyengébb része.

A vonóháromszög fentiekben leírt törései azután jöttek létre, hogy a pótkocsi elszabadult a vontató járműről és ütközött a másik járművel, illetve az útról letérve az árokba rohant.

(A mechanikai túlterhelés következtében bekövetkező töréseket támasztják alá a vonóháromszög elemein látható deformációk is (2. képen nyíllal megjelölve).)

3.2. A vonószem vizsgálata

A vonószem a vonóháromszögről letört. A vonószem rúdja maradt a vonó-háromszög hegesztett szerkezetén. A gyűrűs rész és még egy darab letört, amely nem állt rendelkezésemre. (Az elveszett darab hiánya nem befolyásolta a szakvélemény végkövetkeztetésének kialakítását.)

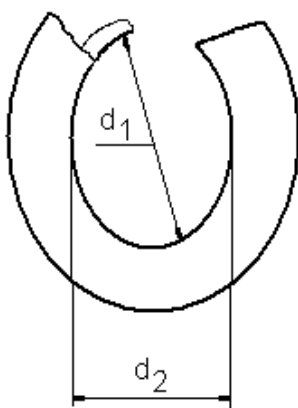
A letört vonószem megtisztítás előtti (eredeti) állapotában az 5. számú képen, a vonószem vonóháromszögről maradó tört felülete eredeti állapotában a 6. képen látható.



5. kép. A vonószem tisztítás előtt



6. kép. A vonószem tört felülete



Sorsz.	d_1	d_2
1.	58,7	52,6
2.	58,8	54,6
Átlag	58,75	53,6

2. számú ábra

A vonószem vonóháromszögbe behegesztett darabja kovácsolt acélból készült.

A törés előtt az eredeti kör alakú furat, amely a vonójármű vonócsapjához kapcsolva illeszkedik a vonószem szerkezetéhez, az ismétlődő, vontatás közben fellépő, dinamikus erőhatások következtében oválissá torzult.

A törés miatt az ovalitást pontosan nem lehet meghatározni, de jól láthatóan két egymásra merőleges irányban mérve a furat átmérőjét, jelentős eltérés tapasztalható (2. ábra).

A vonószerkezet csapjának átmérőjét azonosnak tekintve a kisebbik átmérővel, a megnyúlt átmérő vontatás irányában nagyobb lett, mint a vonó-csap átmérője. Ennek következtében vontatás közben a vonóerő időben változó nagyságú, közel periodikusan ismétlődő jellegűvé vált. („A vonójármű rángatta a pótkocsit.”).

A törött darab (7. számú kép) eredeti mérete jelentős mértékű fel-hegesztéssel lett módosítva (8. számú kép). A felhegesztés módszerével az eredetileg megnyúlt furat átmérőjét kívánták közelíteni a kör alakhoz. Ez azonban szilárdságilag nem volt megfelelő



7. kép: Vonószem törött darabja



8. kép: Méretnövelő felhegesztés

4. AZ ALAKHIBA KIMÉRÉSE

A témakörhöz tartozó korábban érvényben volt szabványokat áttekintettük.

- MSZ 6453–78 Vonószem pótkocsihoz és egyéb vontatmányokhoz. Visszavonva: 1995-05-01
- MSZ 6453/2–79 Vonószem pótkocsihoz és egyéb vontatmányokhoz. Vonószem csapos rendszerű 40 mm-es lyukú vonókészülékhez. Visszavonva : 1995-05-01
- MSZ 6453/2–79 Vonószem pótkocsihoz és egyéb vontatmányokhoz. Vonószem csapos rendszerű 50 mm-es lyukú vonókészülékhez. Visszavonva : 1995-05-01
- MSZ 2453/1–90 Közúti járművek csapos vonószerkezete. Szilárdsági követelmények és vizsgálat. Visszavonva : 2003-12-31
- MSZ 2453/2–89 Közúti járművek csapos vonószerkezete. A 40 mm-es vonószem méretei és elfordulási szöge. Visszavonva : 2003–12-31
- MSZ 2453/3–90 Közúti járművek csapos vonószerkezete. Az 50 mm-es vonószem méretei és elfordulási szöge. Visszavonva : 2003–12-31

Amennyiben a pótkocsi gyártása a szabványok visszavonása előtt történt, úgy azok értelemszerűen alkalmazhatók.

Egyértelműen kimondható, hogy a vonószem furata nem lehet ovális.

5. A TÖRÖTT RÉSZ VEGYI ÖSSZETÉTELE

Csapos rendszerű vonószem esetén mind az Ø 40 mm-es, mind az Ø 50 mm –es lyukú (kovácsolt) alapanyag esetén az alábbi anyagváltozatokat engedi meg a szabvány:

- A változat: 52 D (MSZ 6280), vagy legalább ezzel egyenértékű anyag
- B változat: C 45 (MSZ 61), nemesítve, $R_m = 630-780$ MPa, vagy legalább ezzel egyenértékű anyag.

A törött darab vegyelemzéssel meghatározott összetétele (2. számú melléklet):

C %	Mn %	Si %	Cr %	Ni %	Mo %	V %	S %	P%
0.18	1.04	0.28	0.07	0.09	< 0.15	< 0.15	0.014	0.027

Mivel a szénttartalom < 0.45 %, így a C 45 nem, csak az 52 D anyagminőség lehetséges.

Az 52 D szabvány szerinti (MSZ 6280) összetétele (felső határérték):

C %	Mn %	Si %	Cr %	Ni %	Mo %	V %	S %	P%
0.18	1.5	0.15-0,5	0.25	0.30	0.1	0.15	0.035	0.035

Ennek megfelelően a vonószem 52 D (MSZ 6280) minőségű anyagból készült!

(A szabvány visszavonva: 1995 – 07 – 01.)

6. A TÖRÖTT RÉSZ MAKROVIZSGÁLATA

A darab töretfelületén (9. kép) jelentős mértékű fáradási kép látható, ami elsőrendű meghibásodási ok. A fáradás mértéke baloldalon a kereszt-metszet kb. 70 %-ára, míg jobb oldalon kb. 20 – 25 % -ára terjed ki.



9. kép. A darab törött keresztmetszete

A nagyított felvételeken (10. és 11. kép) is jól látható, hogy a fáradásos tört felület mindkét szelvény alsó pontjából indul ki, ahol a profil alakja kedvezőtlen a feszültségcsúcshelyzetből.



10. kép. A törött profil baloldali ága



11. kép. A törött profil jobboldali ága

Az anyag folytonosságának megszűnése miatt kialakult - két egymáshoz közel-álló felület egymással való súrlódása, csiszoló hatása miatt - a korábban elrepedt részek sima felületté csiszolódtak, míg a ridegen tört felületelemek szemcsésen láthatók. (10. számú kép)

A keresztmetszeti csiszolaton jól elkülönül a kopott alapprofil és a hegesztéssel történő kiegészítése (12. kép). A hegesztés bizonyos alátétgyűrűket is magába foglal, kialakítása elnagyolt, a fejrészen lunkerés és salakzárványokat foglal magába, az alátétgyűrűk összeolvasztása hiányos (13. kép). A szakszerűtlen hegesztés okozhatott olyan feszültségcsúcsokat, melyek a fáradt törés kezdődő repedését okozták.



12. kép. A hegesztéssel javított profil keresztmetszete csiszolva



13. kép. Alátétgyűrűk a profil kiegészítéséhez

7. A TÖRÖTT RÉSZ KEMÉNYSÉGEI ÉRTÉKEI

A keménységmérés a 12. kép szerinti profilon és a szárrészből kiemelt 53 x 28 x 10 mm vastagságú metszetén lett elvégezve:

Törött profil	:	185, 190, 188, 185, 188	HV10
Felhegesztett rész	:	220, 225, 221, 225, 225	HV10
Hőzóna	:	188, 190, 185, 192, 195	HV10
Szárrészben	:	168, 170, 173, 170, 175	HV10

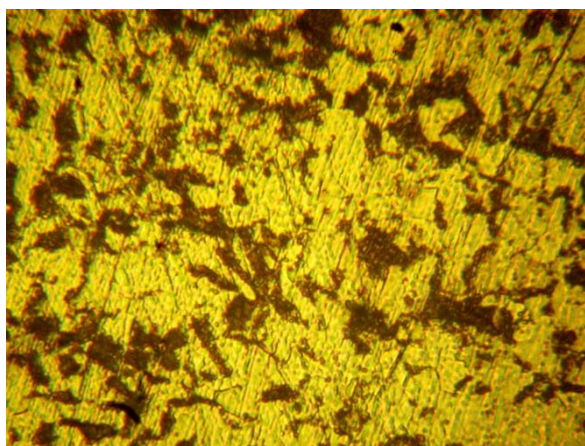
A mért értékek összhangban vannak az 52 D anyagminőségre jellemző értékekkel ill. azzal a tulajdonságával, hogy feltétel nélkül hegeszthető ez az anyag.

8. A TÖRÖTT RÉSZ SZÖVETSZERKEZETE

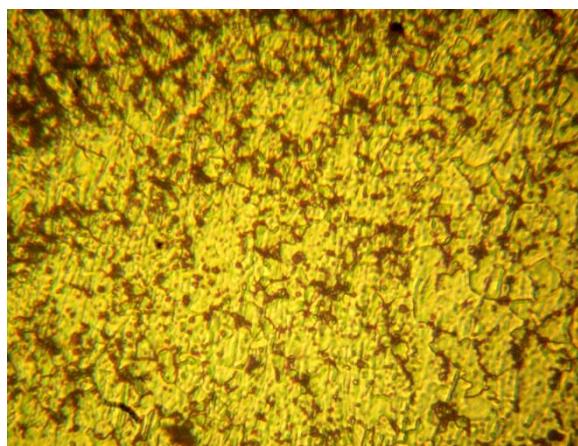
A kovácsolt rész és a felhegesztés szövetszerkezete eltérő. A kovácsolt alap perlit mennyisége mintegy 20%, ami megfelel az összetételének, a ferrites mátrix mellett.

A felhegesztés alig 10 %-nyi perlitet tartalmaz, mely a bevonatos elektródák maghuzalának max. 0.08 %-os széntartalmának megfelelő (14. és 15. kép).

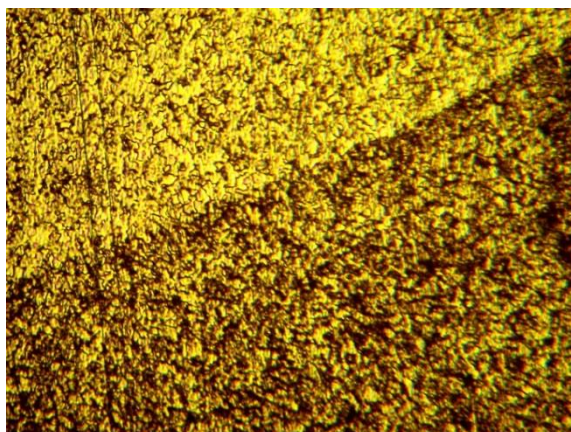
A felrakott rész és az alapanyag határa élesen elkülönül, ez az eltérő perlit-mennyiség következménye, amit az eltérő karbon tartalom eredményez.



14. kép. Kovácsolt rész szövetszerkezete
(N = 200 x)



15. kép. Felhegesztett rész
szövetszerkezete (N = 200 x)



16. kép. Az alapanyag és a felhegesztés határa
N = 100 x

Összegezve megállapítjuk, hogy a vonószem körgyűrű alakú része ismétlődő, dinamikus, időben változó nagyságú terhelés miatt keletkezett repedés(ek)nek a teljes keresztmetszet 80-85 %-ára kiterjedő fáradásos törése miatt szakadt le a vonórúdról, megszüntetve a vonó gépjármű és a pótkocsi mechanikai kapcsolatát.

ÖSSZEFOGLALÁS

- Ad.1.: A vonóháromszög 2” átmérőjű acélcsőből hegesztett szerkezeti elemeinek törése a pótkocsi vonójárműről történő leválása után, a pótkocsi ütközése következtében jött létre.
A vonószem törése fáradt törés, vonószerszerkezet tönkremenetele sorában az elsőként bekövetkező esemény a vonószem körgyűrű alakú részében bekövetkező repedés volt. Ez a repedés fejlődött hosszú idő alatt (0,5-2 év) a teljes keresztmetszet szétválását okozó töréssé.
- Ad.2.: A vonóháromszöget a pótkocsihoz kapcsoló elemeinek (2” acélcső) törése hirtelen bekövetkező, mechanikai túlterhelés miatt létrejött rideg törés.
A vonószem kovácsolt részének törése hosszú idő alatt kifejlődő fáradt törés. **A vonószem törése okozta a pótkocsi és a vonó-jármű kapcsolatának megszűnését, a pótkocsinak a vonó-járműtől való elszabadulását.**
- Ad.3.: A vonószem törése a kezdő repedés létrejöttének időpontjától kezdődő lassú folyamat eredménye volt. A fáradt törés kialakulását -vagyis a kezdő repedés teljes keresztmetszetre kiterjedő töréssé fejlődését- meggyorsította a vonószem furatának ovális alakja.
Az ovális alak miatt a vonóerő változó nagyságú (lengő) volt.
A vonószem szakszerűtlen javításának (hegesztés) a kezdő repedés kialakulásában játszott szerepe valószínűsíthető.
A vonószerszerkezet túlterhelése gyorsította a repedés teljes töréssé fejlődését.
- Ad.4.: A jármű vezetője szemrevételezéses vizsgálattal semmiképpen nem észlelhette a vonószemben lévő repedést.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **HORST Blumenauer, GERHARD Pusch:** Műszaki törésmechanika MK. Bp. 1987
[2] **Dr. VERŐ József, Dr. KÁLDOR Mihály:** Vasötvözetek fémtana MK. Bp. 1971
[3] **TISZA Miklós:** Anyagvizsgálat Miskolci Egyetemi Kiadó 2005.
[4] **HÜTTE:** A mérnöki tudományok kézikönyve. Springer Verlag Bp, 1993.

JÁRMŰIPARI ALKATRÉSZGYÁRTÁS TERMELÉSPROGRAMOZÁSI FELADATAINAK MODELLEZÉSE ÉS MEGOLDÁSA

MODELING AND SOLVING OF PRODUCTION FINE SCHEDULING PROBLEMS FOR AUTOMOTIVE COMPONENT MANUFACTURING

KULCSÁR Gyula¹, KULCSÁRNÉ FORRAI Mónika²

¹egyetemi docens, iitkg@uni-miskolc.hu

¹Miskolci Egyetem, Alkalmazott Informatikai Intézeti Tanszék

²egyetemi tanársegéd, aitkfm@uni-miskolc.hu

²Miskolci Egyetem, Alkalmazott Informatikai Intézeti Tanszék

Kivonat: A cikk összefoglalja egy járműipari összetett termelésprogramozási feladat modellezését és megoldását. A feladat jellegzetessége, hogy többféle osztott hozzáférésű erőforrást (gépeket, csatlakoztatási pontokat, szerszámhordozókat és szerszámokat) kell egyidejűleg kiosztani és párhuzamos végrehajtású munkákat (Multi-Processing Tasks, MPT) kell ütemezni szigorú határidős rendelések teljesítése érdekében. A feladat megoldása során a technológiai főfolyamatok mellett különös figyelmet kellett fordítani a szerszám-előkészítési folyamatokra is. Ezt a beépülő részproblémát egy transzformációs eljárással segítségével leképezzük időben változó számú, párhuzamosan működő virtuális gépekből álló erőforrás-környezetre. A transzformált problématerben egész-értékű indítási és befejezési időpontokkal határolt, egységnyi műveleti idejű független munkák végrehajtását kell ütemezni a késések minimalizálására törekedve. Kidolgoztunk egy új megoldó algoritmust, amely a részfeladat optimális megoldását polinomiális futási idő alatt képes előállítani. A részprobléma megoldását használjuk fel a teljes feladat megoldását végző kereső algoritmusban a szerszám-előkészítési korlát betartása érdekében. A cikk bemutatja a vizsgált teljes termelésprogramozási feladat legfontosabb jellemzőit, a kifejlesztett megoldási módszer koncepcióját és a legfontosabb algoritmusokat.

Kulcsszavak: termelés, ütemezés, szimuláció, kereső algoritmus, többcélú optimalizálás.

Abstract: The paper summarizes the modeling and solving of a complex production fine scheduling problem of the automotive industry. The main characteristic of the problem is that different type shared resources (e.g. machines, attachment points, mold carriers, tools) have to be allocated simultaneously, and multi-processing tasks (MPT) have to be scheduled to satisfy production orders within strict time limits. To solve the problem we have to consider not only the primary technological processes but also the tool-preparation processes. This inbuilt sub-problem is converted to a special resource-environment by using a transformation procedure. This transformed problem space includes time-varying number of virtual parallel machines. To minimize the tardiness, we have to schedule independent jobs with unit processing times, integer release times and due dates. We elaborated a new solving algorithm that can create the optimal solution of the sub-problem in polynomial time. This solution of the sub-problem is applied to meet the constraints of the tool preparation in the search algorithm of the full problem. The paper presents the main features of the full production fine scheduling problem, the approach of the developed solving method and the most important algorithms.

Keywords: production, scheduling, simulation, searching algorithm, multi-objective optimization.

1. BEVEZETÉS

Napjaink globalizált piaci környezete arra készíti a termelő vállalatokat, hogy folyamatosan növeljék a versenyképességüket. A piaci körülmények gyors változásai és az egyre fokozódó vevői igények a gyártási hatékonyság és a szállítókészség fokozását követelik meg. Ugyanakkor a termelő rendszerek költséghatékony működtetése érdekében törekedni kell a készletek alacsony szinten tartására, az erőforrások magas fokú kihasználtságára és a járulékos költségek csökkentésére.

Napjainkban a korszerű vállalatirányítási tevékenység kiterjed a vállalat működésével összefüggő összes területre. Egy vállalat egészének működését és annak folyamatait célszerű a tervezés, az előkészítés, a végrehajtás és az ellenőrzés szakaszaira bontani.

Az ipari gyártási technológiák egy részében a termékegyedek és a folyamatelemek térben és időben egymástól jól elkülöníthetők. Az ilyen jellegű technológiai folyamatokra alapozott termelést szokás diszkrét termelési folyamatnak nevezni (ilyen például az alkatrészgyártás és szerelés).

A diszkrét termelési folyamatok tervezése és irányítása általában több hierarchikusan egymásra épülő szinten megy végbe. A magasabb szint hosszabb időszakot fog át és csak a fontosabb szempontokkal foglalkozik. Az alacsonyabb szinten a felsőbb szintről kapott irányítási döntések alapján hozzák meg az egyre részletesebb, de egyre rövidebb időperiódusra vonatkozó irányítási döntéseket. Ha az alacsonyabb szint megoldhatatlan feladatot kap (például azért, mert a körülmények közben megváltoztak), akkor visszajelez a közvetlenül felette lévő szintre, ahol módosítást kell végrehajtani.

A gyakorlatban általában jól elkülönül a hosszú távú stratégiai tervezés, a közép távú aggregált tervezés valamint a rövid távú termelésütemezés, -programozás és végrehajtás feladatköre.

A termelésstervezés és -ütemezés eredményei általában közvetlenül nem alkalmazhatók a gyártás operatív irányítására, mivel az elkészített tervek összevontan kezelt erőforrásokra alapozott nagyvonalú megoldást alkotnak. A termelésprogramozás (finom vagy részletes ütemezés) minden fontos részletre kiterjedő pontos végrehajtási finomprogramot készít rövid időhorizontra (pl. heti, napi, műszakonkénti bontásban).

Az elkészített termelési finomprogramok megvalósítása érdekében a komplex döntéshozatalnak ki kell terjednie a termelés főfolyamatain túl (gyártás, szerelés) a legfontosabb kapcsolódó mellék (pl. logisztikai) és segéd (pl. szerszámellátó) folyamatokra is.

Cikkünkben bemutatunk egy új ütemezési modellt a hozzá tartozó megoldó algoritmusokkal együtt, amelyek egy konkrét járműipari termelésprogramozási feladattípus megoldását valósítják meg.

2. A VIZSGÁLT TERMELÉSI FOLYAMAT

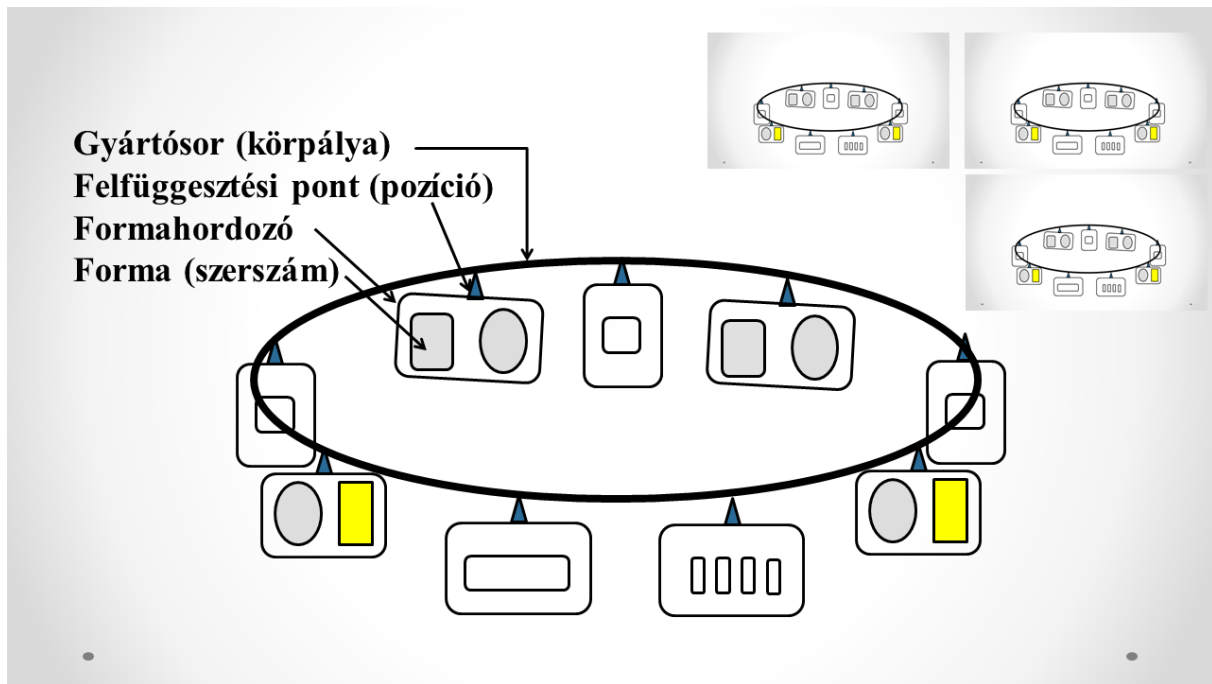
A vizsgált járműipari gyártóműhelyben üléselemeket készítenek különböző márkájú és típusú személyautókhöz. A vevők (jármű-összeszerelő vállalatok) által generált, adott terméktípusra és darabszámra vonatkozó termék-lehívásokat (rendeléseket) szigorúan előírt szoros határidőre kell teljesíteni.

Az üzem az üléselemek előállítását körpálya kialakítású gyártórendszerekben valósítja meg (1. ábra). Az üzem gyártórendszerei (pályák) közösen végzik a rendelések teljesítését. Adott terméktípus általában több pályán is gyártható. Minden egyes pálya adott számú teljes kört (ciklust) tud elvégezni egy műszakban, továbbá adott számú felfüggesztési ponttal (pozícióval) rendelkezik. Adott pálya adott pozíciójához egy adott típusú formahordozó csatlakoztatható, amely kialakítástól függően egy vagy két oldalas lehet. A formahordozó bal és jobb oldalához szerszámok (formák) rögzíthetők a technológia által meghatározott szabályok szerint.

Szigorú szabályok írják elő, hogy

- milyen terméket,
- melyik pályán,
- milyen pozícióban,
- milyen típusú formahordozón,
- melyik oldalon és

- milyen más termékkel együtt lehet gyártani.



1. ábra. A vizsgált termelési rendszer elvi vázlata

A pályák önállóan definiált műszakrend szerint működnek (nyolc órás műszakokat tekintve alapegységnek). Minden egyes műszakban pályánként előírt darabszámú pozícióban végezhető el csere. Egy csere alapegysége egy formahordozóból és a hozzá kapcsolódó formából (vagy formákból) álló konfiguráció. Adott konfiguráció levétele egy aktív pozícióból és egy előkészített másik konfiguráció felhelyezése ugyanabba a pozícióba jelent egy teljes cserét.

A pályák kialakítása különböző, ezáltal az egy műszakban megtehető teljes körök száma is eltérő. A termékek gyártásához rendszerint több, eltérő darabszámú forma és formahordozó áll rendelkezésre.

A termeléshez szükséges konfigurációk előkészítését (szét- és összeszerelését) szakképzett dolgozók végzik. Az előkészítési feladat időigényes, így a pályák együtteséből álló üzemben az egy műszakban elvégezhető konfiguráció-előkészítések száma szigorú kapacitáskorláttal határolt.

3. KÖVETELMÉNYEK

A vázolt erőforrás-korlátos ütemezési feladat megoldása során olyan megoldások megtalálása a cél, melyek a szigorú korlátozásokat nem sértik meg és a termelés-menedzsment által támasztott általános kritériumok tekintetében a lehető legjobb számszerűsíthető teljesítménymutatókat eredményezik.

Az alkalmazott gyártástechnológiából és az erőforrások rendelkezésre állásából eredő szigorú korlátozások betartása mellett az elsődleges cél a rendelések hiánytalan teljesítése az előírt határidőkre.

A bemutatott termelési folyamat finomprogramozási feladatának megoldásával kapcsolatban a legfontosabb elvárások a következők:

- A gyártási rendelkezések teljesítése csúszások nélkül valósuljon meg.
- A gyártás a lehető legkevesebb átállással (konfiguráció előkészítéssel és cserével) valósuljon meg.
- El kell kerülni a túl nagy készletek felhalmozását.
- Biztosítani kell a terméktípusonként (cikkszámokonként) külön-külön előírt minimális készletszintet.
- A gyártósorok (pályák) kihasználtságát maximalizálni kell.

A megfogalmazott feladat sajátosságai miatt nem sorolható be közvetlenül egyik ismert ütemezési feladatkategóriába sem. Az ütemezés és a készletgazdálkodás egy kombinált új feladatához jutottunk.

4. MEGOLDÁSI MÓDSZER

4.1. Megoldási koncepció

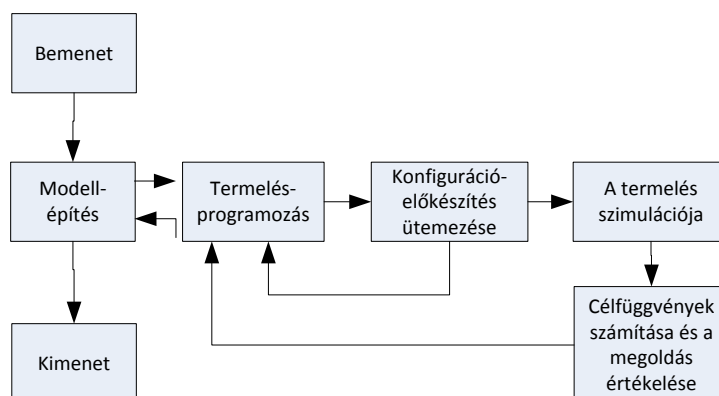
A szakirodalomban számos könyv és szakkikk foglalkozik az ütemezési modellekkel és módszerekkel pl. [1], [2], [4], [8], [9], [10], [11], [12], azonban a vizsgált probléma sajátosságaihoz pontosan illeszkedő modellt nem találtunk.

A vizsgált üzem terméktípusonkénti termelési intenzitása viszonylag lassan módosítható a vázolt korlátozások miatt, így a változatos megrendelések kiszolgálása igen komoly termelésprogramozási feladatot jelent. A szükséges információk rendelkezésre állása alapján a finomprogram jellemzően egy hetes időintervallumra előre készíthető el. A rendszer „lomhasága” miatt szükséges a különböző terméktípusokra egyedileg kalibrált készletszintet fenntartani.

A termelésprogramozási feladat megoldásakor a technológiai és egyéb korlátozások mellett különös figyelmet kell fordítani a konfigurációk előkészítésének korlátaira is.

A vázolt feladat NP-nehéz jellegéből következően a fejlesztés során alapvetően heurisztikus és tudás-intenzív keresési technikákra koncentráltunk. Korábban sikeresen alkalmazott modelljeinkből indultunk ki [5], [6], [7].

A kidolgozott új termelésprogramozási módszer elvi vázlata a 2. ábrán látható.



2. ábra A megoldási módszer elvi vázlata

A feladat döntési változóinak értékét egy többoperátoros és többcélú kereső algoritmus

állítja be. A kifejlesztett ütemező szoftver iteratívan módosítja az aktuális ütemtervet, konzisztens változtatásokkal új megoldásokat készít.

A keresési algoritmus egy közbenső lépése által előállított megoldásról meg kell állapítani, hogy az konfiguráció-előkészítés szempontjából megvalósítható-e vagy sem. Ez azt jelenti, hogy az aktuálisan vizsgált termelési programhoz készíteni kell egy megvalósítható konfiguráció-előkészítési ütemtervet, amely a korlátozásoknak megfelel. Ha ez lehetséges, akkor a termelési finomprogram megvalósítható, ellenkező esetben nem.

4.2. Termelésprogramozás

A termelésprogramozási feladat megoldása során az ismert gyártási rendelkezések teljesítését kell biztosítani. Ehhez a termékek gyártására alkalmas pályák (gyártósorok), formahordozók és formák lekötését (terhelését) és az elvégzendő konfigurációk-cserék időpontjait kell úgy megtervezni, hogy a szigorú korlátozások megsértése nélkül a megfogalmazott célok elérhetők legyenek.

A feladatban a bemenő adatok definiálják az aktuális gyártási erőforrás-környezetet, a teljesítendő rendeléseket, a korlátozásokat, a célfüggvényeket és azok prioritásait.

A megoldási módszer alapját egy gyors szimulációra alapozott iteratív keresési módszer adja. Az algoritmus legfontosabb szereplőit objektum-orientált megközelítésben osztályok definiálásával és objektumok példányosításával valósítottuk meg. A legfontosabb osztályok a következők:

- F_ENTITY: entitás.
- F_CARRIER: formahordozó.
- F_COMPLEX_MOLD: összetett forma.
- F_KPI: teljesítmény-mutatók (célfüggvények) halmaza.
- F_MACHINE: gyártósor (pálya).
- F_M_STATE: gyártósor állapota.
- F_MOLD: forma (szerszám).
- F_MS: gyártórendszer.
- F_ORDER: gyártási rendelés.
- F_PAC_PLAN: konfiguráció-előkészítés ütemterve.
- F_PRODUCT: termék.
- F_PRODUCT_GROUP: termékcsoport (együtt gyártható termékek halmaza).
- F_SCHEDULE: termelési finomprogram.
- F_TABU: tabuelem (megjegyzett termelési finomprogram).
- F_TABULIST: tabulista.
- F_TIMELINE: a műszakok diszkrét intervallumai (a transzformált problématerben lépések helyettesítik az időpontokat).

A feladat megoldásának első fázis a modellépítés. Az objektumok alapvető attribútumai értéket kapnak. Ezt követően egy részletes vizsgálat következik, amelynek során feltárulnak az összerendelhetőségi szabályok (pl. melyik gyártósor milyen terméktípusok gyártására képes, az adott terméktípus milyen formákkal gyártható, melyik forma milyen formahordozóra szerelhető, adott pozícióba milyen formahordozó csatlakoztatható stb.). Az eredmények bekerülnek az objektumokba.

A második fázis a döntési változók értékeinek beállítása (termelésprogramozás). A megadott és betöltött adatokból kiindulva kell elkészíteni a műhely termelési finomprogramját, figyelembe véve a rendszer aktuális állapotát.

A termelési finomprogram írja elő, hogy:

- melyik gyártósoron,
- melyik pozícióban,
- melyik műszakban (mikor)
- milyen konfigurációt kell kicserélni, és azzal
- milyen terméket vagy termékeket kell gyártani.

A felsorolt döntési változók egyértelműen leírják a teljes műhely tervezett időintervallumra vonatkozó tevékenységeit. A döntések eredményeképpen elkészül egy lehetséges termelési finomprogram.

A harmadik fázis a konfiguráció-előkészítés ütemezése. A javasolt termelési finomprogram végrehajtásához szükséges előkészületi tevékenységeket szakképzett dolgozókhoz kell társítani, és meg kell tervezni a feladatok elvégzésének időbeli ütemtervét. A finomprogram által igényelt összeszerelendő konfigurációk komponenseinek rendelkezésre állása (formahordozók és formák) valamint a dolgozók terhelésére vonatkozó korlátozások figyelembe vételével kell megoldani ezt a beépülő ütemezési feladatot. Ebben a részfeladatban a cél az előkészületi határidők betartása. Ha nem oldható meg ez a részfeladat határidő-túllépés nélkül, akkor a javasolt termelési finomprogram nem valósítható meg, egy másik példányt kell készíteni.

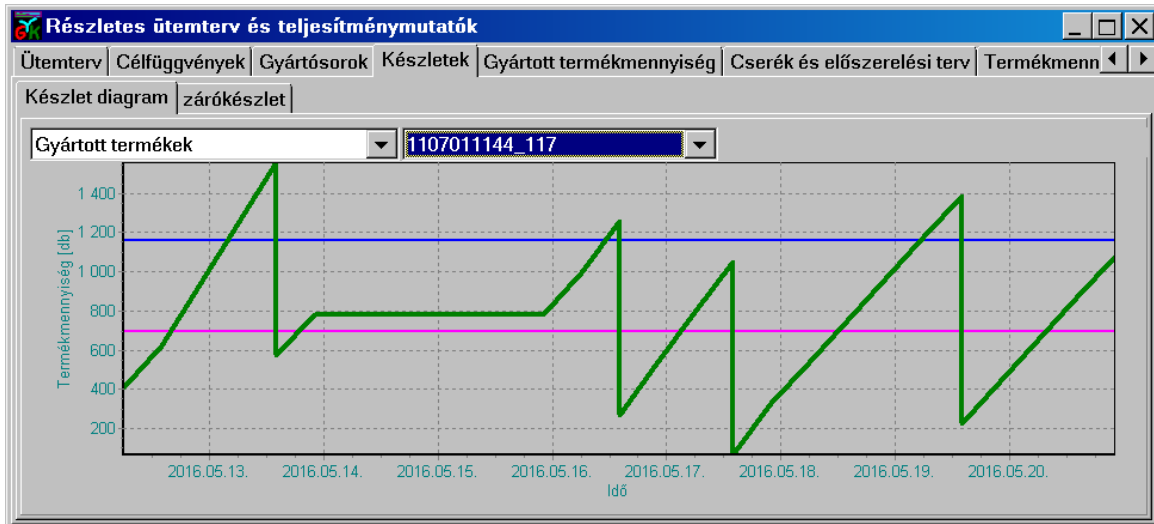
A negyedik fázis a termelési finomprogram alapján a termelési folyamat szimulációja. A gyártott termékmennyiségek és készletek időbeli változásainak számítását egy szimulációs eljárás végzi el. Az algoritmus figyelembe veszi a korábban ismertetett korlátozásokat és működési jellemzőket (pl. a gyártósorok műszakbeosztását, a termelési intenzitásokat stb.).

Az ötödik fázis a generált megoldás célfüggvény-értékeinek számítása és minősítése. A szimuláció által szolgáltatott értékek felhasználásával egy értékelő komponens kiszámítja a vizsgált termelési finomprogramra (megoldásra) vonatkozó teljesítménymutatók aktuális értékeit. A gyártásirányítás által támasztott igényeket a modellben a következő célfüggvények együttes kompromisszumos minimalizálása fejezi ki

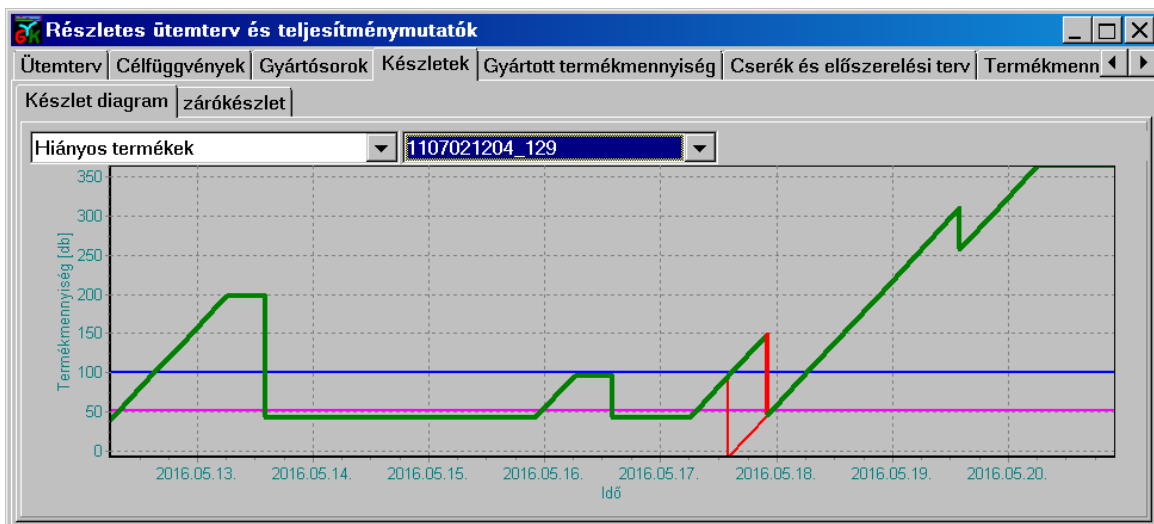
- f_1 : Maximális termékhiány [db].
- f_2 : A termékhiány összege [db].
- f_3 : A csúszó gyártási megrendelések száma.
- f_4 : Az átállítások (cserék) száma.
- f_5 : A cserék maximális száma egy műszakban.
- f_6 : A többlettel záró terméktípusok száma.
- f_7 : A terméktöbbletek összege [db].
- f_8 : A maximális termékhiány az időszak végén [db].
- f_9 : A termékhiány összege az időszak végén [db].
- f_{10} : A csúszó rendelések prioritásainak összege.
- f_{11} : A csúszó rendelések maximális prioritása.
- f_{12} : A csúszó terméktípusok száma.
- f_{13} : A maximális termékhiány (nullához képest) [db].
- f_{14} : A termékhiány összege (nullához képest) [db].
- f_{15} : A maximális csúszás [műszak].
- f_{16} : A csúszások összege [műszak].
- f_{17} : A konfiguráció-előkészítések száma.
- f_{18} : Nem használt pályakapacitás [termékgyártási alapegység].

A modellben több új készletre vonatkozó teljesítménymutatót használunk célfüggvényként.

Ezek számításának lényege az, hogy a gyártott mennyiségeket és a kiszállított mennyiségeket az idő függvényében összevonva kezeljük, így bármely időpontban számszerűsíthető az aktuális készlet szint-érték minden egyes terméktípus esetében (3. ábra). Az aktuális értékek felhasználásával az adott referencia alsó és felső határokhoz viszonyított hiány vagy többlet egyszerűen számítható. A rendelések teljesítésének csúszása szintén egyszerűen számítható a készlet-idő diagram alapján. Az előírt határidő pillanatában az aktuális készlet szint és a rendelt mennyiség különbségeként adódó előjeles érték mutatja a hiányt (negatív) vagy a többletet (pozitív). A rendelés csúszása azt az időtartamot jelenti, amely az előírt határidő és a tényleges teljesítés között eltelik (4. ábra).



3. ábra. Készlet-idő diagram



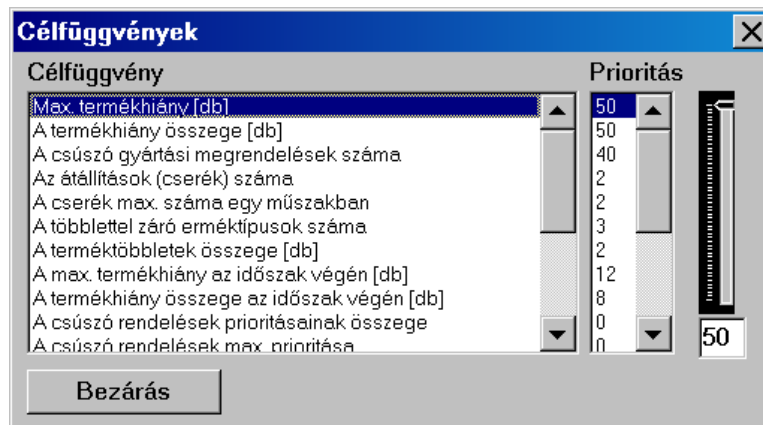
4. ábra. A rendelés teljesítésének csúszása készlethiány (negatív készlet) miatt

A termelésprogramozási modell lényeges új elemei közé tartozik

- az időben korlátozottan rendelkezésre álló gyártási kapacitások menedzselése,
- az osztott hozzáférésű erőforrások irányítása,
- a gyártás-előkészítési feladatok ütemezése,

- a készletszintek terméktípusonkénti sávos optimalizálása és
- a célfüggvények körének jelentős bővítése ipari gyakorlati igények kielégítése érdekében.

A megfogalmazott célok fontossága időben változhat, ezért a célfüggvények aktuális fontosságát prioritásértékek megadásával fejezheti ki a felhasználó (5. ábra).



5. ábra. A célfüggvények prioritásainak konfigurálását támogató felület

A célfüggvény-rendszer kezelésére egy korábban kidolgozott matematikai modellt használtunk [5]. A módszer alapelve az, hogy két megoldás összehasonlításakor az egyik megoldásnak a másikhoz viszonyított (relatív) jóságának számértéke alapján dönthető el, hogy melyik tekinthető jobb megoldásnak.

A modell formális leírása a következő:

$$f_k : S \rightarrow \mathbb{R}^+ \cup \{0\}, \forall k \in \{1, 2, \dots, K\}, f_k \rightarrow \min, \quad (2)$$

$$D : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}, D(a, b) = \begin{cases} 0, & \text{ha } \max(a, b) = 0 \\ \frac{b - a}{\max(a, b)}, & \text{egyébként} \end{cases}, \quad (3)$$

$$F : S^2 \rightarrow \mathbb{R}, F(s_x, s_y) = \sum_{k=1}^K (w_k \cdot D(f_k(s_x), f_k(s_y))), \quad (4)$$

ahol:

- S – a megoldások halmaza;
- f_k – a k . célfüggvény minimalizálendő alakban megadva;
- K – a célfüggvények száma;
- s_x, s_y – két megoldás;
- w_k – az f_k célfüggvény fontosságát kifejező nem negatív érték (prioritás);
- $F(s_x, s_y)$ – az s_y megoldás s_x megoldáshoz viszonyított relatív jósága.

Az $F(s_x, s_y)$ előjeles függvényérték felhasználásával az alapvető relációs operátorok értelmezése kiterjeszhető az S -beli s_x és s_y megoldásokra a következőképpen:

$$(s_y ? s_x) := (F(s_x, s_y) ? 0), \quad (5)$$

ahol:

? – tetszőleges relációs operátor (<, ≤, >, ≥, =, ≠).

A megoldások (termelési finomprogramok) halmazán értelmezett relációs operátorok (5) felhasználásával a különböző megoldások páronkénti összehasonlítása és értékelése gyorsan és egyszerűen elvégezhető.

A bemutatott 2.-4. fázisokat és a többcélú értékelési modellt felhasználva egy tabulistával kiegészített, egyidejűleg több módosító operátort alkalmazó lokális szomszédsági kereső algoritmus oldja meg a feladatot. Az aktuális bázis megoldásból konzisztens változtatásokkal új megoldás-változatokat készít, majd szimulációt és kiértékelést követően az elért eredményektől függően tovább folytatódik a legjobb megoldás keresése a leállási feltétel teljesüléséig. Az algoritmus egyszerűsített vázlatát a 6. ábrán látható.

EasyForce algoritmus

```

{
  s0 ← Kezdeti megoldás készítése a betöltött induló állapot érvényesítésével;
  s* ← s0;
  Taboo_List ← NULL;
  while ( Leállási feltétel nem teljesül )
  { while ( Szomszédság kiterjesztésének feltétele teljesül )
    {
      Nc ← Az aktuális szomszédsági operátor kiválasztása (priority_list);
      s ← Szomszédos megoldás készítése ( s0, Nc );
      PAC_Plan ← Konfiguráció előkészítés ütemezése ( s );
      if ( A PAC_Plan konfiguráció-előkészítés maximális csúszása == 0 )
      {
        if ( A Taboo_List nem tartalmazza ( s ) )
        {
          A Taboo_List bővítése új elemmel ( s );
          if ( Taboo elemek száma > megengedett érték )
            A Taboo_List legkorábban felvett elemének törlése;
          if ( A szomszédság kiterjesztésének első eleme ( s ) ) sk ← s;
          else if ( s < sk ) sk ← s;
        }
      }
    }
  }
  s0 ← sk;
  if ( sk < s* ) s* ← sk;
}
return s*;
}

```

6. ábra. A többoperátoros és többcélú kereső algoritmus vázlatát

A 6. ábrán alkalmazott jelölések a következők:
s₀ – a szomszédság képzésének bázis megoldása;

- s^* – a keresés során megtalált legjobb megoldás;
- s – az aktuális szomszédos megoldás;
- N_c – az aktuálisan kiválasztott módosító operátor;
- s_k – az adott szomszédság (kiterjesztés) legjobb ütemterve;

A módosító operátorok a gyártósorok pozícióiban az adott időhorizonton aktívan használt formahordozókra és formákra vonatkozó döntési változókat módosítják.

Az alkalmazott módosító (szomszédsági) operátorok a következők:

- N_1 operátor: Egy véletlenszerűen kiválasztott gyártósor véletlenszerűen választott pozíciójáról egy véletlenszerűen választott műszakban leveszi az aktuálisan használt konfigurációt.
- N_2 operátor: Egy véletlenszerűen választott rendeléshez tartozó termék gyártását ütemezi be az aktuális termék alapértelmezett gyártósorán. Ha ez nem lehetséges, akkor egy alternatív gyártósort választ.
- N_3 operátor: Egy véletlenszerűen választott csúszó rendeléshez tartozó terméket választ és azt az N_2 operátor működése szerint ütemezi be.
- N_4 operátor: Egy véletlenszerűen választott csúszó rendeléshez tartozó terméket választ és annak gyártását egy véletlenszerűen választott alkalmas gyártósorra ütemezi be.
- N_5 operátor: A legnagyobb prioritású csúszó rendeléshez tartozó terméket választja ki és annak gyártását egy véletlenszerűen választott alkalmas gyártósorra ütemezi be.
- N_6 operátor: Ez valójában három operátort foglal magába, melyek közül véletlenszerűen kerül kiválasztásra az egyik minden meghíváskor:
 - A termékhiányos (csúszó) rendelések közül kiválasztja a legkevesebb formával rendelkezőt, és a hozzá tartozó terméket beilleszti az ütemtervbe.
 - A termékhiányos (csúszó) rendelések közül kiválasztja a legkorábbi határidejűt, és a hozzá tartozó terméket beilleszti az ütemtervbe.
 - A termékhiányos (csúszó) rendelések közül kiválasztja a legkevesebb gyártósoron gyárthatót, és a hozzá tartozó terméket beilleszti az ütemtervbe.

Mindhárom esetben az operátor az alkalmas gyártósorok közül a legkevesebb átállítással terhelt gyártósorra ütemezi a kiválasztott termék gyártását.

- N_7 operátor: Az alábbi két operátor közül véletlenszerűen kiválasztja az egyiket és azt aktiválja:
 - A legnagyobb prioritású csúszó rendeléshez tartozó terméket választja ki. Ha a termék minden formája foglalt, akkor véletlenszerűen felszabadít egyet és azt felhasználva az alkalmas gyártósorok közül a legkevesebb átállítással terhelt gyártósorra ütemezi a kiválasztott termék gyártását.
 - Egy véletlenszerűen választott csúszó rendeléshez tartozó terméket választ ki. Ha a termék minden formája foglalt, akkor véletlenszerűen felszabadít egyet és azt felhasználva az alkalmas gyártósorok közül véletlenszerűen választott gyártósorra ütemezi a kiválasztott termék gyártását.
- N_8 operátor: Egy véletlenszerűen választott konfigurációcserét töröl az ütemtervből.
- N_9 operátor: Kiválasztja a legnagyobb csúszással jellemezhető rendelést és a hozzá tartozó termék gyártását egy véletlenszerűen választott alkalmas gyártósorra ütemezi be.
- N_{10} operátor: Kiválasztja a legnagyobb csúszással jellemezhető rendelést és a hozzá tartozó terméket jelöli ki. Ha a termék minden formája foglalt, akkor véletlenszerűen felszabadít egyet és azt felhasználva a kijelölt termék alapértelmezett gyártósorára ütemezi be. Ha ez nem lehetséges, akkor egy alternatív gyártósort választ.
- N_{11} operátor: Az ütemezési időszak végét alapul véve, az előírt minimális készlethez viszonyítva a legnagyobb hiánnyal rendelkező terméket választja ki, és azt a hozzá

tartozó alapértelmezett gyártósorra ütemezi be. Ha ez nem lehetséges, akkor egy alternatív gyártósort választ.

- N_{12} operátor: Az ütemezési időszak végét alapul véve, az előírt minimális készlethez viszonyítva hiánnyal rendelkező termékek közül véletlenszerűen kiválaszt egyet, és azt a hozzá tartozó alapértelmezett gyártósorra ütemezi be. Ha ez nem lehetséges, akkor egy alternatív gyártósort választ.

Adott gyártósoron egy adott termék gyártásának beütemezése azt jelenti, hogy kiválasztásra kerül egy olyan műszak, amelyben az előírt csereszám-korlát megsértése nélkül egy új csere végrehajtható. A csere során egy kiválasztott pozícióból leveszik az addig aktív konfigurációt, és a helyére egy másik már előkészített konfigurációt csatlakoztatnak. A konfiguráció egy alkalmas formahordozóból és a rászertelt formából vagy formákból áll. A forma kiválasztásakor az operátorok a szabad (nem foglalt) formák listáját lekérdezik, majd megvizsgálják, hogy van-e olyan előkészített konfiguráció, ami bevethető (tartalmaz megfelelő formát). Ha igen, akkor azt használja. Ha nem áll rendelkezésre alkalmas konfiguráció abban az időben, akkor figyelembe véve a formákhoz rendelt prioritásértékeket a szabad formák közül a legmegfelelőbbet választja ki. Amennyiben a formahordozóra több forma is elhelyezhető, akkor több formát is kiválaszt a rendelkezésre állók közül. Ebben a döntési helyzetben azt is figyelembe veszik az operátorok, hogy mely terméktípusok gyárthatók együtt.

A megoldási folyamatban az aktuális módosító operátorok kiválasztását egy fontossági sorrendet kijelölő prioritáslista (*priority_list*) és kvázi-véletlenszám generátor együttműködése határozza meg. A prioritáslista az operátorok kiválasztási valószínűségét írja le, melynek értékeit a felhasználó állíthatja be.

4.3. A konfiguráció-előkészítések ütemezése

A termelésprogramozási (keresési) feladatba beépülő konfiguráció-előkészítési részprobléma önállóan is megfogalmazható egy speciális ütemezési feladat formájában.

A konfiguráció-előkészítések (munkák) ütemezési feladata a következőképpen foglалható össze:

- Adott n számú egymástól független J_i munka ($i=1, 2, \dots, n$), önállóan definiált legkorábbi indítási és legkésőbbi befejezési időpontokkal határolva.
- Adott egy erőforrás-rendelkezésre állást definiáló lista, amely átlapolódás nélküli időintervallum-szakaszokból áll, és a kezdési időpontok szerint növekvő sorrendbe rendezett.
- Időintervallumonkénti bontásban rendelkezésünkre áll egy erőforrás halmaz, amely szerelő szakmunkásokból áll, akik az időintervallumokban külön-külön előírt számú konfiguráció előkészítésére képesek.
- A cél az, hogy készítsünk ütemtervet a korlátozások betartásával úgy, hogy a határidő túllépés (csúszás) maximális értéke a lehető legkisebb legyen.

Ez a probléma ebben a formájában nagyon nehezen kezelhető. Ezért kidolgoztunk egy probléma-transzformációs eljárást, melynek segítségével a problémát átalakítjuk egy továbbfejlesztett párhuzamos gépes ütemezési feladatra, melyben a rendelkezésre álló gépek száma függ az időtől. A transzformáció lényege a következő:

- Az időintervallumokat a műhelyhez rendelt globális rendszerben besorszámozzuk decimális egészekkel. Ezeket a sorszámokat lépéseknek nevezzük (s). A lépések egy összefüggő sorozatot alkotnak, ez helyettesíti az időtengelyt.

- Mivel egy konfiguráció-előkészítés műveleti ideje egy műszak hosszánál nem lehet nagyobb, ezért a műveleti idők rendre egységnyi értéket (lépést) vesznek fel ($p_i = 1$).
- A munkák időadatait rendre átalakítjuk lépésekre: a legkorábbi indítási időpontot a befogadó műszakot követő műszak lépésszámára (r_i), a határidőt a befogadó műszak sorszámára (d_i) váltjuk át, és a teljesítés időpontját a befogadó műszak sorszámával kifejezett alakban keressük (C_i).
- A munka késését $L_i = C_i - d_i$; valamint csúszását $T_i = \max(0, L_i)$; szintén egységnyi lépésben mérjük.
- A szerelő szakmunkások halmazát felcseréljük párhuzamosan működő virtuális gépekre (erőforrásokra), amelyek egyszerre csak egy munkán dolgozhatnak, és minden munkán egyszerre csak egy erőforrás dolgozhat. A virtuális gépek száma lépésenként eltérő lehet, melyet szimbolikusan $P(s)$ jelöléssel fejezünk ki. Az időintervallumban elvégezhető előkészítések számára vonatkozó eredeti korlátozás adja az adott lépésben rendelkezésre álló virtuális gépek számát.

A transzformált feladat hasonló a Gharbi és Haouari [3] által vizsgált feladathoz abban az értelemben, hogy mindkét modellben párhuzamos erőforrások szerepelnek és a munkáknak indítási és befejezési időkorlátai is vannak. Azonban a mi modellünkben minden erőforrásnak saját definiált rendelkezésre állási intervallumai vannak, nem csupán egyetlen időablak, és a célfüggvények is különbözőek.

Brucker [2] könyvében bemutatta a $P \mid p_i=1; r_i \text{ integer} \mid L_{max}$ feladatot. A Brucker-féle modell nagyon hasonló az általunk definiált konfiguráció-előkészítés ütemezési modelljéhez, mert abban is egységnyi műveleti idők, egész értékű indítási és befejezési időkorlátok szerepelnek, de a mi még azt is figyelembe vesszük, hogy az erőforrások rendelkezésre állása időben változó.

A $P(s) \mid p_i=1; r_i=\text{egész}; d_i=\text{egész} \mid L_{max}$ formára transzformált feladat megoldására a 7. ábrán látható algoritmust dolgoztuk ki, amely minimális késést eredményező (optimális) megoldást állít elő polinomiális futási idő alatt.

```

Időtartalék-orientált algoritmus a  $P(s) \mid p_i=1; r_i=\text{egész}; d_i=\text{egész} \mid L_{max}$  feladathoz
{ Rendezzük a  $J_i$  ( $i=1, \dots, n$ ) munkákat  $r_i$  szerint nem csökkenő sorrendbe;
   $j \leftarrow 1$ ;
  while ( $j \leq n$ )
    {  $s \leftarrow r_j$ ;
       $R \leftarrow \{J_i \mid J_i \text{ nem ütemezett és } r_i \leq s\}$ ;
       $k \leftarrow 1$ ;
      while ( $R$  nem üres)
        { Válasszuk ki a legkisebb  $d_i$  határidővel rendelkező  $J_i$  munkát az  $R$ -ből;
           $R \leftarrow R \setminus \{J_i\}$ ;
          Ütemezzük a  $J_i$ -t a  $k$ . rendelkezésre álló gépre az  $s$  műszakban (lépésben);
           $C_i \leftarrow s$ ;
           $L_i \leftarrow C_i - d_i$ ;
           $T_i \leftarrow \max(0, L_i)$ ;
           $j \leftarrow j + 1$ ;
          if ( $k + 1 \leq P(s)$ )  $k \leftarrow k + 1$ ;
          else
            {  $k \leftarrow 1$ ;
               $s \leftarrow s + 1$ ;
               $R \leftarrow R \cup \{J_i \mid J_i \text{ nem ütemezett és } r_i \leq s\}$ 
            }
        }
    }

```

```

    }
  }
}
Visszatérés az elkészített optimális megoldással;
}

```

7. ábra. Időtartalék-orientált ütemezési algoritmus

A teljes termelésprogramozási feladat megoldását végző *EasyForce* algoritmus leírásában (6. ábra) a *PAC_Plan* ← *Konfiguráció előkészítés ütemezése (s)*; formalizmus a 7. ábrán részletezett időtartalék-orientált algoritmust fejezi ki szimbolikusan.

Az *if (A PAC_Plan konfiguráció-előkészítés maximális csúszása == 0)* feltétel pedig azt fejezi ki, hogy ha a konfiguráció-előkészítéshez tartozó legnagyobb késés (L_{max}) nullánál nem nagyobb, vagyis a maximális csúszás (T_{max}) értéke nulla, akkor létezik megvalósítható konfiguráció-előkészítési ütemterv (*PAC_Plan*) a vizsgált termelési finomprogramhoz (*s*). Az időtartalék-orientált algoritmus a C_i értékek megadásával állítja elő a keresett *PAC_Plan* megoldást. A J_i munkát (konfiguráció-előkészítést) a C_i -edik lépéshez tartozó műszakban kell elvégezni.

5. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

A cikk a járműipari alkatrészgyártás egy speciális termelésprogramozási feladatának modellezését és megoldását foglalja össze. A feladat az igény szerinti rugalmas gyártás prediktív tervezésére vonatkozik, amely magába foglalja a munkák erőforrásokhoz rendelését, a végrehajtás ütemezését és az osztott hozzáférésű erőforrások menedzselését, valamint a terméktípusok készletszintjének irányítását. A modellezett erőforrás-korlátos gyártórendszer legfontosabb jellemzői közé tartoznak az osztott hozzáférésű szerszámok és készülékek, a korlátozottan rendelkezésre álló gyártósorok és kiszolgáló személyzet, az eltérő gyártási intenzitások, a szerszám-előkészítési tevékenységek valamint a szigorú határidős rendelések. A termelési finomprogramok készítésére kifejlesztettünk egy kombinált megoldási módszert, amely szimulációra alapozott speciális többoperátoros és többcélú keresési algoritmust valamint abba beillesztett egzakt felépítő algoritmust használ.

A termelésprogramozási problémát keresési feladatként fogalmazzuk meg, melyben definiáltuk a döntési változókat, az előírt korlátozásokat és a megfogalmazott célokat. A kifejlesztett többcélú keresési módszerünk rugalmasságának köszönhetően képes alkalmazkodni a változó feltételekhez és célfüggvény-rendszerekhez.

A bemutatott termelésprogramozási modell fontos jellemzője, hogy képes integráltan kezelni a termeléshez közvetlenül kapcsolódó készletgazdálkodási feladatokat is. A gyakorlatban (valós körülmények között) elvégzett elemzések azt mutatták, hogy a kidolgozott elméleti modellek és módszerek alapján implementált termelésprogramozó szoftverünk képes automatikusan elkészíteni a feladat megoldását jelentő részletes termelési finomprogramot. Az elvégzett vizsgálatok eredményei alapján, kijelenthetjük, hogy a bemutatott megoldási módszer kiválóan alkalmas valós ipari feladatok megoldására.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutató munka a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Mechatronikai és Logisztikai Kiválósági Központ keretében valósult meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **ALLAHVERDI, A., NG, C. T., CHENG, T. C. E., KOVALYOV, M. Y.:** *A survey of scheduling problems with setup times or costs*, European Journal of Operational Research, Vol. 187, pp. 985-1032, 2008.
- [2] **BRUCKER, P.:** *Scheduling Algorithms*, 5th ed, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007, ISBN 978-3-540-69515-8.
- [3] **GHARBI, A., HAOUARI, M.:** *Optimal parallel machines scheduling with availability constraints*, Discrete Applied Mathematics, Vol. 148, pp. 63-87, 2005.
- [4] **KAABI, J., HARRATH, Y.:** *A survey of parallel machine scheduling under availability constraints*, International Journal of Computer and Information Technology, Vol. 3, Issue 2, pp. 238-245, 2014.
- [5] **KULCSÁR, GY.:** *Ütemezési modell és heurisztikus módszerek az igény szerinti tömeggyártás finomprogramozásának támogatására*, PhD értekezés, Miskolci Egyetem, 2007.
- [6] **KULCSÁR GY., ERDÉLYI F.:** *A New Approach to Solve Multi-Objective Scheduling and Rescheduling Tasks*, International Journal of Computational Intelligence Research, 3 (4), pp. 343-351, 2007.
- [7] **KULCSÁR GY., KULCSÁRNÉ FORRAI M.:** *Detailed Production Scheduling Based on Multi-Objective Search and Simulation*, Production Systems and Information Engineering, Vol. 6, pp. 41-56, 2013.
- [8] **LEI, D.:** *Multi-objective production scheduling: a survey*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 43, Issue 9-10, pp. 926-938, 2009.
- [9] **MA, Y., CHU, C. B., ZUO, C. R.:** *A survey of scheduling with deterministic machine availability constraints*, Computers & Industrial Engineering, Vol. 58, pp. 199-211, 2010.
- [10] **MOKOTOFF, E.:** *Parallel machine scheduling problems: a survey*, Asia-Pacific Journal of Operational Research, Vol. 18, pp. 193–242, 2001.
- [11] **PINEDO, M. L.:** *Planning and Scheduling in Manufacturing and Service*, 2nd ed., Springer-Verlag New York, 2009.
- [12] **PINEDO, M. L.:** *Scheduling Theory, Algorithms, and Systems*, 3rd ed., Springer-Verlag New York, 2008.

TERMELÉSÜTEMEZÉSI ÉS MŰSZAKBEOSZTÁSI FELADATOK INTEGRÁLT MEGOLDÁSA

INTEGRATED SOLVING OF PRODUCTION SCHEDULING AND SHIFT-ASSIGNMENT PROBLEMS

KULCSÁRNÉ FORRAI Mónika¹, KULCSÁR Gyula²

¹egyetemi tanársegéd, aitikfm@uni-miskolc.hu

¹Miskolci Egyetem, Alkalmazott Informatikai Intézeti Tanszék

²egyetemi docens, iitkgy@uni-miskolc.hu

²Miskolci Egyetem, Alkalmazott Informatikai Intézeti Tanszék

Kivonat: A cikk az igény szerinti rugalmas gyártás (Make to Order, MTO) egy speciális ütemezési feladattípusának modelljét és gyakorlat-orientált megoldását foglalja össze. Bemutatásra kerül a vizsgált diszkrét gyártó-szerelő rendszer, a kidolgozott erőforrás-korlátos ütemezési modell, a megoldási koncepció, a fontosabb algoritmusok és az alkalmazott ütemezési célfüggvények definíciója. A klasszikus ütemezési feladatokra jellemző gépválasztási és sorrendi döntési változók halmazán túlmenően figyelembe vesszük a műszakbeosztásokra vonatkozó korlátozásokat és döntési változókat is. Ez az új kiterjesztés jelentős mértékben megnehezíti az ütemezési feladatok megoldását. Az erőforrások allokálását és az operációk időbeli végrehajtásának integrált finomprogramozását egy saját fejlesztésű heurisztikus megoldási módszer valósítja meg, amely szimulációval támogatott többoperátoros és többcélű lokális keresési technikára épül.

Kulcsszavak: termelés, ütemezés, szimuláció, kereső algoritmus, többcélű optimalizálás.

Abstract: The paper summarizes a new model and a practise-oriented approach for solving a special scheduling problem of the flexible make-to-order (MTO) manufacturing. We present the examined discrete manufacturing and assembly system, the developed resource-constrained scheduling model, the solving approach, the most important algorithms and the definitions of the applied objective functions. We consider not only the set of machine-assignment and job-sequencing decision variables, which are the main characteristics of the classical scheduling problems, but also the shift-assignment constraints and decision variables. This new extension significantly complicates the solution of scheduling problems. A heuristic solving method solves the integrated fine scheduling problem of the resource allocations and the operation executions. This method is based on a simulation-supported multi-operator and multi-objective local searching technique.

Keywords: production, scheduling, simulation, searching algorithm, multi-objective optimization.

1. BEVEZETÉS

A diszkrét termelési folyamatok rövid távú részletes ütemezési feladatainak megoldásához szükség van az adott termelési folyamat lehető legjobb modellezésére. A mindennapi gyakorlat szempontjából rendkívül fontos, hogy olyan ütemező rendszerek álljanak rendelkezésre, amelyek végrehajtható és optimum közeli ütemterveket készítenek a termelés változó feltételeihez és igényeihez igazodva.

A termelő vállalatok szeretnék a versenyképességüket folyamatosan javítani. Ennek érdekében arra törekednek, hogy a termelési rendszerek és hálózatok minél jobban alkalmazkodjanak a piaci körülmények gyors változásaihoz. A vevők igényeinek kielégítése érdekében a gyártási hatékonyságot és a szállítókészséget kell javítani. A gazdasági és finanszírozási szempontok a készletek alacsony szinten tartását, az erőforrások magas fokú kihasználtságát és a járulékos költségek csökkentését fogalmazzák meg.

A termelésstervezési döntések a piaci igények elemzésének eredményére és az elfogadott vevői rendelésekre alapozzák a szükségletek kielégítését megvalósító belső (függő gyártási és

beszerzési) rendelések kibocsátását. A helyben gyártandó tételek elkészítésének hatékonyságát és átláthatóságát a rövid távú és részletes finomprogramozás (részletes ütemezés) nagymértékben fokozhatja.

A mindenkori aktuális időintervallumra vonatkozó részletes termelési finomprogram kidolgozása során a gyártási erőforrás-környezetre, a munkák végrehajtási jellemzőire vonatkozó korlátozások figyelembevételével, a belső rendelések teljesítéséhez szükséges műveletek elvégzéséhez erőforrások hozzárendelését és a műveletek indítási időpontjának sorozatát kell megtervezni úgy, hogy az aktuális korlátfeltételek mellett a vállalat kitűzött céljai megvalósuljanak [5].

2. A VIZSGÁLT TERMELÉSÜTEMEZÉSI FELADAT

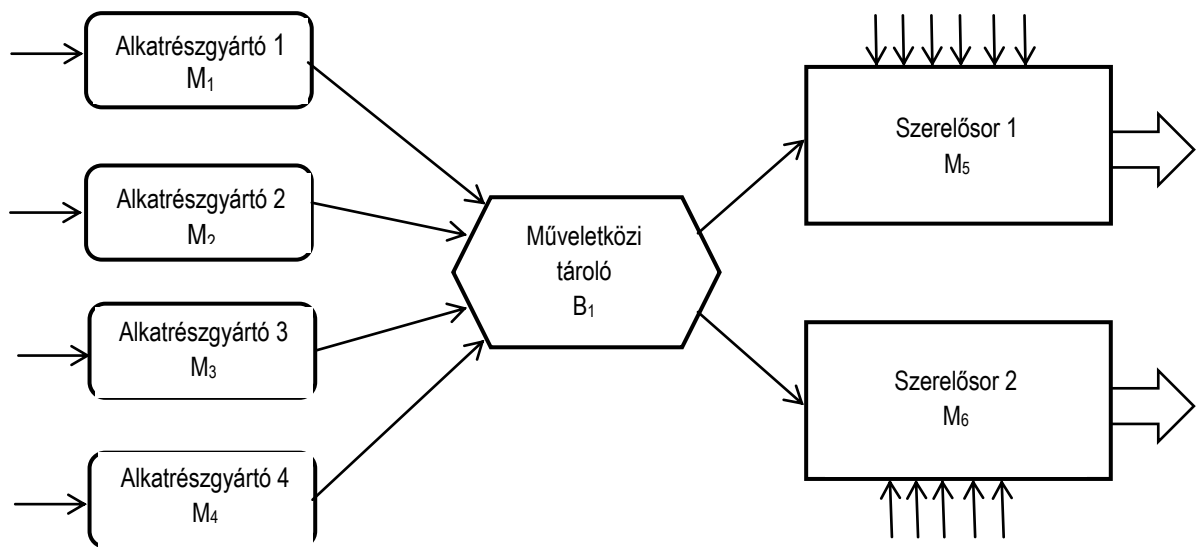
Adott egy diszkrét termelési rendszer, melyben két párhuzamosan működő gyártósoron folyik a végtermékek összeszerelése. A késztermékek alapvetően három nagy anyagcsoportból állnak össze. Az egyik ilyen anyagcsoportba tartoznak a részegységek, az alkatrészek, és az alapanyagok. A másik két anyagcsoportba a segédanyagok és az egyéb anyagok tartoznak. A végtermék egyik alapvető fontosságú alkatrészét helyben gyártják, a többit külső partnertől szerzik be. A kiszállítási tervek alapján a végszerelés termelési terve ismert. Ezeket az integrált vállalatirányítási rendszer (ERP) készíti el. A gyártásirányítás szempontjából a szerelést megelőző alkatrészgyártás folyamatát kell megfelelően ütemezni.

2.1. A termelési folyamat jellemzői

A gyártórendszerben két technológiai szerelősor dolgozik. Ezek szerelik össze a végtermékeket ($p=1, 2, \dots, N_p$), melyeknek egyik fődarabját előzetesen négy párhuzamosan működő alkatrészgyártó gép valamelyikén munkálják meg. A szerelősorok és az alkatrészgyártó gépek között egy közös műveletközi tároló van kialakítva. A technológiai lépések végrehajtási sorrendje kötött (alkatrészgyártás \rightarrow szerelés). Ez a két technológiai lépés adja a gépek csoportosításának rendező elvét. A végtermék gyártási folyamatának elvi vázlata az 1. ábrán látható.

A rendszerben P_p ($p=1, 2, \dots, N_p$) végtermék gyártható. Minden egyes P_p termékbe pontosan egy darab helyben gyártott alkatrész épül be. Az alkatrészek E_e ($e=1, 2, \dots, N_E$) halmaza ismert.

Az alkatrészek és a termékek technológiai specifikációi egyértelműen meghatározzák az adott műveletek végrehajtására használható (megfelelő képességekkel rendelkező) technológiai berendezések halmazait és ezek engedélyezett kombinációjaként adódó technológiai útvonalakat. Az ütemezési feladatban ezeket az előírásokat szigorúan figyelembe kell venni. Ismertnek tételezhetjük fel a rendszer anyagáramlási gráfját (nem minden alkatrész gyártható minden gépen, és nem minden termék szerelhető minden szerelősoron). Az alkatrészgyártó gépekről egy adott munkadarab-sorozat már elkészült elemei kisebb egységekben (akár darabonként is) továbbíthatók. Ezáltal ugyanannak a sorozatnak különböző munkadarabjai különböző helyeken (gépeken vagy tárolóban) lehetnek. Az átfutási idők pontosabb számítása érdekében az anyagmozgatási időket is célszerű bevonni a számításba.



1. ábra. A vizsgált gyártó-szerelő rendszer elvi vázlata

2.2. A termelési rendszer technológiai és logisztikai objektumai

Az ütemezési feladat szempontjából a termelési folyamat berendezései közül a következő objektumok a főszereplők:

- Alkatrészgyártó gépek csoportja MG_1 (1. gépcsoport):
 - M_1 (1. gép),
 - M_2 (2. gép),
 - M_3 (3. gép),
 - M_4 (4. gép).
- Szerelősorok csoportja MG_2 (2. gépcsoport):
 - M_5 (5. gép),
 - M_6 (6. gép).
- Műveletközi alkatrésztároló:
 - B_1 (1. buffer) a két gépcsoport között kialakított, közösen használt műveletközi alkatrésztároló.

Az ütemezési feladat megoldása során a megengedett technológiai útvonalakat a mindenkor alkalmi és gép páros aktuálisan engedélyezett összerendelési lehetőségeiből kiindulva kell meghatározni minden egyes rendelési sorozatra, figyelembe véve az előzetesen célállomásként megjelölt szerelősort.

A különböző gépek a különböző alkatrészek és termékek a műveletvégzést eltérő sebességgel valósíthatják meg. Bizonyos alkatrésztípusok több gépen történő egyidejű gyártására is lehetőség van (pl. különböző rendelések ugyanarra a terméktípusra vonatkoznak), más típusoknál ez nem áll fenn.

A gépeket különböző alkatrész vagy termék gyártása között át kell állítani, ennek bizonyos időigénye van. Az átállítás közben a gép nem végezhet műveletet. Az átállítási idők nagysága függ a konkrét géptől és a terméktípusok sorrendjétől. Általános esetben az átállítási idők nem szimmetrikusak, vagyis két termék gyártása közötti átállítás időtartama ellentétes sorrendet feltételezve nem feltétlenül azonos. Léteznek olyan terméktípusok is, melyek között nem szükséges átállítani a gépeket. A terméktípusok tehát egyértelműen besorolhatók diszjunkt

halmazokba (osztályokba) és a halmazok közötti átállítási idők definiálhatók, míg a halmazokon belüli átállítási idők rendre nullának tekinthetők.

Az aktuális ütemezési időszakra (pl. egy hétre) vonatkozóan a szerelősorok tervezett rendelkezésre állási időintervallumainak pontos listája (pl. 8 órás műszakbeosztása) gépenkénti bontásban rendelkezésre áll. Ezek az adatok az aktuális belső rendelések részletes adataival együtt (terméktípus, darabszám, szerelősor-azonosító, szerelési sorozat indítási időpontja) az ERP rendszer által generált szerelősori termelési terv részét képezik.

Az alkatrészgyártó gépek használata szintén műszakbeosztáshoz kötött (figyelembe véve a működtető személyzetet), de ezek kijelölése már az ütemező döntési hatáskörébe tartozik. Ezek alapján, a műszakbeosztás egyrészt korlátozási feltétel (a szerelősorok esetében), másrészt döntési változó (az alkatrészgyártó gépek esetében).

Az ütemezési feladatban fontos szerepet játszik a műveletközi tároló. Az ütemezési modell kidolgozásakor a következő jellemzőket is figyelembe kell venni:

A gyártásirányítás által támasztott igényeket az ütemezési modellben a következő célfüggvények együttes kompromisszumos optimalizálása fejezi ki:

- a szerelősorokon folyamatos munkavégzést kell biztosítani az ERP rendszer által előírt termelési tervnek megfelelően,
- a műveletközi készletek nagyságát befolyásolja:
 - a választott technológiai útvonalak mentén egymás után következő gépek műveleti időinek és átállítási időinek nagysága és aránya,
 - az indított rendelési sorozatnagyságok,
 - a sorozatok sorrendje,
 - a gépek közötti anyagmozgatás során alkalmazott egységgrakományban elhelyezhető munkadarabok száma (logisztikai sorozatnagyság),
 - a gépekről a tárolókba illetve onnan a gépekhez való szállítások időadatai,
 - a gépek műszakbeosztásai,
- a műveletközi tároló kapacitása terméktípusonként eltérő (típusonként eltérő befoglaló méretek),
- több gép egyszerre tölti és üríti különböző intenzitással és különböző típusú alkatrészekkel a tárolót,
- ha a tároló megtelik, akkor blokkolja az előtte lévő gépeket, ezért azokat le kell állítani, majd később újra kell azokat indítani (az újraindításnak jelentős időszükséglete lehet).

Az ütemezési időhorizont kezdeti szakaszának tervezésekor figyelembe kell venni a gépek korábbi (lecsengő, kifutó) terheléseit is. Az aktuális értékeket (gépazonosító, utolsó gyártott terméktípus, befejezési időpont) input adatként kell betölteni.

2.3. Elvárások és kritériumok

A vázolt erőforrás-korlátos ütemezési feladat megoldása során olyan megoldások megtalálása a cél, melyek a szigorú korlátozásokat nem sértik meg és a termelés-menedzsment által támasztott általános kritériumok tekintetében a lehető legjobb számszerűsíthető teljesítménymutatókat eredményezik. A teljesítmény-mutatók nagyon sokfélék lehetnek, és időnként megváltozhatnak követve a termelési rendszer változatos irányítási stratégiáit. Több szempont együttes figyelembe vétele változtatható kritériumrendszer mellett igen nehéz feladat.

A szigorú technológiai, anyagmozgatási, tárolási és rendelkezésre állási korlátozások nagy számára és erősségére való tekintettel a túlterhelt időszakokban megengedett a határidők átlépése, így az ütemezési modellben a zéró csúszásokra vonatkozó korlátozások helyett

minimalizálandó büntető-függvények jelennek meg a célfüggvények között.

A bemutatott ütemezési feladat megoldásával kapcsolatban a legfontosabb elvárások a következők:

- A szerelősorokra előírt termelési tervek megvalósíthatók legyenek csúszások nélkül, ennek érdekében lehetőleg minden szükséges munkadarab érkezzen meg időben a szerelősorokra.
- A gépek átállításának jelentős idő és költség vonzata van, ezért az alkatrészgyártás a lehető legkevesebb átállással valósuljon meg.
- A gépek leállítása és újraindítása időigényes és körülményes, ezért törekedni kell a műszakon belüli folyamatos munkavégzésre. A műveletközi tároló telítődése következtében kialakuló nemkívánatos várakozásokat a lehető legkisebb értéken kell tartani, ezért fontos a gyártás stabilitásának megőrzése minél alacsonyabb készletszint fenntartása mellett.
- Az alkatrészgyártásban közreműködő dolgozók műszakbeosztását a gépek terhelésével összehangolva úgy kell kialakítani, hogy a behívott dolgozók folyamatosan tudjanak végezni (költségcsökkentés).

3. KITERJESZTETT ÜTEMEZÉSI MODELL

Az ütemezési feladatok formális leírásának eszközeként a szakirodalomban az $\alpha/\beta/\gamma$ formalizmus használata a legelterjedtebb, ahol α az erőforrás-környezetet, β a korlátozásokat és végrehajtási jellemzőket, valamint γ az ütemezési célfüggvényeket definiáló szimbólumlista [3]. A listákban szereplő paraméterekre számos javaslat van az irodalomban, és nagyon sokféle modell létezik. Számos könyv és szakcikk foglalkozik az ismert ütemezési feladatok rendszerezésével és a különböző feladattípusok esetében alkalmazható megoldási módszerek összefoglalásával pl. [1], [2], [3], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14].

A szakirodalomban fellelhető nagyon sok modell ellenére az általunk megfogalmazott és vizsgált probléma sajátosságai miatt nem sorolható be közvetlenül egyik ismert ütemezési feladatkategóriába sem. A korábban publikált saját modelljeink jellemzőit felhasználva [4], [6], [7], és kibővítve a vizsgált feladat sajátosságainak megfelelő elemekkel egy továbbfejlesztett feladattípust definiáltunk. A bemutatott ütemezési feladat a következő szimbolikus formában írható le:

$$FF2, M_g, Q_{i,m}, Set_{px,py,m}, Cal_m, B_p / R_i^{O2}, D_i, A_{i,g}, Tr_{mx,my} / f_1, f_2, \dots, f_K, \quad (1)$$

ahol a szimbólumok jelentése a következő:

- $FF2$ – Az operációk (technológiai lépések) száma kettő és sorrendjük kötött. A munkadarabok által felkeresett gépek sorozata (technológia útvonal) eltérő lehet (Flexible Flow Shop);
- M_g – Funkciók szerint rendezett gépcsoportok (halmazok), amelyekhez egy vagy több párhuzamosan működő gép vagy gépsor tartozik;
- $Q_{i,m}$ – A gépek/gépsorok munkáktól függő eltérő termelési sebességekkel működhetnek;
- $Set_{px,py,m}$ – Munkadarab-osztályok sorrendjétől és géptől függő átállítási időadatok;
- Cal_m – A gépek rendelkezésre állási időintervallumai (műszakok);
- B_p – Közös használatú, korlátozott méretű műveletközi alkatrésztároló, melynek tárolási kapacitása függ a tárolandó alkatrészek típusától;

- R_i^{02} – A munkák legkorábbi indítási időpontjai (indításra vonatkozó időbeli korlátozások). A szerelési folyamat esetében a termelési terv definiálja;
- D_i – A munkák legkésőbbi befejezési időpontjai (teljesítési határidők);
- $A_{i,g}$ – Munkánként definiálható a műveletvégzésre alkalmas gépek halmaza gépcsoportonkénti bontásban;
- $Tr_{mx,my}$ – Gépek közötti anyagmozgatási idők;
- f_1, f_1, \dots, f_K – A kijelölt minimalizálandó célfüggvények listája (egyszerre több célfüggvény is előírható, K a célfüggvények aktuális száma).

A gyártásirányítás által támasztott igényeket az ütemezési modellben a következő célfüggvények együttes kompromisszumos optimalizálása fejezi ki:

- f_1 : minimális legyen a határidőt túllépő sorozatok száma,
- f_2 : minimális legyen a csúszások időösszege,
- f_3 : minimális legyen a legnagyobb határidő-túllépés (csúszás),
- f_4 : minimális legyen a gépatállítások száma,
- f_5 : minimális legyen a gépatállítások időösszege,
- f_6 : minimális legyen a gépek átlagos kihasználatlansága: $100 - \text{átlagos kihasználtság}$ (maximális legyen a gépek átlagos kihasználtsága),
- f_7 : minimális legyen a sorozatok átlagos átfutási ideje,
- f_8 : minimális legyen a műszakbeosztások költségeinek összege.

Az ütemezési modellben a műszakbeosztások költségeinek összege helyett, egy új mutatószámot a súlyozott műszakszámot használjuk célfüggvényként.

Az új teljesítménymutató számításának lényege a következő:

- A műszakokat kategóriákba (osztályokba) soroljuk.
- Minden osztályhoz hozzárendelünk egy relatív időegyenérték mutatót. A munkanap délelőtt értéke egy egész (1,00). Ez a referenciaérték, és ehhez viszonyítva adjuk meg a további kategóriák értékét (pl.: 1. táblázat).
- Az adott ütemtervre vonatkozó súlyozott műszakszámot az egyes betervezett műszakok kategória szerinti relatív időegyenértékének összegzésével állítjuk elő.

<i>Műszak kategória</i>	<i>Relatív időegyenérték</i>
Munkanap délelőtt	1,00
Munkanap délután	1,25
Munkanap éjszaka	1,50
Nem munkanap délelőtt	1,75
Nem munkanap délután	2,00
Nem munkanap éjszaka	2,50

1. táblázat. Illusztratív példa a műszakok kategóriáira és a relatív időegyenértékekre

A tényleges műszakköltség a súlyozott műszakszám és a műhely gazdasági modelljéből kiolvasható fajlagos költségmutató szorzataként adódik. Így az f_8 célfüggvény megfogalmazható úgy, hogy minimális legyen a súlyozott műszakszám.

Az ütemezési modell lényeges új elemei közé tartozik (1) a műveletközi tároló irányítása, (2) a munkadarab-sorozatok (job-ok) logisztikai szemléletű bontása kisebb egységekre, (3) a célfüggvények körének jelentős bővítése ipari gyakorlati igények kielégítése érdekében.

A feladatban kitűzött célfüggvények tovább finomíthatók, a lista bővíthető. A

megfogalmazott célok fontossága időben változhat, ezért a célfüggvények aktuális fontosságát prioritásértékek megadásával fejezheti ki a felhasználó.

A bemutatott ütemezési feladattípus döntési változóinak kombinatorikus tulajdonságai miatt az NP-nehéz feladatosztályba tartozik. Az elméleti globális optimum keresése helyett, olyan megoldási módszereket fejlesztettünk ki, amelyek nagyméretű feladatok esetében is elfogadható időn belül több kritérium együttes figyelembevételével kompromisszumosan jó ütemtervet képesek előállítani.

4. MEGOLDÁSI MÓDSZER

4.1. Megoldási koncepció

Az alkatrészgyártás finomprogramozási feladatának megoldása során a szerelősorokra előírt termelési terv belső rendelkezéseinek teljesítését kell biztosítani. Ehhez a szükséges munkák elvégzésére alkalmas gépek lekötését (terhelését) és az elvégzendő műveletek indítási időpontjait kell úgy megtervezni, hogy a szigorú korlátozások megsértése nélkül a megfogalmazott célok elérhetők legyenek.

A feladatban a bemenő adatok definiálják az aktuális gyártási erőforrás-környezetet, a belső rendelkezéseket, a korlátozásokat, valamint a célfüggvényeket és azok prioritásait. Ezekből kiindulva kell elkészíteni az alkatrészgyártás részletes termelési finomprogramját.

A termelési finomprogram tartalmazza, hogy:

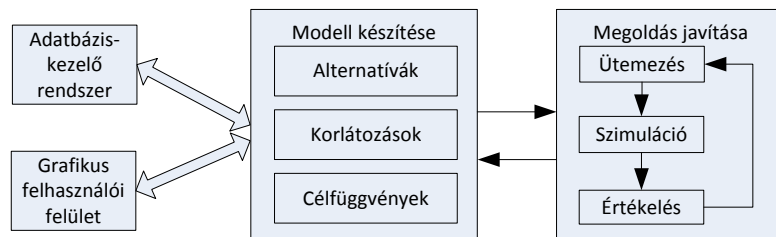
- melyik gépen,
- mikor kell az átállítást/felkészítést elkezdni,
- mennyi idő alatt kell azt elvégezni.
- milyen alkatrészfajtaból,
- mikortól kezdve,
- mennyi idő alatt,
- mennyit kell gyártani.

Az alkatrészgyártásra vonatkozó munkák (job-ok) a szerelősorok késztermékre vonatkozó termelési programjával összhangban a kívánt alkatrésztípusok, az igényelt darabszámok, az előírt célállomások (szerelősorok) és a megkövetelt határidők együttesét definiálják. Egy alkatrésztípusra vonatkozó munka (job) határidejét az érintett sorozat szerelősoron való indításának tervezett időpontja adja meg. Mivel a gépek szakaszosan dolgoznak, egy adott munka (job) határideje szigorú értelemben a sorozat első munkadarabjára vonatkozik. A sorozat többi munkadarabjához saját belső határidőt rendelünk, melynek pontos értéke a szerelősor adott típusra vonatkozó ciklusidejéből és az aktuális műszakbeosztásából számítható ki. Ennek megvalósítására egy olyan algoritmust készítettünk, amely a szerelősorok működését úgy szimulálja, mintha a szükséges összes alkatrész időben rendelkezésre állna. A koncepcióban az alkatrész helyett egy termelési vagy logisztikai egység is használható, amely az alkatrész egész számú többszörösét jelenti (halmaz).

A munka fogalom (job) ebben a modellben adott számú egyforma munkadarabon előre meghatározott műveletek végrehajtását jelenti. A szerelésre vonatkozó belső rendelkezések nem bonthatók meg, de az azonos típusra vonatkozó rendelkezések összevonhatók, így az ütemezés alapegysége célszerűen maga a belső rendelés. Minden egyes belső rendelésnek egy önálló munkát (job-ot) feleltetünk meg. A gyártórendszer és az anyagmozgató rendszer lehetővé teszi, hogy valamely gépen futó munkadarab-sorozat munkadarabjai egyesével vagy kisebb egységekben átszállításra kerüljenek a következő gépre vagy a műveletközi tárolóba. Ennek következtében adott munkának különböző munkadarabjain különböző műveletek is

végrehajthatók egyidejűleg, ezzel jelentősen csökkenthető az átfutási idő. Adott munka (munkadarab-sorozat) adott gépen nem szakítható meg más munkával, de a műveletvégzés szünetelhet azonos sorozat két munkadarabja között, ha a műveletközi tároló megtelt és a következő gyártási fokozat nem tudja a munkadarabokat közvetlenül fogadni (pl. mert blokkolt vagy más munkával terhelt).

A megoldási módszer alapját egy iteratív keresési algoritmusba beágyazott szimulációs algoritmus adja (2. ábra). Az algoritmus legfontosabb szereplőit objektum-orientált megközelítésben osztályok definiálásával és objektumok példányosításával valósítottuk meg.



2. ábra. A megoldási módszer elvi vázlatja

Az első fázis az előkészítés. Az objektumok alapvető attribútumai értéket kapnak. Ezt követően egy részletes vizsgálat következik, amelynek során feltárulnak az összerendelhetőségi szabályok (pl. melyik gép milyen munkadarabokat tud gyártani). Az eredmények kapcsoló tömbök formájában bekerülnek az objektumokba. Ezzel kialakul az objektumok statikus kapcsolatrendszere.

A második fázis a döntési változók értékeinek beállítása (ütemterv készítése). Egy lehetséges megoldás reprezentációja alapvetően két fő döntési változócsoporthal adható meg. Ezek a következők:

1. Minden egyes munka első műveletének (alkatrészgyártás) alkalmas géphez rendelése, valamint a munkák gépenkénti végrehajtási sorrendjének meghatározása.
2. Az alkatrészgyártó gépek műszakbeosztásának meghatározása a kialakuló terheléseknek megfelelően. Az engedélyezett műszakok (rögzített méretű időintervallumok) listájának adott géphez rendelése.

A felsorolt döntési változók az alkatrészgyártásra vonatkoznak, a szerelősorok termelési terve bemenő adat, melyet előzetesen generál egy ERP rendszer. Ezeket közös ütemtervbe kell beilleszteni mivel a termelési folyamatot együttesen határozzák meg. Más megközelítésben ez azt jelenti, hogy a teljes ütemterv egy része kötött, nem módosítható. Az ütemezési folyamat eredményeképpen elkészül egy lehetséges termelési ütemterv.

A harmadik fázis a termelési ütemterv alapján a termelési folyamat szimulációja. Az ütemterv végrehajtását jellemző időpontok és időtartamok számítását egy szimulációs eljárás végzi el. Az algoritmus figyelembe veszi a korábban ismertetett korlátozásokat és működési jellemzőket (pl. gépek műszakbeosztását, a gépeken a munkák adott sorrendje által meghatározott átállítási időket, a gépek és a munkák összerendelése alapján számítható műveleti időket, a műveletközi tároló kapacitáskorlátját, stb.). A szimuláció eredményeit felhasználva az ütemterv kibővül a pontos időadatokkal, ennek következtében elkészül a termelési finomprogram.

A negyedik fázis a generált megoldás minősítése. A szimuláció által számított időadatok és egyéb értékek felhasználásával egy értékelő komponens kiszámítja a vizsgált ütemtervre

(megoldásra) vonatkozó aktuális célfüggvény-értékeket.

A 2.-4. fázis ismételt végrehajtásával hatékony keresési metaheurisztikára alapozva iteratív módon egyre jobb megoldás-változatok állíthatók elő.

4.2. Többoperátoros és többcélú keresési módszer

Az ütemezési feladat döntési változóinak értékét egy saját fejlesztésű többoperátoros és többcélú lokális kereső algoritmus (MOMOTS) állítja be. Az algoritmus formális leírása a 3. ábrán látható.

```

MOMOTS
{  $s_0 \leftarrow$  Kezdeti megoldás készítése;
   $s^* \leftarrow s_0$ ;
  Taboo_List  $\leftarrow$  NULL;
  while ( Leállási feltétel nem teljesül )
  { while ( Szomszédság kiterjesztésének feltétele teljesül )
    {  $N_c \leftarrow$  Az aktuális szomszédsági operátor kiválasztása (priority_list);
       $s \leftarrow$  Szomszédos megoldás készítése ( $s_0, N_c$ );
      if ( A Taboo_List nem tartalmazza (  $s$  ) )
        { A Taboo_List bővítése új elemmel (  $s$  );
          if ( Taboo elemek száma > megengedett érték )
            A Taboo_List legkorábban felvett elemének törlése;
          if ( A szomszédság kiterjesztésének első eleme (  $s$  )  $s_k \leftarrow s$ ;
            else if (  $s < s_k$  )  $s_k \leftarrow s$ ;
        }
      }
    }
  }
   $s_0 \leftarrow s_k$ ;
  if (  $s_k < s^*$  )  $s^* \leftarrow s_k$ ;
}
return  $s^*$ ;
}
    
```

3. ábra. Többoperátoros és többcélú kereső algoritmus

Induláskor a kezdeti s_0 ütemterv heurisztikus felépítő szabályok kombinált alkalmazásával készül ($s_0 \leftarrow$ Kezdeti megoldás készítése). Ennek menete a következő:

- A munkákat sorba rendezi a belső határidők szerint nem csökkenő sorrendbe (EDD).
- Ebben a sorrendben haladva, minden munkához az alkalmas gépek halmazából egyenletes valószínűséggel véletlenszerűen választ egy gépet.
- A kiválasztott gépen a már beütemezett munkák mögé helyezi el az aktuális munkát.
- A gépek összes rendelkezésre állási időintervallumát (műszakját) engedélyezi (bekapcsolja).

A keresési folyamat során a kezdeti s_0 ütemtervből kiindulva megengedett módosítások ismételt végrehajtásával készül el a legjobbnak ítélt s^* ütemterv. Az iteratív javítás egy közbenső lépése során, az aktuális kiterjesztés (szomszédság) s_0 bázismegoldásából kiindulva az algoritmus paraméterben definiált számú kiterjesztett (szomszédos) s ütemtervet készít az aktuálisan kiválasztott módosító N_c operátor alkalmazásával. A módosító (szomszédsági)

operátorok alapvetően a munkákhoz rendelt konkrét gépekre, a végrehajtási sorrendekre és a műszakbeosztásokra vonatkozó döntési változók értékeit módosítják különböző mértékben. A módosító operátorok működési algoritmusai a korábban leírtaknak megfelelően csak az alkatrészgyártó gépekre vonatkozó ütemtervrészeket változtatják meg, a szerelősorokét változatlanul hagyják.

Az implementált módosító operátorok a következők:

- N_1 egy véletlenszerűen kiválasztott munkát kiemeli az ütemtervből és máshová illeszti be véletlenszerűen választott gép és pozíció szerint.
- N_2 a belső határidőt túllépő munkák közül véletlenszerűen kiemeli egyet az ütemtervből és máshová illeszti be.
- N_3 egy véletlenszerűen választott gépen megváltoztatja a munkák végrehajtási sorrendjét, egy véletlen hosszúságú permutációciklust alkalmaz a sorrenden.
- N_4 egy véletlenszerűen választott gépen felcseréli két véletlenszerűen választott szomszédos munka sorrendjét.
- N_5 a belső határidőt túllépő munkák közül véletlenszerűen kiválaszt egyet és egyet előre lépteti a végrehajtási sorrendben.
- N_6 egy véletlenszerűen választott gépen engedélyez egy véletlenszerűen választott letiltott műszakot.
- N_7 egy véletlenszerűen választott gépen letilt egy véletlenszerűen választott engedélyezett műszakot.
- N_8 egy véletlenszerűen választott gépen engedélyez egy véletlenszerűen választott korábban letiltott műszakot és a rákövetkező korábban engedélyezett műszakot letiltja.

A módosító operátorok kiválasztását egy fontossági sorrendet kijelölő prioritáslista (*priority_list*) és kvázi-véletlenszám generátor együttműködése határozza meg. A prioritáslista az operátorok kiválasztási valószínűségét írja le.

A lokális optimumból való kijutás (továbbhaladás) elősegítése érdekében a lokális keresési algoritmust tabulistával bővítettük ki. Ha a módosító operátorok által készített kiterjesztett s ütemterv szerepel a tabulistán (*Taboo_List*), akkor az algoritmus azt nem értékeli ki (már ismeri), ellenkező esetben felkerül a tabulistára, és ha a megengedett tabuelemek száma elérte a maximális értéket, akkor a legkorábban felvett listaelem törlődik. A tabulista azt a célt szolgálja, hogy a keresési folyamat ne ragadjon bele egy lokális optimumba, hanem át tudjon rajta haladni és meghatározott lépésszámon belül ne térhessen vissza oda.

A szimulációt és a célfüggvények értékének kiszámítását követően, ha az aktuális ütemterv jobb, mint az adott kiterjesztés addigi legjobb ütemterve ($s < s_k$), akkor megjegyzésre kerül ($s_k \leftarrow s$). A kiterjesztés legjobb ütemterve lesz a következő lépés kiterjesztésének a kiindulási bázisa ($s_0 \leftarrow s_k$), és ha ez a megoldás jobb, mint a keresés során megtalált legjobb megoldás ($s_k < s^*$), akkor ez kerül megjegyzésre ($s^* \leftarrow s_k$).

A több összetevőből felépülő célfüggvény-rendszer kezelésére egy korábban kidolgozott matematikai modellt használtunk [5], [6], [7]. A módszer alapelve az, hogy két megoldás összehasonlításakor az egyik megoldásnak a másikhoz viszonyított (relatív) jóságának számértéke alapján dönthető el, hogy melyik tekinthető jobb megoldásnak.

A modell formális leírása a következő:

$$f_k : S \rightarrow \mathbb{R}^+ \cup \{0\}, \forall k \in \{1, 2, \dots, K\}, f_k \rightarrow \min, \quad (2)$$

$$D: \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}, D(a,b) = \begin{cases} 0, & \text{ha } \max(a,b) = 0 \\ \frac{b-a}{\max(a,b)}, & \text{egyébként} \end{cases}, \quad (3)$$

$$F: S^2 \rightarrow \mathbb{R}, F(s_x, s_y) = \sum_{k=1}^K (w_k \cdot D(f_k(s_x), f_k(s_y))), \quad (4)$$

ahol:

- S – a megoldások halmaza;
- f_k – a k . célfüggvény minimalizálandó alakban megadva;
- K – a célfüggvények száma;
- s_x, s_y – két megoldás;
- w_k – az f_k célfüggvény fontosságát kifejező nem negatív érték (prioritás);
- $F(s_x, s_y)$ – az s_y megoldás s_x megoldáshoz viszonyított relatív jósága.

Az $F(s_x, s_y)$ előjeles függvényérték felhasználásával az alapvető relációs operátorok értelmezése kiterjeszhető az S -beli s_x és s_y megoldásokra a következőképpen:

$$(s_y ? s_x) := (F(s_x, s_y) ? 0), \quad (5)$$

ahol:

? – tetszőleges relációs operátor (<, ≤, >, ≥, =, ≠).

A megoldások (termelési finomprogramok) halmazán értelmezett relációs operátorok (5) felhasználásával a különböző megoldások páronkénti összehasonlítása és értékelése gyorsan és egyszerűen elvégezhető. Ez az új szemléletű megoldás-összehasonlító módszer többféle feladat-megoldási stratégiában jól felhasználható az aktuális céloknak legjobban megfelelő megoldás megtalálására.

A bemutatott többoperátoros és többcélú kereső algoritmus iteratívan módosítja az aktuális bázis ütemtervet. Konzisztens változtatásokkal új megoldás-változatokat készít, majd szimulációt és kiértékelést követően az elért eredményektől függően tovább folytatódik a legjobb megoldás keresése a leállási feltétel teljesüléséig.

5. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

Kutatómunkánk során az igény szerinti rugalmas gyártás egy speciális termelésprogramozási feladatának modellezésével és megoldásával foglalkoztunk. A probléma magába foglalja a munkák erőforrásokhoz rendelését, ütemezését és az erőforrások műszakbeosztásának meghatározását. A modellezett erőforrás-korlátos gyártó-szerelő rendszer legfontosabb jellemzői közé tartoznak az alternatív technológiai útvonalak, a korlátozottan rendelkezésre álló gépek, a korlátozott méretű műveletközi tároló, az eltérő műveletvégzési, átállítási és anyagmozgatási idők valamint a szigorú belső határidős munkák. A megoldások előállítására egy továbbfejlesztett szimulációt magába foglaló többoperátoros és többcélú keresési algoritmust használtunk.

Az ütemezési feladatot keresési feladatként fogalmazzuk meg, melyben definiáltuk a döntési változókat, az előírt korlátozásokat és a megfogalmazott célokat. Az

alkalmazottszimulációs algoritmus magába zárja és elrejtja a probléma sajátos részleteit, ezáltal könnyebben kezelhetővé teszi a problémát.

A feladat bonyolultsága és a jó megoldást befolyásoló tényezők sokasága miatt a heurisztikus felépítő algoritmusok a különböző szélsőséges szituációk esetében nem alkalmazhatók. A többcélú keresési módszerek rugalmasságuknak köszönhetően képesek alkalmazkodni a változó feltételekhez és célfüggvény-rendszerekhez. Több célfüggvény egyidejű figyelembe vétele nagyon fontos, mert lehetővé teszi a gyakorlati igények beépítését a modellbe (pl. súlyozott műszakszám számítása). A kiegészítő kritériumok a keresés kezdeti szakaszában nehezíthetik is a hatékony keresést kritikus feladatok esetében. A további kutatási terveink között szerepel annak vizsgálata is, hogy a kereső algoritmusok működése közben milyen lehetőségei vannak a célfüggvény-rendszerek szisztematikus és/vagy bizonyos határok közötti rugalmas változtatásának.

A bemutatott ütemezési modell fontos jellemzője, hogy képes korlátozott méretű műveletközi tároló figyelembevételére. Az elvégzett kísérletek azt mutatták, hogy különböző szituációkban a gépátállítások minimalizálásának kritériuma, a gépkihasználatok maximalizálásának kritériuma és a súlyozott műszakszámok minimalizálásának kritériuma ronthatja a határidők betartásának esélyét, míg más esetekben ugyanezek növelhetik is azt. Ez a hatás nagymértékben függ a rendelések tartalmától, a gépek képességeitől és a tárolóra vonatkozó előírásoktól is.

Még tovább nehezíti az ütemezési feladatok megoldását, ha a klasszikus ütemezési feladatokra jellemző gépválasztási és sorrendi döntési változók halmazába bekerülnek a műszakbeosztások előírására vonatkozó döntési változók is. Ez az új kiterjesztés a modell és a megoldási módszer szempontjából további kihívásokat támasztott. A modellben a döntési változókat leíró objektumok, a keresési algoritmusban pedig a módosító (szomszédsági) operátorok újraértelmezését és kibővítését kellett megoldani.

A kidolgozott elméleti modellek és módszerek alapján implementált termelésprogramozó szoftverünk a bemenő adatok formájában megadott aktuális gyártási erőforrás-környezet, belső rendelések, korlátozások és célfüggvények alapján képes automatikusan elkészíteni a feladat megoldását jelentő részletes termelési finomprogramot.

Az elvégzett vizsgálatok eredményei azt mutatták, hogy a javasolt megoldási módszer nagyméretű feladatok esetében is hatékonyan alkalmazható, rugalmasan alkalmazkodik az aktuálisan előírt célfüggvényekhez és rövid időn belül szolgáltatja az eredményeket.

A bemutatott modell és megoldási módszer alkalmas a konkrét gépek helyett műhelyek vagy üzemek termelési folyamatainak magasabb szintű ütemezésére és összehangolására is. Ennek lényege, hogy a modell entitásait egy magasabb absztrakciós szintre emeljük, ezáltal az alkatrészgyártó gép gyártó műhelyet, a szerelősor szerelő műhelyet, az alkatrésztároló pedig közbelső raktárat jelent.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutató munka a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Mechatronikai és Logisztikai Kiválósági Központ keretében valósult meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **ALLAOUI, H., ARTIBA, A.:** *Scheduling two-stage hybrid flow shop with availability constraints*, Computers and Operations Research, Vol. 33, pp. 1399-1419, 2006.

- [2] **ALLAHVERDI, A., NG, C. T., CHENG, T. C. E., KOVALYOV, M. Y.:** *A survey of scheduling problems with setup times or costs*, European Journal of Operational Research, Vol. 187, pp. 985-1032, 2008.
- [3] **BRUCKER, P.:** *Scheduling Algorithms*, 5th ed, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007, ISBN 978-3-540-69515-8.
- [4] **KAABI, J., HARRATH, Y.:** *A survey of parallel machine scheduling under availability constraints*, International Journal of Computer and Information Technology, Vol. 3, Issue 2, pp. 238-245, 2014.
- [5] **KULCSÁR, GY.:** *Ütemezési modell és heurisztikus módszerek az igény szerinti tömeggyártás finomprogramozásának támogatására*, PhD értekezés, Miskolci Egyetem, 2007.
- [6] **KULCSÁR GY., ERDÉLYI F.:** *A New Approach to Solve Multi-Objective Scheduling and Rescheduling Tasks*, International Journal of Computational Intelligence Research, 3 (4), pp. 343-351, 2007.
- [7] **KULCSÁR GY., KULCSÁRNÉ FORRAI M.:** *Detailed Production Scheduling Based on Multi-Objective Search and Simulation*, Production Systems and Information Engineering, Vol. 6, pp. 41-56, 2013.
- [8] **LEI, D.:** *Multi-objective production scheduling: a survey*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 43, Issue 9-10, pp. 926-938, 2009.
- [9] **LINN, R., ZHANG, W.:** *Hybrid flow shop scheduling: a survey*, Computers and Industrial Engineering, Vol. 37, No. 1-2, pp. 57-61, 1999.
- [10] **MA, Y., CHU, C. B., ZUO, C. R.:** *A survey of scheduling with deterministic machine availability constraints*, Computers & Industrial Engineering, Vol. 58, pp. 199-211, 2010.
- [11] **PINEDO, M. L.:** *Planning and Scheduling in Manufacturing and Service*, 2nd ed., Springer-Verlag New York, 2009.
- [12] **PINEDO, M. L.:** *Scheduling Theory, Algorithms, and Systems*, 3rd ed., Springer-Verlag New York, 2008.
- [13] **QUADT, D., KUHN, H.:** *A taxonomy of flexible flow line scheduling procedures*, European Journal of Operational Research, Vol. 178, pp. 686-698, 2007.
- [14] **WANG, W.:** *Flexible flow shop scheduling: optimum, heuristics, and artificial intelligence solutions*, Expert Systems, Vol. 22, No. 2, pp. 78-85, 2005.

ONTOLÓGIÁN ALAPULÓ BELTÉRI NAVIGÁCIÓS MÓDSZER

ONTOLOGY BASED INDOOR NAVIGATION METHOD

KUN Dániel Péter¹, TÓTH Zsolt²

¹hallgató

²adjunktus

{kun3,tothzs}@iit.uni-miskolc.hu

Kivonat: Egy ontológia alapú beltéri navigációs komponens kerül ismertetésre az ILONA rendszer számára. A komponens illeszkedik az ILONA rendszer már meglévő komponenseihez, kiegészíti azokat. A kidolgozott modell lehetővé teszi az épületek struktúrájának rugalmas leírását és kiegészíti az adott adat modellt a navigációhoz szükséges elemekkel. A rugalmasság és kiterjeszhetőség érdekében a beltéri struktúrák leírására egy ontológia modell került kifejlesztésre. A modell szimbolikus pozíciók közötti navigálás céljára lett kidolgozva. A navigációs modul az útvonal keresési feladatot gráfalgoritmusokra vezeti vissza. Az ILONA rendszer által definiált Zone objektumokat a gráf csomópontjainak, a navigációs modul által definiált különböző átjárókat pedig a gráf éleinek lehet megfeleltetni. Az ismertetett ontológia feldolgozását az ILONA rendszer navigációs modulja fogja végezni.

Kulcsszavak: Ontológia, OWL 2, Beltéri pozicionálás, Navigáció

Abstract: This paper presents an ontology to model indoor environments for navigation purpose for the ILONA System. The model presented fits to the existing data model of the ILONA System and extends it. The ontology can be used to store the data about the structure of building that can be mapped to a graph. Thus the navigation problem can be solved with well-known graph algorithms. The graph consists of zones as vertices and the traversal possibilities as edges. Zone is a virtual representation of a clearly defined area inside a building, such as a room, a hall or a lobby. The edges are differentiated by the type of the traversal point, such as door, stairway or elevator. The method presented is used to extend the ILONA system with a navigation component.

Keywords: Ontology, OWL 2, Indoor Positioning, Navigation

1. BEVEZETÉS

A Helyzetmeghatározási rendszerek napjainkban nagy népszerűségnek örvendenek és aktív kutatási területnek számítanak. A helyzetmeghatározási és navigációs rendszerek között megkülönböztethetjük a globális és a beltéri rendszereket. A globális helyzetmeghatározási rendszerek közül a legismertebb a GPS, mely a világon bárhol képes meghatározni egy adott személy pozícióját. Számos GPS-re épülő navigációs szolgáltatás érhető el a piacon melyek képesek egy vagy több lehetséges útvonalat meghatározni egy tetszőlegesen választott pozícióhoz. A globális helyzetmeghatározási és navigációs módszerek nem megfelelőek a beltéri környezetben. Például, az épületek falai nagyon sokszor árnyékolják a műholdjeleket, mellyel a pozicionálás történik a GPS rendszer esetén.

A beltéri helyzetmeghatározási módszerek fejlesztése jelenleg is aktív kutatási területnek számít. A jelen munkában, az ILONA beltéri helyzetmeghatározási keretrendszernek egy ontológiai alapú navigációs komponenssel való kiegészítése kerül ismertetésre.

A globális és a beltéri navigáció során, a helyzetmeghatározáshoz hasonlóan, eltérő kihívásokkal kell megküzdeni. A kültéri navigáció során fix pontok közötti útvonalat kell keresni, ahol a pontok közötti szakaszoknak van hosszuk, súlyuk. Ezzel szemben a beltéri navigáció során sokszor virtuális pozíciókat kell kezelni, mint például szobák, irodák,

folyosók vagy kórtermek. Tehát ebben az esetben a pozíciónak van kiterjedése és az átmenetek pontszerűek.

A beltéri navigáció kérdésköre először a kilencvenes évek elején jelent meg a robotika kapcsán. Azóta az igény folyamatosan növekedett, tekintettel a növekvő épület méretekre és a folyamatosan megjelenő felhasználási lehetőségekre, mint például intelligens épületek, városok vagy irányított hirdetések.

A bemutatott munka az ILONA beltéri helyzetmeghatározási rendszerhez mutat be egy ontológia alapú navigációs modellt. A bemutatott modell illeszkedik és kiegészíti az ILONA rendszer meglévő komponenseit. A bemutatott ontológia a navigációs modell fejlesztése során kerül majd felhasználásra.

2. KAPCSOLÓDÓ MUNKÁK

A beltéri helymeghatározó rendszerek általában embereket és tárgyakat akarnak megkeresni egy épületen belül. A szakirodalomban többféle beltéri pozicionáló rendszerrel is találkozhatunk [1,2]. A témakör iránti érdeklődés növekedett az okos telefonok elterjedésével. Számos megoldás a telefonokban általánosan elérhető különböző szenzorokon és a telefonok számítási kapacitásán alapul. A Bluetooth [3], az ultrahang [4], és a WIFI RSSI [5] népszerű technológiák a beltéri helyzetmeghatározási rendszerek fejlesztése során. Az egyes technológiák különböző pontosságot, elérhetőséget és költségeket jelentenek. Ezért a hatékony széles körben elérhető és könnyen hozzáférhető rendszerek fejlesztése jelenleg is sok kihívást jelent a fejlesztők számára.

A beltéri navigációval számos területen találkozhatunk, például a robotikában [6], ahol a robot érzékelői által szolgáltatott információk alapján történik a tér felderítése és a navigáció. Ezen felül alkalmazzák még számos egyéb területen, mint például kórházi [7] rendszerek, múzeumi [8] tárlatvezető szolgáltatások és a marketing [9] területén.

Az egyes létező rendszerek mind különböző speciális igényeket elégítenek ki a navigációs komponensükkel. A létező megoldások vizsgálata alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy az egyes rendszerek adaptálása az ILONA rendszerhez költséges, bonyolult és időigényes feladat lenne. Ezért egy új, az ILONA rendszer meglévő komponenseihez illeszkedő ontológia kidolgozását tűztük ki célul.

2.1. beltéri navigációs módszerek

A beltéri navigáció nagyban eltér a kültéri navigációtól. A kültéri navigációs módszerek az útvonalkeresést gráfalgoritmusokra vezetik vissza. Ezek az algoritmusok, módszerek a beltéri navigáció során nem, vagy csak korlátozott mértékben alkalmazhatóak. A beltéri navigáció során az ontológia alapú módszerek elterjednek számítanak.

A globális navigáció alapja a jól meghatározott pontok közötti útkeresés egy meghatározott térképen, mint például a Google Maps vagy az Open Street Maps. Habár ezeknek a térképeknek a formátuma sokszor eltér, de az alapvető felépítése nagyjából megegyezik. A beltéri térképek funkciója is hasonló, ám a beltéri navigációhoz már többféle modell és topológia is ismert.

Fontosabb a geometriai és a szemantikai modellek megkülönböztetése. A geometriai modellekben a különböző területek jelképezhetőek egy gráf csúcspontjaiként, nem tekintve a pontos méretekre és egyéb fizikai tulajdonságokra. A különböző épületek közötti kapcsolatot az adott csomópontok összekapcsolásával lehet megoldani. Fontos megemlíteni, hogy ilyenkor a méretek és a pontos elhelyezés teljes mértékben el van rejtve, ezért ez a módszer magában nem elegendő a beltér megfelelően részletes leírására.

A szemantikai modell lehetővé teszi a geometriai modell kiterjesztését annotációk

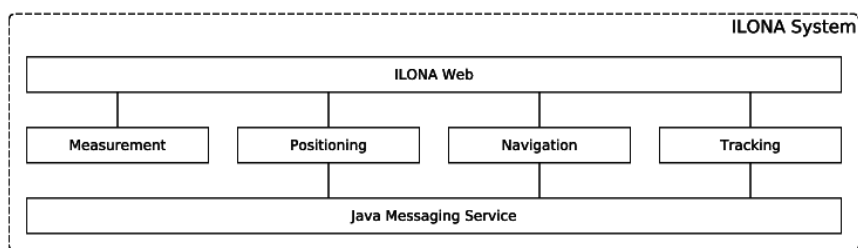
segítésével. Ezen annotációk segítségével le lehet írni a különböző típusú belső tereket, mint például mosdók, irodák vagy előterek. Ezeknek a leírásoknak a célja és részletessége változó. Például az ONALIN rendszer [10] képes megkülönböztetni az egyes átjárókat a mozgássérültek szempontjából.

A beltéri navigáció kérdéskörét Hu és Lee [11] egy ER alapú modellel akarták megoldani, melyben az egyedeknek akármennyi tulajdonsága lehet, köztük egy azonosító és egy helyzet. Az egyedek fizikailag leírható pontok, melyekből különböző kijáratok vezetnek a többi pont irányába.

Egy másik, gyakran használt, megoldás az ontológia. Ez lehetővé teszi a különböző tulajdonságok rugalmas kezelését, amely kiegészíthet egy létező térbeli modellt. Erre nagyon jó példa az OntoNav [12] és az ONALIN[10], amely az előző kibővítése az American Disability Act szempontjaival. Emiatt az ONALIN többféle utat is fel tud kínálni a valamilyen módon csökkentett képességű felhasználóknak.

2.2. az ILONA rendszer

Az ILONA rendszer egy hibrid beltéri pozicionáló és navigációs rendszer. Az elsődleges kliensei az okos telefonok. Az átlagos okos telefonban leggyakrabban használt érzékelőket használja fel a pozíció meghatározására. Az ILONA rendszer lazán kapcsolt komponensekből épül fel. A rendszer egyes komponenseit az 1. ábra szemlélteti. A navigation modul szerves része az egész rendszernek, mely elsődlegesen a measurement és a positioning modulokat használja.



1. ábra. Az ILONA rendszer felépítése

3. A NAVIGÁCIÓS GRÁF

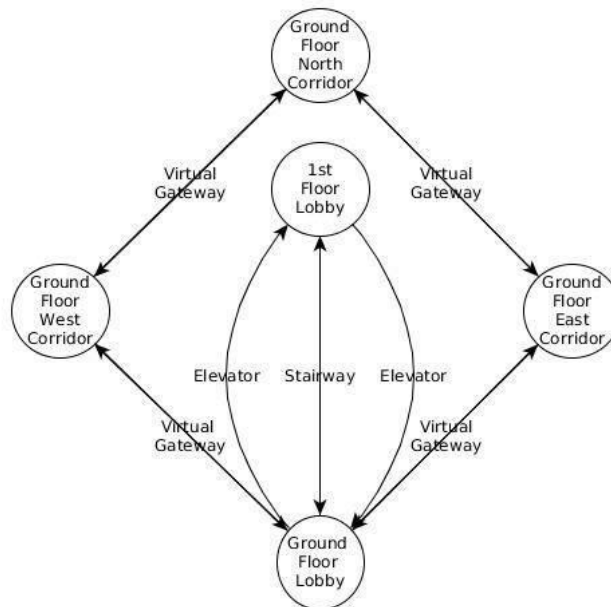
Az ILONA rendszer navigation modulja egy gráf alapú navigációt valósít meg. A gráf tárolására pedig ontológiát használ.

A gráf csúcspontjai az épületben található zónák lettek. Zónaként a különböző, positioning modulban meghatározott zónákat vettük. Ezek a zónák általánosságban egy-egy szobát foglalnak magukba, ám van arra is lehetőség, hogy egy nyílt teret felosszanak. Egy nagyon jó példa erre az előtér, amely egybe van nyitva két külön zónaként jelzett folyosóval, mely megkönnyíti a navigációt a kísérlethez használt épületben A bemutatott modellt a Miskolci Egyetem Informatikai Intézetének leírására használtuk és azon keresztül teszteltük.

A gráf élei a zónák közötti átkelőhelyek lettek. Ezeket az átkelőhelyeket négy csoportra osztottuk, ebből az ajtó, a lépcső és a lift egyértelmű jelentéssel rendelkeznek. A negyedik csoport a virtuális átkelőhely. Ez a virtuális átkelőhely hivatott jelképezni azokat az átkelési lehetőségeket, amelyek két fizikailag nem elválasztott zóna között találhatóak, tehát egy térként tekint rá a felhasználó.

Az egyes térrészek kapcsolatainak leírására irányított gráfot használtunk, mivel a való életben előfordulhat, hogy egy átjárón csak egy irányba lehet közlekedni. Például egy

bevásárló központban bemenni a bejáraton, távozni pedig a kasszáknál lehetséges. Két csúcspont között több él is tarthat ugyanabba az irányba, ezzel reprezentálva a többféle átkelési lehetőséget. Például, két szint között választhatjuk a lépcsőt és a liftet is. A Miskolci Egyetem Informatikai Intézetéről készített modell egy részét a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra. A Miskolci Egyetem Informatika Intézetének navigációs modelljének részlete

3.1. Szemantikai reprezentáció

A szemantikai reprezentáció elkészítése során először a fizikai és a virtuális attribútumok megkülönböztetésére volt szükség.

A fizikai tulajdonságok területi hovatartozást jelképeznek. Az épületcsoport tulajdonság jelzi különböző épületek összetartozását egy épületkomplexumként, például egy egyetem épületei. Az épület tulajdonság egy adott épületet határoz meg, amelyben a zóna található. Az épület ezáltal szintén az épületkomplexumhoz tartozik, amely az ontológiában külön le is írható. Az emelet a fizikai szint következő lebontása, amely az épületen belüli szinteket jelképezi. Ez szintén meg van jelenítve az épületnél magánál is.

A virtuális tulajdonságok feladata a nem fizikai jellegű tulajdonságok reprezentálása. Ezek a tulajdonságok is funkcionálhatnak csoportosító ismérvként, például egy adott tanszékhez tartozó zónák. A másik lehetőség a zóna specifikus adatainak leírása. Például, egy iroda dolgozója, tulajdonosa vagy telefonszáma.

4. AZ ONTOLÓGIA

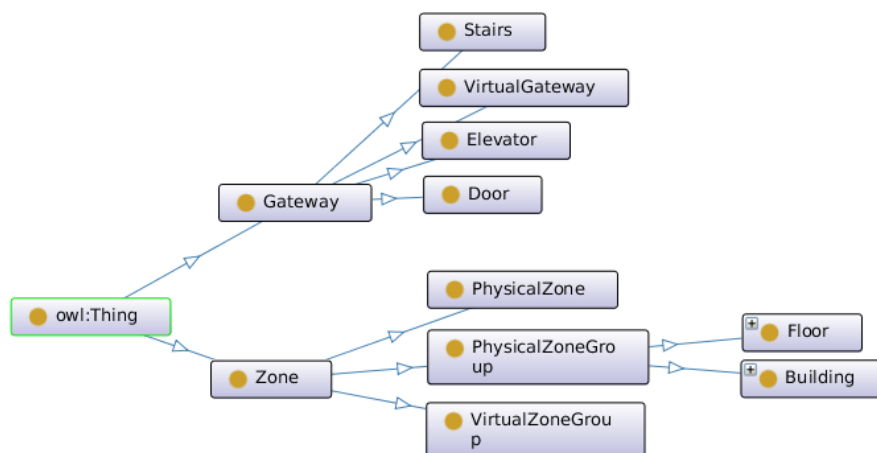
Az adatok tárolásához az ILONA ontológiát használtuk. Ez az ontológia az OWL 2-es formátumot használja, kezelése az OWL API segítségével történt. A szerkesztéséhez a WebProtége webes ontológia szerkesztő volt használva.

Az OWL:Thing osztályból származik a Zone osztály. Ennek a Zone osztálynak az individuumai jelképezik a zónák egyedeit. Ezek a gráf csúcspontjai navigáció során. A Zone-ból származó Physical Zone szerepe a fizikailag nem szétválasztott zónák egy objektumként

történő megjelölése. A Zone-ból származik a Physical ZoneGroup és Virtual ZoneGroup osztály. A Physical ZoneGroup tulajdonságból származnak a zóna fizikai tulajdonságai, a Floor és a Building. Ezek az épületkomplexumon belüli elhelyezkedést reprezentálják

Szintén az OWL:Thing osztályból származik a Gateway osztály. Ennek a négy alosztálya a Stairs, a VirtualGateway, az Elevator és a Door osztályok. Ennek a négy osztálynak az individuumai reprezentálják a zónák közötti átkelőhelyeket. Az átkelőhelyek a navigációs gráf élei. Minden individuum rendelkezik egy From és egy To tulajdonsággal. Ez a két tulajdonság jelzi a kiinduló és a cél zónát. A Two-Way boolean adattag jelzi, hogy az adott átjárón a közlekedés kétirányú-e.

A fentebb leírt struktúra a 3. ábrán látható.



3. ábra. Az ontológia felépítése

4.1. Az ontológia kezelése

Az ontológia kezelése az OWL API-val lett megoldva. Az OWL API a W3C Semantic Web Project-je által is javasolt eszköz, ami Java nyelvre készült. Ezek alapján választottuk ezt. A gráf létrehozása és kezelése JGraphT könyvtárral lett megoldva. Az osztálykönyvtár segítségével létrehozható egy olyan gráf, amelynek csúcspontja tetszőleges objektumok lehetnek. Ez nálunk a Measurement modul Zone osztálya volt. A JgraphT-ben megtalálható Dijkstra legrövidebb út algoritmusának is egy implementációja. Ez a későbbiekben az útkeresésnél lesz felhasználva.

ÖSSZEFOGLALÁS

A munka egy beltéri navigációra használható ontológiát mutatott be, amely az ILONA rendszerben került felhasználásra. A modell kiegészíti az ILONA rendszer már korábban is létező pozicionálási komponensét, melynek célja a felhasználók épületen belüli pozíciójának a meghatározása. Az ontológia modellben bemutatott tulajdonságok megkönnyítik a zónák kezelését és lehetővé teszik a köztük való navigálást. A bevezetett különböző átkelők lehetővé teszik a feltételes navigációt. A virtuális átkelő, ajtó, lépcső és lift felosztás jó disztinkválója a különböző típusú átkelési lehetőségeket. A navigáció egy gráfon történik. A gráf csúcspontjai között történik az útkeresés. A csúcspontokat a zónák reprezentálják. A zónák pontosan behatárolt részei az épületnek. A kutatás következő lépése az ontológia további

tulajdonságokkal történő bővítése és egy útkereső algoritmus tervezése és implementálása.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **Hui Liu, Houshang Darabi, Pat Banerjee, and Jing Liu**, “Survey of wireless indoor positioning techniques and systems,” *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, IEEE Transactions on, vol. 37, no. 6, pp. 1067–1080, 2007.
- [2] **Gabriel Deak, Kevin Curran, and Joan Condell**, “A survey of active and passive indoor localisation systems,” *Computer Communications*, vol. 35, no. 16, pp. 1939–1954, 2012.
- [3] **Jakub Neburka, Zdenek Tlamsa, Vlastimil Benes, Ladislav Polak, Ondrej Kaller, Libor Bolecek, Jiri Sebesta and Tomas Kratochvil** “Study of the Performance of RSSI based Bluetooth Smart Indoor Positioning” In 26th Conference Radioelektronika, pp. 121-125. 2016.
- [4] **Gaetano Borriello, Alan Liu, Tony Offer, Christopher Palistrant, and Richard Sharp**, “Walrus: wireless acoustic location with room-level resolution using ultrasound,” in *Proceedings of the 3rd international conference on Mobile systems, applications, and services*. ACM, 2005, pp. 191–203.
- [5] **Moustafa Youssef and Ashok Agrawala**, “The horus wlan location determination system,” in *Proceedings of the 3rd international conference on Mobile systems, applications, and services*. ACM, 2005, pp. 205–218.
- [6] **Zoltán Vámosy** “Map Building and Localization of a Robot Using Omnidirectional Image Sequences”, *Acta Polytechnica Hungarica*, vol 4. no 3. pp. 103-112. 2007.
- [7] **Lei Yu, Yang Lu, and XiaoJuan Zhu**. Smart hospital based on internet of things. *Journal of Networks*, 7(10):1654–1661, 2012.
- [8] **Hisato Kawaji and Koki Hatada and Toshihiko Yamasaki and Kiyoharu Aizawa** “Image-based indoor positioning system: fast image matching using omnidirectional panoramic images” In *Proceedings of the 1st ACM international workshop on Multimodal pervasive video analysis*, 2010, ISBN: 978-1-4503-0167-1
- [9] **Lin, Trisha TC and Paragas, Fernando and Goh, Dion and Bautista, John Robert** “Developing location-based mobile advertising in Singapore: A socio-technical perspective” *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 103 pp. 334-349. 2016.
- [10] **Dudas, Patrick M., Mahsa Ghafourian, and Hassan A. Karimi**. "ONALIN: Ontology and algorithm for indoor routing." *Mobile Data Management: Systems, Services and Middleware*, 2009. MDM'09. Tenth International Conference on. IEEE, 2009.
- [11] **H. Hu, D.L. Lee**, *Semantic Location Modeling for Location Navigation in Mobile Environment*, proc. IEEE MDM'04, 2004.
- [12] **Anagnostopoulos, Christos, Vassileios Tsetsos, and Panayotis Kikiras**. "OntoNav: A semantic indoor navigation system." *1st Workshop on Semantics in Mobile Environments (SME05)*, Ayia. 2005.

A MISKOLCI EGYETEM GAZDASÁGTUDOMÁNYI KAR VONZÁSKÖRZETÉNEK VIZSGÁLATA

INVESTIGATION OF CATCHMENT AREA FOR UNIVERSITY OF MISKOLC, FACULTY OF ECONOMICS

KUTTOR Dániel

egyetemi docens, PhD, kuttor.daniel@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Világ- és Regionális Gazdaságtan Intézet, Miskolc-Egyetemváros 3515-Hungary

Kivonat:

Az elmúlt esztendőkből a magyar felsőoktatási intézmények a fokozódó versenyhelyzetben piaci pozícióik részletes vizsgálatában kezdtek. Ennek egyik hangsúlyos eleme a vonzáskörzetek elemzése, a főbb beiskolázási területek azonosítása és jellemzése. E cikkben a szerző hasonló munkára vállalkozott a Miskolci Egyetem Gazdaságtudományi Karára vonatkozóan, a 2002-2012-es felvételi adatok alapján. A vizsgálathoz a Karra jelentkezett diákok lakóhelyének (otthonának) térinformatikai vizualizációja történt.

Kulcsszavak: felsőoktatás, Miskolci Egyetem, Gazdaságtudományi Kar, vonzáskörzet, felvételi

Abstract:

In the past years many higher educational institutions in Hungary started to examine their positions and situations due to the sharp competition at the market. One of the emphasised elements of these analyses is the investigation of catchment areas, the identification and characterization of them. In this paper the author undertakes comparable work for the University of Miskolc, Faculty of Economics, according to data from the 2002-2012 years (based on admissions). The investigation was conducted by geospatial visualization of the students', who studied at the Faculty, place of origin (home-town).

Keywords: higher education, University of Miskolc, Faculty of Economics, catchment area, admission

1. BEVEZETÉS

Az elmúlt másfél évtized társadalmi, gazdasági, jogi folyamatai a működési keretek jelentős módosulását eredményezték a magyar felsőoktatási intézmények számára. A megváltozott feltételrendszerben az egyetemek és főiskolák szignifikáns differenciálódása ment végbe. A fokozódó különbségek az intézmények létszámadatában, a költségvetés számaiban, valamint az oktatási és tudományos teljesítményekben is tükröződnek.

Az ezredforduló utáni időszakban mind az oktatók, mind a hallgatók összlétszáma számottevő ingadozást mutatott, amely a hazai demográfiai tendenciáknak, az idősebb generációk váltakozó tanulási hajlandóságának, a fizetőképességnek és a külföldi hallgatók számának eredője volt. Ugyanakkor az országos trendhez képest jelentős eltérések tapasztalhatók az intézmény attraktivitásától; szűkebb, illetve tágabb régiójának egyedi adottságaitól függően.

1. táblázat. Magyarország főbb állami egyetemeinek hallgatói és oktatói létszáma (fő, 2013.)
 Forrás: saját szerkesztés az Oktatási Hivatal adatai alapján

Felsőfokú oktatási intézmény	Hallgatói létszám	Rangsor	Oktatói létszám	Rangsor
Debreceni Egyetem	31 021	1.	1 530	4.
Eötvös Loránd Tudományegyetem	29 010	2.	1 857	2.
Szegedi Tudományegyetem	25 278	3.	2 184	1.
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egy.	24 166	4.	1 245	5.
Pécsi Tudományegyetem	24 031	5.	1 789	3.
Szent István Egyetem	16 111	6.	789	7.
Budapesti Corvinus Egyetem	14 522	7.	676	8.
Semmelweis Egyetem	12 679	8.	1 179	6.
Óbudai Egyetem	12 528	9.	406	13.
Miskolci Egyetem	12 278	10.	595	10.
Nyugat-magyarországi Egyetem	11 693	11.	644	9.
Széchenyi István Egyetem	11 118	12.	405	14.

A beiskolázási körzetek azonosítása, és elemzése a közelmúltban több kutatást is indukált. (Teperics 2005, Bán-Havellant 2007, Hardi 2007, Kovács-Sipos-Mucsi-Mezősi 2010 és 2012) Jelen tanulmány a Miskolci Egyetem Gazdaságtudományi Kar (MEGTK) vonzáskörzetének lehatárolására, a fontosabb beiskolázási területek azonosítására tesz kísérletet, a 2002-2012-es időszak felvételi adatai alapján.

2. MÓDSZERTANI ÉS FOGALMI KERET

A vonzáskörzet fogalma gyakran használt terminológia a földrajz, és a regionális gazdaságtan tudományaiban. Olyan területet jelöl, amelyet egy település funkciói ellátnak, kiszolgálnak. A vonzáskörzet mérete a központ nagyságától, a funkciók szintjétől, és számától, a megközelíthetőségétől, a környék település-, intézményhálózatától függ. (Lengyel-Rechnitzer 2009)

A fogalmat több esetben adaptálják intézményekre, oktatási intézményekre, egyetemekre, hiszen maguk az egyetemvárosok is számos tevékenység ellátására hivatottak, képesek. Ezen szolgáltatások nyújtása közben, az intézmény vonzó hatást gyakorol a közelben, vagy akár a távolban elhelyezkedő települések népességére. (Süli-Zakar 2003) Napjainkban az egyetemek, főiskolák által kínált funkciók köre változatos és bővülő. Már nem csupán a hagyományos oktatás-kutatást, hanem emellett más közösségi, társadalmi, üzleti szolgáltatásokat is magában foglal. Összességében tehát a települések, intézmények által rendszeres szolgáltatásokkal ellátott, kiszolgált területet hívjuk vonzáskörzetnek. (Kocziszkó 2008)

A felsőoktatási intézmények esetében -a funkciók komplexitásától függően- az attraktivitást többféle dimenziója értelmezhető. A vonzáskörzetekre pedig különféle területi szintek adaptálhatók, a lokálistól a globálisig.

E cikkben egy térinformatika alkalmazás (ARCGIS on-line) segítségével, az elérhetőség és felvételi adatok figyelembe vételével az oktatási tevékenységek által definiálható vonzáskörzet-lehatárolást igyekszem megtenni a Miskolci Egyetem Gazdaságtudományi

Karára. A felvételizők esetében eltekintek a határon túli, külföldi jelentkezőktől, így a vizsgálat csupán a magyarországi szereplőkre épül. Fontos még megemlíteni, hogy azok a hallgatók kerültek az elemzésbe, akik azóta a diplomájukat is megszerezték a Karon.

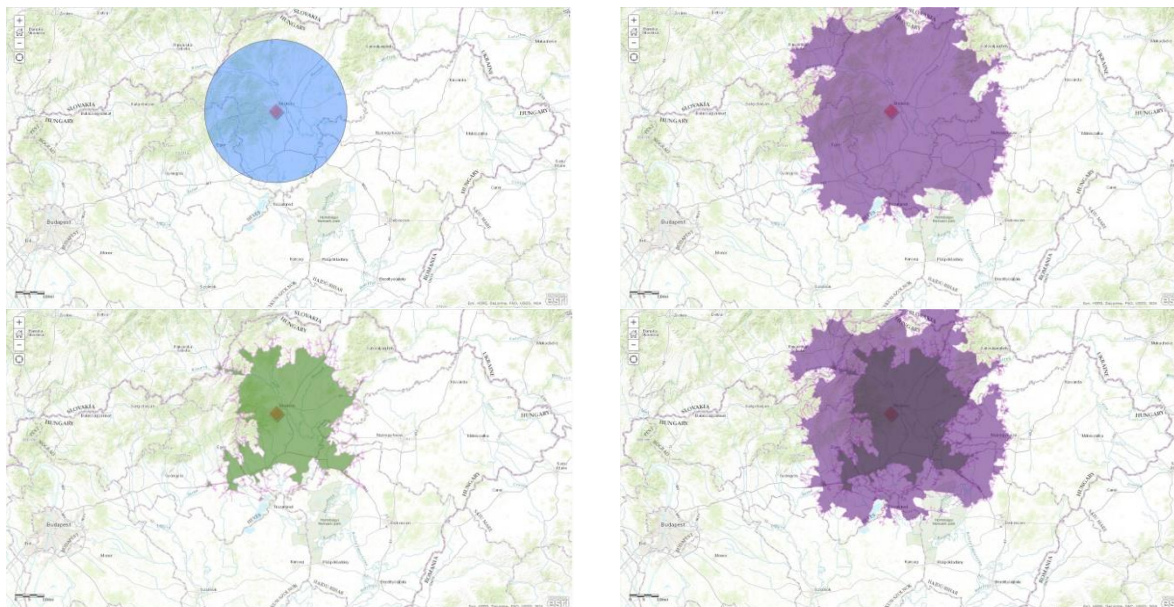
Céлом, hogy részletesebb képet alkossak a Kar főbb beiskolázási területeiről, azok jellemzése és helyzetének megértése érdekében.

3. VONZÁSKÖRZETEK LEHATÁROLÁSA

Egy adott intézményhez tartozó vonzaskörzet kijelölése egyszerű módon különféle geometriai alakzatok felhasználásával (kör, hatszög) végezhető el. A modell értékét és használhatóságát növeli, amennyiben a közlekedési infrastruktúrán alapuló terület-meghatározás is történik. A modell súlyozható a közösségi közlekedés relációival úgy, hogy figyelembe vesszük a vasúti, ill. autóbuszos közlekedést.

Az előbbi módszer alkalmazásával gyorsan kijelölhető az MEGTK vonzaskörzete. Azaz például egy 30 kilométer sugarú kör rajzolásával, amelynek hatókörébe 260 település, hozzávetőlegesen 725 ezer fős lakónépességgel esik.

A komplexebb technika adaptálásával időn vagy távolságon (kilométer) alapuló vonzaskörzetek definiálhatók. Az MEGTK esetében majd 3 800 négyzetkilométeres az a területnagyság, ahonnan az intézmény közúton, gépjárművel, egy órán belül elérhető. Figyelembe véve az észak-magyarországi elmaradott közúti infrastruktúrát és a változatos tájat, ez a terület kisebb az észak- és kelet-magyarországi felsőoktatási intézmények (Eger, Nyíregyháza, Debrecen, Gyöngyös) vonzaskörzetének méreténél.

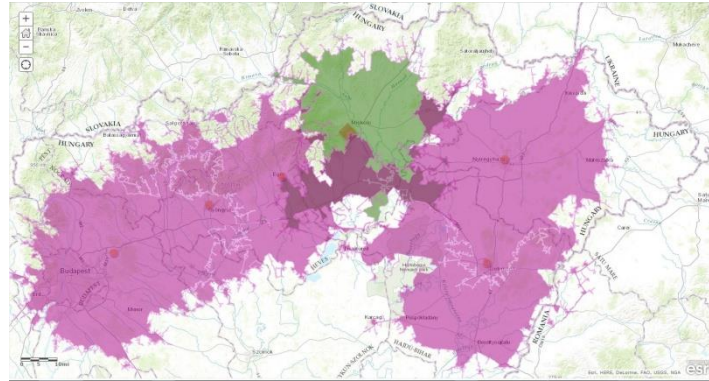


1. ábra. Verziók a MEGTK vonzaskörzetének lehatárolására (30 km sugarú körzet, 80 km közúton, 1 órán belüli gépjárművel, az előző kettő kombinációja)

Forrás: saját szerkesztés ARCGIS on-line segítségével

Miskolchoz, így az Egyetemhez a közösségi közlekedés a települések egyedi csoportját köti. Eszerint Borsod-Abaúj-Zemplén megye 358 települése közül 93 áll közvetlen vasúti összeköttetésben a megyeszékhellyel. A távolsági autóbuszos szolgáltatás pedig fontos kaput nyit a város számára az Alföld felé (Szolnok, Gyula, Szeged irányában).

Amennyiben az elérhetőségen alapuló vonzáskörzet-lehatárolást kiterjesztjük a többi, a Miskolci Egyetem közelében elhelyezkedő felsőoktatási intézményre, kijelölhetők azok a területek, ahol földrajzi alapú verseny alakulhat ki a hallgatókért: Dél-Borsodban, Dél-Hevesben, Tokaj-Hegyalja egy részén, Tisza-mentén, Hajdúságban.

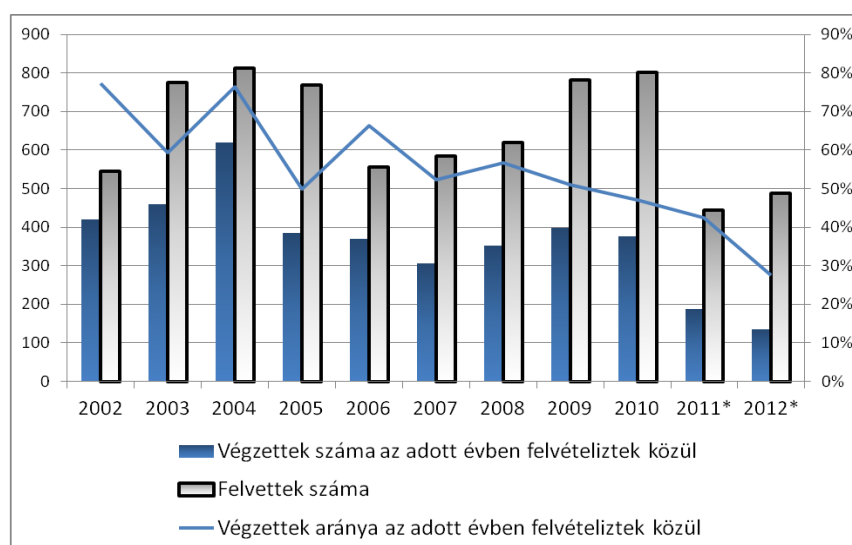


2. ábra. Felsőoktatási vonzáskörzetek az észak-, északkelet-magyarországi területen
Forrás: saját szerkesztés ARCGIS on-line segítségével

3.1. Beiskolázás és vonzáskörzetek az MEGTK esetében

2002 és 2012 között az MEGTK-ra felvett hallgatók száma -az országos trendekhez hasonlóan- jelentős ingadozást mutatott. A legtöbb, illetve a legkevesebb hallgatót eredményező esztendőek között majd kétszeres a különbség (444 fő 2011-ben és 812 fő 2004-ben). Ennek következtében a Kar súlya a hazai gazdasági felsőoktatásban 1,6 és 3,7 százalék között változott. Hasonlóképpen változás tapasztalható a Miskolci Egyetemen belüli helyzetében is, amely tekintetében 24,5 és 39,7 százalék között mozgott a GTK-ra felvett hallgatók aránya a jelentkezések összlétszámán belül.

Ugyanakkor a hallgatók száma alapján a Kar pozíciója stabil maradt, noha a költségterítés bevezetésével változás állt be. 2012-ben az Egyetemre felvett hallgatók kb. ötöde tanult közgazdásznak, ami így is meghatározó lokális pozíciót biztosít a jövőre nézve.



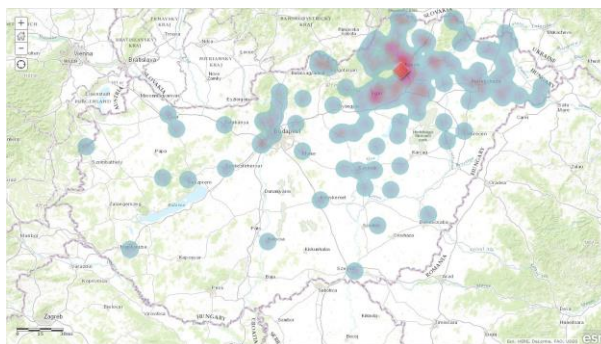
3. ábra. A felvett és végzett hallgatók évek szerinti megoszlása az MEGTK-n (fő, %).
Forrás: saját szerkesztés a felvi.hu és a NEPTUN rendszer adatai alapján.

Honnan érkeztek a Karra jelentkező hallgatók?

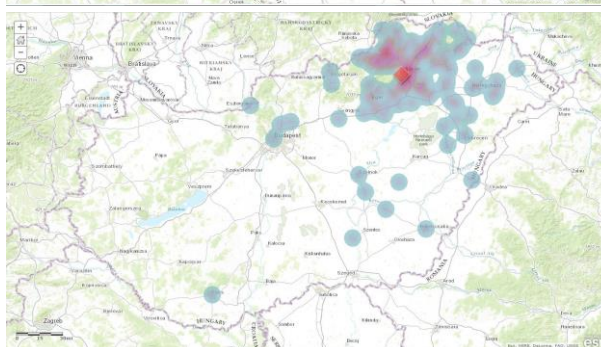
2000 és 2012 között a Karra felvett hallgatók területi megoszlása fokozatosan alakult át. Egyszerre volt megfigyelhető a területi átstrukturálódás és koncentrálódás. Fontos hangsúlyozni, hogy a Kar számára Miskolc mindig kiemelkedő jelentőséggel bírt. Emellett az időszakban Budapest és további nyolc észak- és kelet-magyarországi város (Debrecen, Eger, Felsőzsolca, Kazincbarcika, Nyíregyháza, Sátoraljaújhely, Szerencs, Tiszaújváros) adta az összes felvételiző 55-60 százalékát.

A földrajzi átrendeződés felértékelte a Sajó és Hernád völgyeit, illetve a Zemplén térségét. Ezzel párhuzamosan csökkent a távolabbi régiók (Dunántúl, Alföld, főváros) súlya, szerepe. Az észlelt jelenség a fizetőképesség csökkenésével magyarázható, hiszen sok család nem tehette, teheti meg azóta sem, hogy gyermekét otthonától távolabb iskoláztassa, kiváltképp az észak-magyarországi régióra jellemző hátrányos jövedelmi és társadalmi helyzetű térségekben, városokban (Lipták 2015 és 2009, Tóth-Nagy 2013). Megfigyelhető még továbbá, hogy a csökkenés jellemzően azokban a térségekben, városokban tapasztalható, amelyek maguk is rendelkeznek felsőoktatási intézménnyel.

2002-es állapot



2012-es állapot



4. ábra. Hőtérképek a felvételt nyertek területi megoszlásáról (MEGTK)

Forrás: saját szerkesztés ARCGIS on-line segítségével

A hőtérképek tanulsága szerint a Kar beiskolázási körzetének területi szóródása csökkent a 2002 és 2012 közötti időszakban. A területi specializáció és koncentráció következtében az MEGTK jelenléte hangsúlyossá és fontossá vált Borsod-Abaúj-Zemplén megye nagy részén, különösen azon területeken, ahol (elérhetőségből fakadó) területi előnnyel rendelkezett. Emellett „megmaradtak” a szomszédos megyék nagyobb települései is, mint lényeges bázisok.

ÖSSZEFOGLALÁS

A felsőoktatást jellemző mutatók változása alapján az ezredfordulót követő évtized (2002-2012) két eltérő időszakra osztható. A 2008-2009-es esztendőig tartó intervallumot a bővülés jellemezte; a csúcsesztendőben 71 képzőhelyen 425 ezer fő képzése zajlott. Majd a demográfiai tényezők, gazdasági és szabályozási beavatkozások, intézkedések minden fontos indikátor esetében jelentős mérséklődést idéztek elő, legfőképpen a hallgatók száma vonatkozásában, ahol 20 százalékos csökkenés volt tapasztalható.

Mind a konjunktúra, mind a dekonjunktúra tendenciái újszerűek volt a magyar felsőoktatásban. Korábban ilyen mértékű és tartósságú növekedés, ill. csökkenés nem következett be. Az intézményeknek ebben a változó időszakban kellett szembenézni az uniós keretek adaptációjával és az összeurópai oktatási térbe való integrációval.

A komplex hatások eredőjeként a magyar felsőoktatási intézmények között élesedett a verseny. A rivalizálás szembetűnő formában -a források és oktatók mellett- a hallgatókért zajlott, illetve zajlik napjainkban. Noha a magyar egyetemek és főiskolák elindultak a nemzetköziesedés útján a hallgatóik döntő része még mindig Magyarországról, valamint a határon túlról érkezik.

A versenynyomás a legtöbb intézmény esetében piackutatásokat gerjesztette. Ezen kutatások, elemzések célja a vonzás- és beiskolázási körzetek megismerése, tanulmányozása volt.

Az észak- és kelet-magyarországi felsőoktatási intézményeknek nem pusztán a főváros és a külföldi egyetemek elszívó hatásával kellett számolni, hanem az egymással szembeni fokozódó versennyel is. Ebben a helyzetben a Miskolci Egyetem Gazdaságtudományi Karán több intézkedés is született, amelyek elő kívánták segíteni az oktatási versenyképesség erősödését.

Az intézkedések az alábbi tématerületek köré csoportosíthatók:

- az intézményi struktúra módosítása,
- az oktatási portfólió átalakítása,
- a tehetséggondozás fokozása.

2000-ben született meg az intézeti, tanszéki szerkezet, amely tizenöt évig nyújtotta a szakmai munka keretét, hierarchiáját a Karon. A kialakult struktúra a következő másfél évtizedben csak kismértékben módosult. A változások leginkább a kihelyezett tanszékek létrehozásának köszönhetőek (Bosch, Bankszövetség, MNB, Állami Számvevőszék), amelyek hozzájárultak a Kar kapcsolatrendszerének fejlődéséhez.

Az oktatási rendszer átalakítását a piaci igények mellett a Bologna rendszer determinálta. A folyamat eredményeként az osztatlan képzést fokozatosan váltotta fel az alap- és mesterszakokból álló szerkezet. 2012-re kialakult struktúrában hat Ba, nyolc Ma és hat posztgraduális (szakirányú továbbképzés) szak adta a képzési portfólió elemeit, amit a felnőtt- és a PhD képzés tett teljessé. A nemzetközi nyitás jegyében angol nyelvű MBA és PhD szakok akkreditációja és indítása kezdődött meg. A kialakult paletta a Karon korábban nem látott diverzifikáltságot, ugyanakkor dekoncentrációt eredményezett. A 2010-es esztendőt követően gyors ütemben épült ki az ún. duális képzési rendszer (a nagyvállalatok kooperációjával). A Robert Bosch Alapítvánnyal közösen életre hívott „Lean management” specializáció az egész országban újszerű kezdeményezés volt (Somosi-Kocziszy-Szakály-Molnár-Lates-IIIés 2015). A korábbi kiterjedt vállalati hálóra építve 2016 januárjára harminc vállalat kötött együttműködést a Karral a duális képzés terén.

2008-ban jött létre a Hantos Elemér Szakkollégium, amely célul tűzte ki a hallgatók igényes, szervezett szakmai képzésének és önképzésének elősegítését, valamint a közéleti szerepvállalásra történő felkészítését, és az oktatók és hallgatók közötti együttműködés

elősegítését közös szakmai programokon keresztül. Ez utóbbi típusba tartoznak a Kar szervezésében megvalósuló hallgatói esettanulmány-versenyek (marketing, pénzügy-számvitel, területfejlesztés, menedzsment).

A Miskolci Egyetem Gazdaságtudományi Kara vonzáskörzetének szignifikáns transzformációja mellett megőrizte, erősítette helyi és regionális pozícióit a 2002-2012-es időszakban. Az elemzések igazolták, hogy az MEGTK az északkeleti országrész kiemelkedő jelentőségű képzőhelye, amely egyszerre szolgálja a térség centrumainak (városainak), és elmaradott rurális térségeinek a gazdasági-társadalmi fejlődését. Emellett a magyarországi adatok sejtetni engedik, hogy fontos hídképző tényezőnek is tekinthető Kelet-Szlovákia és Kárpátalja irányába.

A jövőben a helyi igények kiszolgálása érdekében a Gazdaságtudományi Karnak ezen térségek folyamatira kell tekintettel lenni. Sikeres beiskolázási, és oktatási tevékenysége érdekében elsődlegesen az itteni szereplőknek (hallgatókat, vállalatokat) szükséges megfelelnie. Mindezek eredményezhetik, hogy mind országosan, mind nemzetközi viszonylatban vonzó telephellyé váljon.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **Bán A. - Havellant O.:** *Dunaújváros oktatási vonzáskörzetének átalakulása (1999-2006)*. Dunaújvárosi Főiskola Térségfejlesztési Kutatócsoport évkönyve. Dunaújvárosi Főiskola, Duna- újváros. 2007. pp. 99-127
- [2] **Hardi T.:** *A Széchenyi István Egyetem vonzáskörzete*. In: Lados M., Rechnitzer J. (szerk): *Egyetem a régióért*. Pécs; Győr: MTA Regionális Kutatások Központja. 2007/A. pp. 93-112.
- [3] **Hardi T.:** *Felsőoktatási vonzáskörzetek a Nyugat-Dunántúlon*. In: Rechnitzer J., Smahó M. (szerk.): *Unirégió – Egyetemek a határ menti együttműködésben*. Pécs; Győr: MTA Regionális Kutatások Központja. 2007/B. pp. 105-140.
- [4] **Kocziszky Gy.:** *Területfejlesztés módszertana*. Miskolc, Miskolci Egyetem Gazdaságtudományi Kar, 2008. 268. p.
- [5] **Kovács F. - Sipos Gy. - Mucsi L. - Mezősi G.:** *A Szegedi Tudományegyetem oktatási vonzáskörzetének értékelése a földrajzi és földtudományi képzés példáján*. Földrajzi Közlemények 136: (2) 2012. pp. 199-209
- [6] **Kovács F. - Sipos Gy. - Mucsi L. - Mezősi G.:** *Honnan jönnek? Felvételizők térbeli elemzése a Szegedi Tudományegyetemen*. In: Lóki J., Demeter G. (szerk.): *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában: Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás*. Debrecen, 2010. pp. 381-387
- [7] **Kreiszné H. E. - Varga P. - Várpalotai V.:** *A demográfiai változások makrogazdasági hatásai Magyarországon európai uniós összehasonlításban*. In *Hitelintézeti Szemle*, MNB, Budapest, 2015. pp. 88-127
- [8] **Lengyel I. - Rechnitzer J.:** *Regionális gazdaságtan*. Budapest-Pécs, Dialóg Campus, 2009. 391 p.
- [9] **Lipták K.:** *Kistérségi szintű HDI becslés az Észak-magyarországi régióban*. In: Karajz Sándor (szerk.) *Magyar Tudomány Napja. Doktoranduszok Fóruma. Konferencia helye, ideje*: Miskolc, Magyarország, 2009.11.05 Miskolc: Miskolci Egyetem, p. 7.
- [10] **Lipták K.:** *Nők a tudomány világában – egy felmérés eredményei*. In: Veresné Somosi Mariann, Lipták Katalin (szerk.) „Mérleg és Kihívások” IX. Nemzetközi Tudományos Konferencia = „Balance and Challenges” IX. International Scientific Conference: A Gazdaságtudományi Kar megalapításának 25. évfordulója alkalmából: Konferencia Kiadvány = Proceedings. 948 p.

- [11] **M. Császár Zs. - Wushing Á. T.:** *A Pécsi Tudományegyetem vonzáskörzetének változásai 2004 és 2013 között.* In: Modern Geográfia, Pécs, Publikon Kiadó 2014. pp. 25-38
- [12] **Süli-Zakar I.:** *A terület- és településfejlesztés alapjai.* Budapest-Pécs, Dialóg Campus, 2003. 471 p.
- [13] **Teperics K.:** *Debrecen oktatási vonzáskörzete.* In: Czimre K. (szerk.): *Kisközségtől az eurorégióig: Prof. Dr. Süli-Zakar István tiszteletére szerzett tanulmányok gyűjteménye.* Debrecen, Didakt Kiadó. 2005. pp. 58-71.
- [14] **Tóth G. - Nagy Z.:** *Eltérő vagy azonos fejlődési pályák? A hazai nagyvárosok és térségek összehasonlító vizsgálata,* In: TERÜLETI STATISZTIKA 53:(6) 2013. pp. 593-612.

A KÖRÖNDI TŰZ EGY ÉPÍTŐMÉRNÖK SZEMÉVEL IV. RÉSZ. ÁLLAPOTÉRTÉKELÉS AZ ÉLETVESZÉLYES ÁLLAPOT FELSZÁMOLÁSA UTÁN

THE FIRE ON THE KÖRÖND BY THE EYES OF AN ENGINEER PART. IV. STATE'S ESTIMATION AFTER ELIMINATION OF THE DEMAGES COUSED BY THE FIRE

LÁMER Géza

főiskolai tanár, glammer@eng.unideb.hu
Debreceni Egyetem, Műszaki kar. Műszaki Menedzsment és Vállalkozási Tanszék

Kivonat: A Köröndi tűzben károsodott az Andrássy út 83-85. épület tetőszerkezete és zárófödémje. Ismertetjük az épület állapotát a tűzkár felszámolás után

Kulcsszavak: Köröndi tűz, tűzkár, állapotértékelés

Abstract: The roof and the closing floor of the building located Andrássy Street 83-85. damaged by the fire on the Körönd. We present the state of the building after elimination damages caused by the fire

Keywords: the fire on the Körönd, damage caused by fire, state's estimation

1. BEVEZETÉS

Az Andrássy út 83-85-ben 2014. július hó 15-én, az esti órákban tűz ütött ki. A tűzkárt követően szakértőként részt vettem az épület állapotának értékelésében, valamint a kialakult életveszélyes állapot felszámolásában.

Jelen tanulmány sorozat a Budapest VI., Andrássy út 83-85. sz. alatti épület tűzkár utáni állapotának értékelésével, a tűzkár után létrejött életveszélyes állapot két ütemben történt felszámolásával, és az egyes ütemeket követő állapot értékelésével foglalkozik.

Ebben a tanulmányban az életveszélyes állapot felszámolását követően az épület állapotának értékelését mutatjuk be. Az előző három tanulmányban ismertettük az épület állapotát a tüzet követően, illetve a belső életveszélyes állapot elhárításának folyamatát, valamint az életveszélyes állapot felszámolása után az épület állapotának értékelését, és a belső életveszélyes állapot elhárításának folyamatát, továbbá az állagvédelemre való felkészülést.

Jelen tanulmány-sorozat a Végleges állapotértékelő szakértői vélemény szövegén alapul. Ez úton kívánok köszönetet mondani a Budapest Főváros VI. Kerület Terézvárosi Polgármesteri Hivatal Jegyzőjének, aki hozzájárult ahhoz, hogy az esetet tudományos szempontból közzé tehessem.

2. ÁLLAPOTÉRTÉKELÉS

2.1. Az épületszerkezetek állapotának értékelése az életveszélyelhárítás II. üteme után

Főfalak. Állnak. Egy helyen (Felső erdősor utca, hosszú oldal középső rész, 5 m hosszban leomlott a felső néhány sor. A falak áznak az esőtől. Ezért mállásuk gyorsnak mondható.

Válaszfalak. Az instabil részeket visszabontottuk. Gyakorlatilag nincsenek.

Külső, koronázópárkányok. A párkány állapota: mállott, vizes, több helyen hiányos. A na-

gyobb hiányosságokat kifalaztuk. A téglák tompán konganak. A téglák repedezettek, kisebb ütésre a téglá töredezik. A téglák közötti habarcs mállott, porlik. A téglák egy részét a felső sorban szabad kézzel szét lehet bontani. A leterhelő falazat nem teherhordó. Önsúlyát megtartja, de teher hordására alkalmatlan. A kőkonzolok homokkőből készültek. A kőkonzolok átáztak és telítődtek vízzel. A kőkonzolok belső felülete mállott, repedezett, többnyire tompán kong. A kövek egy része (nagyjából 65-70 %-ra tehető) kisebb ütésetésre mállik. A kőkonzolok az önsúlyukat és a leterhelő súlyt megtartják, de teher hordására alkalmatlanok. A koronázópárkány és a főfal falkorona síkja feletti térdfal mállott, átnedvesedett, a téglák repedezettek, tompán konganak, a habarcs mállott, kézzel kisedhető. Sok benne a hiány. Azokat kifalaztuk. Ennek a falszakasznak teherbíró képessége nincs. Az önsúlyát, a felette lévő kőkonzol, és a rajta lévő leterhelő téglafalazat súlyát megtartja, de további teher hordásra alkalmatlan.

Párkányok a tornyokban. A torony három oldalán van kőkonzolos párkány. A leterhelő súly nem falazott fal, hanem a három oromdíz, amely kőből készült. A sarkokon nincs kődíz, itt a leterhelést az ácsszerkezet adta. Ez a tűzben megsemmisült. Ezek helyén, a tornyokban, összesen 2×3 helyen, leterhelő súlyt falaztunk fel. A tornyokban több kőkonzol megrepedt.

Belső, falazott párkányok. A belső párkányok falazottak. Átáztak, mállanak, kisebb ütésre elválnak az alatta lévő faltól. Egyes téglákat kézzel visszabontottunk. A habarcs mállott. A belső párkányok közül a Felső erdő utcai udvar közepén öt méter, a Szív utcai belső szárny Felső erdősor utcára néző homlokzatán tíz méter hosszú szakasz leomlott.

Párkánydíszek. A belső udvarokon a „szarufavéget utánzó” konzolokat eltávolítottuk, a III. emeleten deponáltuk. A külső homlokzaton a párkánydíszek nagyjából épek. A párkánydíszek közül a kézzel elbonthatókat eltávolítottuk, és az Andrássy úti kapualjban deponáltuk.

Kémények. Nyolc ledőlt a tűz következtében. Két kicsit visszabontottunk. A védőtető megépítéséhez az a döntés született, hogy a tűz által megkímélt kéményeket a középfőfal koronásíkjáig visszabontjuk. A bontás megtörtént.

A folyosók feletti „elötető”. A megégett fa részeket eltávolítottuk. Az öntöttvas oszlopok, felette a vas gerendák a helyükön maradtak. Ez utóbbiak a főfalba befogottak, tehát az egész rendszer stabil. Az öntöttvas oszlopokat felületi, a vasgerendákat lemezes rozsdá borítja.

Tűzfalak. A Felső erdősor és a Szív utcai szárny tűzfalát a középfőfal falkorona síkja fölött 3 m-ig visszabontottuk. A két belső szárnynak az iskola udvarára néző tűzfala a tűzben, illetve néhány nappal később leomlott. Az ellipszis alaprajzú melléklépcső két tűzfalának a felső, háromszög alakú, féltégla vastagságú részét visszabontottuk, a négy, ereszaljához csatlakozó, az I tartókon konzolosan túlnyúló részét visszabontottuk.

Légudvarok. Felső 60-80 cm-es, helyenként 1 m-es része mállott, omlással fenyegetett, több helyen hibás, repedt, mállott. A károsodásokat nem a tűztől, hanem az időtől szenvedték el. A védőtető megépítéséhez az a döntés született, hogy a légudvarok falait a középfőfal koronásíkjáig visszabontjuk. A bontás megtörtént.

Zárfödém: gyakorlatilag megsemmisült. Részletezve. A megégett fa födémgerendákat eltávolítottuk. A Szív és a Felső erdősor utcai lépcsőház fölötti szilárd födém a tűzben nem károsodott, de a víz áztatta. A Felső erdősor utcai lépcsőház és a torony között kb. 30 m²-en I tartó közötti téglabetétes (Horsik) födém téglabetétes lemezei a tűzben károsodtak, és a téglabetétes lemezeket, valamint a tartók többségét visszabontottuk.

A II. emelet feletti födém. A munkálatok nem érintik. A járófelület igen rossz minőségű aljzatbeton. A boltozat helyenként kilátszik az aljzatbetonból. A tűzben lehullott falazattól, kéménytől, gerendáktól károsodott. A födém az oltás során vízzel telítődött. Az azóta lehullott csapadék további vízterhelésként jelentkezett, kiszáradásra nem volt mód.

A II. emelet feletti födémekben nyolc helyen találtunk az átlagosnál nagyobb lyukat. A lyu-

kak nagyjából 20×20 és 40×40 cm-es méret közöttiek voltak. A lyukak többségét betonnal kitöltöttük, volt, amelyet körbe kerítettük, vagy OSB lappal lefedtük.

Megjegyzés. Az életveszélyelhárítás II. üteme után a Kivitelező végignézte (és végig fényképezte) a II. emeleti lakásokat, és meggyőződött arról, hogy a II. emelet feletti födém nem károsodott.

Felhasználható építőanyagok. Ezek a következők: acélgerendák, téglák, homlokzati díszek, rögzítő vasak. Ezeket a III. emeleti födémén, a hosszanti főfalak mellett deponáltuk.

Tűzfaltartó acélgerendák. Ezeket a helyén hagytuk.

Kettős acélgerendák. Ezek céljáról információ nincs. Mivel a főfalakat összefogták, ezért ezeket a helyén hagytuk.

Rácsos tartók. Ezek célja, hogy a zárófödém nélkül maradt főfalakat a fedélszék szételő hatásától megvédje. Ugyan a fedélszék megsemmisült, de a rácsos tartókat érintetlenül hagytuk. A tűzben két helyen, kis mértékben károsodott. A károsodott részek a feladatuk ellátását nem korlátozza, ezért érintetlenül hagytuk.

Tető. Megsemmisült. A tetőn lévő épületszerkezeti elemek megsemmisültek. Néhány bádoglemezt és kovácsoltvas korlátot hagyott meg a tűz. Ezeket Andrassy úti, illetve a Felső erdősor utcai toronyban deponáltuk. Néhány, a tűzben a földre hullott bádoglemezt az Andrassy úti kapualjban deponáltunk.

Lépcsők. Mind a hat lépcsőház ideiglenes fedést kapott. A Felső erdősor utcai lépcsőház tetőtérbe vezető lépcsőkarjának sérült falát és födémjét, majd néhány héttel később liftgépház károsodott tetőtéri felépítményét is elbontottuk.

2.2. Az épület állapotának értékelése a használhatóság szempontjából az életveszély elhárítását követően

Az Andrassy út 83-85. sz. alatti épület állapotáról a 2014. július hó 15-ei tűz, tűzoltás és az azt követő életveszély elhárítás után a következő szakértői nyilatkozatot adtuk ki.

Az épület környezete – az épületet övező járdák, utcák és szerviz utak, a szomszédos iskola udvara, az épületen belüli udvarok – **biztonságos, rendeltetésszerűen használható.**

Az épület pinceszintjének, földszintjének, I. és II. emeleteinek főfalai, valamint a pince, a földszint és az I. emelet feletti födémjei, továbbá a lépcsőházak **épületszerkezeti és tartószerkezeti szempontból korlátozás nélkül használhatók.**

Az épület III. emeleteinek főfalai, valamint a II. emelet feletti födémje **épületszerkezeti és tartószerkezeti szempontból korlátozással használhatók.** A korlátozás a terhelésre vonatkozik. A II. emelet feletti födém hasznos terhelését 1,0 kN/m²-ben határoztuk meg. A födém tartószerkezeti felülvizsgálata, a boltozat kiszáradása, a boltozat átvizsgálása, a födém megerősítése után a korlátozás feloldható. Jelen pillanatban a födém feletti teher az I tartókon keresztül adható át a II. emelet főfalaira méretezett (ellenőrzött) kapcsolaton keresztül. A III. emeleti főfalak felső 50-80 cm-es sávja, a főfalaknak a II. emelet feletti 50-80 cm-es része, a belső falak falazott párkányai, a külső falak térdfal-kökonzol-leterhelő fal szerkezete nem terhelhető. Jelenleg a falak „középső” része (a két „vizes” rész közötti száraz rész) terhelhető fészkeken, fűrt-ragasztott csomólemezekon keresztül. A falak terhelhetőségét tartószerkezeti szakértőnek kell igazolnia.

A közművek kikapcsolása és a tető hiánya miatt **az épület rendeltetésszerűen nem használható.**

Az épület tűz által nem érintett alsó négy szintje (pince, földszint, I. és II. emelet) **biztonságos, szabadon, korlátozás nélkül megközelíthető.** A benntartózkodás idejét az korlátozza, hogy a huzamosabb ideig való benntartózkodás egyéb feltételei (vízellátás, WC, fűtés) nem teljesülnek.

Az épületnek a tűz által érintett három szintje (III. emelet, a lépcsőházak feletti tetőtéri szilárd födémek, a tornyok IV. emeleti szintjei, a tornyok „tetőtere”) **rendeltetésszerűen nem használható**, ezek a területek **építési területként használhatók**.

Az épület öt lépcsőháza, mint függőleges irányú gyalogos szintáthidaló rendszer **korlátozás nélkül, rendeltetésszerűen használható**. Az összes lépcsőházban a szabad használat a II. emeletig megengedett, ott a lépcsőházakat lezártuk. A fölött csak az építési térbe igyekvőknek van joguk közlekedni. A II. emelet fölött minden lépcsőházat zárható-nyitható módon elzártuk.

A Köröndi lépcsőház 2. lépcsőkarjában két lebegő lépcsőfok eltört, több megmozdult. **A lépcsőkar életveszélyes**, a lépcsőkart használni tilos! A két alsó lépcsőkart kétsoros szalaggal elzártuk. Az állapot a tűz előtt alakult ki. A törött lépcsőfokok alatt fa ácsolat, az ácsolat és lépcsőfokok között hézag. Kikéltük, de már az is kimozdult.

A Köröndi szárny közlekedő folyosó két végén lévő függőfolyosó szakaszok ácsolata tönkre ment. Állapota **életveszélyes**. Megjegyezzük, hogy a korábbi szakértői vélemények alapján a dúcolást elbontani és a kölemezeket cserélni tervezték.

A Köröndi belső udvar falazott kerítése megdőlt, állékonyságát elvesztette. Állapota **veszélyes**.

3. OK-OKOZATI ÖSSZEFÜGGÉSEK

Az épületkárosodásban a következő okok játszottak szerepet. Az okokat időrendben soroljuk fel.

- A megépítés óta eltelt idő: az épület több mint 100 éves
- A karbantartás elhanyagolása
- A 2002–12. évi bontási munkálatok
- A tűz
- A tűzoltáshoz használt víz
- A tűz óta lehullott csapadék
- Az egyes okokkal kapcsolatos károsodásokat külön-külön tekintjük át.
- Hatásukat tekintve az első kettő és az utolsó kettő összevonható.

3.1. A megépítés óta eltelt idő és a karbantartás elhanyagolása

A megépítés óta eltelt idő és a karbantartás elhanyagolása az alábbi károsodások oka:

- a homlokzatok (vakolt felületek, károsodott égetett kerámia díszek) elhanyagolt állapota,
- az oromdíszek mállása,
- a kőkorlátok mállása,
- a párkányok konzolos köveinek mállása,
- a közlekedők kőkorlátjainak felső hevederén (könyöklőjén) a bádogburkolatok hiánya,
- a belső homlokzatok párkányai feletti 20-40 cm sávban a vakolat mállik, perreg, a párkányok bádogborítása hiányos,
- a falazott szerkezetek fugáiban mállott a habarcs,
- a nyílászárók állapota,
- az árnyékolók állapota,
- a kémények falazott testének, fedköveinek romlása,
- a légudvarok falazatainak, fedköveinek romlása,
- a Köröndi szárny függőfolyosóinak károsodása,

- a Köröndi szárny függőfolyosói ideiglenes ácsszerkezetű gyámolításának károsodása (korhadás, instabillá vált elemek),
- a Felső erdősor utcai udvar falazott kerítés felső 50 cm-es szakasza elvált, instabil (csak a nyílás felett elhelyezett acél szelvények stabilizálják), ugyanitt a kapu melletti, a Szív utca felé eső pillér falazata mállott, instabil,
- a Köröndi belső udvar homlokzatán a párkányok vakolata mállik, a párkányok téglaszerkezete (konzolja) hiányos, a téglák egy része mozog, instabil,
- a Köröndi belső udvar falazott kerítése megdőlt (2,2 m-en több mint 15 cm-es elferdülés).

3.2. A 2002-12. évi bontási munkálatok

Az 2002-12. évi bontási munkálatok során elbontották a válaszfalakat, mindösszesen a Felső erdősor utcai szárnyban, valamint a Köröndi szárny végében maradtak meg a válaszfalak.

A III. emeleten a lakásokat megszüntették, gyakorlatilag egymásba nyitott teret alakítottak ki. A Köröndi szárny végében a (43/b albetét) lakás használatban volt.

A III. emeleti földem egyharmadát elbontották. A tetőtérben való közlekedést az elbontott földem feletti járósík kiépítésével tették lehetővé.

Az elbontott földem – az épület építéskor elfogadott, alkalmazott építési technológiájával összhangban – egyúttal a főfalak egymáshoz rögzítésében is részt vett: a falakat és földemgevendákat helyenként kovácsoltvas kötőelemekkel kötötték össze (ezek ma is láthatók a falakban, nem távolították el az életveszélyes állapot felszámolása során). A földem elbontását követően az épületbe rácsos tartókat építettek be, amelyek a főfalak összefogására voltak hivatottak.

Az 2002-12. évi bontási munkálatok közvetlenül kárt nem okoztak. Ugyanakkor olyan helyzetet teremtettek, amely az épület stabilitását, a tetőtérnek tűzzel szembeni „ellenállását” csökkentették. A válaszfalak és a tűzfalak hiánya miatt terjedt a tűz olyan gyorsasággal, hogy a tűz terjedését nem lehetett megállítani. Ezért égett le az épület egésze fölött a tetőszerkezet és a fa záróföldem megmaradt részének többsége.

3.3. A tűz

A tűz az alábbi károsodások oka:

- megsemmisült a 2002-12. évi bontási munkálatok után meghagyott záróföldem, a tetőtéri bejárást lehetővé tevő ideiglenes járdák,
- megsemmisült a tetőszerkezet az összes épületszerkezeti elemeivel (héjalás, csapadékvíz elvezető csatornázás, hófogó, kéményseprőjárda, hágcső, villámhárító, tetőfelépítmények, bádogos díszek) együtt,
- életveszélyessé vált, ezért el kellett bontani a 2002-12. évi bontási munkálatok után meghagyott válaszfalak többségét,
- ledőlt két tűzfal,
- ledőlt nyolc kémény,
- az egyik (pontosabban kettő) eldőlt kémény összetörte a Felső erdősor utcai liftgépház tetőtéri falazott szerkezetét, amelyeket el kellett bontani,
- ugyanezen ledőlt kémények kimozdították a Felső erdősor utcai szárny közepén a falazott párkányt kb. 5 m hosszban, vissza kellett bontani,
- egy kémény elgörbült, le kellett bontani,

- ledőlt egy homlokzati dísz a Köröndi udvari főhomlokzat közepén letörve a koronázópárkány kőkonzoljait,
- a Szív utcai liftgépház ablaka betört,
- a Szív utcával párhuzamos belső szárny Felső erdősor utca felé néző homlokzatán a falazott párkány kb. 10 m hosszban ledőlt,
- megdőlt, életveszélyessé vált a Felső erdősor utcai torony főhomlokzati oromdísze, le kellett bontani,
- a kémények stabilizáló szerkezet nélkül maradtak, már a tűz előtt károsodtak, stabilizálni vagy bontani kellett (ez utóbbit választotta a Társasház),
- a légudvarok stabilizáló szerkezet nélkül maradtak, már a tűz előtt károsodtak, stabilizálni vagy bontani kellett (ez utóbbit választotta a Társasház),
- a III. emeleten egy használatban lévő lakás teljesen kiégett,
- a III. emeleten a helyén hagyott nyílászárók egy része elégett, illetve megégett.

3.4. A tűzoltáshoz használt víz és a tűz óta lehullott csapadék

A tűzoltáshoz használt víz és a tűz óta lehullott csapadék az alábbi károsodások oka:

- a II. emelet feletti földem átázott,
- a falaknak a II. emeleti földem (jelenlegi) járósíkja fölötti 50-80 cm magas sávja átnedvesedett, a habarcs és a téglá mállik,
- az utcai homlokzati főfalaknak koronázópárkánya, az a fölötti hajdan a fedélszék elemeit fogadó téglafalazat, a konzolos kőlapok átnedvesedettek, a habarcs, a téglá és a kőlapok mállanak,
- a közép főfalaknak és néhány megmaradt válaszfalnak a falak koronásíkja alatti 50-80 cm magas sávja átnedvesedett, a habarcs és a téglá mállik,
- a belső homlokzati főfalaknak a falazott párkányai, a falak koronásíkja alatti 50-80 cm magas sávja átnedvesedett, a habarcs és a téglá mállik,
- a III. emeleten a helyén hagyott, továbbá a tűz által megkímélt nyílászárók átáztak,
- a lépcsőházak leáztak,
- a Szív és a Felső erdősor utcai lépcsőház feletti szilárd földem átázott, a földem átengedte a csapadékvizet és áztatta a lépcsőházat.

4. TEENDŐK

Az épületben az életveszély elhárítás I. és II. üteme során a közvetlen életveszélyes, és balesetveszélyes állapotokat a felszámoltuk. Ezért az épületben biztonságosan lehet benntartózkodni. A teendők alapvetően a helyreállításra kell, hogy irányuljanak. Ugyanakkor az újbóli, teljes körű, „végleges” használatbavétel, figyelemmel az épület alapterületére (2.400 m²), az épület műemléki státuszára (a Világörökség része), a tulajdonosi helyzetre (a nagyjából 25 %-t birtokló jogi személy, mint vállalkozás, csődbe ment) meg kell, hogy előzze néhány, az állagmegóvással és helyreállítással kapcsolatos teendő. Ezeket a teendőket, a „végleges” használatbavételt is ide sorolva, öt nagyobb csoportba osztjuk be.

- Időszakos felülvizsgálatok, rendszeres állapotértékelés
- Állagmegóvás
- Az alsó szintek „ideiglenes” használatba vétele
- Az épület helyreállítása
- Az épület „végleges” használatba vétele

4.1. Időszakos felülvizsgálatok, rendszeres állapotértékelés

Az épületnek a II. emelet feletti födémje, és a II. emelet feletti födém felett lévő épületszerkezetek romlottak, károsodtak, a téglák, a kő díszek, a konzolkövek, a habarcs vízzel telítettek, mállottak, repedtek, tehát további károsodásuk, mállásuk várható. Az imént ismertetett szerkezeteket rendszeresen felül kell vizsgálni, és a már veszélyessé vált, vagy önmagát hordani képtelen részeket el kell távolítani. Az életveszélyelhárítás utolsó két hónapjában látott romlási folyamatból ítélve védőtető nélkül háromhavonta szükséges az épület II. emelet feletti részének a felülvizsgálata, és a málló részek eltávolítása. A három hónaponkénti rendszeres felülvizsgálatra vonatkozó szakértői álláspont a védőtető megépítése után, leghamarabb 2015. február hó 28-a után, felülvizsgálható, felülvizsgálandó.

Az időszakos felülvizsgálatok, rendszeres állapotértékelés kapcsán az alábbi nyilatkozatot adtuk.

A II. emelet feletti födém, a III. emeleti főfalak felső 50-80 cm-es sávja, az utcai homlokzati párkány teljes szerkezete, belső falazott párkányok, az oromdíszek, a kőkorlátok átáztak. Fagyra érzékenyek. Az ezekre az épületszerkezetekre vonatkozó állapotértékelés – a III. emelet és a tetőtéri födémek, a tornyok IV. emeleti födémjei építési területként használhatók – 2015. február hó 28-áig volt érvényben. Az első fagyot követően ezeknek az épületszerkezeteknek az állapotát ismételtelen értékelni kell. Az értékelésnek tartalmaznia kell a következő felülvizsgálat idejét is.

Az épület hat lépcsőházát ideiglenesen lefedték. A Felső erdősor utcai károsodott liftgépházat elbontották, és ideiglenes liftgépházat készítettek helyette. Mivel az ideiglenes fedések és az ideiglenes liftgépház fából készült, ezért annak állapotát hathavonta rendszeresen felül kell vizsgálni. Az ideiglenes fedések és az ideiglenes liftgépház élettartalma három év. Három év után – 2017. november hó 20. – elbontandó és átépítendő.

4.2. Állagmegóvás

Az épület állagvédelem nélkül rövid időn belül tönkremegy.

Az állagmegóvó munkálatoknak az alábbi feladatokat kell kiterjednie:

- a csapadékvíznek az épületbe és az épületszerkezetbe való bejutásának a kizárása, továbbá a csapadékvíz elvezetése,
- az átnedvesedett épületszerkezetek (falak felső 50-80 cm-es, a falak II. emelet fölötti födém járósíkja feletti 50-80 cm-es sávjai, falazott és kőlapos párkányok, mellvédfalak) kiszárítása,
- az átnedvesedett épületszerkezetek (lásd az előző bekezdést) megóvása a fagykároktól.

4.3. Az alsó szintek „ideiglenes” használatba vétele

Az alsó, a tűz által közvetlenül nem érintett szintek használatba vételéhez a következőket kell biztosítani:

- ideiglenes tető építése,
- a közművek visszakapcsolása,
- az égéstermék elvezetése,
- a helyiségek helyreállítása.

Az alsóbb szintek ideiglenes használatbavételnek részben tartószerkezeti és épületszerkezeti, részben közművekkel és egyéb, elsősorban az egészséggel, a biztonsággal kapcsolatos követelmények kell teljesíteni.

A tartószerkezeti és épületszerkezeti követelmények kapcsán a következő nyilatkozatot ad-

tuk.

Tartószerkezeti követelmények. Az épület pince, földszint, I. és II. emeleti főfalai, a pince, földszint, I. emelet feletti födémek nem károsodtak. Azok a pince, földszint, I. emelet rendeltetésszerű használatára alkalmas állapotban vannak. A II. emelet feletti födém, mint tartószerkezet károsodott egyrészt a zárófödém és a tetőtéri járda rá hullott gerendáitól, másrészt a ledőlt kéményektől és a ledőlt tűzfalaktól, végezetül a tűzoltás során alkalmazott víztől, és az elmúlt négy hónap alatt (a szakértői vélemény kiadásának időpontjáig) leesett esőtől. Ezért a II. emelet feletti födém csak önhordásra és munkaterület járófelületeként ($1,0 \text{ kN/m}^2$ terhelés) alkalmas. A II. emelet használatba vételét a II. emelet feletti födém tartószerkezeti szakértésének és (szükség esetén) megerősítésének kell megelőznie: tartószerkezeti szakértő határozza meg az erősítés szükségességét, az erősítés módját, és igazolja az erősítés elkészültét, továbbá nyilatkozzon, hogy a megerősített födémet rendeltetésszerű használatra alkalmas állapotba hozták.

Épületszerkezeti követelmények. A pince elhanyagolt állapotú. Tárolásra alkalmatlan állapotban van. A földszint, I. és II. emelet részben a tűzoltásban használt víztől, részben a csapadéktól kisebb-nagyobb mértékben átázott. A földszinten néhány lakás érintett, az I. emeleten kisebb mértékben, a II. emelet teljes mértékben elázott. (Kivétel a két torony alatti helyiségek). Az elázott helyiségben a vizes vakolatot, burkolatokat el kell távolítani, a falakat és födémeket ki kell szárítani, majd a falakat és a mennyezetet újra kell vakolni, és új burkolatokat kell fektetni.

A közművekkel kapcsolatos feltételeket az egyes közműszolgáltatók saját hatáskörben határozzák meg. Ide tartozik a víz, a gáz, a csatorna, mint szolgáltatás, de ide tartozik az égéstermék elvezetése, a közháló és a vezetékes telefon is, mint szolgáltatás.

Az egészséggel, a biztonsággal kapcsolatos feltételeket az építési hatóság, illetve a különböző szakhatóságok állapítják meg.

Az épület „ideiglenes” használatba vétele önálló használatbavételi eljárás keretében valósítható meg.

4.4. Az épület helyreállítása

A helyreállítása két nagyobb egységre bontható.

Az egyik a III. emelet feletti födém és a tető újjáépítését, a tornyok zárófödémjének és siskájának újjáépítését, a III. emeleten a lakások (teljes körű) újjáépítését, valamint kémények, tűzfalak, légaknák, a folyosók tetőszerkezetének, a belső falazott párkányok, valamint a külső, koronázópárkányok és az a fölötti épületdíszek újjáépítését, végezetül az elbontott Felső erdősor utcai liftgépház újjáépítését foglalja magába.

A másik az épületnek a tűz után megmaradt épületszerkezeteinek a helyreállítására vonatkozik. Az érintett épületszerkezetek a teljesség igénye nélkül: homlokzatok, kapualjak, lépcsőházak és folyosók, belső vakolatok, párkányok bádогоzása, burkolatok és nyílászárók, megszüntetett melléklépcső, liftek, gyámolított függőfolyosók, a károsodott lépcsőkar a Köröndi lépcsőházban.

Az épület helyreállítása önálló engedélyezési eljárás keretében valósítható meg.

4.5. Az épület „végleges” használatba vétele

Az épület „végleges” használatba vétele önálló használatbavételi eljárás keretében valósítható meg.

5. MELLÉKLET: A III. EMELET ÁLLAPOTA AZ ÉLETVESZÉLYES ÁLLAPOT FELSZÁMOLÁS UTÁN

Az 1. ábra az épület alaprajzi elrendezését mutatja be. Megadtuk az egyes szárnyak elnevezését. Feltüntettük az udvarokat, a lépcsőházakat, a légaknákat, a Szív és a Felső erdősor utcai liftgépházat.

A 2. ábrán tüntettük fel a 2010-12. években a III. emeleten és a tetőtérben végzett átalakítások (válaszfalak elbontása, zárófödém részleges elbontása, tűzfalak elbontása) után megépített, a főfalakat összefogó rácsos tartókat.

A 3. ábrán a III. emeleti főfalak felső síkján megtalált (és meghagyott) I tartókat mutatja be. A „TF” jellel jelöltük a tetőtéri tűzfalak alatti páros I tartókat (a kéménytestben látható csorbázás utalt arra, hogy ott tűzfal állt), „ÚJ” jellel jelöltük a később beépített páros I tartókat. Az ábrán feltüntettük a „födémről” visszamaradt tartókat is (ISZ a jele), illetve a kéményeket gyámolító tartókat (KF a jele), továbbá két rögzített I tartót is (IR jellel).

A 4. ábrán tüntettük fel a tűz után még álló válaszfalakat. EV jellel az életveszély elhárítása során elbontott, az MV jellel a meghagyott válaszfalakat jelöltük.

Az 5. ábra az csapadék - és szennyvízcsatornákat mutatja be. Megadtuk a csatorna anyagát és átmérőjét.

A 6. ábra a depóniákat tartalmazza. Az ábra tartalmazza a tégladepóniákat (T + köbméter), a visszabontott I tartókat (I + darab), és különböző homlokzati díszeket.

A 7. ábrán adtuk meg a stabilizáló kőműves munkákat. Feltüntettük a falazás mennyiségét köbméterben.

A 8. ábra mutatja be a falak párkányainak egymáshoz viszonyított szintjeit.

A 9. ábra tartalmazza a teherhordásra alkalmatlan, valamint a veszélyes állapotú épületszerkezeteket.

A 10. ábrán adtuk meg az ideiglenes lefedéseket és gyámolításokat: két sarki oromdíz stabilizálása, a Felső erdősor utcai főpárkány gyámolítása, a két torony oromdíszének a stabilizálása (pántolás és kikötés), az ideiglenes korlátok, a lépcsőházak lefedései.

6. MEGJEGYZÉSEK

A tűz okozta baleset- és életveszélyes állapot felszámolását követően az épület állapotáról a Végleges szakértői véleményt 2014. december hó 6-án adtam ki.

Az Andrássy út 83-85. épület a Forster Központ anyagi támogatásával még 2015. februárjában egy ideiglenes védőtetőt kapott.

A TŰZESETET ISMERTETŐ SOROZAT RÉSZEI

- [1] **LÁMER GÉZA, DR.:** *A Köröndi tűz egy építőmérnök szemével. I. Rész. A tűz és állapotértékelés a tüzet követően.* MTEKR Konferencia előadásai, 2015. Debrecen, pp. 220-231
- [2] **LÁMER GÉZA, DR.:** *A Köröndi tűz egy építőmérnök szemével. II. Rész. Az életveszélyelhárítás I. üteme és állapotértékelés azt követően.* Debreceni Egyetem. Műszaki Közlemények 2015/2. pp. 24-43.
- [3] **LÁMER GÉZA, DR.:** *A Köröndi tűz egy építőmérnök szemével. III. Rész. Az életveszélyelhárítás II. üteme és felkészülés az állagvédelemre.* Debreceni Egyetem. Műszaki és Menedzsment Közlemények (közlés alatt)

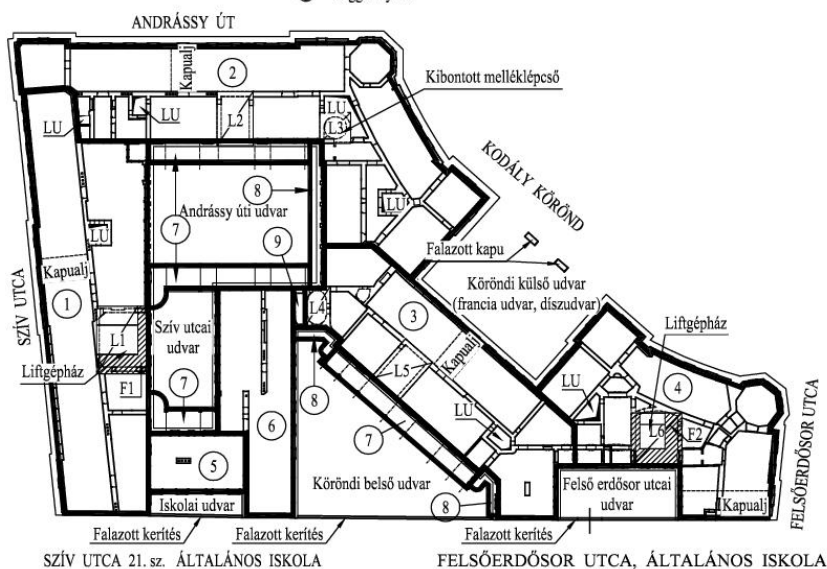
A MELLÉKLETBEN KÖZÖLT RAJZOK FORRÁSAI

A rajzokat a szerző állította össze. A szerző ezúton mond köszönetet a rajzok elektronikus megjelenítéséért Várszegi Béla magasepítő technikus úrnak.

AZ ÉPÜLET BEOSZTÁSA

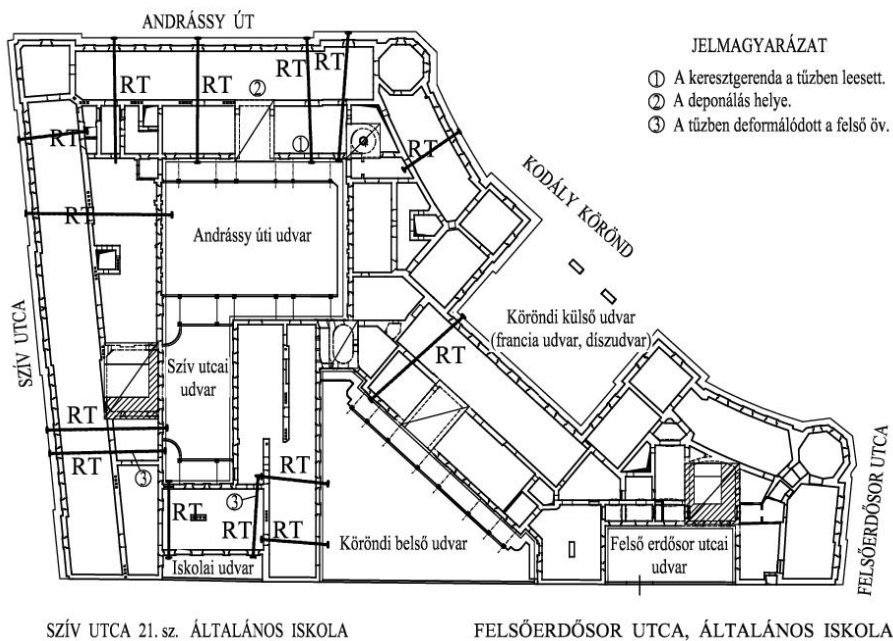
JELMAGYARÁZAT

- | | | |
|---|---|------------------------------------|
| ① Szív utcai szárny (két traktus) | ⑤ Az Andrásy úttal párhuzamos belső szárny (két traktus) | ⑨ Átjáró |
| ② Andrásy úti szárny (két traktus) | ⑥ Szív utcával párhuzamos belső szárny (a hosszabbik részén két, a csatlakozó részen egy traktus) | F1: Acélgerendák közötti vb. lemez |
| ③ Köröndi szárny (két traktus, a háromszög miatt helyenként több traktusból állnak) | ⑦ Folyosó | F2: Felülbordás vb. lemez |
| ④ Felső erdősor utcai szárny (két traktus) | ⑧ Függőfolyosó | L1 } Lépcsőházak |
| | | L6 } |



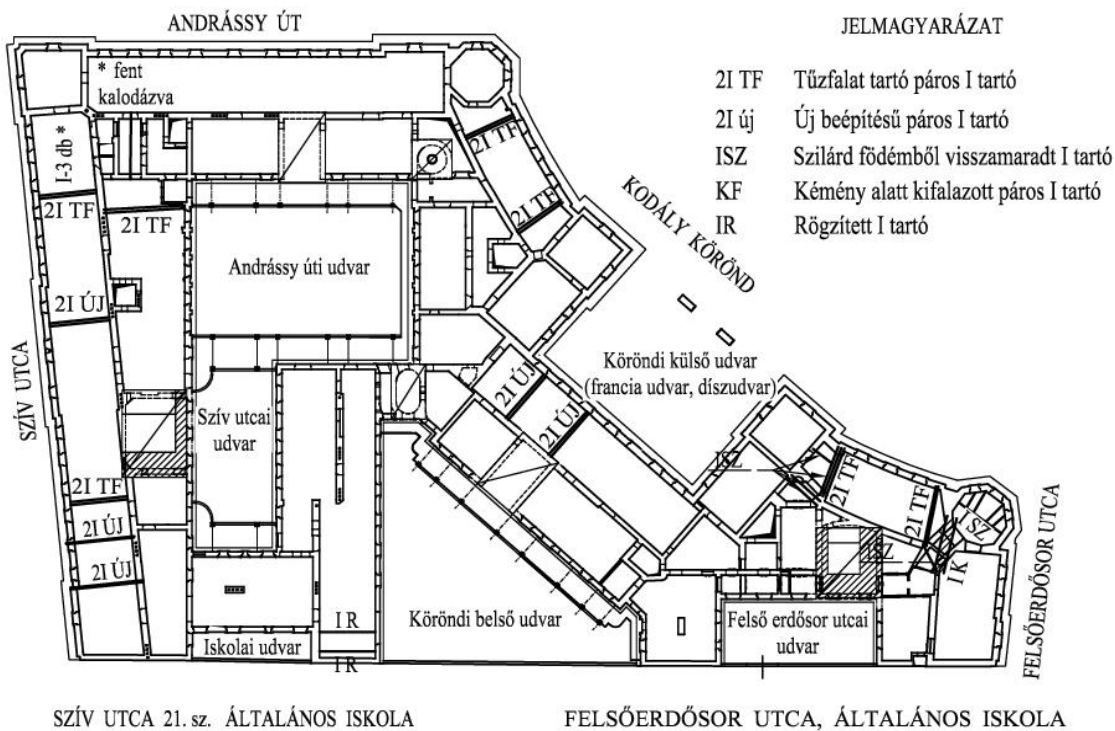
1. ábra.

BEÉPÍTETT RÁCSOS TARTÓK



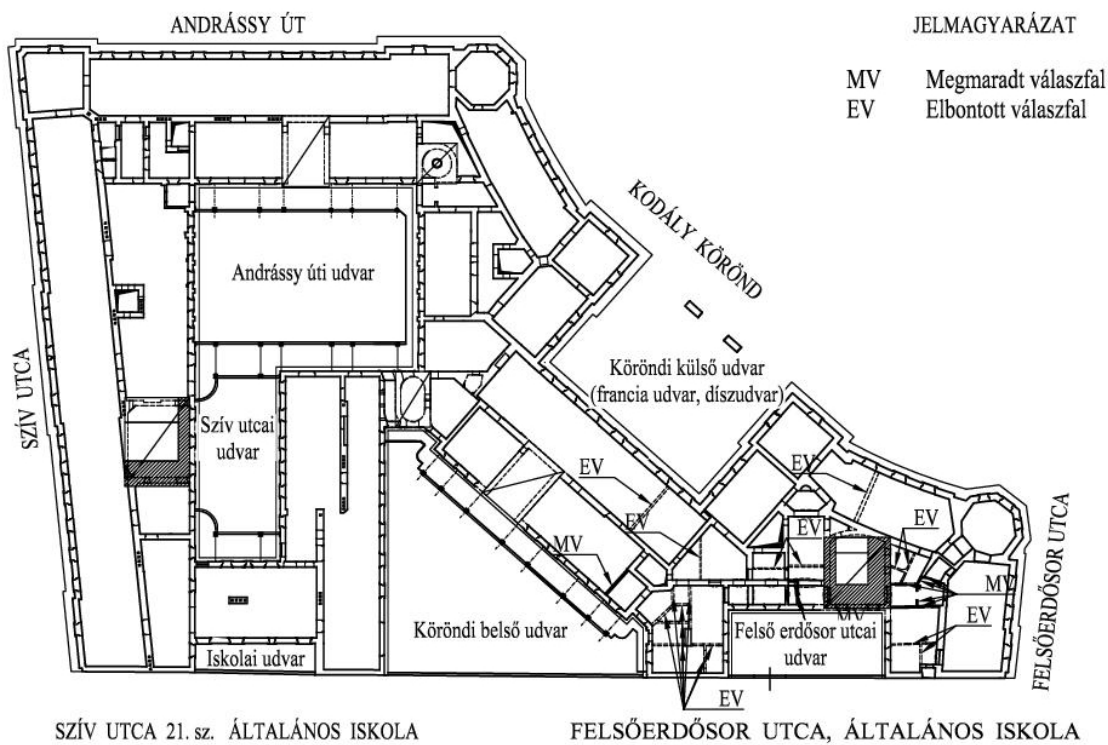
2. ábra.

I TARTÓK A FALAKON



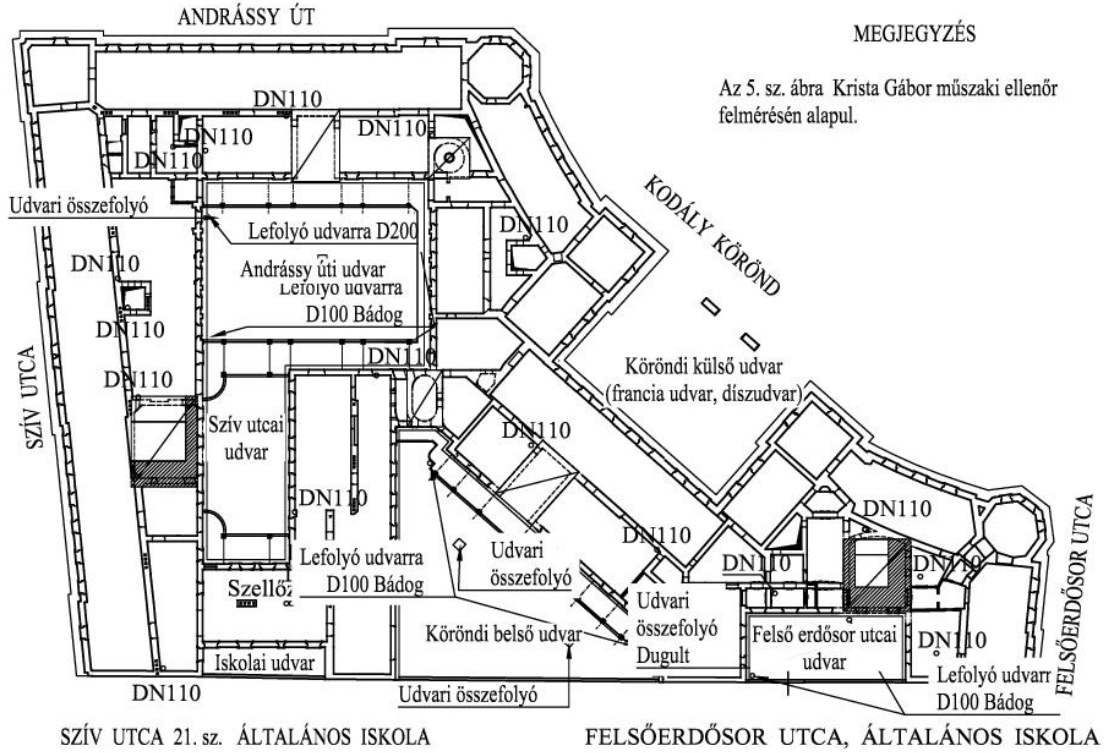
3. ábra.

MEGMARADT ÉS ELBONTOTT VÁLASZFALAK



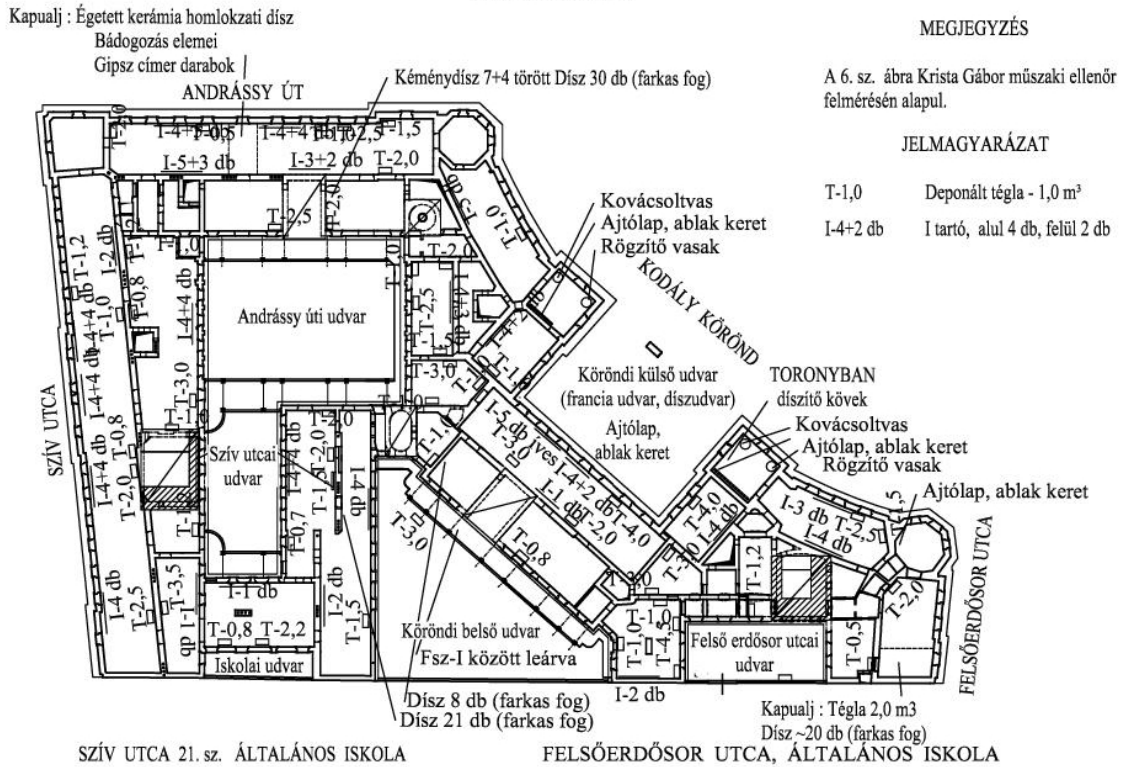
4. ábra.

ESŐ- ÉS SZENNYVÍZCSATORNÁK



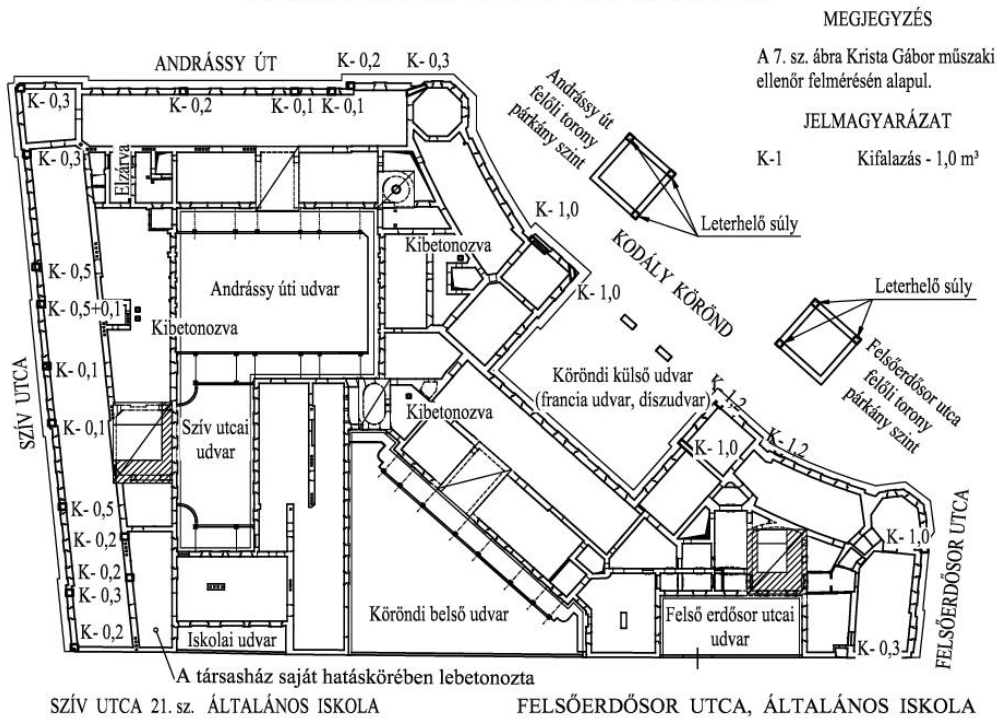
5. ábra.

DEPÓNIÁK



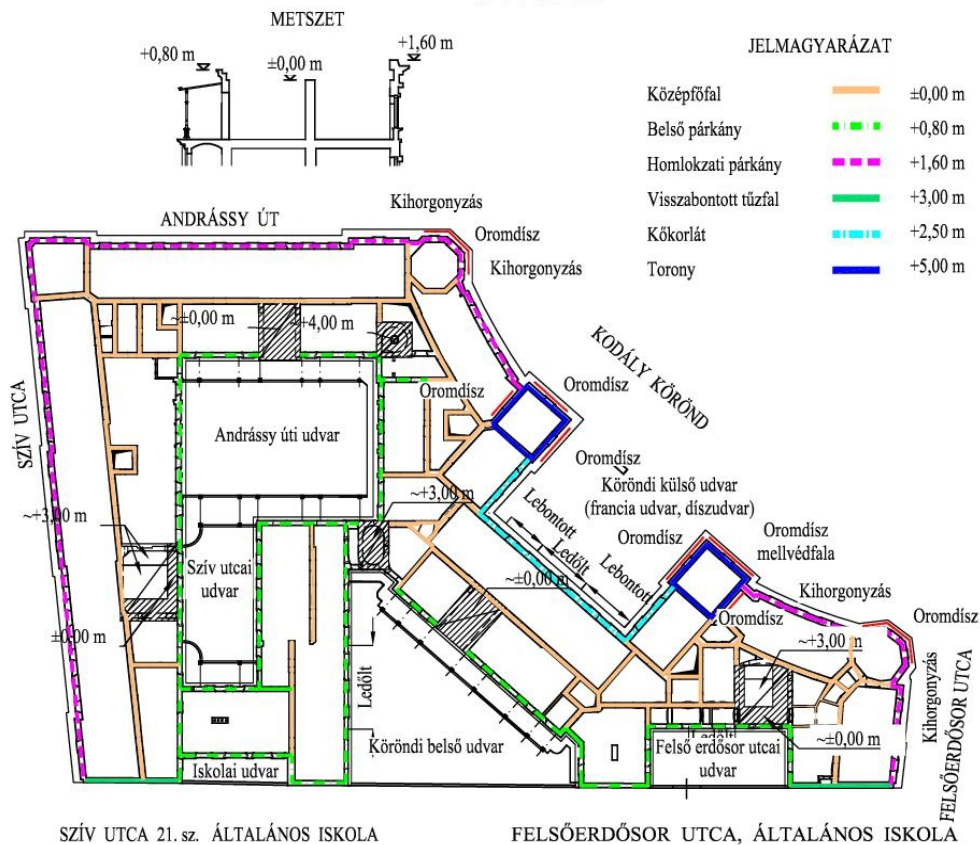
6. ábra.

STABILIZÁLÓ KŐMŰVES MUNKÁK



7. ábra.

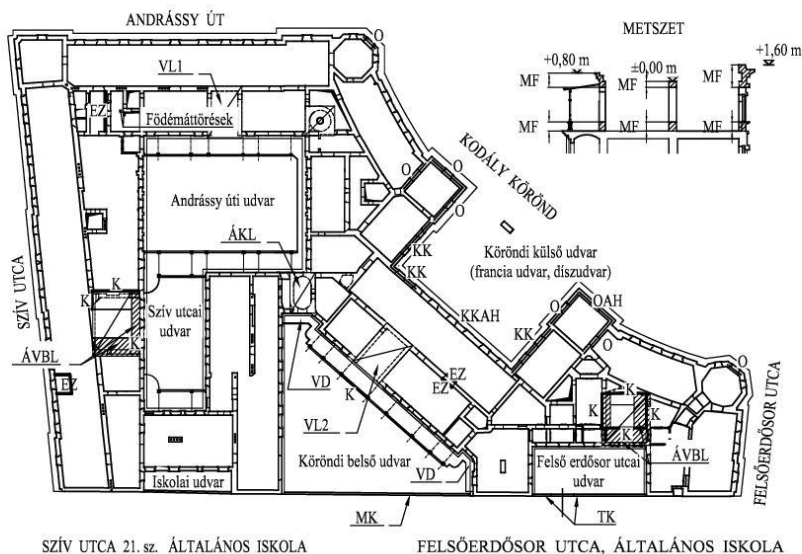
SZINTEK



8. ábra.

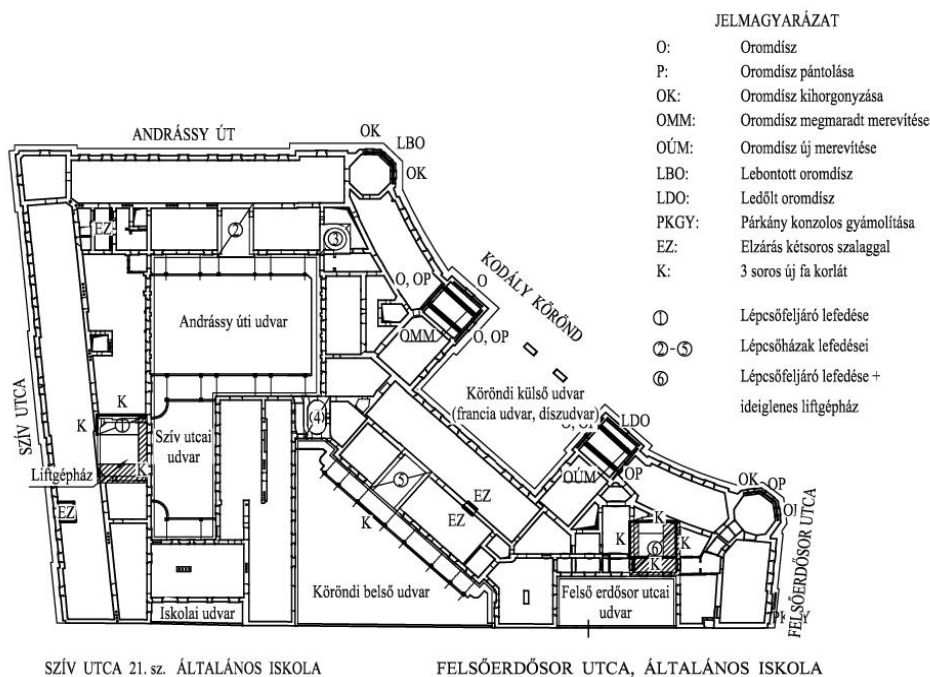
TEHERHORDÁSRA ALKALMATLAN ÉS VESZÉLYES ÉPÜLETSZERKEZETEK

JELMAGYARÁZAT		JELMAGYARÁZAT	
MÁLLOTT SZERKEZETEK			
MF:	A falak alsó, illetve felső ~50-80 cm magas sávja. (Lásd a metszeten.)	VL1:	Főlépcsőházban hiányos a korlát, és az 1. lépcsőkar veszélyes.
O:	Mállott oromdíz	VL2:	Eltört 3 lépcsőfok, a 2. lépcsőkar életveszélyes
OAH:	Mállott oromdíz alsó heveder	VD:	Veszélyes dúcolás
KK:	Mállott kökorklát	MK:	Megdőlő kerítés
KKAH:	Mállott kökorklát alsó heveder	TK:	Törött kerítés
ÁTÁZOTT SZERKEZETEK			
ÁVBL:	Átázott vb. lemez	ELZÁRÁSOK, ELKERÍTÉSEK	
ÁKL:	Átázott kölemez	K:	3 soros új fa korlát
		EZ:	Elzárás kétsoros szalaggal



9. ábra.

IDEIGLENES GYÁMOLÍTÁSOK, LEFEDÉSEK, ELZÁRÁSOK



10. ábra.

MAJDNEM MÉRETTARTÓ ALAKVÁLTOZÁSOK A RUGALMASSÁGTANBAN

ALMOST MEASURE-PRESERVING STRAINS IN THE THEORY OF ELASTICITY

LÁMER Géza

főiskolai tanár, glamer@eng.unideb.hu
Debreceni Egyetem, Műszaki kar. Műszaki Menedzsment és Vállalkozási Tanszék

Kivonat: A tanulmányban a rugalmas testek alakváltozásait vizsgáljuk. Megmutatjuk, hogy kis alakváltozás esetén a leképezés tekinthető majdnem mérettartó leképezésnek. E mellett a test egyes pontjainak az eltolódása lehet kicsi is és nagy is. A majdnem mérettartó alakváltozás feltétele a kis alakváltozás. A három irányban közel azonos kiterjedésű test pontjai kis alakváltozások mellett csak kis eltolódásokat képesek végezni. Ahhoz, hogy kis alakváltozás mellett a test egyes pontjainak az eltolódása nagy lehessen, a testnek egyedi alakkal kell rendelkeznie: a vékony héjnak, vagy karcsú rúdnak kell lennie. A kis alakváltozás mellett nagy eltolódás jelentős görbüleváltozás esetén alakulhat ki.

Kulcsszavak: majdnem mérettartó alakváltozás, majdnem ortogonális leképezés, kis alakváltozás mellett kis eltolódást végző rugalmas test, kis alakváltozás mellett nagy eltolódást végző rugalmas test

Abstract: In the paper we analyse strain of the elastic body. We show that in the case of small strain the map can be regarded as an almost measure-preserving one. Beside this the displacement of the some points of the body can be small or large also. The condition of the almost measure-preserving strain is the small strain. The body with almost equivalent length in the three direction can do only small displacement under small strain. For the large displacement of the body that body must have a special form: thin shell or slender rod. The large displacement beside small strain can be exist only in the case of significantly change of the curvature.

Keywords: almost measure-preserving strains, almost orthogonal maps, elastic body underdoing small displacement beside small strains, elastic body underdoing large displacement beside small strains

1. BEVEZETÉS

A testek az azokat érő hatások alatt megváltoztatják alakjukat. Rendszerint a test alakváltozásai kicsik: a test bármely két pontját a testen belül összekötő görbe (reguláris ív) hossza csak kicsiny mértékben változik: egy-egy görbe relatív nyúlása néhány század, vagy néhány ezred. A szakirodalomból ismert, hogy kis alakváltozások esetén az eltolódások nagyságától függetlenül a pont környezetének változása jól közelíthető a pont környezetének közel merevtetszerű eltolódásával és az elforgatásával (poláris felbontás) [10,11]. Ezért felmerül annak a lehetősége, hogy a testek alakjának változása, ha nem is ortogonális mátrixokkal, de az ortogonális mátrixtól csak kicsiny mértékben eltérő, majdnem ortogonális mátrixokkal írhatók le. A gyakorlati tapasztalat alapján több, egymást követő kis alakváltozások „összege” – értsd egymás utánisága – is kicsiny alakváltozássá tekinthető; azaz a testek alakjának kicsiny megváltozásai, mint leképezések, szintén csoportot alkotnak. Tehát azt várjuk, hogy a majdnem ortogonális mátrixok csoportot alkotnak.

A kétféle mérettartó leképezés – mozgás [1,12] és (differenciálgeometriai) hajlítás [13] – alapján azt várjuk, hogy kétféle majdnem mérettartó leképezés hozható létre. Az egyikben a test alakja kis mértékben változik meg, például amikor egy „zömök” testet, legyen az

egy kocka, vagy egy gömb, két, egyensúlyban lévő erővel terhelünk (nyomunk össze). Ekkor nem csak a testben kijelölt görbék hosszának relatív változás kicsiny, de a test egyes pontjainak a térben való eltolódása is kicsiny [8]. A másikon a test alakja jelentős mértékben változik meg, például amikor egy „vékony” héjat, vagy „karcsú” rudat két, egyensúlyban lévő nyomatékkal terhelünk (hajlítunk meg) [4]. Ekkor ugyan a testben kijelölt görbék hosszának relatív változása kicsiny, de a test egyes pontjainak a térben való eltolódása jelentős, összemérhető a test „hosszával”, azaz az eltolódások nagynak tekinthetők.

2. MAJDNEM ORTOGONÁLIS LEKÉPEZÉSEK A HÁROMDIMENZIÓS EUKLIDESZI TÉRBEN

A majdnem ortogonális leképezéshez az alábbi fogalmakat értelmezzük.

Emlékeztetünk arra, hogy az \mathbf{O} ortogonális tenzor és a tenzor \mathbf{O}^* transzponáltjának szorzata az egységtenzor [12]:

$$\mathbf{Q}\mathbf{Q}^* = \mathbf{E}. \quad (1)$$

DEFINÍCIÓ. Egy \mathbf{T} tenzort *kicsinek* nevezünk, ha a tenzor mátrix, vagy Euklideszi normája [12] elhanyagolható az egy mellett:

$$\|\mathbf{T}\| \ll 1. \quad (2)$$

Az nyilvánvaló, hogy a *kicsi* tenzorok additív csoportot alkotnak. *Megjegyzés:* az összeadandók száma korlátozott: ha egy \mathbf{T} tenzor komponensenkénti értéke mondjuk egy század, úgy tízet, vagy netán ötvenet összeadva belőlük, már nem kicsi tenzort kapunk eredményként.

DEFINÍCIÓ. Azt mondjuk, hogy az \mathbf{A} és \mathbf{B} tenzorok közel fekszenek egymáshoz, ha a két tenzor különbsége kicsi tenzor:

$$\|\mathbf{A} - \mathbf{B}\| \ll 1. \quad (3)$$

Azt követően értelmezhető a *majdnem ortogonális* tenzor.

DEFINÍCIÓ. A \mathbf{Q} tenzort *majdnem ortogonálisnak* nevezünk, ha a $\mathbf{Q}\mathbf{Q}^*$ tenzorszorzattal értelmezett tenzor közel fekszik az egységtenzorhoz:

$$\|\mathbf{Q}\mathbf{Q}^* - \mathbf{E}\| \ll 1. \quad (4)$$

ÁLLÍTÁS. A \mathbf{Q} tenzor akkor és csak akkor *majdnem ortogonális*, ha a közel fekszik egy \mathbf{O} ortogonális tenzorhoz.

BIZONYÍTÁS. Feküdjön a \mathbf{Q} tenzor közel egy ortogonális tenzorhoz: $\mathbf{Q} = \mathbf{O} + \mathbf{K}$, ahol \mathbf{K} egy kicsi tenzor. Ekkor

$$\mathbf{Q}\mathbf{Q}^* = (\mathbf{O} + \mathbf{K})(\mathbf{O}^* + \mathbf{K}^*) = \mathbf{O}\mathbf{O}^* + \mathbf{O}\mathbf{K}^* + \mathbf{K}\mathbf{O}^* + \mathbf{K}\mathbf{K}^* = \mathbf{E} + \tilde{\mathbf{K}}, \quad (5)$$

ahol $\tilde{\mathbf{K}}$ kicsi tenzor. Ugyanis \mathbf{K} kicsinysége miatt mind az $\mathbf{O}\mathbf{K}^*$, mind az $\mathbf{K}\mathbf{O}^*$ és végezetül a $\mathbf{K}\mathbf{K}^*$ tenzor is kicsi.

Feküdjön a $\mathbf{Q}\mathbf{Q}^*$ tenzorszorzat közel az egységtenzorhoz: $\mathbf{Q}\mathbf{Q}^* = \mathbf{E} + \tilde{\mathbf{K}}$. A \mathbf{Q} tenzor felbontható egy ortogonális és egy szimmetrikus tenzor szorzatára, $\mathbf{Q} = \mathbf{O}\mathbf{A}$, ahol az \mathbf{A} szimmetrikus tenzor kifejezhető a \mathbf{Q} tenzor segítségével:

$$\mathcal{A} = \sqrt{\mathbf{Q}\mathbf{Q}^T} = \sqrt{\mathbf{E} + \tilde{\mathbf{K}}} \approx \mathbf{E} + \hat{\mathbf{K}}. \quad (6)$$

Ebben a felbontásban $\hat{\mathbf{K}}$ tenzor kicsi, mivel a $\tilde{\mathbf{K}}$ tenzor maga is kicsi. Figyelemmel a (6) összefüggésre írható, hogy

$$\mathbf{Q} = \mathbf{O}\mathcal{A} = \mathbf{O}(\mathbf{E} + \hat{\mathbf{K}}) = \mathbf{O} + \mathbf{O}\hat{\mathbf{K}} = \mathbf{O} + \tilde{\mathbf{K}}, \quad (7)$$

ahol $\tilde{\mathbf{K}}$ kicsi tenzor. Ugyanis $\hat{\mathbf{K}}$ kicsinysége miatt $\mathbf{O}\hat{\mathbf{K}}$ tenzor is kicsi. ■

ÁLLÍTÁS. Két majdnem ortogonális tenzor *szorzata* majdnem ortogonális.

BIZONYÍTÁS. Legyen a két majdnem ortogonális tenzor $\mathbf{Q}_1 = \mathbf{O} + \mathbf{K}_1$ és $\mathbf{Q}_2 = \mathbf{O} + \mathbf{K}_2$, ahol \mathbf{K}_i ($i = 1, 2$) kicsi tenzor. Ekkor

$$\begin{aligned} \mathbf{Q}_1\mathbf{Q}_2 &= (\mathbf{E} + \mathbf{K}_1)(\mathbf{E} + \mathbf{K}_2) = \mathbf{E} + \mathbf{K}_1 + \mathbf{K}_2 + \mathbf{K}_1\mathbf{K}_2 = \mathbf{E} + \mathbf{K}_1 + \mathbf{K}_2 = \mathbf{E} + \mathbf{K}_{12} = \mathbf{Q}_{12}, \\ \mathbf{Q}_2\mathbf{Q}_1 &= (\mathbf{E} + \mathbf{K}_2)(\mathbf{E} + \mathbf{K}_1) = \mathbf{E} + \mathbf{K}_2 + \mathbf{K}_1 + \mathbf{K}_2\mathbf{K}_1 = \mathbf{E} + \mathbf{K}_2 + \mathbf{K}_1 = \mathbf{E} + \mathbf{K}_{21} = \mathbf{Q}_{21}, \end{aligned} \quad (8)$$

ahol \mathbf{K}_1 és \mathbf{K}_2 kicsinysége folytán $\mathbf{K}_1\mathbf{K}_2$ és $\mathbf{K}_2\mathbf{K}_1$ tenzorok a szorzótényezőikhez képest is kicsik, így elhanyagolhatók. Következésképpen a \mathbf{Q}_1 és \mathbf{Q}_2 tenzorok majdnem ortogonálisak. ■

A tenzorok összeadása kommutatív, ezért

$$\mathbf{Q}_{12} = \mathbf{Q}_1\mathbf{Q}_2 = \mathbf{E} + \mathbf{K}_{12} = \mathbf{E} + \mathbf{K}_1 + \mathbf{K}_2 = \mathbf{E} + \mathbf{K}_2 + \mathbf{K}_1 = \mathbf{Q}_2\mathbf{Q}_1 = \mathbf{E} + \mathbf{K}_{21} = \mathbf{Q}_{21}. \quad (9)$$

A fentiek alapján kijelenthető, hogy a majdnem ortogonális tenzorok szorzására egy ábeli csoportot alkotnak. *Megjegyzés:* az összeszorozandók száma korlátozott, lásd fentebb, a kicsi tenzorok összeadásánál tett megjegyzéseket.

3. AZ ELTOLÓDÁSOK ÉS AZ ALAKVÁLTOZÁSOK NAGYSÁGA

Az eltolódásokra és alakváltozásokra vonatkozó definíciókat, az azok közötti összefüggéseket korábbi eredményeinket felhasználva ismertetjük [5].

A rugalmas test leképezései tulajdonságainak vizsgálatához szükség van a kis és a nagy eltolódás, valamint a kis alakváltozások értelmezésére.

Az eltolódások nagyságnak értelmezéséhez feltesszük, hogy a testnek van olyan pontja, amely nem mozdul el. A test átmérőjét D -vel jelöljük.

DEFINÍCIÓ. Egy test eltolódásait *kicsinek* nevezünk, ha a test minden pontja eltolódásának nagysága a test átmérőjéhez viszonyítva elhanyagolható:

$$\forall(\mathbf{r}) \rightarrow \frac{\|\mathbf{u}(\mathbf{r})\|}{D} \ll 1. \quad (10)$$

DEFINÍCIÓ. Egy test eltolódásait *nagynak* nevezünk, ha van a testnek olyan pontja, amely eltolódásának nagysága a test átmérőjével összemérhető:

$$\exists(\mathbf{r}) \Rightarrow \frac{\|\mathbf{u}(\mathbf{r})\|}{D} \approx 1. \quad (11)$$

Mivel kikötöttük, hogy testnek van olyan pontja, amely nem mozdul el, ezért egy testnek, ha van is egy olyan pontja, amely nagy eltolódás végez, a test egészének van olyan

rész tartománya, amely minden pontjának az eltolódása nagy (a nagy eltolódást végző pont környezete), és van olyan rész tartománya is, amely minden pontjának az eltolódása kicsi (a mozdulatlan pont környezete).

DEFINÍCIÓ. Egy reguláris görbeív (mint korlátos és zárt egydimenziós tartomány) deformálatlan görbéhez viszonyított relatív nyúlása alatt a görbeív leképezés utáni hossza és a leképezés előtti hossza különbségének a leképezés előtti hosszához viszonyított arányát értjük. A görbeív hosszát a leképezés előtt l , utána L jelöli. Ezt a relatív nyúlást $\varepsilon_{T,l}$ -lel jelöljük (a T index utal a „teljességre”, hogy a relatív nyúlás értékét nem korlátoztuk):

$$\varepsilon_{T,l} = \frac{L-l}{l}. \quad (12)$$

DEFINÍCIÓ. Egy reguláris görbeív (mint korlátos és zárt egydimenziós tartomány) deformált görbéhez viszonyított relatív nyúlása alatt a görbeív leképezési utáni hossza és a leképezés előtti hossza különbségének a leképezés utáni hosszához viszonyított arányát értjük. Ezt a relatív nyúlást $\varepsilon_{T,L}$ -lel jelöljük:

$$\varepsilon_{T,L} = \frac{L-l}{L}. \quad (13)$$

A kétféle definícióra szükség van, hiszen ha a nyúlás értéke egy küszöbértéket meghalad, akkor a kétféle relatív nyúlás értéke jelentősen tér el egymástól. Például, ha $L = 2l$, akkor $\varepsilon_{T,l} = 1$, míg $\varepsilon_{T,L} = 1/2$.

DEFINÍCIÓ. Egy reguláris görbeív (mint korlátos és zárt egydimenziós tartomány) relatív nyúlása kicsiny, ha a görbeív leképezési utáni hossza és a leképezés előtti hossza különbségének mind a leképezés előtti, mind a leképezés utáni hosszához viszonyított aránya az egy mellett elhanyagolható. A leképezés előtti hosszhoz viszonyított kis relatív nyúlást ε_l -lel jelöljük:

$$\varepsilon_l = \frac{L-l}{l} \ll 1, \quad (14)$$

a leképezés utáni hosszhoz viszonyított kis relatív nyúlást ε_L -lel jelöljük (mindkét esetben a T index elhagyása utal arra, hogy a nagyságot korlátozzuk):

$$\varepsilon_L = \frac{L-l}{L} \ll 1. \quad (15)$$

A görbeív kis relatív nyúlásának értelmezése korrekt. Ugyanis, ha (14) fennáll, akkor (15) az egy (1) mellett elhanyagolható hibával áll fönn, és fordítva, (15) fennállásából következik, hogy (14) az egy (1) mellett elhanyagolható hibával áll fönn. Másképpen megfogalmazva a (14) és a (15) alatti kifejezések egyaránt kicsik, egymással egy (1) mellett elhanyagolható hibával megegyeznek. Következésképpen mind az l , mind az L index elhagyható (és a T index elhagyása utal arra, hogy ezek korlátozott, kicsiny relatív nyúlások, azaz kicsiny alakváltozások):

$$\varepsilon = \varepsilon_l = \varepsilon_L. \quad (16)$$

A leképezés során a test megváltoztatja az alakját. Azt a leképezést, amely folytonos,

alakváltozásnak, vagy a tartomány deformálásának nevezzük. Erre példa egy acél rúd nyújtása, hajlítása vagy csavarása. Azt a leképezést, amely nem folytonos, mi több, a testet alkotó részek helyeiket felcseréli, átrendeződésnek nevezzük. Erre példa egy homokhalmaz áthalmozása lapáttal. (Az alakváltozásról és az átrendeződésről lásd pl. [6,7].)

DEFINÍCIÓ. Egy test alakváltozását a testben kijelölhető összes reguláris ív relatív nyúlásainak összességéként értelmezzük.

Ennek a definíciónak a benne szereplő alakváltozás fogalma miatt csak folytonos leképezés esetén van értelme. Az alakváltozásnak ez a fogalma átrendeződés esetén nem alkalmazható, mert arra nézve nincs értelme: a reguláris ív szakaszokra esik szét, ahogy a halmazt alkotó szemcsék elkerülnek egymás mellől.

DEFINÍCIÓ. Egy test alakváltozásait kicsiknek nevezzük, ha a testben kijelölhető összes reguláris ív relatív nyúlása kicsi.

Ez a definíció integrál-értelemben vett definíciónak tekintendő: az alakváltozást tetszőlegesen távol lévő pontjainak egymáshoz viszonyított eltolódása alapján határozza meg. A folytonos leképezés esetén a leképezés jellemzésére rendszerint a test egy, ezzel együtt minden egyes pontjára vonatkozatható, lokális definíciót szokás alkalmazni. Ez az alakváltozás esetén azt jelenti, hogy tetszőleges pontok közötti tetszőleges reguláris ívek helyett minden egyes pont környezetében értelmezhető „egységnyi” hosszúságú görbék relatív nyúlásával kívánjuk az alakváltozást értelmezni. Ez megtehető egyrészt azért, mert a reguláris ív hosszának meghatározása éppen az „egységnyi” görbe hosszának integrálásával történik, másrészt azért, mert ha a testben minden reguláris görbe relatív nyúlása kicsi, akkor a reguláris ív bármely kicsiny szakaszának a relatív nyúlása is kicsiny. Másképpen megfogalmazva: kis alakváltozás esetén a testben kijelölhető egységvektorok relatív nyúlásai is kicsik.

Az „egységnyi” görbének a koordinátavonalak érintő egyeneseinek egységnyi hosszát, azaz magát az érintővektort tekintjük. Az érintő vektorok önmagával és egymással vett skalárszorzatai értelmezik a metrikus tenzor komponenseit [3].

Kis alakváltozások esetén az „egységnyi” görbék hossza kicsit változik, ennek megfelelően a belőlük képzett, leképezés utáni metrikus tenzor komponensei kismértékben változnak meg. Másképpen megfogalmazva a leképezés előtti és utáni metrikus tenzorok közel fekszenek egymáshoz.

4. A KIS ALAKVÁLTOZÁSOK MELLETT KIS ELTOLÓDÁSOKAT VÉGZŐ RUGALMAS TESTEK

Az alakváltozások leírására ortogonális görbevonallú koordinátarendszert alkalmazunk. Mivel nem merevtestszerű mozgásokat vizsgálunk, ezért az ívhossz szerint paraméterezésnek különösebb jelentősége nincs. A test pontjait jelölje P , helyét jelölje \mathbf{r}_P . Az egyes a koordinátavonalakat és a koordináták értékeit q^1 , q^2 és q^3 jelöli.

A koordinátarendszer érintővektorait a helyvektor koordináták szerinti (parciális) differenciálhányadosok adják.

$$\mathbf{r}_i(q^1, q^2, q^3) = \frac{\partial \mathbf{r}(q^1, q^2, q^3)}{\partial q^i}, \quad i = 1, 2, 3. \quad (17)$$

Az érintővektorok segítségével határozzuk meg a metrikus tenzor komponenseit [3]:

$$g_{ij}(q^1, q^2, q^3) = \langle \mathbf{r}_i(q^1, q^2, q^3), \mathbf{r}_j(q^1, q^2, q^3) \rangle, \quad i = j = 1, 2, 3. \quad (18)$$

A metrikus tenzor főátlóbeli elemei a görbék hosszával, a mellékátlóbeli elemei két görbe által bezárt szöggel hozhatók összefüggésbe [8,2,9].

A leképezés, a deformáció után az \mathbf{r}_P helyvektorú P pont elmozdul az \mathbf{R}_P helyvektorú pontba. Ezzel együtt a testhez rögzített koordinátavonalak deformálódnak, amelyeket a deformált állapotban jelölje Q^i ($i = 1,2,3$). A deformáció során változhatnak a koordinátavonalak alakja és a hossza is, bár a P pont deformáció előtt q^i és a deformáció utáni Q^i ($i = 1,2,3$) koordináták számszerű értékei megegyeznek.

A koordinátarendszer érintővektorait a deformált helyzetben a helyvektor koordináták szerinti (parciális) differenciálhányadosai adják; kifejezhetők mindkét koordinátarendszerben. Egyrészt a Q^i ($i = 1,2,3$),

$$\mathbf{R}_i(Q^1, Q^2, Q^3) = \frac{\partial \mathbf{R}(Q^1, Q^2, Q^3)}{\partial Q^i}, \quad i = 1, 2, 3, \quad (19_1)$$

másrészt a q^i ($i = 1,2,3$) koordinátákban,

$$\mathbf{R}_i(Q^1, Q^2, Q^3) = \frac{\partial \mathbf{r}(q^1, q^2, q^3)}{\partial q^i} + \frac{\partial \mathbf{u}(q^1, q^2, q^3)}{\partial q^i} = \mathbf{r}_i(q^1, q^2, q^3) + \nabla_i \mathbf{u}, \quad i = 1, 2, 3. \quad (19_2)$$

A bázisvektorok segítségével előállítható a \mathbf{G} metrikus tenzor komponensei egyrészt a Q^i ($i = 1,2,3$),

$$G_{ij}(Q^1, Q^2, Q^3) = \langle \mathbf{R}_i(Q^1, Q^2, Q^3), \mathbf{R}_j(Q^1, Q^2, Q^3) \rangle, \quad i = j = 1, 2, 3. \quad (20_1)$$

másrészt a q^i ($i = 1,2,3$) koordinátákban,

$$\begin{aligned} G_{ij}(q^1, q^2, q^3) &= \langle \mathbf{r}_i(q^1, q^2, q^3) + \nabla_i \mathbf{u}(q^1, q^2, q^3), \mathbf{r}_j(q^1, q^2, q^3) + \nabla_j \mathbf{u}(q^1, q^2, q^3) \rangle = \\ &= g_{ij} + (u_{i;j} + u_{j;i} + u_{k;i} u_{k;j}), \quad i = j = k = 1, 2, 3. \end{aligned} \quad (20_2)$$

A (20₂) alapján bevezetjük a metrikus tenzor megváltozását leíró mennyiséget, az alakváltozás mértéktenzorát:

$$\gamma_{ij} = u_{i;j} + u_{j;i} + u_{k;i} u_{k;j}, \quad i = j = k = 1, 2, 3. \quad (21)$$

Amennyiben az alakváltozások kicsik, úgy a deformáció előtti, \mathbf{g} , és a deformáció utáni, \mathbf{G} , metrikus tenzorok közel fekszenek egymáshoz, következésképpen a két tenzor különbsége, az alakváltozás mértéktenzora kicsi [4,5]:

$$\gamma_{ij} = u_{i;j} + u_{j;i} + u_{k;i} u_{k;j} \ll 1, \quad i = j = k = 1, 2, 3. \quad (22)$$

Ha az alakváltozási tenzor kicsi, akkor a főátlóbeli elemek a koordinátavonalak érintő vektorainak relatív nyúlását, a mellékátlóbeli elemek az általuk közbezárt szög megváltozását adják meg [8,9]. Az alakváltozásnak a relatív nyúláson alapuló értelmezése miatt a test kicsiny mértékű alakváltozását lokálisan az alakváltozás mértéktenzorának a fele adja meg [5,7]:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \gamma_{ij} = \frac{1}{2} (u_{i;j} + u_{j;i} + u_{k;i} u_{k;j}) \ll 1, \quad i = j = k = 1, 2, 3. \quad (23)$$

Az alakváltozási tenzor (23) alatti szerkezete rámutat arra, hogy az alakváltozási tenzor kétféleképpen lehet kicsi. Az egyik lehetőség, hogy az eltolódás gradienstenzora kicsi:

$$\nabla \mathbf{u} \ll 1. \quad (24)$$

Ekkor (23) összefüggés linearizálható; azaz a $\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^* + \nabla \mathbf{u}(\nabla \mathbf{u})^*$ kifejezésben a $\nabla \mathbf{u}(\nabla \mathbf{u})^*$ tag kicsiny, a lineáris tagok mellett elhanyagolható. A másik lehetőség, hogy ugyan az eltolódás gradienstenzora nem kicsi, de (23) összefüggésben szereplő három tag együttesen egy kicsi tenzort értelmez. Ez csak akkor állhat fenn, ha a leképezés, a deformáció – lokálisan, azaz minden pont környezetében – közel fekszik egy merevtestszerű mozgáshoz, bár az pontról pontra változhat.

A szakirodalomból ismert [10,11,2,9], hogy a test egészének merevtestszerű elmozdulás esetén az alakváltozás mértéktenzora, ezzel együtt a kis alakváltozások tenzora zérussá válik. Ismert az is, hogy tetszőlegesen nagy elmozdulások (alapvetően az elfordulás játszik szerepet) esetén akkor és csak akkor válik a deformáció mértéktenzora, és ezzel együtt a kis alakváltozások tenzora zérussá, ha az (23) összefüggésben a lineáris tagok mellett a nemlineáris tagokat is megtartjuk. Végezetül az is ismert a szakirodalomból, hogy kis eltolódások esetén az alakváltozás linearizált mértéktenzora is kicsi:

$$\gamma_L = \nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^* \ll 1. \quad (25)$$

A deformált állapotbeli metrikus tenzor értelmezése alapján (lásd pl. [9]):

$$\mathbf{G} = (\nabla \mathbf{R})(\nabla \mathbf{R})^* = (\nabla \mathbf{r} + \nabla \mathbf{u})(\nabla \mathbf{r} + \nabla \mathbf{u})^* = \nabla \mathbf{r}(\nabla \mathbf{r})^* + \nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^* + \nabla \mathbf{u}(\nabla \mathbf{u})^* = \mathbf{g} + \gamma. \quad (26)$$

Megmutatjuk, hogy a leképezés, azaz a deformáció kis alakváltozások esetén majdnem ortogonális. Ehhez azt kell észrevenni, hogy fennáll egyrészt az

$$\mathbf{R} = (\nabla \mathbf{R})\mathbf{r} \quad (27)$$

összefüggés, másrészt, hogy a deformált helyzetvektor gradiense, $\nabla \mathbf{R}$, felbontható egy ortogonális és egy szimmetrikus tenzor szorzatára $\nabla \mathbf{R} = \mathbf{O}\mathcal{A}$. Hivatkozva a 2. pontbeli ÁLLÍTÁS bizonyítására.

$$\begin{aligned} \mathcal{A} &= \sqrt{\nabla \mathbf{R}(\nabla \mathbf{R})^*} = \sqrt{(\nabla \mathbf{r} + \nabla \mathbf{u})(\nabla \mathbf{r} + \nabla \mathbf{u})^*} = \\ &= \sqrt{\nabla \mathbf{r}(\nabla \mathbf{r})^* + \nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^* + \nabla \mathbf{u}(\nabla \mathbf{u})^*} = \sqrt{\mathbf{g} + \gamma} \approx \mathbf{g} + \frac{1}{2}\gamma. \end{aligned} \quad (28)$$

Az (28) összefüggés felírásakor felhasználtuk, hogy ha a γ alakváltozás mértéktenzora kicsi, akkor a négyzetgyökös kifejezés sorba fejtésének első tagja az egy mellett elhanyagolható mennyiség felével egyezik meg (és, hogy az első közelítés elegendő pontossággal adja meg a négyzetgyökös kifejezés értékét); lásd [4,5]. Következésképpen $\nabla \mathbf{R}$ majdnem ortogonális leképezés.

Megjegyzés. Hasonló összefüggésre jutunk, ha a $\nabla \mathbf{R} = \mathcal{B}\mathbf{O}$. összefüggésből indulunk ki. A jobb és a baloldali felbontásban a pont környezetének elfordulását leíró ortogonális \mathbf{Q} mátrixok egybeesnek, az alakváltozást leíró \mathcal{A} és \mathcal{B} mátrixok eltérnek egymástól. Ezek kifejezését $\nabla \mathbf{u}$ -ban a kvadratikus tagokig bezárólag a [7]-ben adtuk meg. A lineáris tagok megegyeznek, a kvadratikus tagok eltérnek.

5. A KIS ALAKVÁLTOZÁSOK MELLETT NAGY ELTOLÓDÁSOKAT VÉGZŐ RUGALMAS TESTEK: A GÖRBÜLETVÁLTOZÁS ÉS A KIS ALAKVÁLTOZÁS

A felület és görbe hajlítása során a felületi görbék, illetve a vizsgált görbe ívhosszparamétere a hajlítás során nem változik, de a görbék görbülete (és torziója) igen. Vizsgáljuk meg, hogy milyen összefüggés áll fenn a testben kijelölhető görbék relatív nyúlása és a görbület változása között!

A deformáció előtt a P ponton haladjon át egy r sugarú körív, a központi szög legyen α ! (Általában egy görbe egy pontjának a környezetében éppen egy körívvel közelíthető, ha az α szöget kicsinyek választjuk [13].) Tekintsük a görbétől Δ nagyságú, egyenlő távolságra lévő pontok halmazát, amelyek egy $r + \Delta$ sugarú köríven helyezkednek el, ugyancsak α szöggel. Mind az r sugárnak, mind Δ távolságnak előjelet tulajdonítunk.

A deformáció után a P ponton haladjon át egy R sugarú körív, a központi szög legyen β . Tételezzük fel, hogy a deformáció során a P ponton áthaladó körív differenciálgeometriai értelemben vett hajlítást szenved el, azaz az ívdarab deformáció előtti $r\alpha$ hossza nem változik:

$$r\alpha = R\beta. \quad (29)$$

A deformáció előtt az r sugarú körívtől Δ nagyságú, egyenlő távolságra lévő pontok alkotta $r + \Delta$ sugarú körív a deformáció után az R sugarú körívtől közelítőleg Δ távolságra, azaz az $(R + \Delta)$ sugarú köríven helyezkednek el. Pontosabban Δ helyett annak deformált értékét kellene írni a körív minden pontjában; és azt is figyelembe kellene venni, hogy a pont iránya a sugár irányától is eltér. Ugyanakkor kis alakváltozás esetén a Δ szakasz hosszának relatív nyúlásától, valamint a szög megváltozástól is eltekinthetünk. Ezért az α központi szögű, $r + \Delta$ sugarú körív a deformáció során az egy (1) mellett elhanyagolható hibával a β központi szögű, $(R + \Delta)$ sugarú körívre képeződik le. Tehát az ív deformáció előtti $(r + \Delta)\alpha$ hossza a deformáció után $(R + \Delta)\beta$ hosszúvá nyúlik meg.

A vizsgált ívdarab relatív nyúlása kicsi, tehát az értékét az alábbi kifejezés adja:

$$\varepsilon_l = \frac{(r + \Delta)\alpha - (R + \Delta)\beta}{(r + \Delta)\alpha}. \quad (30)$$

A hajlítás következtében fennálló (29) alapján (30) az alábbi formába írható át:

$$\varepsilon_l = \frac{\Delta\alpha - \Delta\beta}{(r + \Delta)\alpha} = \frac{\Delta\alpha - \Delta\frac{r}{R}\alpha}{(r + \Delta)\alpha} = \frac{\Delta\left(1 - \frac{r}{R}\right)}{r + \Delta} = \frac{\frac{\Delta}{r}\left(1 - \frac{r}{R}\right)}{1 + \frac{\Delta}{r}} \square 1. \quad (31)$$

A (31) összefüggést Δ/r arányában vizsgáljuk. Az arány lehet nagy, egyhez közeli, vagy kicsi, azaz az egy (1) mellett elhanyagolható.

$$\Delta/r \approx \infty$$

Ebben az esetben a nevezőben az 1 a Δ/r hányados mellett elhangolható, azaz a számláló és nevező a Δ/r kifejezéssel egyszerűsíthető:

$$\varepsilon_l = 1 - \frac{r}{R} \square 1. \quad (32)$$

A (32) alatti feltétel csak akkor teljesül, ha a két sugár az egy (1) mellett elhanyagolható

hibával egybeesik, azaz a görbület lényegében nem változik meg. Ekkor viszont nem beszélhetünk hajlításról, és így nagy eltolódásokról sem.

$$\Delta/r \approx 1$$

Ebben az esetben a nevezőben és a számlálóban Δ/r helyett 1 írható, következésképpen:

$$\varepsilon_l = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{r}{R} \right) \square 1. \quad (33)$$

A (33) feltétel is csak akkor teljesül, ha a két sugár az egy (1) mellett elhanyagolható hibával egybeesik. A $\frac{1}{2}$ szorzótényező arra mutat rá, hogy egy picinél az r -től jobban eltérő R esetén is fennállhat a (33) feltétel. Például ha $\varepsilon_L = 1/100$ -t kívánunk előállítani, akkora az r/R arány elegendő, ha $1/50$ -nel tér el az egytől, mert a kettővel való osztás majd $1/100$ -at ad ki. Ebben az esetben sem változik meg a görbület lényegében, így ebben az esetben sem beszélhetünk hajlításról, bár nem beszélhetünk nagy eltolódásokról.

$$\Delta/r \ll 1$$

Ebben az esetben a nevezőben a Δ/r hányados az egy (1) mellett elhangolható, tehát írható:

$$\varepsilon_l = \frac{\Delta}{r} \left(1 - \frac{r}{R} \right) \square 1. \quad (34)$$

A (34) alatti feltétel teljesülhet úgy is, hogy ha a két sugár az egy (1) mellett elhanyagolható hibával egybeesik, és úgy is, hogy az Δ/r hányados hanyagolható el az egy (1) mellett. Sőt, ez a hányados akár egy nagyságrenddel, netán nagyságrendekkel lehet kisebb egynél, ezért az $(1 - r/R)$ kifejezés lehet egy, vagy több nagyságrenddel nagyobb. Vagyis a görbület lényegében változhat meg. (Például végtelen sugarú sík papírlapot véges sugarú körhengerré hajlítunk, és viszont.) Ekkor viszont olyan hajlításról beszélhetünk, ami kis alakváltozások mellett nagy eltolódásokkal jár.

A fenti vizsgálatok eredményei a következőképpen fogalmazhatók meg. Tekintsük a vékony héjak és kacsú rudak alakváltozásait. Amennyiben a vékony héjat, illetve a karcsú rudat úgy deformáljuk, hogy a bázisfelülete, illetve bázisgörbéje nyúlásmentes, azaz differenciálgeometriai értelemben hajlítást szenved el, akkor a bázisfelülettől, illetve a bázisgörbétől állandó távolságra lévő (a továbbiakban „párhuzamos”) felületek, illetve görbék nyúlása is elhangolható, mivel közel fekszenek hozzá. A bázisfelület, illetve a bázisgörbe hosszával összemérhető távolságra elhelyezkedő felületek nyúlása már igen jelentős, gondoljunk egy vastag téglatest körhengerré „hajlítására”. Ha a bázisfelület, illetve a bázisgörbe nem nyúlásmentesen deformálódik, de a deformációja kicsi, úgy a bázisfelülettel „párhuzamos” felület, illetve bázisgörbével „párhuzamos” hajlításból származó nyúláshoz hozzáadódik a bázisfelület, illetve a bázisgörbe nyúlása is, de a két kis alakváltozás összege is kis alakváltozás. Például a papírlap hengerré, vagy kúppá való feltekerése, vagy vékony pálca spirálvonalba való feltekerése. Tehát csak a vékony héjak és karcsú rudak hajlítása esetén lesznek az alakváltozások kicsik és az eltolódások nagyok.

Megjegyzés. Egy vékony téglalap „köríves téglalappá” hajlítása kapcsán meghatároztuk az alakváltozásokat, és a vastagság és a rúd hossz, illetve a vastagság és körív sugara arányainak felső határát ahhoz, hogy az alakváltozások nagy eltolódások mellett még kicsik maradjanak, lásd [4,5].

ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmányban a rugalmas testek majdnem mértéktartó alakváltozásait vizsgáltunk. A vizsgálat során bevezettük a kicsi tenzor, a közel fekvő tenzorok, és a majdnem ortogonális tenzor fogalmakat. Bebizonyítottuk, hogy egy tenzor akkor és csak akkor majdnem ortogonális, ha közel fekszik egy ortogonális tenzorhoz.

A rugalmas testek alakváltozásának vizsgálata során az alábbi megállapításokat tettük.

A majdnem mértéktartó leképezése esetén a test pontjainak környezete merevtestszerűen eltolódik, elfordul és egy majdnem ortogonális leképezés deformálja a környezetet.

Kis eltolódások mellett a test alakváltozása majdnem mértéktartó. A test alakváltozását leíró alakváltozási tenzor az eltolódásvektor gradiense tenzorának függvényében lineárizálható.

Vékony héjak középfelületének, illetve karcsú rudak bázisgörbéjének majdnem mértéktartó (majdnem hajlítás) leképezése esetén a vékony héj, illetve karcsú rúd pontjai eltolódásának nagyságától függetlenül a vékony héj, illetve karcsú rúd alakváltozása majdnem mértéktartó. Mind a vékony héj, mind a karcsú rúd alakváltozását leíró alakváltozási tenzor nagy eltolódások esetén az eltolódásvektor gradiense tenzorának függvényében nem lineárizálható.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BUDÓ ÁGOSTON, DR.:** *Mechanika*. Ötödik kiadás. Tankönyvkiadó, Budapest, 1972.
- [2] **GREEN, A.E. – ZERNA, W.S.:** *Theory of Elasticity*. The Clarendon Press, Oxford, 1954.
- [3] **KOBAYASHI SH. – NOMIZU, K.:** *Foundations of Differential Geometry*. I-II. Interscience Publisher, N. Y. – London, 1963-69.
- [4] **LÁMER G.:** Notes on the Theory of Large Displacement with Small Strain = *Periodica Politechnica* 29 (1-2), 1985. pp. 53-65
- [5] **LÁMER G.:** *A kis alakváltozások mellett nagy elmozdulásokat végző tökéletesen rugalmas héjak és rudak elméleteinek matematikai alapjai*. Kandidátusi értekezés. Budapest, 1990.
- [6] **LÁMER G.:** Topológiai eszközök alkalmazásának lehetőségei és korlátai a közegek mechanikai modellezésében. *A XII. Magyar Mechanikai Konferencia* (Miskolc, 2015. augusztus hó 25-27.) *Konferencia kiadványa*. Szerk.: Baksa A. – Bertóti E. – Szirbik S. 211. cikk. 13 oldal
- [7] **LÁMER G.:** Metrikus eszközök alkalmazásának lehetőségei és korlátai a közegek mechanikai modellezésében. *A XII. Magyar Mechanikai Konferencia* (Miskolc, 2015. augusztus hó 25-27.) *Konferencia kiadványa*. Szerk.: Baksa A. – Bertóti E. – Szirbik S. 326. cikk. 13 oldal
- [8] **LOVE, A.E.H.:** *A Treatise on the Mathematical Theory of Elasticity*. Fourth ed. Cambridge, At the University Press, 1927.
- [9] **ЛУРЬЕ, А.И.:** *Теория упругости*. Наука, Москва, 1970.
- [10] **MURNAGHAN, F.D.:** Finite Deformation of an Elastic Solid., *Am. J. of Mathematics*, vol. 59. 1937. pp. 235-260.
- [11] **НОВОЖИЛОВ, В.В.:** *Основы нелинейной теории упругости*. ОГИЗ-ГОСТЕХИЗДАТ, Л-М, 1948.
- [12] **RÓZSA, P.:** *Lineáris algebra*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974.
- [13] **SZÓKEFALVI-NAGY GY. – GEHÉR L. – NAGY P.:** *Differenciálgeometria*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979.

HIPERSPEKTRÁLIS KÉPALKOTÁS ALKALMAZÁSA BÁNYÁSZATI KUTATÁSBAN

APPLICATION OF HYPERSPECTRAL IMAGING IN MINERAL RESEARCH

LÉNÁRT József

Egyetemi tanársegéd, lenart.jozsef@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem Robert Bosch Mechatronikai Intézeti Tanszék

Kivonat: Az UNEXMIN projekt keretében folyik egy autonóm robot tervezése és kivitelezése, amely képes egy elhagyott és vízzel elárasztott mélyművelésű bányába lemerülni, ott tájékozódni, bejárni a vágatokat és útja során számos mérést végezni. Ezek a mérések kettős célt szolgálnak, egyrészt feltérképezi a bányát, másrészt geofizikai és kémiai paramétereket mér, amelyek alapján megállapítható, hogy esetleg érdemes-e újra feltárni a bányát, mert gazdaságosan kitermelhető nyersanyagot tartalmaz. Fontos, hogy a robotnak teljesen önállóan kell elvégezni a méréseket, nem lehetséges sem vezeték, sem vezeték nélküli kommunikációs kapcsolat miután lemerült. Mérésadatgyűjtést végez, mely mért adatok kiértékelése később a felszínen történik. Mivel a méréseket víz alatt kell elvégezni, a tervezett módszerek egy része megvalósíthatatlan, vagy csak korlátozottan megvalósítható. Az egyik használhatónak ítélt mérési módszer a hiperspektrális képalkotás és -elemzés, amely – korlátozottan ugyan – de alkalmazható.

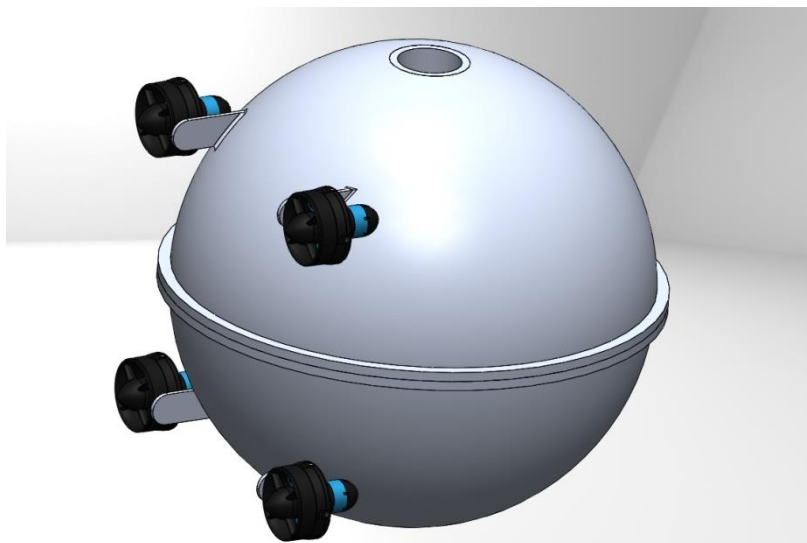
Kulcsszavak: hiperspektrális, képfeldolgozás, robot

Abstract: The goal of project UNEXMIN is to design and build an autonomous underwater robot able to dive into an abandoned flooded deep mine, navigate and mapping the mine and perform measurements. The purpose of the measurements are to create a map of the routes and measure geophysical and chemical parameters to help the decision about re-opening the mine for further production of raw materials. It is important that the robot could be able to perform the measurements independently, wired or wireless communication are impossible inside the mine. Performs data acquisition and the data are analysed later outside on the surface. Some of the planned measurements are impossible or limited under water. Hyperspectral imaging is one of the measurements which – with some limitations – can be carried out.

Keywords: hyperspectral, image processing, robot

1. AZ UNEXMIN PROJEKT

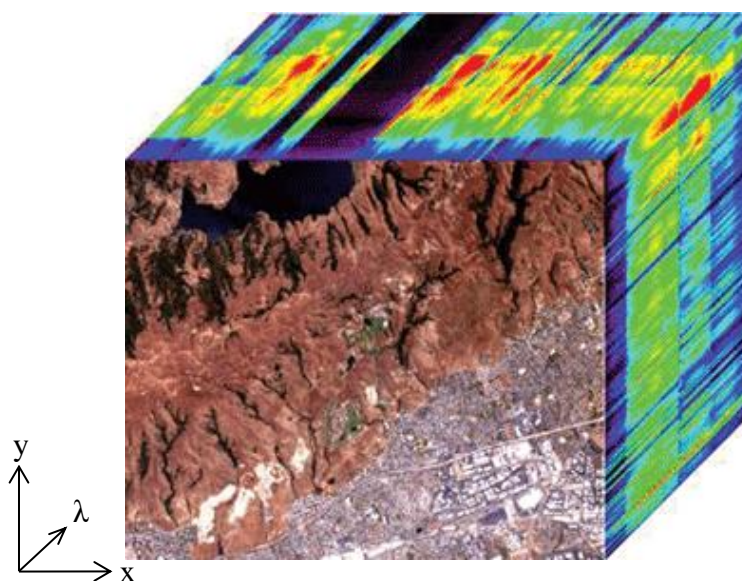
Az UNEXMIN projekt az Európai Unió Horizon 2020 innovációs és kutatási program keretében valósul meg. Célja egy új robotrendszer prototípusának kifejlesztése, mely képes elárasztott mélyművelésű bányák feltérképezésére. A kifejlesztésre kerülő Robotic Explorer UX-1 egy önálló tájékozódásra és mérések elvégzésére képes vízalatti robot lesz. A kialakítandó rendszer célja kettős: egyrészt fel kell térképezni az ismeretlen bányajáratokat, másrészt geofizikai és kémiai méréseket kell végezni, amelyek alapján felderíthetők a bányákban fellelhető nyersanyagok, illetve azok mennyisége. A mért adatok feldolgozása után eldönthető, hogy gazdaságosan újra feltárható-e az adott bánya, onnan nyersanyagok gazdaságosan kitermelhetők-e. A kitermelés újraindítását két szempont indokolhatja: egyrészt a bányászat beszüntetése után maradhatott annyi nyersanyag a vágatokban, amelyek modern technológiákkal gazdaságosan kitermelhetők, másrészt lehetnek lent olyan ásványok, amelyek régen nem voltak fontosak, így nem is keresték, bányászták azokat.



1. ábra. UX-1 koncepcióterv

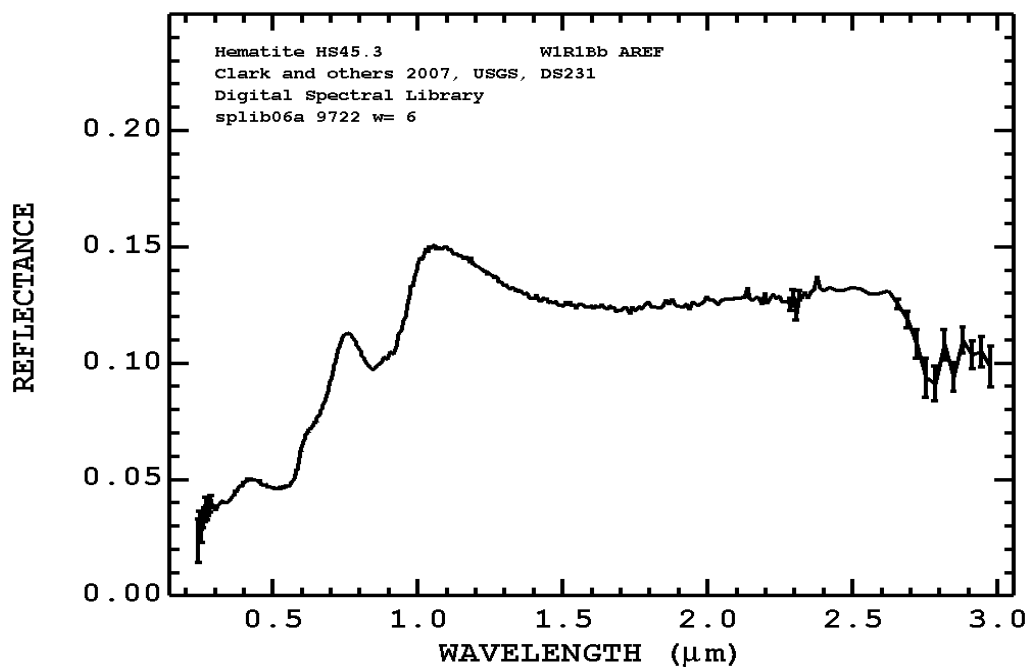
2. HIPERSPEKTRÁLIS KÉPALKOTÁS

Egy hiperspektrális kamerával készített kép egy hagyományos képhez hasonlítható, azonban az X és Y térbeli dimenziók mellett tartalmaz egy harmadik dimenziót, a spektrális dimenziót, azaz minden képpontban egy adatsor jelenik meg, amely a különböző hullámhosszúan mért intenzitást jelöli, ezért szokták ezeket adatkockáknak nevezni. A 2. ábrán egy ilyen adatkocka látható. Leginkább egy RGB színes kamerával szemléltethető, amely minden képpontban három színtkomponens (hullámhossz) intenzitását ábrázolja: vörös (650 nm), zöld (510 nm) és kék (475 nm). A hiperspektrális kamera esetén nem három, hanem legalább 20, gyakran több mint 100 hullámhossz tartomány jelenik meg. Nagyon gyakran nem is csak a látható fénytartományt érzékelik (kb. 400 – 700 nm), hanem az ultraibolya (UV, általában 250 nm fölött) tartománytól a közeli infravörösön (NIR, 750 – 1400 nm) keresztül egészen a hosszuhullámú infravörösig (LWIR, 8 – 15 μm).



2. ábra. Hiperspektrális „adatkocka”

Mivel a különböző ásványok „spektrális ujjlenyomata” ismert, a rögzített képek feldolgozásával feltérképezhető, hogy a bejárt bányában hol milyen ásvány található meg. Referenciaként használhatók az interneten szabadon elérhető és kereshető spektrális adatbázisok, mint a USGS (U. S. Geological Survey) Spectral Library [1] és az ASTER Spectral Library [2]. Ezekben az adatbázisokban kereshető digitális formátumban számos ásvány spektrumképe megtalálható (3. ábra), melyekkel az adatfeldolgozás folyamán összevethetjük a robot útja során rögzített adatokat.



3. ábra. Hematit spektrumdiagramja a $\lambda=0.2 - 3 \mu\text{m}$ tartományban

A spektrumok táblázat formában is elérhetők, így lehetőség van automatikus összehasonlításra, amire szükség is van, mivel rengeteg adat elemzéséről van szó. A robot tervezett maximális működési ideje 5 óra, tervezett sebessége maximálisan 1 m/s, vagyis akár 18 km távot is megtehet egy alkalommal. Az alapos felderítéshez 1-2 milliméteres felbontásra van szükség, tehát elég nagy adatmennyiségről van szó, amely már nem kezelhető manuálisan.

3. HIPERSPEKTRÁLIS KAMERÁK

A hagyományos hiperspektrális kamerák viszonylag nagy és nehéz eszközök, mivel alapvetően három részből állnak: optikából, spektroszkópból és egy kamerából (4/a ábra). A spektroszkóp „bontja szét” a beérkező fényt, hogy a különböző hullámhosszú fénykomponensek megfigyelhetők legyenek. A látható fény tartományában, illetve a közeli infravörös tartományban (kb. 1500 nm-ig) a képérzékelő egy hagyományos CCD, vagy CMOS kamera is lehet, a távolabbi infravörös tartományban azonban speciális, például MCT (Mercury-Cadmium-Telluride, HgCdTe) szenzorra van szükség, amelynek alkalmazása két okból is el lett vetve:

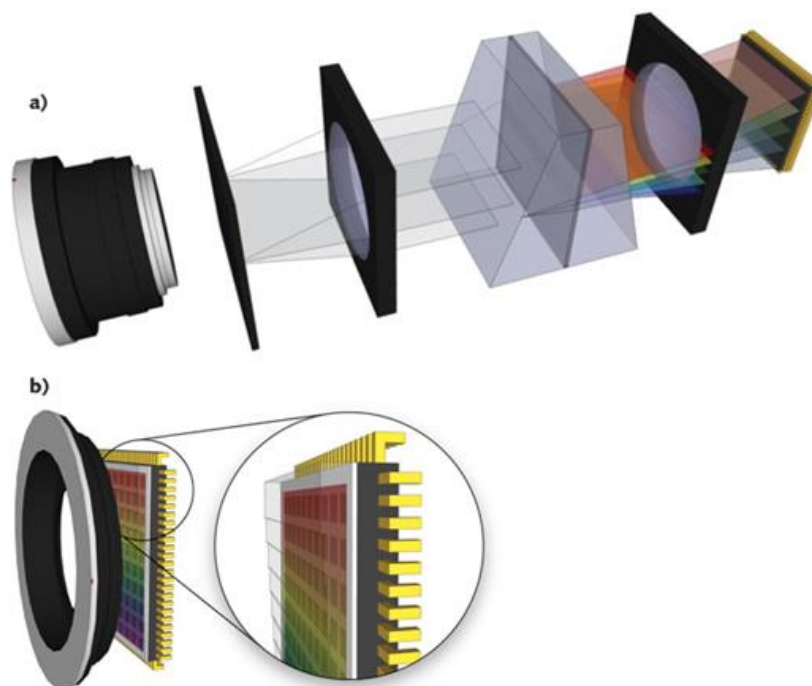
- drága, mivel ritka
- üzemi hőmérsékletét 150 K alatt kell tartani, ami jelentős energiafogyasztással jár

Két fontos kritériumnak kell megfelelnie a kiválasztott kamerának: kicsinek kell lennie, mivel

a robotban kevés a hely, valamint alacsony energiafogyasztásúnak kell lennie, mert a tervezett akkumulátoros üzemidő 5 óra.

Érdekes fejlesztés a belga IMEC kutatóközpont által tervezett és gyártott hiperspektrális képszenzor (4/b ábra), amely egyesíti a hagyományos HSI kamerák optikai rendszerét és integrálja közvetlenül a CMOS képszenzor felületére. Nagy előnye, hogy rendkívül kis méretű kamera építhető segítségével, valamint már létező ipari kamerák minimális átalakítással – gyakorlatilag a képszenzor cseréjével – hiperspektrális kamerákká alakíthatók. Hátránya, hogy jelenleg csak a látható és a közeli infravörös fénytartomány érzékelésére alkalmas.

Mivel a víz az infravörös fény jelentős részét elnyeli [3], arra a következtetésre jutottunk, hogy az alkalmazásra kerülő kamerának a 400 – 1000 nm hullámhosszúságú fénytartományt kell érzékelnie.



4. ábra. a.) hagyományos HSI kamera felépítése, b.) az IMEC által fejlesztett képszenzor

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **R. N. CLARK, G. A. SWAYZE, R. WISE, K. E. LIVO, T. M. HOEFEN, R. F. KOKALY, S. J. SUTLEY**, *USGS Digital Spectral Library splib06a*, U. S. Geological Survey, Data Series 231.
- [2] **BALDRIDGE, A. M., S.J. HOOK, C.I. GROVE AND G. RIVERA**, *The ASTER Spectral Library Version 2.0*. Remote Sensing of Environment, vol 113, pp. 711-715., 2009.
- [3] **M. CHAPLIN**, *Water Absorption Spectrum*, Water Structure and and Science, 2016.

A PROPÁN-BUTÁN GÁZ ÉS GÁZOLAJ EGYÜTTES ALKALMAZÁSÁNAK HATÁSA A DÍZELMOTOR ÜZEMÉRE

EFFECT OF LPG-DIESEL OIL CONTENT FUEL UTILIZATION IN DIESEL-ENGINES

LENGYEL Antal¹, KRAJNYIK Károly², LAJTOS István³

¹ny. főiskolai tanár, lengyel.antal@nye.hu,

¹Nyíregyházi Egyetem, Műszaki és Agrártudományi Intézet, Jármű- és Mezőgazdasági Géptani Tanszék

²műszaki oktató, krajnyik.karoly@nye.hu

²Nyíregyházi Egyetem, Műszaki és Agrártudományi Intézet, Jármű- és Mezőgazdasági Géptani Tanszék

³műszaki oktató, lajtos.istvan@nye.hu

³Nyíregyházi Egyetem, Műszaki és Agrártudományi Intézet, Jármű- és Mezőgazdasági Géptani Tanszék

Kivonat: Szakirodalmakban a fajlagos fogyasztás és a károsanyag kibocsátás csökkenéséről jelennek meg utalások a különböző gáz (CNG, LPG) és gázolaj hajtóanyag együttes alkalmazásról, valamint azok kedvező hatásairól. Fontos eleme a motorüzemnek a fogyasztási jellemző, melyet egy számmal megadni – a l/100 km értékkel – nem lehet. Ez leginkább a fajlagos fogyasztással lehetséges, amelyről tudható, hogy nagymértékben befolyásolja a motor fordulatszámát és terhelését. Ugyancsak fontos befolyásoló tényezője a fajlagos fogyasztásnak a motorok hajtóanyag-ellátó rendszer kialakítása. Az utóbbi években a Diesel-motor tüzelőanyag-ellátó rendszerek közül a legmeghatározóbbá a Common Rail rendszerek váltak, amelyek használata ma kisebb fajlagos fogyasztást és károsanyag-kibocsátást eredményez. Az eddig megjelent szakmai közlemények alapján kutatási munkánkban méréseket végeztünk egy Common Rail rendszerű, turbófeltöltéses és füstgáz visszavezetéssel rendelkező négyhengeres Diesel-motoron arra, hogy a gáz (LPG)-gázolaj tüzelőanyag vegyes üzemben milyen változások lehetnek a motor teljesítményében, tüzelőanyag fogyasztásában és a füstgáz összetételében. A vizsgálatokhoz a vegyes üzemmódban különböző gázadagoló készülékeket használtunk, figyelembe véve a gyártók szakmai tapasztalatait a motorfékpadi méréseknél. Ugyanazon terheléseknél gázolaj és gázolaj-LPG-gáz különböző gyártmányú keverékeivel végeztünk méréseket, amelyek eredményei alapján értékeltük a különböző üzemmódokat, s megállapításokat teszünk a gázolaj-LPG vegyes hajtóanyag használatára, a füstgázösszetételre, és a motor fajlagos fogyasztására.

Kulcsszavak: motorikus égés, fajlagos fogyasztás, gyulladási hőmérséklet, füstgáz-összetevők, Diesel-motor

Abstract: Several professional articles are published about the specific consumption and the emission reduction, the simultaneous utilization of fuel with gas (CNG, LPG) and diesel fuel content as well as its beneficial effects. Consumption is a significant element of the engine operation which cannot be indicated with merely one value (for example liter/100 km value). Indicating consumption characteristics is mainly possible with specific consumption which is highly influenced by engine speed and load. A further factor influencing specific consumption is the fuel supply system of the engine. In recent years, Common Rail systems became predominant among fuel supply systems. They enable lower specific consumption and emission values. Based on previous survey results and our four cylinder supercharged Diesel engine with Common Rail system and EGR, we extended our research to determine how the hybrid fuel—LPG and diesel oil—operation can be realised and what differences this makes concerning engine performance, fuel consumption and emission components. For measurement reasons, in hybrid operation mode we used different gas injection pumps, considering the manufacturers' experiences at engine test bench measurements. At identical loads, we carried out measurements using merely diesel oil and different mixtures of diesel oil and LPG. Based on their results, the different operation modes were assessed. Moreover, we deliver statements concerning the usage of diesel oil and LPG, emission components and specific consumption.

Keywords: engine combustion, specific consumption, ignition temperature, exhaust gas components, Diesel engine

1. BEVEZETÉS

A haszongépjárművek Diesel-motorainak teljesítménye az utóbbi években jelentősen megnövekedett, amit meghatároz hajtóanyag-bejuttatás módja és a lejátszódó motorikus körfolyamat hőhasznosulása. A kedvezőbb égési folyamatok környezeti kibocsátások vonatkozásában jobb mutatókkal rendelkeznek [1]. Napjaink Diesel-motorjait – a terhelés függvényében változó – befecskendezési nagy nyomás jellemzi.

Vannak országok – pl. Németországban, Ausztriában, így Magyarországon is – felvetődött az a gondolat, hogy a haszongépjárművek üzemében ár és környezetvédelmi szempontok miatt a Diesel-motorok gázolaj hajtóanyagát valamilyen részarányban, például különböző összetételű gázokkal (LPG, CNG, stb.) lehetne helyettesíteni. Felvetődik a teljes vagy részleges helyettesítése más, kisebb adótartalmú és árú motorhajtóanyagokkal, például LPG-vel való helyettesítése, azonban ezt ma biztonsági okok miatt nem engedélyezik.

A gázolaj – LPG keverékű motorhajtóanyaggal végzett kísérleteknél több kutató foglalkozott az keverék üzem optimalizálásával, aminek eredményei nem mindenben azonos megítélésűek. A szakirodalomban az alkalmazott kísérletek motorai a közvetlen befecskendezésnek, az osztatlan égéstér, 1 vagy 4 hengeres kivitel volt a jellemző [3, 4, 7].

A vizsgálatok a kibocsátott füstgázok összetételének elemzésére irányulnak alapvetően. A felhasznált szakirodalmak vizsgálata kiterjedtek a gázolaj – LPG összetételű motorüzemekre, a különböző részarányú LPG használatára, illetve az LPG-n belül a propán és bután arányokra is [6]. Az LPG és gázolaj különböző fűtőértéke miatt a mért motoroknál a fogyasztási jellemzőket nem tömegben fejezték ki, hanem hőegységre vetítve. Az LPG részarányt a mérés alatti keverékben az alábbi összefüggés alapján számították ki.

$$g_{LPG} = \frac{m_{LPG} H_{i_{LPG}}}{m_{go} H_{i_{go}} + m_{LPG} H_{i_{LPG}}}, \quad (1)$$

ahol:

- m_{LPG} – a felhasznált LPG gáz tömege;
- m_{go} – a felhasznált gázolaj tömege;
- $H_{i_{LPG}}$ – az LPG gáz fűtőértéke;
- $H_{i_{go}}$ – a gázolaj fűtőértéke.

A hőbevitel szempontjából jellemző fűtőérték meghatározása a $H_{i_{kev}} = g_{go} \cdot H_{i_{go}} + g_{LPG} \cdot H_{i_{LPG}}$ összefüggés szerint történt [11]. Erre azért van szükség, hogy a gázolaj-LPG-gáz keveréke az égéshő arányába legyen megadva az összehasonlíthatóság pontosság érdekében.

A szakirodalmak egymástól függetlenül hasonló égésterű, de nem időszabályozású adagolással működő motorokon elvégzett kísérletek eredményei alapján a füstgáz összetevőire az alábbiakat állapították meg:

- A szénhidrogén (CH) kibocsátás tekintetében [7] végzett mérések szerint a HC-kibocsátást a tiszta gázolaj üzemmódban a vizsgált motornál 1200-2200 1/min tartományban teljes motorterhelésnél mindig kisebb volt, mint a gázolaj – LPG keveréknél. Teljes terhelésnél a fordulatszám növekedésével a HC-kibocsátás csökkenő

tendenciájú, nem csak a gázolajra, hanem a gázolaj – LPG keverékeknél is. A vizsgálatokban a gázolaj-LPG üzemmódban az LPG tömegrésze 5-10-15-20%-ra volt beállítva, aminél a HC-kibocsátása 5-15%-kal magasabb volt a tiszta gázolajos üzemmóddhoz viszonyítva. Hasonló mérési eredmények ismeretesek [1], amikor állandó fordulatszámánál különböző részterheléseknél vizsgálták a HC-kibocsátást csak gázolaj és csak LPG hajtóanyagoknál. Az ismertetett mérési eredmények alapján a motor részterhelésénél 3-5-ször nagyobb a különbség, amely a terhelési tényező növelésével a kibocsátás kiegyenlítődése irányába tendált, sőt meg is haladta a tiszta gázolaj kibocsátását. A mérések eredményei szerint 100%-os motorterhelésnél a tiszta LPG üzemmód HC-kibocsátása 20-30%-kal nagyobb gázolajos üzemmóddhoz viszonyítva [11].

- Diesel-motoroknál fontos a kipufogógáz szénmonoxid (CO) tartalom, amely az égési folyamat minőségére utal. Szakirodalmakban [1, 8, 12] a motor által kibocsátott kezeletlen füstgázoknál a terhelés növekedése mutat csak csökkenést egy-egy gázolaj-LPG összetételnél, de a tényleges kibocsátás a tiszta gázolaj üzemmóddhoz viszonyítva 1000-3000 ppm-mel nagyobb értékű. A CO-kibocsátás tiszta gázolaj üzemmód esetén a motor terhelési viszonyainak növekedésével növekvő tendenciájú (1500 ppm-ről 2000 ppm-re), míg a gázolaj-LPG üzemmódnál csökkenő tendenciájú (3500 ppm-ről 2000-2500 ppm-re). Ennek ellenére a mérések [1] szerint még 100%-os motorterhelésnél is nagyobb a CO-kibocsátás, amit a szerzők szerint az LPG jelenléte okoz.
- Több vizsgálati eredmény szerint a Diesel-motor üzeméről megállapítható, hogy a gázolaj és az LPG együttes alkalmazásánál a tiszta gázolaj üzemmóddhoz képest romlik a motorikus égés minősége, ami a NO_x növekedését eredményezi. Erre utalnak a [1, 3, 12, 13] szakirodalomban megjelent közlemények. A gázolaj és LPG különböző tömegrészarányú keverékeknél állandó fordulatszámánál a terhelés növekedésével az NO_x 50-150 ppm-től 300-450 ppm-re nő exponenciálisan [5]. A mérési adatok [9, 10] alapján az LPG – gázolaj összetételű hajtóanyagoknál az LPG belüli propánarány-csökkenés kedvezően befolyásolja a NO_x képződését. Ebben a szakirodalomban [5] közölt mérések szerint az LPG 30%-os propán és 70%-os bután részarányú összetételénél a terheléstől függetlenül az átlagos kibocsátási különbség 1/3 arányú a 100%-os bután tartalomhoz és a tiszta gázolajhoz viszonyítva, vagyis megállapítható, hogy a butántartalom kedvező hatást gyakorol a NO_x -kibocsátásra.
- A füstölés vagy füstérték is rendkívül kedvezőtlen terméke a Diesel-motoroknak. Az [1, 14] és más szakirodalmak arra utalnak, hogy a motorterhelés növekedésével különösen a gázolaj üzemmódnál 3-7-szeres a füstkibocsátás növekedése. Ezzel szemben tiszta LPG üzemű Diesel-motornál ez az érték 2-4-szeres nagyságú. A gázolaj és a tiszta LPG üzemmód közötti különbség [1, 2] szakirodalmak szerint 20%-os motorterhelésnél a $K = 0,5 - 0,1 = 0,4 \text{ m}^{-1}$, míg 100%-os motorterhelésnél a $K = 3,5 - 0,6 = 2,9 \text{ m}^{-1}$ -re adódik a csökkenés a mérések szerint, mivel a gyújtás miatt a tiszta LPG más üzemmódú motorként üzemel. A befolyásolás hatásának számszerűsítését az általunk vizsgált szakirodalmak nem tartalmazzák, ezért pontos értékek nem lelhetők fel.

Összefoglalva a témában eddig végzett vizsgálatok hagyományos Diesel-befecskendezésekkel történtek. Napjaink Diesel-motorjai a változtatható nagynyomású és többciklusú idővezérlési befecskendezést megvalósító rendszerekkel szerelték. Ezeknek a motoroknak LPG keverékes vizsgálatokra nem állnak rendelkezésre publikációk. A gázolaj-

LPG üzemmódú rendszerek a gazdasági előnyei miatti alkalmazása csak akkor támogatandók, ha az alkalmazásnak minden tekintetben vannak előnyei, amik kísérleti eredményekkel igazolhatók. További munkánk ezeknek a meghatározására irányul. Vizsgálatainkban egy Common-Rail rendszerű motornál végeztünk méréseket, s annak alapján kívánunk választ adni a motor meglévő szabályozási rendszerének, környezeti kibocsátásainak és motor üzemi jellemzőinek változására a tiszta gázolaj és az LPG – gázolaj üzemű motorüzemben.

2. A MÉRÉSI MÓDSZER ÉS ESZKÖZEI

A megvizsgált szakirodalmak mérései minden esetben hagyományos, közvetlen befecskendezésű Diesel-motorokkal történtek. Vizsgálataink arra irányultak, hogy lehetséges-e a vegyes üzemmód megvalósítása Common-Rail rendszerű hajtóanyag-ellátás esetén, ezért méréseinkhez az 1. táblázat szerinti műszaki adatokkal rendelkező motort alkalmaztuk.

Jellemzők	Adatok
Névleges motorteljesítménye:	104 kW (139 LE)/2200 f/min
Legnagyobb nyomatéka:	480 Nm/1600 f/min
Feltöltési rendszere:	Változó geometriájú turbófeltöltés, visszahűtött levegőbevezetés, EGR rendszerű füstgáz visszavezetés, maximális feltöltési nyomás 1,3 bar
Hengerelrendezése:	4 hengeres álló soros kivitelű, nedves persely megoldás
Henger/löket méretek:	Ø 106 mm L = 127 mm
Lökettérfogata:	4,5 l
Kompresszió viszony:	19,0:1
A motor befoglaló méretei:	hossza: 860 mm, szélessége: 612 mm, magassága: 1039 mm
A motor súlya:	491 kg
Környezetvédelmi megfelelése:	TIER 3 követelmények kielégítése
Befecskendező rendszer:	Common Rail, 1975 bar kétfázisú befecskendezéssel
Levegőellátó rendszere:	DOHC szelep elrendezés, hengerenként 4 szeleppel
Hűtési rendszere:	Kétvízkörös, termosztát szabályozású, 82-95°C hőmérsékletű.

1. táblázat. A vizsgálathoz használt motor jellemző műszaki adatai

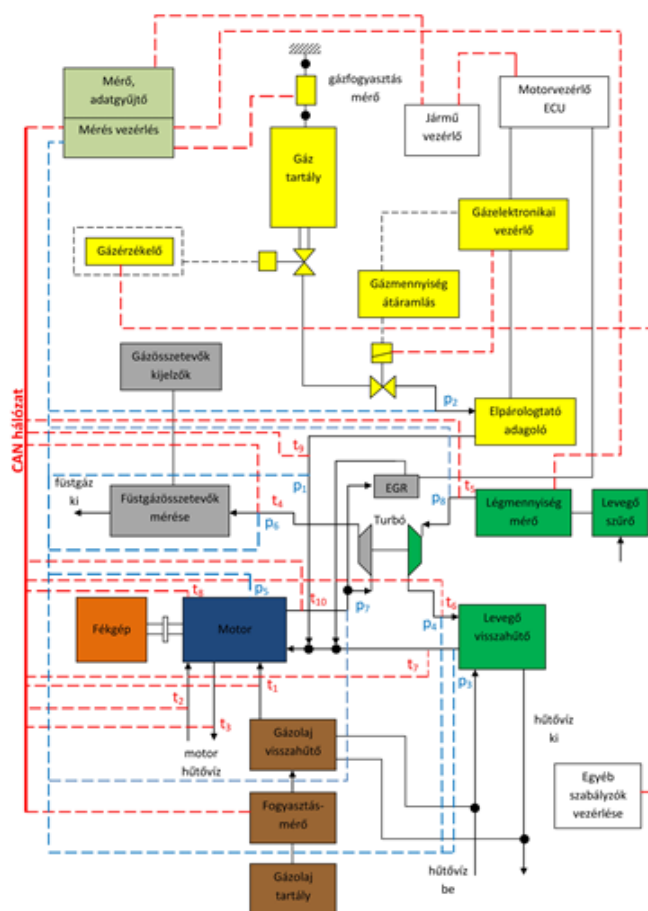
A méréseket a Nyíregyházi Egyetem Műszaki és Agrártudományi Intézetének Jármű- és Mezőgazdasági Géptani Tanszékének motorféktermében végeztük. A fékteremben kialakított mérőrendszer felépítését az 1. ábra mutatja. A mérési folyamat kialakításánál a használt LPG gázadagoló készülékek kiegészítő eszközként lettek felszerelve, amelyek működtetését a motor elektronikájától független vezérlőelektronika végezte. A vizsgált LPG gázadagoló vezérlőelektronikák működtető jeleket a motor főtengelyének fordulatszámától és a gázpedál-állás helyzetét jelző szenzorról vettük a gyártó útmutatása szerint. Az LPG adagolását a vizsgált rendszerek a fordulatszám és a gázpedál állás függvényében határozták meg, így a motorba bevitt gázolaj–LPG arány állandó értéken tartása nem, vagy csak nagyon korlátozott feltételek között volt megvalósítható. Az LPG gázállapotú bevitele a motor turbófeltöltője előtt elhelyezett gázadagolóval légnemű állapotban a szívócsőbe áramló levegőáramba történt.

A vizsgálatok két részre oszthatók, az első mérési sorozat esetén a teljes terhelés melletti jelleggörbe felvételénél a mérési pontok adatait a leszabályozási fordulatszámától (2300 f/min) 50 f/min-ként csökkentve egészen 1500 f/min-ig határoztuk meg. A motor alsó 1500 f/min fordulatszámát az LPG-t adagoló készülékek gyártói határozták meg szubjektív alapon.

A másik sorozat estén a motor különböző fordulatszámain és 100 – 75 – 50 – 25%-os terhelési tényezőjénél a teljesítmény, nyomaték, fajlagos fogyasztás és a füstgáz összetételének (füstérték, CO₂, CO, NO_x, HC, O₂) mérése történt. A terhelési tényező alapján az egyes vizsgált fordulatszámokhoz meghatároztuk a fékpadnál automatikusan beállítható terhelő nyomatékot. Az 1. ábra szerint kialakított mérőrendszer elemeinek, valamint az 1999/96 EK és módosításai szerinti mérési pontosságokat a 2. táblázat tartalmazza. A relatív pontossági értékek mindig a mért értékre vonatkoznak.

Mérőeszközök megnevezése	Rendelet szerinti megengedett pontosság	Mérőrendszer (1. ábra) elemeinek mérési pontossága
Füstölésmérő	± 1%	± 1%
Nyomatékmérés	± 3%	± 0,5%
Hőmérsékletmérés	± 2%	± 0,4%
Légtömegmérés	± 2%	± 0,5%
Nyomásmérés levegő jellemzőknél	± 0,1 kPa	± 0,02 kPa
Fordulatszám	± 2%	± 2%
Fajlagos fogyasztás	± 2%	± 2%

2. táblázat. A méréshez használt eszközök szerinti és az 1999/96/EK rendelet mérési pontosságai



1. ábra. A mérőrendszer kialakítása

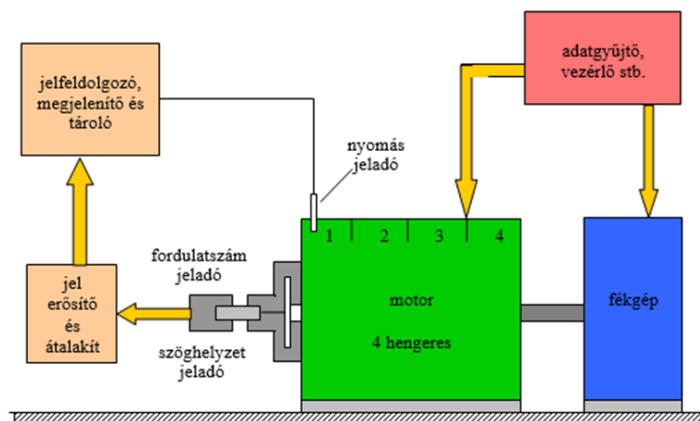
t_i – hőmérséklet mérési pontok, p_i – nyomásmérési pontok
 - - - - - jeltovábbító-hálózat; ——— közegelvezető csőrendszer

A mérésnél a fordulatszámok és a teljesítmény beállítását az örvényáramú motorfékpad vezérlőautomatikája végezte, amelynek mérési pontossága megfelel az Európai Parlament és Tanács 97/68/EC előírásoknak. A beállított és állandósult munkapontban a tüzelőanyag-fogyasztást tömegméréssel határoztuk meg. A tömegmérés ideje 3 perc volt, hogy minél kisebb legyen a mérési hiba.

A gázolaj – LPG hajtóanyag üzemmód esetén a mérési pontokat – a motor üzemmód okozta egyenlőtlen járása miatt – nem lehetett mindig pontosan beállítani. A tisztán gázolajos méréseket ötszöri ismétléssel végeztük el, s a mért értékek szórása nem haladta meg a $\pm 2\%$ -ot. Az ismételt mérési eredmények átlagát, mint mérési pontértéket vettük figyelembe. Az öt mérési pont számtani átlagától $\pm 2\%$ -nál nagyobb mértékben eltérő mérési eredményt – hibás mérésnek tekintve – figyelmen kívül hagytuk és újra elvégeztük a figyelembe vehető mérési adatoknál a számításokat. Így néhány mérési pontnál a figyelembe vehető mérési pont értéket négy mérési adatból kellett megállapítani. A négy adatból számított átlagérték megfelelt a már említett mérési pontossági követelményeknek, valamint a mérések ismétlési gyakorisági követelményeknek. A gázolaj – LPG hajtóanyag összetételű üzemmód esetében a $\pm 5\%$ szórást meghaladó mérést figyelmen kívül hagytuk, ügyelve arra, hogy legalább három mérési eredmény számára 5% -on belül legyen az értékeléshez. Mérési pontként legalább három értékelhető mérés értékének az átlagát használtuk fel a kiértékelésnél. A gázolaj – LPG hajtóanyag üzemmódú méréseknél a gázadagoló vezérlési rendszere által mutatott értékek lettek beállítva, amelyek nem mindig tették lehetővé, hogy a mérési folyamat pontjainál egy-egy terhelésnél a gázolaj / LPG arány állandó legyen.

A gázolaj / LPG arány állandóságát – az LPG adagolószervezetnek a motor fogyasztásától függetlenül állítható gázmenyisége miatt - a vizsgált három féle gyártmányú gázadagoló készülék egyike sem tudta biztosítani, így a motor fordulatszám-jelleggörbéit csak gázolaj üzemmódra lehetett meghatározni. Részterheléseknél a gázolaj – LPG különböző összetételénél a motorjellemzőket csak bizonyos fordulatszámokon részterheléssel és $\pm 3\text{-}5\%$ -os szóródással tudtuk megmérni. Ezeknél a méréseknél a motor terhelési tényezői és fordulatszámjai is meghatározók voltak. Teljes terhelésnél egyféle gázolaj – LPG összetételnél tudtunk háromszori ismétléssel mérést végezni a motor 1500-3000 f/min tartományában. A gázfogyasztás mérése a motor gázolaj – LPG üzemmódú állapotának állandósulása esetén 3 perc stabil munkapontú idejű tömegméréssel történt. A mért tömegek arányaiból a fűtőértékek és a tömegarány figyelembevételével került meghatározásra a vegyes hajtóanyagú fajlagos fogyasztás gázolaj egyenértékre átszámítva.

A motorban lejátszódó égési folyamat detektálását a 2. ábra szerint kialakított indikálási módon végeztük.



2. ábra. A motorindikálás folyamatának elvi felépítése

A motor indikálásához a nyomásadó piezoelektromos kristályt az izzítógyertya helyére építettük be, míg a dugattyú utat jelölő szögjeladót a motor főtengelyére szerelve vettünk fel kiterített indikátordiagramokat. Az így mért értékek COMBI - Combustion Indication - Smetec rendszer segítségével kerültek rögzítésre és kiértékelésre. A motor füstgázának összetételét egy AVL gyártmányú készülékkel a fogyasztás mérésével egyidőben végeztük, a füstgáz elvezetésére kialakított mellékáramban 70-80°C-ra hűtve. A füstgáz-összetétel jellemzőinek mérési elrendezését az 1. ábra mutatja.

3. A MÉRÉSI EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

A mérési eredmények ötszöri ismétléssel kerültek felvételre, amelyekből átlagot számolva elvégeztük minden mérési pontra az átlag és a szórás számítását az alábbi összefüggések szerint:

- Az egyes fordulatszámokhoz tartozó mérési eredmények átlaga az $\overline{X_{ni}} = \frac{\sum_{i=1} X_{ni}}{Z_i}$, ahol

X_{ni} a beállított fordulatszámhoz tartozó mért értéket jelenti, míg a Z az ismétlésenként mért értékek száma.

- A számított átlagértékekből meghatároztuk a mérési pontokhoz tartozó szórást (σ) a

$$\sigma = \sqrt{\frac{(X_{ni} - \overline{X_{ni}})^2}{Z}}$$

összefüggéssel. A mérés ismeretében megvizsgáltuk, hogy az

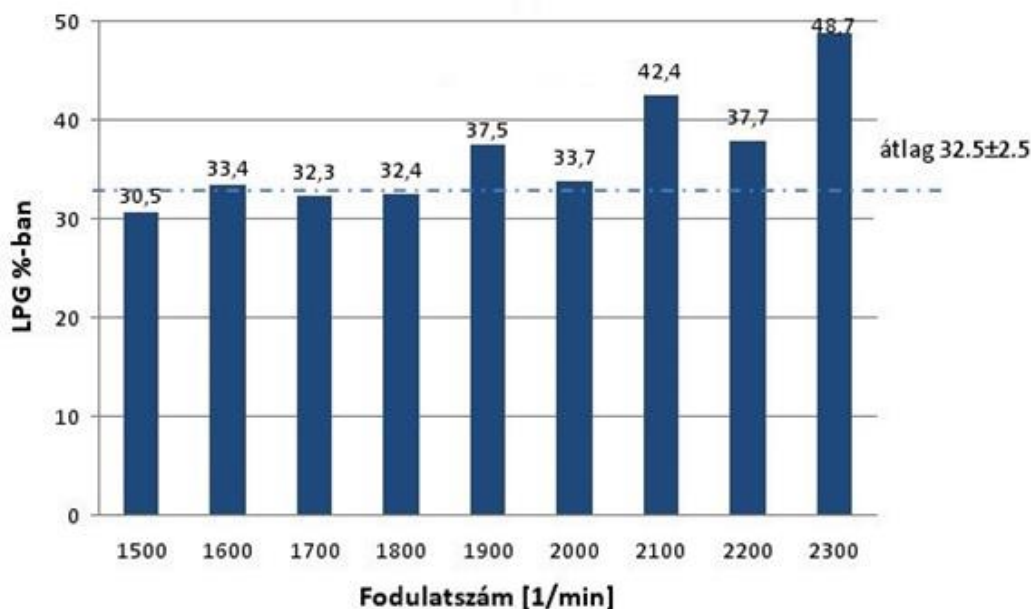
$\overline{X_{ni}} \pm \sigma \geq X_{ni}$ összefüggés teljesül-e az adott mérési pont mért értékénél. Amennyiben nem teljesült a feltétel, azt a mérési értéket kihagytuk a mérési ponthoz tartozó értékek átlagának számításából, és újra számítottuk a mérési ponthoz tartozó átlagokat és szórásokat. Ezzel az adatértékelési módszerrel pontosítottuk az ismétlések közötti eltéréseket. Ezt a számítási módszert minden mérési adatfeldolgozásnál alkalmaztuk. A következőkben ezeket a terhelési tényező függvényében mutatjuk be és adunk magyarázatot a motor működésére.

A megvizsgált háromféle gázbefecskendező berendezés és a motor elektronikus vezérlőkészülékei között kommunikáció csak egy berendezésnél volt. Az LPG gázadagoló készülékek üzem közbeni szabályozása – a kapcsolat módjától függetlenül – nem tették lehetővé a gázolaj és LPG arány pontos szabályozását, ezért az eredményeknél a pontos arány nem mindig volt állandó. Az elfogadható állandóságú keverési arányt az egyes mérési fordulatszámoknál egyedi beállítással kellett eszközölni. Ettől függetlenül az értékelés eredményei megmutatják, hogy egy gázolaj üzemre tervezett Diesel-motor üzemének átállítása gázolaj – LPG üzemmódra milyen változásokat eredményez a motor füstgáz összetételében, a fajlagos fogyasztásban, illetve a motorban lejátszódó égésben. Az értékelést a motor fajlagos fogyasztása és a füstgáz mért jellemzőinek összehasonlításával végezzük el.

3.1. A fajlagos fogyasztási jellemzők elemzése

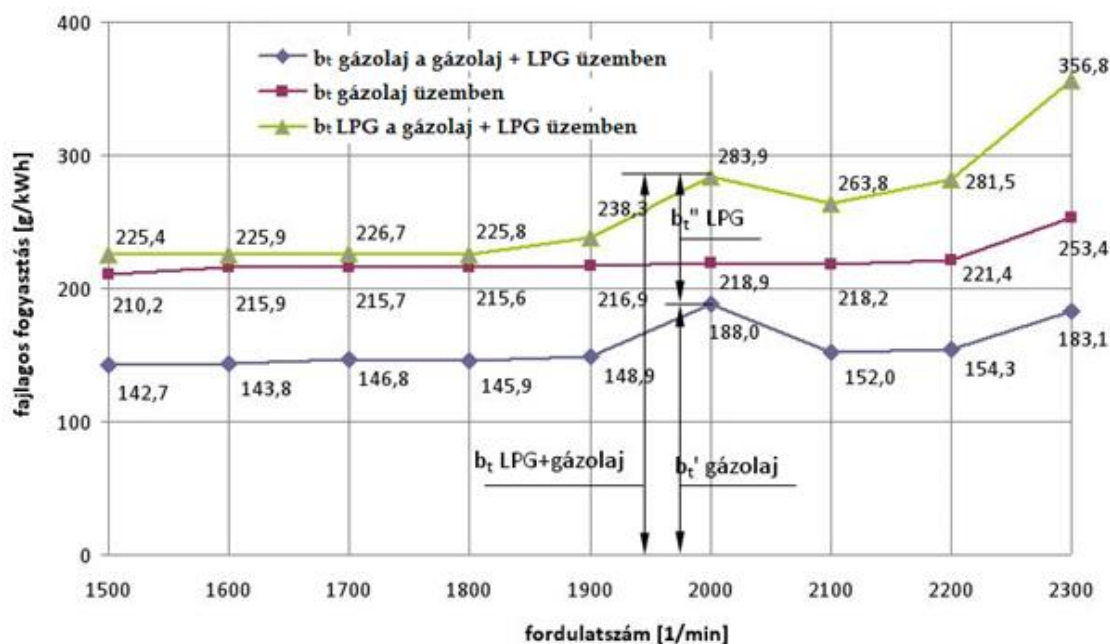
A három gázadagoló készülék közül a motor elektronikus vezérlésével összekötött vezérlésű gázadagolónál a 3. ábra szerinti gázolaj – LPG állandó aránya volt beállítható, az 1500-2300 f/min fordulatszám-tartományban. A méréseket 100 f/min fordulatszám különbségekkel végeztük el. Számításaink alapján az átlagos szórás kétszeresét meghaladó

mértékű volt az eltérés a mérési pontokban 95%-os valószínűségi szinten. A 3. ábra szerinti mérési eredmények alapján megállapítható, hogy az átlagérték ($\bar{X} = 32,5\%$) és a szórás ($2\sigma = 2,5$) alapján az LPG/gázolaj arány állandó értéke nehezen biztosítható, ami együtt jár a motor instabil üzeműjával.



3. ábra. Az LPG tömegaránya az LPG – gázolaj keverékben teljes terhelés esetén

A tiszta gázolaj és a 3. ábra szerinti gázolaj – LPG összetételű keverékkel 100% motorterhelésnél végzett mérésekből számított fajlagos fogyasztások alakulását a 4. ábra mutatja.



4. ábra. A fajlagos fogyasztás LPG + gázolaj és gázolaj hajtóanyagoknál 100% motorterhelésnél a motor fordulatszáma függvényében

Jól látható, hogy a tiszta gázolaj üzem esetén a fajlagos fogyasztás jelleggörbe egy szabályos motor üzemmodot mutat. Ezzel szemben a gázolaj – LPG üzemmodban a motor az 1900-2100 f/min fordulatszám-tartományban – ahol a gyártó szerinti fordulatszám – teljesítmény jelleggörbén a motornak állandó teljesítményt kell biztosítani – nem tudja megtartani a gázolaj üzemmodra jellemző egyenletes fajlagos fogyasztású működési modot. Mind a motor, mind az LPG adagoló vezérlő elektronika beavatkozik és megváltoztatja a fajlagos fogyasztási viszonyokat. Az LPG – gázolaj üzemmodban a fogyasztásmérővel külön mért gázolaj és LPG fogyasztási értékekből a számított fajlagos fogyasztást a 4. ábrán láthatóan gázolajra átszámítva mutatjuk be. A gázolajra való átszámítást a fűtőértékek arányában végeztük az alábbiak szerint:

$$b''_{t_{LPG}} = \frac{m_{LPG}}{P_{mért}} \cdot \frac{H_{i_{LPG}}}{H_{i_{gázolaj}}}, \quad (2)$$

ahol:

$b''_{t_{LPG}}$ – az LPG részarány fajlagos fogyasztása gázolajban kifejezve az LPG + gázolaj üzemmodban;

$b'_{i_{gázolaj}}$ – fajlagos fogyasztás az LPG + gázolaj üzemmodban;

m_{LPG} – a mérési időre eső LPG fogyasztás;

$P_{mért}$ – motor mért teljesítménye;

$H_{i_{LPG}}$ – az LPG mért fűtőértéke, 45000kJ/kg;

$H_{i_{gázolaj}}$ – a gázolaj mérésel megállapított fűtőértéke, 42500 kJ/kg.

Az LPG – gázolaj egyenértékéből a fajlagos fogyasztás az alábbiak szerint számítható:

$$b_{t_{LPG+gázolaj}} = b'_{i_{gázolaj}} + b''_{t_{LPG}}, \quad (3)$$

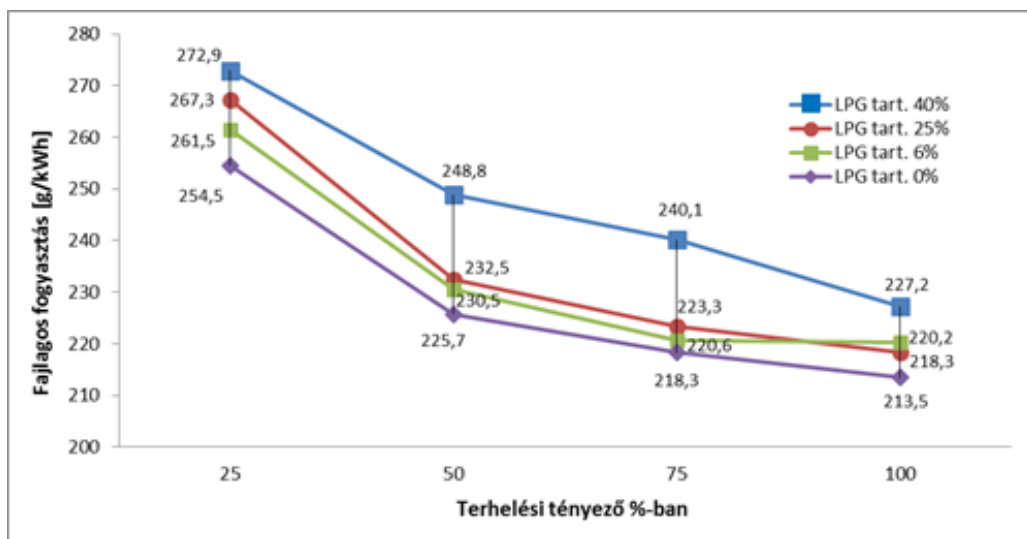
Az ötszöri ismétléssel elvégzett mérések eredményei alapján az LPG + gázolaj üzemmodú motorüzem fajlagos fogyasztások a tiszta üzemmodhoz viszonyítva az 1500-1900 1/min fordulatszám-tartományban 5,0 g/kWh \pm 2,0%-kal, míg a 2000-2200 1/min fordulatszám-tartományban 16,5 g/kWh \pm 6%-kal voltak magasabbak. A másik két gázadagoló készüléknél a fajlagos fogyasztás mérési eredményeinek szórása nagyobbak voltak az LPG mennyiségnek az adagnagyságon belüli változása miatt, így a méréshez alkalmazott rendszerek nem voltak összehasonlíthatók. A fajlagos fogyasztás eltéréseben bekövetkező változás a motor 1900 f/min fordulatszámánál kezdődött, ami a 4. ábrán jól látható. Ennek érdekében az 1950 f/min értéknél az előzőektől eltérően más-más LPG részarányánál és részterhelésnél is végeztünk méréseket a fajlagos fogyasztásra, amelyek eredményeit az 5. ábra tartalmazza. Ezen a ponton a 4. ábrán látható eredményeknél használt gázadagoló készüléknél 6-25-40% LPG-tartalmú LPG-gázolaj tüzelőanyagának és a tiszta gázolajnak a fajlagos fogyasztásait mértük 25-50-75-100% terhelési viszonyoknál. A mért fajlagos fogyasztás értékei az egyenértékű fajlagos fogyasztásnál a terhelési tényező növekedésével minden LPG – gázolaj arányánál csökkenő tendenciát mutatott, ugyanakkor, ha megvizsgáljuk az LPG részarány függvényében a fajlagos fogyasztásokat, akkor a fajlagos fogyasztás növekedése állapítható meg a 3. táblázat szerint.

Motor terhelési tényező	Fajlagos fogyasztás LPG – gázolaj arány %-ban [g/kWh]							
	0%	bázis %*	6%	növekedés %	25%	növekedés %	40%	növekedés %
100%	213,5	100	220,2	103	218,3	102	227,2	106
75%	218,3	100	220,6	101	223,3	102	240,1	110
50%	225,7	100	230,5	102	232,5	104	248,8	110
25%	254,5	100	261,5	103	267,3	105	272,9	107

* - 100%-nak a 0% LPG arányú hajtóanyag tekintendő, azaz 100%-ban gázolaj

3. táblázat. A fajlagos fogyasztás növekedése a 100% gázolajtartalmú tüzelőanyaghoz viszonyítva a gázolaj-LPG összetételű tüzelőanyagnál

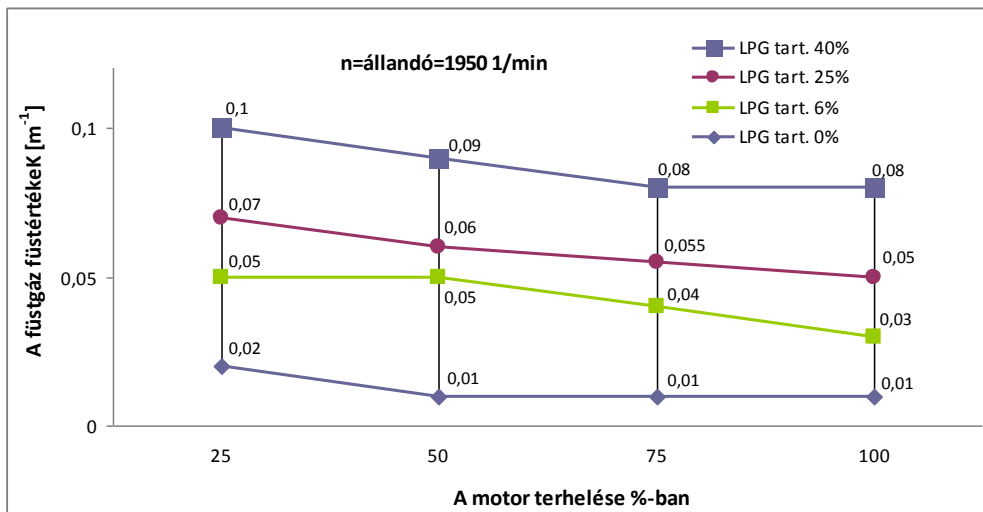
A vizsgálati eredmények alapján megállapítható, hogy az LPG-nek a gázolaj motorüzemmódba való bevitele nem eredményez fajlagos fogyasztás csökkenést, az LPG alkalmazása a motor szabályozását ingadozóvá teszi. Ezek a gázolaj – LPG keverék égési viszonyaival függnek össze, amelyet jól bizonyítanak a füstgáz összetételének elemzéséből kapott eredmények.



5. ábra. A fajlagos fogyasztás alakulása a terhelés és a gázolaj – LPG arány függvényében

3.2. Füstgáz összetevők elemzése

A Diesel-motorok füstgázának egyik fontos jellemzője a füstérték. A mérési eredmények közül a 6. ábrán az 1950 1/min fordulatszámot mutatjuk be a motor 25 – 50 – 75 – 100%-os terhelési tényezőjénél különböző LPG részarányú hajtóanyagoknál a mért füstértékeket.

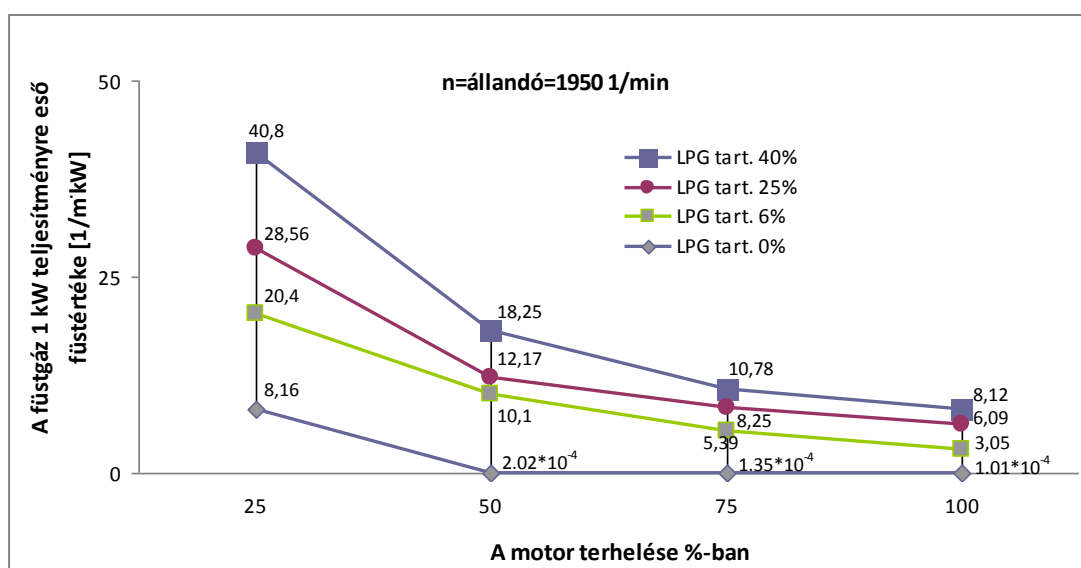


6. ábra. A mért füstérték a terhelési tényező függvényében

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a terhelési tényező növelése – a motor teljesítményének minél jobb kihasználása - a füstérték kismértékű csökkenését eredményezi, ugyanakkor a hajtóanyag LPG-tartalmának növelése a füstértékek növekedését eredményezi. A nominálisan mért füstérték azonban nem fejezi ki kellően, hogy milyen hatást eredményez a motor mindenkor terhelési állapota. Ennek bemutatására képeztük az 1 kW teljesítményre eső füstértéket – a fajlagos füstérték (K') – a következő összefüggés alapján:

$$K' = \frac{K_{\text{mért}}}{P_{\text{mért}}} \left[\frac{1}{\text{mkW}} \right], \quad (4)$$

A 7. ábra alapján megállapítható, hogy a hajtóanyag LPG arányának növelése, valamint a terhelési tényező csökkenése növeli a fajlagos füstértéket, ami a motorikus folyamatban lejátszódó égési folyamat tökéletlenségéből adódik.

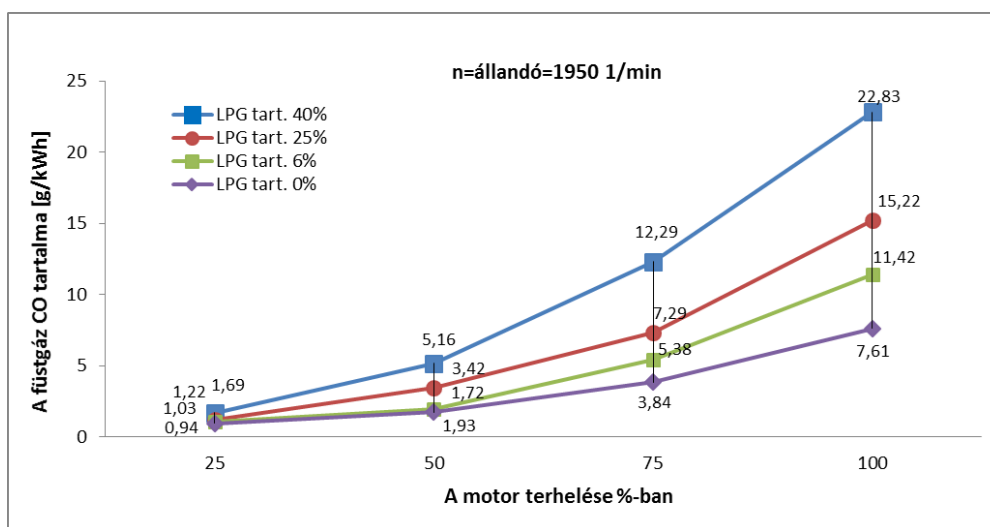


7. ábra. A fajlagos füstérték a terhelési tényező függvényében

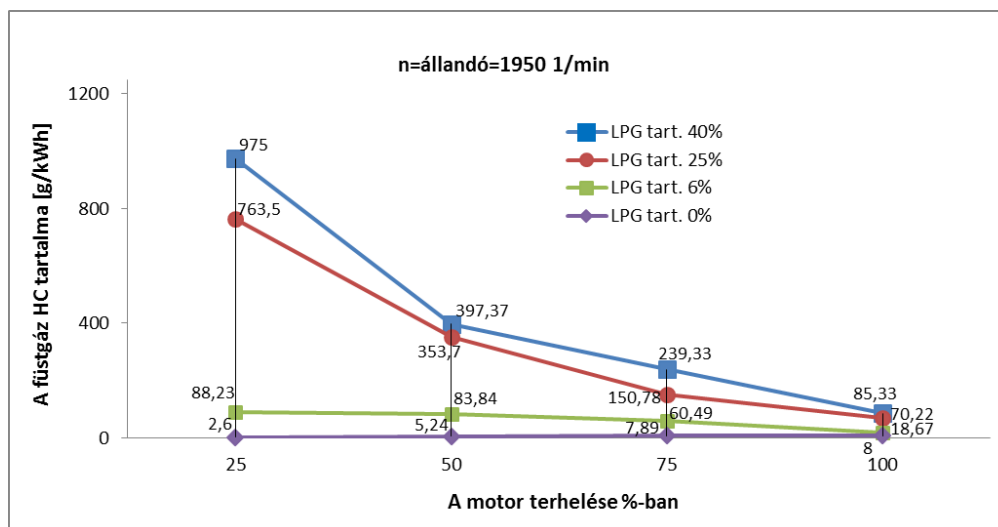
A koromképződést kifejező füstölést az alacsony égési hőmérséklet okozza, ami arra utal, hogy a levegővel együtt bevezetett LPG rontja a Common-Rail rendszerű befecskendezésnél az égési feltételeket.

A mérőrendszerben az AVL 4000 füstgáz elemző és mérőberendezés által térfogat százalékban mért szénmonoxid (CO), nitrogénoxid (NO_x) és szénhidrogén (HC) kibocsátásokat a 88/77/EGK irányelvei, valamint módosításainak figyelembe vételével átszámítottuk [g/kWh] mértékegységűre, amely így a motor egységnyi munkájára jellemző kibocsátási mennyiséget adja meg, ami az összehasonlíthatóság szempontjából egzaktabb eredményt ad. A következőkben a füstgáz kibocsátott összetevőit a már felsorolt összetevőknél a [g/kWh] mértékegységben vizsgáljuk a terhelés és az LPG részarány függvényében.

A motorban lejátszódó égés minőségét jellemzi a füstgáz CO-tartalma. A 8. és 9. ábrán látható, hogy a tiszta gázolaj üzem módhoz viszonyítva az LPG-tartalom növelésével jelentősen növekszik a kibocsátott CO-tartalom.



8. ábra. A füstgáz CO-tartalmának változása a terhelési tényező függvényében



9. ábra. A füstgáz HC tartalma a motor terhelése és a gázolaj –

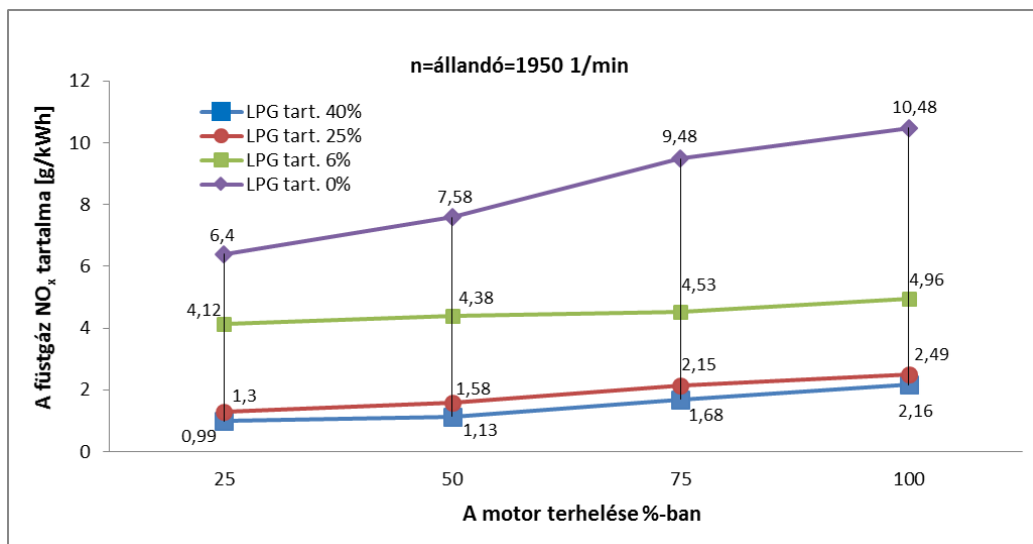
LPG arány függvényében

A vizsgált füstgázok CO-tartalma a terhelési tényező növekedésével a tiszta gázolaj üzemben a 8. ábrán láthatóan exponenciális. 25%-os részterhelésnél a vizsgált gázolaj – LPG összetételeknél a CO-kibocsátás növekedése 1,1-1,8-szeres. Ugyanez a szám 50%-os terhelésnél 1-2-szeres, 75%-os terhelésnél 1,4-3,2-szeres, míg 100%-os terhelésnél a növekedés 1,5-3-szoros. A felsorolt adatokból jól látható, hogy az LPG gáznak a gázolajjal való együttes égetése többszörösére növeli a kibocsátott füstgáz CO tartalmát, vagyis megállapítható, hogy az LPG-gáz nem javítja a Common Rail motoroknál az égés hatékonyságát.

A füstgáz összetétel elemzésénél vizsgáltuk az elégetlen szénhidrogén (HC) tartalmat is. A 9. ábra szerint a gázolaj üzemmódhoz viszonyítva az LPG adagolás növelésével 25%-os terhelési tényezőnél a HC tartalom (34-375)-szörösére növekedett. A 9. ábra alapján jól látható, hogy trendje a terhelés növekedésével (2-10)-szeresre csökkent. A HC-növekedés a terhelés csökkenésével a motor hengertérben lévő munkaközeg hőmérséklet csökkenésével a határoló felületek lehülésével magyarázható. A 9. ábra alapján az LPG-gáz az el nem égett szénhidrogén mennyiségét növeli, ami az LPG-gáz gyorsabb lehülésének lehet az eredménye.

Az LPG 490-510°C gyulladási hőmérsékletével szemben a gázolajé 300°C körül van, ezért a nagy LPG részarányú keverékben jelentősen megnövekszik az öngyulladás hőmérséklete, és az égés kezdete a felső holtpont környezetében jön létre. Ilyenkor az égés áthúzódik a felső holtpont utánra, aminek eredményeként növekszik meg az elégetlen szénhidrogén-kibocsátás. Megítélésünk szerint a részterhelések okozta alacsony motorkörfolyamati hőmérsékletek okozzák az alacsony terhelési viszonyok magas HC-kibocsátását.

A 10. ábra alapján látható, hogy motorüzemben jelenlévő LPG kedvezően hat a nitrogénoxid (NO_x) kibocsátásra.



10. ábra. A füstgáz fajlagos NO_x-tartalmának változása a terhelési tényező függvényében

A mérési eredmények alapján a motor terheletlen állapotában alacsony lánghőmérséklet alakul ki. Az így kialakult alacsonyabb hőmérsékletű égés nem kedvez a NO_x kialakulásának.

A különböző gázolaj – LPG összetételű tüzelőanyaggal történt fékpadi méréseink rész- (25%, 50%, 75%) és teljes (100%) terhelésnél mért nitrogénoxid (NO_x) kibocsátásait a 10. ábra tartalmazza, amely szerint az LPG térfogati részarányának növekedése kedvezően befolyásolja a nitrogénoxid (NO_x) képződését.

A 4. táblázat szerinti relatív arányok láthatók a tiszta gázolaj üzemmódhoz, ami a terhelési viszonyok növekedésével exponenciális csökkenést mutat a 10. ábra szerinti [g/kWh]-ban növekvő mennyiségű kibocsátás ellenére. A nitrogénoxidok csökkenése összefügg a motorikus körfolyamat lejátszódása közbeni hőmérséklettel, amit ugyan vizsgálatainkban nem mértünk. Erre utalnak az elégtelen szénhidrogén-kibocsátás magas értékei (9. ábra) csökkenő részterheléseknél. Ugyancsak a körfolyamat alacsonyabb hőmérsékleten való lejátszódását igazolja a kibocsátott füstgáz magas szénmonoxid (CO) tartalma is (8. ábra).

Terhelési tényező %-ban	Nitrogénoxid kibocsátás							
	0% LPG-nél		6% LPG-nél		25% LPG-nél		40% LPG-nél	
	[g/kWh]	relatív arány %	[g/kWh]	relatív arány %	[g/kWh]	relatív arány %	[g/kWh]	relatív arány %
25%	6,40	100	4,12	64	1,30	20	0,99	15
50%	7,58	100	4,38	58	1,58	21	1,13	15
75%	9,48	100	4,53	48	2,15	22	1,68	18
100%	10,48	100	4,96	47	2,49	24	2,16	21

4. táblázat. Viszonyítási alap a 0%-os gázolaj – LPG keverék, ahol a NO_x = 100%

ÖSSZEFOGLALÁS

A többszöri ismétléssel Common Rail rendszerű hajtóanyag-ellátó rendszerű motornál LPG – gázolaj keverékű hajtóanyaggal elvégzett mérések eredményeit az alábbiak szerint lehet összefoglalni:

1. A vizsgált LPG adagoló készülékek vezérlő elektronikája csak közvetetten illeszkedik az elektronikus motorvezérléshez, ezért a gázadagolás szabályozottsága nem eredményezi a terhelés függvényében állandó összetételű LPG – gázolaj keveréket. A gyártók által megadott gázpedálállás és a fordulatszámjelek nem elegendők a keverék minőségi szabályozásához. Fontos lenne egy ilyen vegyes üzemmódban a motor és a gázadagoló szabályzó elektronikája összehangolt kommunikációja. Kísérleti eredményeinkből megállapítható, hogy egy pontos szabályozású Diesel-motor (Common Rail rendszer) üzemében az ismert gyártmányú és működési módú LPG adagolók nem megfelelőek.
2. A Common Rail rendszerűnél a több ciklusú tüzelőanyag bejuttatása az égési folyamat gyors megindulását hozza létre, ami a gázolaj égésénél (a szénmonoxid (CO) és szénhidrogén (HC) kisebb) károsanyag-kibocsátását eredményezi. Ennek oka a gázolaj alacsonyabb gyulladási hőmérsékletével magyarázható. Ezzel szemben az LPG gyulladási hőmérséklete 150-200°C-kal nagyobb, ami az égési folyamat későbbi megindulását eredményezi, vagyis az LPG és a gázolaj üzemben a keverékben eltérő égéskezdetek jönnek létre. Az eltérő égési folyamatok eredményeit jól tükrözi a 12. ábrán látható indikátordiagram, ami az égési csúcsnyomás csökkenésével jár. Az égési csúcsnyomások különbsége a terhelési tényező csökkenésével növekszik, ami az LPG-gázrész későbbi gyulladásával magyarázható. Az így lejátszódó égés nagymértékben

áttevédik a felső holtpont utánra, s az az égés lelassulását eredményezi. Ennek eredményeként növekszik a füstgáz elégetlen HC-értéke.

3. A nagyarányú elégetlen HC és CO-képződést a hajtóanyag hőmérsékletei (LPG 490-510°C, gázolaj 300-330°C) okozzák. Az alacsonyabb részterhelésnél a motor alacsonyabb hőmérsékleti viszonyai miatt az LPG-gáz optimális gyulladási feltételei nem biztosítottak, ezért megítélésünk alapján az LPG-ből több elégetlen HC kerül a füstgázba, illetve tökéletlen égésterméként nő a CO-kibocsátás.
4. A NO_x keletkezés alapvető feltétele a magas hőmérséklet. A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy a részterheléseknél – a tüzelőanyag többkomponensű összetétele miatt - alacsonyabb munkaközeg hőmérsékletek vannak, ezért a NO_x kibocsátásnak alacsonyabbnak kell lenni. Ezek a feltételek az LPG – gázolaj üzemmódú motoroknál látható módon teljesülnek, vagyis a motor terhelési tényezőjének növekedésével számolni lehet a jelentős NO_x növekedéssel.
5. A motorüzem hajtóanyag-hasznosulásának egyik legfontosabb mutatója a fajlagos fogyasztás. 100%-os motorterhelésnél méréseink szerint gázolja – LPG keverékű tüzelőanyagnál (6-40% LPG térfogatrészzű) a fajlagos fogyasztás 5-15% növekedése jön létre, ami a motor hengerterében lejátszódó tökéletlen égésre utal. Ennek bizonyítéka az elégetlen szénhidrogén (HC) kibocsátás jelentős növekedése.

A kísérleti munkák eredményei alapján megállapítható, hogy a Diesel-motorok Common Rail hajtóanyag-ellátó rendszereinek nem alkalmazható az LPG – gázolaj keverékű üzemmód. A hajtóanyag komponensek eltérő viselkedése, a motorüzem hajtóanyag-ellátásának tesztelt vezérlési üzemmódja nem javítja a fogyasztási és füstgáz-kibocsátási jellemzőket, a motor egyenlőtlen járását eredményezi. Mindezek alapján ebben az üzemmódban alkalmazásuk rontják a motorikus paramétereket és az üzemeltetés gazdaságosságát.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **A.S. LANJE, M.J. DESHMUKH:** *Performance and Emission Characteristics of SI Engine using LPG-Ethanol Blends: A Review.* International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering 2 146-152 p., 2012
- [2] **D.B. LATA, ASHOK MISRA:** *Theoretical and experimental investigations on the performance of dual fuel diesel engine with hydrogen and LPG as secondary fuels.* J.: International Journal of hydrogen energy 35 11918-11931 p., 2010
- [3] **D.B. LATA, ASHOK MISRA, S MEDHEKAR:** *Investigations on the combustion parameters of a dual fuel diesel engine with hydrogen and LPG as secondary fuels,* International Journal of hydrogen energy V. 36/ 21, pp. 13808–13819, 2011
- [4] **DERZSÉNYI GY., EMÓD I., FINICHIU L.:** *Belsőégésű motorok tervezése és vizsgálata.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1990
- [5] **E. EINAJJAR, M.O. HAMDAN, M.Y.E. SELIM:** *Experimental investigation of dual engine performance using variable LPG composition fuel.* J. sci. Renewable Energy 56 110-116 p.,2013
- [6] **H.E. SALEH:** *Effect of variation in LPG composition on emissions and performance in a dual fuel diesel engine.* J.: Fuel 87 3031-3039 p., 2008

- [7] **LAKATOS I., NAGYSZOKOLYAI I.:** *Gépjármű-környezetvédelmi technika és diagnosztika.* MINERVE-SOP-NOVADAT, Győr, 1998
- [8] **LENGYEL A.:** *Belsőégésű motorok LPG-dízel rendszereinek vizsgálata. Zárójelentés.* ERNYO-12 jelű kutatási-fejlesztési és innovációs pályázat, 2013
- [9] **M.P. POONIA, A. BHARDWAJ, A.S. JETHOO, U. PAUDEL:** *Experimental Investigations on Engine performance and Exhaust Emissions in an LPG Diesel Fuel Engine.* International Journal of Environmental Science and Development 2 418-422 p., 2011
- [10] **N.K. MILLER JOTHI, G. NAGARAJAN, S. RENGANARAYANAN:** *Experimental studies on homogeneous charge CI engine fueled with LPG using DEE as an ignition enhancer.* J.Sci. Renewable Energy 32 1581-1593 p., 2007
- [11] **P. DAGAUT, H. ALI:** *Kinetics of Oxidation of LPG Blend Mixture in a JSR.* Fuel Journal 82 475-480 p., 2003
- [12] **VAS A. ET. AL.:** *Belsőégésű motorok szerkezete és működése.* Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 2005
- [13] **V.AYHAN, A. PARLAK, I. CESUR, B. BORN, A. KOLIP:** *Performance and exhaust emission characteristics of diesel engine running with LPG.* International Journal of the Physical Sciences 6 1905-1914. p., 2011
- [14] **Y. KITAE, J. JINGOUNG, B. CHOONGSIK:** *Homogeneous charge compression ignition of LPG and gasoline using variable valve timing in an engine.* J. sci. Fuel 86 494-503 p., 2007

KOMPETENSEN A KLASZTEREK VILÁGÁBAN

COMPETENTLY IN THE WORLD OF THE CLUSTERS

LESKÓ Anett Katalin

Tanársegéd, kkklesko@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, GTK-VTI

Kivonat: Kutatásom során, a klaszterek, eredményes működésének feltételrendszerét járom körül. Szinte nincs ember, aki ne ismerné azon állítást, miszerint „Együtt könnyebb.” A leggyakoribb probléma a kooperációkkal kapcsolatban, hogy leginkább az előnyök kerülnek nevesítésre, míg arról, hogy az együttműködő feleknek mit kell tenniük ennek érdekében, esetlegesen mit kell feláldozniuk, nem beszélnek. Kutatásom során próbálok választ találni kérdéseimre: Mi alapján dönthető el, hogy megéri –e együttműködni? Hogyan lehet az együttműködés eredményes? A klasztert összetartó erő, hogy a szervezeti és egyéni célok teljesüljenek, vagyis a helyzet minden szereplő számára nyertes játszává váljék. Ha a partner nem képes az együttműködésre, mert nem ismeri fel az abban rejlő potenciálokat, vagy éppen az ahhoz szükséges kompetenciákkal nem rendelkezik, akkor lehet bármennyire előnyös az együttműködés, az nem fog tudni létrejönni vagy csak korlátozott működésre lesz képes.

Kulcsszavak: klaszter, kompetencia, játékelmélet, bizalom

Abstract: During my research I go around the condition system of the clusters' effective functioning. There is almost no one who does not know the statement „Easier together”. The most common problem with cooperations is that mostly the benefits are mentioned, but they do not talk about what the cooperating parties should do for that or what they have to sacrifice. During my research I try to answer my questions: How to decide whether it is worth cooperating? How can the cooperation be successful? The cluster's cohesive force, to meet organizational and individual goals, so that the situation becomes a winning game for every participant. If the partners are unable to cooperate, because they do not recognize the inherent potentials, or even they do not possess the necessary competencies, then no matter how advantageous the cooperation may be, it cannot be created or it will only have a limited ability to operate.

Keywords: cluster, competence, game theory, trust

1. PROBLÉMAFELVETÉS

Annak ellenére, hogy az elmúlt évtizedben kitüntetett figyelmet élveznek a **klaszterek**¹, sajnos a legtöbb hazai klaszter szintű együttműködés csupán névleg működik, vagy legalábbis nem képes kamatoztatni a klaszterek nyújtotta lehetőségeket. Kutatásom egyik központi kérdése: a hazai klaszterek létjogosultságának vizsgálata, eredményes működését elősegítő és biztosító feltételrendszerek beazonosítása. **Kutatásom során próbálok választ találni kérdéseimre, melyek a következők: Mi alapján dönthető el, hogy megéri –e együttműködni? Hogyan lehet az együttműködés eredményes?**

¹ A **klaszter** legszélesebb körben elterjedt megfogalmazása a következő: földrajzi közelségen alapuló vállalati stratégiai szövetség, melyek a külső versennyel szemben egységesek, belső viszonyaikat pedig egyaránt jellemzi a konkurencia és a közös helyi érdekek összehangolása, a partnerek közötti bizalmi tőke megléte. Informális kapcsolat köti össze a klaszter vállalatait, a közösen végzett innovációk, a piaci igényekhez igazodó képzés, a hálózaton belüli közvetlen és célzott információáramlás révén csökkenthetők a tranzakciós költségek, ezáltal pedig az adott térség vállalkozásainak versenyképessége növekszik.

2. KOMPETENCIAMENEDZSMENT

A **kompetencia** szótári értelemben 1: illetékességet, jogosultságot 2: szakértelmet jelent. (Bakos, 1974). A fogalom minél pontosabb meghatározása érdekében az 1. táblázatban összefoglalom a kompetencia kifejezés néhány, a szakirodalomban használatos definícióját.

Amerikai Menedzsment Szövetség	„Az egyén általánosítható tudása, motivációi, legbensőbb személyiségjegyei, társasági szerepei vagy képességei, készségei, amelyek egy munkakörben nyújtott kiemelkedő teljesítményhez köthetők.”
C. Woodruffe	“Viselkedésminták egy készlete, melyet a munkakör betöltőjének be kell vetnie ahhoz, hogy a munkaköri feladatokat és funkciókat kompetensen lássa el.”
G.O. Klemp, D.C. McClelland	„A kiválóan teljesítők személyiségjellemzője, pontosabban az egyén olyan tulajdonsága, amely nélkülözhetetlen egy munkakörben vagy szerepben nyújtott hatékony teljesítményhez.”
R.E. Boyatzis	„Az egyén hatékony és/vagy kiváló munkaköri teljesítményt eredményező személyiségjellemzője.”
L.M. Spencer, S.M. Spencer	„Az egyén olyan személyiségjellemzője, amely ok-okozati viszonyban áll egy munkakörben vagy szituációban mutatott előzetes kritériumok által meghatározott hatékony és/vagy kiváló teljesítménnyel”
R.E. Quinn	„Egy bizonyos feladat vagy szerep teljesítéséhez szükséges tudás és képesség.”

1. táblázat: Kompetencia definíciók

Forrás: saját szerkesztés [2] [6] [11] [12] [14] alapján.

2.1. A kompetencia jellemzői

Parry (in: Chong, 2000) megközelítése szerint, négy kritérium teljesül a kompetenciákra nézve: **Hatással van a munka valamely fő aspektusára; Korrelál a munkateljesítménnyel; Mérhető; Fejleszthető.**

L. Leplat (in: Szögi, 1997) más megközelítésből a kompetencia fogalmának következő négy jellemzőjét határozta meg:

- A kompetencia egyidejűleg lehet operatív és célra irányuló jellegű. Elválaszthatatlan azon akcióktól, amely által megnyilvánul (“cselekvési kompetencia”).
- A kompetenciát tanulták. Senki sem kompetens spontán módon, természetszerűen, hanem személyes és társadalmi folyamatok révén (amely az elméleti és tapasztalati tanulást kombinálja) lesz valaki hozzáértő. Sokat tudunk meg a kompetenciák természetéről, ha tanulmányozzuk azt a folyamatot, amelynek során a kompetenciát az egyén megszerzi. A kompetencia éppen megszerzhetősége, modellezhetősége, fokozatos fejleszthetősége révén válik a menedzsment tárgyává.
- A kompetencia strukturált: dinamikus módon kombinálja, rekonstruálja összetevő elemeit (a tudást, a know-how-t, a következtetéseket, stb.) avégett, hogy megfeleljen az alkalmazkodási követelményeknek (az adott cél megvalósításának függvényében).
- A kompetencia elvont és hipotetikus fogalom. Természetéből kifolyólag nem figyelhető meg, csak megnyilvánulásait - a magatartásokat és az eredményeket - vehetjük észre.

Ennek megfelelően, ha kompetenciáról beszélünk, úgy a tágabban értelmezett intelligenciáról van szó, egy olyan operatív intelligenciáról, amely nemcsak a “mit”, hanem a “hogyan” is tudja. A kompetencia az ismeretet akcióvá alakítja át, a know-how hidat képez valaminek a tudása és a megvalósítása között. A tudni elsősorban a tanultak felhasználásának képességét, egy probléma megoldására vagy egy helyzet tisztázására való mozgósítását jelenti.

3. ÚJ MEGVILÁGÍTÁSBAN A KLASZTER

A klaszterek iránti kitüntetett figyelem oka, elsősorban a megváltozott gazdasági környezetben, másrészt a világszerte sikeresen működő klaszterekben rejlik. A klaszter tehát felfogható úgy is, mint egyfajta vállalati válaszmechanizmus a megváltozott gazdasági kihívásokra.

Személyes érdeklődésem két okra vezethető vissza:

- A klaszterek esetében olyan speciális együttműködési formáról van szó, amely **kettős természetű**² bír, hiszen együttesen van jelen a belső kapcsolatokat jellemző versengés, rivalizálás - mely révén biztosított a folyamatos fejlődés iránti vágy -, valamint a külső piaccal, kihívásokkal szembeni együttes fellépés.
- Szeretnék magyarázatot találni arra, hogy a számos klaszterkezdeményezés ellenére miért nem beszélhetünk nemzetközileg is elismert, hosszú távon eredményesen működő hazai klaszterekről.

A klaszterek működésének újfajta megközelítése megköveteli, hogy megvizsgáljuk az együttműködéssel kapcsolatos attitűdöket. Nincs olyan ember, aki ne hallotta volna, miszerint: *“Együtt könnyebb.”* Természetesen a csoportmunkának számos előnye közismert, azonban fontos azt leszögezni, hogy annak érdekében, hogy a kollektív vízió, célok, realizált előnyökké váljanak az együttműködő feleknek bizonyos kompetenciákkal, személyiségjegyekkel, valamint erőforrásokkal kell rendelkezniük, illetve esetenként „egyéni áldozatot” kell hozni a közös érdekek javára.

4. EMPIRIKUS KUTATÁS

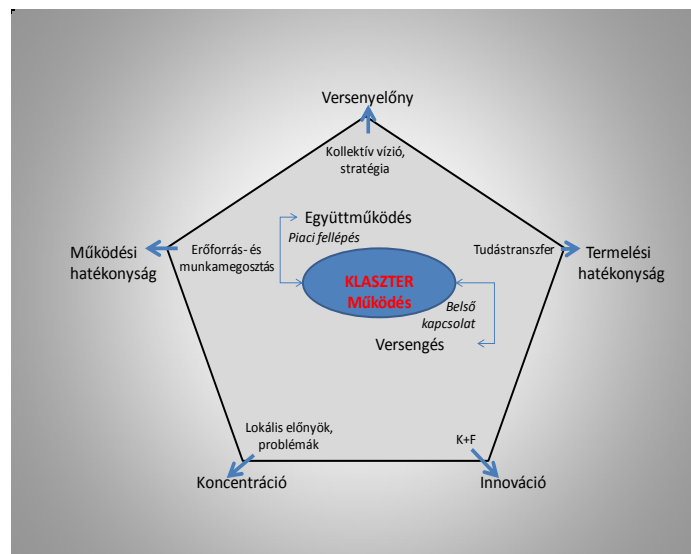
A klaszterek eredményes működését biztosító **kompetenciákra**³ primer kutatás lefolytatása révén kívánok rávilágítani, melyhez a mintát a hazai akkreditált klaszterek szolgáltatják, továbbá a javaslataim megfogalmazásához indokoltnak tartom a nemzetközi kitekintést. Kutatásom többrétű: **mélyinterjúk, kérdőíves felmérés. nemzetközi kitekintés (esettanulmány).**

Fontosnak tartom, hogy több irányból is képet kapjak a jelenleg működő hazai akkreditált klaszterek, klasztertagok kompetenciáiról, működéséről. Ennek érdekében vizsgálatom kiterjed a klaszteresedés –illetve akkreditáció megszerzésével- járó előnyökre, motivációs tényezőkre és elégedettség mértékére; az eredményességet gátló tényezőkre; az eredményességet befolyásoló kompetenciákra; a bizalommal kapcsolatos attitűdre; valamint a klasztermenedzser „vezetői tevékenységének” vizsgálatára. Természetesen a kérdőív összeállítását alapos szekunder kutatás előzte meg, melyet az általam megalkotott „Módosított Mintzberg - modell”- ben (1. ábra) összesítettem. A modell szemlélteti, hogy az együttműködés során realizálható előnyök elérése érdekében milyen kulcstényezők játszanak

² A **kettősség egyidejű** elismerése gazdasági viszonylatban nem gyakori; pedig a kooperáció és a versengés egymástól nehezen elválasztható fogalmak, hiszen, minden versengés megkövetel egy előzetes kooperációt a tekintetben, hogy mi a cél, amit el kell érni, mik a szabályok, valamint milyen szankcióval jár a lefektetett szabályok esetleges megsértése, hiszen ezek nélkül nem versenyről hanem „háborúról” beszélhetnénk. Tulajdonképpen úgy is megfogalmazhatjuk a kooperációt, hogy nem más, mint a jobb esélyek biztosításának eszköze a túlélésért folytatott harcban.

³ A **kompetencia:** Az egyén olyan személyiségjellemzője, általánosítható tudása, motivációi, társasági szerepei vagy képességei, amely ok-okozati viszonyban áll egy munkakörben vagy szituációban mutatott előzetes kritériumok által meghatározott hatékony és/vagy kiváló teljesítménnyel” /Klemp és McClelland (1986), Spencer és Spencer (1993), Amerikai Menedzsment Szövetség/.

szerepet. Maga a modell tartalmazza azon fő tevékenységek csoportját, melyek révén a klaszterszintű együttműködés során az előnyök realizálhatók.



1. ábra. Módosított Mintzberg modell (Forrás: Saját szerkesztés)

Az alább megnevezett tevékenységcsoportokhoz rendeltem hozzá a kompetenciákat, melyek felmérése folyamatban van, rövid időn belül lezajlik; a cikkben, felmérésem lezáratlan volta miatt, részeredményeket van módomban bemutatni, ismertetni.

Tevékenységterület	Realizálható előny
Tudástranszfer	Termelési hatékonyság /Szakértelem
Kollektív vízió, stratégia	Versenyelőny
Erőforrás- és munkamegosztás	Működési hatékonyság
K+F	Innováció
Lokális előnyök	Koncentráció

1. táblázat. A tevékenységterületek bemutatása (Forrás: saját szerkesztés)

Az innováció, a piaci siker, valamint a gazdasági fejlődés egyik fontos összetevője. Az egyre kiélezettebb piaci verseny újabbnál-újabb kihívások elé állítja a vállalatokat. Ahhoz, hogy a vállalatok hosszú távon fenntartsák a versenyelőnyüket, az innovációs képesség nyújthat számukra segítséget. Felmérésemből is egyértelműen látszik, hogy az innovációs készség fontosságát a klaszterek már felismerték, azonban saját meglátásuk szerint még van fejlődési lehetőség e tekintetben.

Az együttműködő felek közösen kezdeményezhetnek és finanszírozhatnak K+F projekteket, így azok a vállalatok is képessé válnak fejleszteni, akik korábban nem tudtak megvalósítani kutatási projekteket a szűkös pénzügyi, valamint korlátozottan rendelkezésre álló erőforrásaik miatt. A közös K+F révén a kooperáló feleknek lehetősége nyílik olyan információkhoz, tudásanyaghoz hozzáférni, melyekhez a hagyományos piaci kapcsolataik révén nem adatot volna meg. A közös K+F valamint a közös termékfejlesztés, közös projektek generálása, a megkérdezettek véleménye alapján kijelenthető, hogy bár az együttműködéssel járó előnyök, célok között jelentős szerepet tölt be, sajnos jelen működés gyakorlatában még nem domináns. A tudás, tanulás, mint az innovációs képességet

felgyorsító kulcsfontosságú tényező van jelen ezekben az együttműködésekben. Nem elégséges csupán az információhoz való hozzáférés biztosítása, hiszen, a versenyben maradás feltétele a tudásdiffúzió és akkumuláció, mely az interaktív tanulás formájában jelenik meg. Szintén meg kell jegyezni, hogy a közös tudásbázis, a legjobb gyakorlatok gyors terjedése még fejleszthető a klaszterek esetében, mindezek háttérében –véleményem szerint- a versenyelőny elvesztésétől való félelem állhat. A helyzetben egy korszerű tudásmegosztó technológia bevezetése, alkalmazása sokat segíthetne.

A résztvevők, a rendelkezésükre álló erőforrásaik, termelési tényezőik bizonyos mértékű allokációja, megosztása révén képesek versenyképességüket befolyásoló pozitív eredményt elérni, hiszen jelentős mértékben csökkenthetik költségeiket, valamint kockázatmegosztás is megvalósulhat. Az erőforrások megosztásának jelentőségét a megkérdezettek felismerték, azonban jelen gyakorlatukban megjelenése még nem éri el a kívánt szintet.

A versenyképesség fenntartása érdekében nélkülözhetetlen a kollektív vízió, stratégia. Amennyiben nincs a klaszternek célja, célrendszere – amely működésének mozgatórugója - akkor az együttműködés csupán névlegessé válik. Fontos, hogy ezekkel a célokkal minden egyes tag egyetértsen, képes legyen azonosulni, különben az együttműködés megghiúsulhat. A közös stratégiai célkitűzés csak abban az esetben realizálódhat, ha a partnerek rendelkeznek egyéni célokkal, egyedi stratégiával, melyek összhangban állnak - illeszkednek - a klaszter célkitűzéseivel, továbbá segítik azok megvalósulását. Az egyértelmű célok kitűzése és a céltudatosság fenntartása a klasztermenedzserek tevékenységének fontos részét képezik.

A kapcsolatok kialakulásának és eredményes működésének nélkülözhetetlen feltétele, hogy a partnerek képesek legyenek kezelni az együttműködés révén felmerülő bizonytalanságot, valamint kockázatot, amely abból fakad, hogy a formális rendszereket informálisak váltják fel. Ahhoz, hogy ez megvalósulhasson, nélkülözhetetlen a bizalom⁴.

Realizálható előny	Legfontosabbnak vélt kompetenciák	Fejlesztendő területek
Szakértelem	<ul style="list-style-type: none"> szakterület specifikus módszerek ismerete, - elméleti tudás együttműködési készség bizalom rendszer szemlélet 	<ul style="list-style-type: none"> együttműködési készség bizalom rendszer szemlélet
Versenyelőny	<ul style="list-style-type: none"> elkötelezettség eredményorientált hozzáállás döntésképesség céltudatosság kockázatvállalás tárgyalóképesség 	<ul style="list-style-type: none"> kockázatvállalás
Működési hatékonyság	<ul style="list-style-type: none"> kommunikációs készség pontosság megbízhatóság jó ütemezési készség szervezés, koordináció számítógépes ismeretek idegen nyelv ismerete csapatmunka tisztesség, becsület 	<ul style="list-style-type: none"> kommunikációs készség számítógépes ismeretek idegen nyelv ismerete csapatmunka
Innováció	<ul style="list-style-type: none"> nyitottság innovációs készség kezdeményszőkészség alkalmazkodó készség kreativitás kitartás 	<ul style="list-style-type: none"> nyitottság innovációs készség kezdeményszőkészség alkalmazkodó készség

⁴ “A bizalom a szabályszerű, becsületes és együttműködésre kész viselkedés elvárása egy közösségen belül, a közös normák, e közösség más tagjai részéről.” [Fukuyama, 1997, 45.]

Koncentráció	<ul style="list-style-type: none"> • új lehetőségek felkutatása • önzetlenség • társadalmi felelősségvállalás • tolerancia 	<ul style="list-style-type: none"> • önzetlenség • társadalmi felelősségvállalás • tolerancia
---------------------	--	--

2. táblázat. Az eredményes működés kulcskompetenciái, fejlesztendő területek

Forrás: saját szerkesztés

A fenti táblázatból egyértelműen látszik, hogy a fejlesztendő területek mindegyike megjelenik az eredményes működés szempontjából legfontosabbnak ítélt kompetenciák között.

5. A KLASZTERT ÖSSZETARTÓ ERŐ

A klaszterek esetében az összetartó erő, hogy a helyzet mindenki számára Nyer - Nyer, játszómá vádjék.

5.1. Játékelmélet klasztervonatkozásban

Alapvetően kétféle stratégia különíthető el egymástól, úgy, mint a **kooperatív** (együttműködő) és a **kompetitív** (versengő). A játékelmélet terminusaival élve: ha a *versengő kommunikáció* során szereshető nyereség állandónak tekinthető, akkor ilyen esetben az egyik fél által megszereshető nyereség a másik kárára megy; a *kooperatív kommunikációs* stratégia során pedig a felek egyútes erőfeszítéseket tesznek a lehetséges nyereség egyútesen elért maximalizálására. A versengés mögött sok esetben az önérdék áll, mely rengeteg konfliktushelyzetet teremt, mely abból fakad, hogy a javak (nyereség) korlátozott mennyiségben állnak a felek rendelkezésére. Az önérdékkel kapcsolatban meg kell jegyezni, hogy a klaszterek esetében a tudástranzfer hatékonyságnak gátat szab sokszor az önérdék előtérbe kerülése; ami azzal áll összefüggésben, hogy a verselőny elvesztésének lehetséges ott lebeg a szereplők szeme előtt. (Fenyvesi, 2008) A bizalom szintjének erősödésével, a helyzet javítható, illetve egy korszerű tudásmegosztó technológia alkalmazása is hasznos lehet, hiszen a megfelelő kommunikációs infrastruktúra amellet, hogy költséghatékony lehet, előnyt jelenthet azok számára, akik hitelesen tesznek közzé információit, tudást. A szakirodalom alapján megállapítható, hogy a közösségek és társadalom sikeressége szempontjából az együttműködés hozhat eredményeket hosszú távon.

A játékelmélet azt kívánja modellezni, hogy mi tekinthető racionális viselkedésnek olyan helyzetekben, ahol a résztvevők döntéseinek eredményére (eredményességére) befolyást gyakorolnak más egyének /szereplők lehetséges válasza. Tulajdonképpen mondhatjuk, hogy a játékelmélet nem más, mint adott döntésben hozott stratégiai döntések sorozatának vizsgálata. (Korpics, 2011) Mindehhez nélkülözhetetlen az együttműködő magatartás, melynek feltétele pedig nem más, mint a bizalom. A bizalom gazdasági vonatkozásban megkönnyíti a kooperációt, hozzájárul a tranzakciós költségek csökkenéséhez, valamint a gördülékenyebb működéshez egyaránt. A bizalom elsődleges jelentése személyközi kapcsolatokra vonatkozik. Egy személynek a másikkal szembeni viszonyulása, mely azon a hiedelmen vagy elváráson alapszik, hogy a másik fél nem fog semmi olyat tenni, melyből a másikkal hátránya származik.

A bizalmat funkciója szerint többféleképpen értelmezhetjük: Egyéni elvárás az események kívánatos kimenetelére vetett hit, mely nagymértékben tartalmaz emocionális elemeket; Interperszonális kapcsolat, melyben az egyén sebezhetővé válik, hiszen nem tudja kontrollálni a másik fél tetteit; Gazdasági tranzakciós költségeket befolyásoló tényező: azt az elvárást jelenti, hogy a másik fél kötelezettségeinek megfelelően fog viselkedni, becsületes lesz, és akkor sem használja ki partnerét, ha alkalma nyílik a feltételeket egyoldalúan megváltoztatni;

Társas struktúrák alkotta jelenség, melynek célja a megbízható viselkedés biztosítása. (Tarnai, 2003)

“Ha a partnerek bíznak egymásban, sokkal együttműködőbb magatartást folytatnak, nem taktikáznak és kevésbé gyanakvóak.” (Kovács, 2003. 140-147.old.)

Eddigi kutatásom során kijelenthetem, hogy a bizalom, a klaszterek működésében, kiemelt szerepet tölt be. Az együttműködés kezdeményezésekor kitűzött célok realizálása során olyan lényeges tevékenységek, mint a hatékony információáramlás, szaktudás nyílt megosztása, tudástranszfer kulcsszerepet töltenek be, melyeknek alapfeltétele a kölcsönös bizalom. Annak ellenére, hogy a klaszterek már felismerték a bizalom fontosságát, az eredményes működés érdekében, sajnos felmérésem alapján arra a következtetésre kellett jutottam, hogy jelenleg még nem éri el a kívánt szintet. A megkérdezettek véleménye szerint az idő és a bizalom szintjének emelkedése egyenesen arányos, vagyis minél hosszabb ideje tart a partneri kapcsolat, annál jobban bíznak a felek is egymásban. Tehát a bizalmat lehet építeni, de a folyamat időigényes. Továbbá megállapítható, hogy a bizalom kölcsönös gesztusokon alapszik; a jó példák pozitív hatást gyakorolhatnak a terjedésére, ám ez még manapság ritka számba megy.

6. AZ ÖNZETLENSÉG FORMÁI ÉS MEGJELENÉSE A KLASZTEREKNÉL

A klasztertagok részéről szükségesnek vélt személyiségjellemzők, viselkedésformák közül – a teljesség igénye nélkül- a bizalom mellett kiemelném az **altruizmust**. Alapvetően önzetlenséget, önzetlen magatartást, segítőkész szándékot értünk az altruizmus kifejezés alatt. Három típust különít el a szakirodalom, nevezetesen az önző-, a valódi-, valamint a reciprok altruizmust. Az *önző altruizmus* alatt, olyan önző egyént értünk, aki csak színleli az önzetlenséget. A *valódi altruizmus* csoportjába tartozik azon altruista személy, aki úgy tesz jót valakivel, hogy közben neki abból semmiféle haszna sem származik. A hosszú távú együttműködések sikerességének szempontjából a *reciprok altruizmus* preferált, hiszen az egyén ez esetben azért tesz jót valakivel, mert a későbbiekben viszonzásra számít. A reciprok altruizmus éltetője pedig a bizalom.

“Megfelelő feltételek mellett a hosszú távú együttműködések alapuló kapcsolatok versenyelőnyt jelentenek“ (Nowak, 1999b), melynek legfontosabb jellemzője, hogy a felek nem akarják azonnal maximalizálni hasznukat, hanem egy későbbi, nagyobb megtérülés reményében rugalmasabban viszonyulnak egymáshoz. Mindezért a partnerek a kapcsolat elején többletköltséget vállalnak, engedményeket tesznek, ám a kölcsönös függés illetve a bizalom mértékétől függően a kooperatív kapcsolat kiépítése igen jövedelmező alternatíva. “Bizalom nélkül mindez csak erős kontroll mellett, szerződésekkel, a döntéshozatal és struktúrák merev szabályozásával lenne lehetséges, mely viszont nagyon költségigényes és így nem hatékony.” (Tarnai, 2003. pp.676-715.) A felmérésem során sajnos arra a következtetésre jutottam, hogy annak ellenére, hogy a klasztertagok tisztességesnek, becsületesnek tartják partnereiket, nem bíznak egymásban kellőképpen. –Érdekes a későbbiekben azt is vizsgálnom, hogy mi ennek az oka, és hogy lehet e pozitív irányba elmozdítani ezt. - Meglehet, hogy a bizalmatlanság kulturális sajátosságunkból fakad...- Éppen ezen eredmény kapcsán nem lepett meg az sem, hogy az önzetlenséget bár fontos tényezőnek ítélték a megkérdezettek, ám a szintje, jelen működésük gyakorlatában alacsony. Úgy gondolom bizalom, önzetlenség, megbízhatóság, becsület kéz a kézben járnak; és megállapíthatjuk, hogy bizony, e kompetenciák vonatkozásában van fejlődési igény a klaszterek, klasztertagok részéről, hiszen a hosszú távú eredményes működés és a kitűzött célok realizálása érdekében nélkülözhetetlenek.

7. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Egy gondolatébresztő értekezésnek szántam ezt a cikket, mely a klaszterek létjogosultságát állítja górcső alá. Úgy gondolom, a jövő, klaszteresedés irányába mutat, hiszen a kis- és középvállalkozások életben maradásához, ez az önszerveződő együttműködési formája nyújthat lehetőséget, továbbá a gazdaság fellendülése szempontjából sem elhanyagolható.

Személyes véleményem azonban az, hogy az együttműködéseket célszerű kompetenciaalapokra helyezni.

A kapcsolatok kialakulásának és eredményes működésének feltétele, hogy az együttműködésben résztvevő felek kezelni tudják a felmerülő bizonytalanságot és kockázatot, ami abból kifolyólag ered, hogy a formális rendszereket informális rendszerek váltják fel. Ez a magyarázat arra, hogy olyan tényezők kerülnek előtérbe, mint a bizalom, az információ és a kommunikáció. A bizalom gazdasági vonatkozásban megkönnyíti a kooperációt, hozzájárul a tranzakciós költségek csökkenéséhez, valamint a gördülékenyebb működéshez egyaránt. A bizalom kialakulásának egyik érzelmi- és értékközpontúnak nevezhető megközelítése Jones és George (1998) nevéhez fűződik, akiknek értelmezése szerint, a bizalom kialakulása attól függ, hogy a felek milyen mértékben képesek egy adott helyzetről hasonló, egymáséval egybecsengő definíciót, értelmezési keretet kialakítani. A kölcsönösen elfogadható értelmezési keret létrejöttét meghatározza, hogy a felek értékrendszere, attitűdjei és érzelmi állapotai milyen mértékben hasonlítanak egymásra, és ezt a hasonlóságot mennyire észlelik kölcsönösen. Azonban a bizalom megteremtése meglehetősen hosszadalmas folyamat. A bizalom kialakulása során különböző tényezők jelentkeznek, melyeknek kitüntetett figyelmet kell szentelni. A szükséges kompetenciák beazonosítása kulcsfontosságú az eredményes működés érdekében. Ha a partner nem képes az együttműködésre, mert nem ismeri fel az abban rejlő potenciálokat, vagy éppen az ahhoz szükséges kompetenciákkal nem rendelkezik, akkor lehet bármennyire előnyös az együttműködés, az nem fog létrejönni vagy csak korlátozott működésre lesz képes. Kutatásom lezárását követően bízom abban, hogy sikerül teljes képet kapnom az eredményes működéshez nélkülözhetetlen kompetenciákról, tényezőkről.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **Bakos F.:** *Idegen szavak és kifejezések szótára*, Budapest, Akadémiai Kiadó, 1974
- [2] **Boyatzis R. E.:** *The competent Manager: A model for effective performance*, Wiley, N.Y, 1982
- [3] **Chong Hong, Chee-Leong, Ho, Yuen-Ping, Tan, Hwee-Hoon, Ng, Kwan-Kee,** „A Practical Model for Identifying and Assessing Work Competencies” in: <http://www.esc.edu/MDF> (Vol.3., No. 1. 2000), 2001,
- [4] **F. Fukuyama:** *Bizalom. A társadalmi erények és a jólét megteremtése*, 1997
- [5] **Hámori B.:** *Érzelemgazdaságtan - A közgazdasági elemzés kiterjesztése.* Kossuth Kiadó, Budapest, 2003
- [6] **Klemp, G. O., McClelland, D. C.:** *What characterizes intelligent functioning among senior managers? Practical Intelligence.* Cambridge University Press, 1986
- [7] **Kovács A.:** *Kooperáció és versengés.* In: *Gazdaságpszichológia.* Szerkesztette: Hunyadi, Gy. - Székely, M., Osiris Kiadó, Budapest, 140-147. old., 2003
- [8] **Korpics Márta:** *Kompetitív és kooperatív stratégiák* (in: *Játszmák és játékelmélet*) TÁMOP-4.1.2.A/1-11/1-2011-0091 „INFORMÁCIÓ - TUDÁS –ÉRVÉNYESÜLÉS, 2011
- [9] **Magyari B.I.:** *A Homo Oeconomicustól a Homo Humánusig, Fejezetek a gazdaságpszichológiából.* Aula Kiadó, Budapest, 78-119. old., 2000

- [10] **Nowak, M. L. -Sigmund, K.:** *Cooperation versus Competition*. Financial Analysts Journal July/August, 13-22.old, 2000
- [11] **Spencer L. M., Spencer S. M.:** *Competence at work: Models for superior performance*, Wiley, New York, 1993
- [12] **SZÖGI Z.:** *Kompetenciavizsgálat a MALÉV Rt. középvezetőinél*, Szakdolgozat, Budapest, 1997
- [13] **Tarnai M.** [2003]: *A bizalom szerepe a gazdasági kapcsolatokban*. In: *Gazdaságpszichológia*. Szerkesztette: Hunyadi, Gy. - Székely, M., Osiris Kiadó, Budapest, 676-715. old, 2003
- [14] **WOODRUFFE C.** [1993]: „*What is meant by a competency?*” Leadership and Organization Development Journal, 14:1, 29-36.

MLCC KERÁMIAKONDENZÁTOROK VESZTESÉGI PARAMÉTEREINEK MEGHATÁROZÁSA

DETERMINATION OF THE LOSSY PARAMETERS OF MLCC CAPACITORS

MAKLÁRI Dávid¹, TÓTH Lajos²

¹Villamosmérnök BSc hallgató, davidmaklari@gmail.com

¹Miskolci Egyetem

²egyetemi docens, elklll@uni-miskolc.hu

²Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai-Elektronikai Intézeti Tanszék

Kivonat: Az MLCC (Multilayer Ceramic Capacitor) kondenzátorok felhasználási területe az elektronikai eszközökben sokrétű. A felület szerelt kivitelű (SMD) alkatrészt szűrőkörökben, rezgőkörökben, tápellátó áramkörökben, illetve csatoló és egyenfeszültség leválasztó elemként egyaránt alkalmazzák. Az áramkör funkciójától függően, az elektronikai tervezéshez sok esetben elengedhetetlenül szükséges a veszteségi paraméterek ismerete. Az egyenértékű soros veszteségi ellenállás (ESR) és az egyenértékű soros induktivitás (ESL) értékét a kondenzátorok gyártói nem mindig közlik adatlapjaikon. Ezeket a paramétereket mérésekkel lehet meghatározni. Kidolgoztunk egy olyan eljárást, melynek segítségével automatizálható az alkatrészgyártó által közölt szimulációs modell segítségével generált mérési adatokból a veszteségi paraméterek meghatározása. Az általunk elvégzett identifikációs eljárás során kapott eredmények jól közelítették a gyári karakterisztikákat bizonyítva ez eljárásunk alkalmazhatóságát.

Kulcsszavak: MLCC, kondenzátor, áramkör szimuláció, SPICE

Abstract: The purpose of using Multilayer Ceramic Capacitors (MLCC) in electronic equipments is very diverse. The surface-mount device (SMD) component is mainly used in filters, resonant circuits, power supplies and in coupling circuits as an isolating element. Depending on the circuit function it is essential to consider the lossy parameters during the circuit design. The equivalent serial resistance (ESR), equivalent serial inductance (ESL) and Leakage Resistance are those parameters which do not always indicated by Manufacturers on their datasheets. These parameters can be determined from measurements. We have developed a method that allows us to automate the parameter determination process. Our method uses the simulation model provided by component manufacturers generated using real measurement data to determine the loss parameters. The results obtained during our parameter identification process well approximated the factory characteristics demonstrating the applicability of this technique..

Keywords: MLCC, capacitors, circuit simulation, SPICE

1. BEVEZETÉS

A többretegű kerámiakondenzátorok (MLCC – Multilayer Ceramic Capacitor) olyan felületszerelt kivitelű (SMD) passzív, diszkrét áramköri elemek melyeket szűrőkörökben, rezgőkörökben, tápellátó áramkörökben illetve csatoló és egyenfeszültség leválasztó elemként egyaránt alkalmazzák.

Kondenzátorok esetében az áramkör funkciójától függően, a tervezéshez sok esetben elengedhetetlenül szükséges a veszteségi paraméterek ismerete. Az egyenértékű soros veszteségi ellenállás (ESR) és az egyenértékű soros induktivitás (ESL) értékét a kondenzátorok gyártói nem közlik adatlapjaikon. A legtöbb esetben csak arról tájékoztatják a felhasználót, hogy alacsony ESR értékkel rendelkezik a kondenzátor vagy csak az impedancia frekvenciafüggését ábrázolják az adatlapjaikon.

A veszteségi paraméterek értékeit villamos mérésekkel lehet meghatározni. Ehhez szükség van az adott típusú kondenzátorokból egy-egy példányra, drága mérőműszerekre és rengeteg időre.

Az elektronikus eszközök gyártói sok esetben ipari titkokat féltve, nem közlik az áramkörök belső szerkezetét pontosan leíró szimulációs modelleket. Az áramkör szimulátorok fejlesztői ezt felismerve lehetővé tették a szimulációs modellek titkosítását. Ilyen feltételek mellett bizonyos áramköri elemek szimulációs modelljeit a gyártók már közzé tették. A titkosítással ily módon védve van a gyártó és a felhasználó is hozzájut a számára szükséges adatokhoz.

Olyan egyszerű alkatrészek esetében, mint a kondenzátor a különböző fajtájú alkatrészekhez különböző frekvencia tartományokban érvényes villamos áramköri, helyettesítő modellek a megfelelő szakirodalmakban hozzáférhetők.

A kutató munka célja az egyszerűsített, veszteséges kondenzátor modell felhasználásával illetve a Murata gyártó által közzétett szimulációs modellek segítségével generált mérési adatokból a Murata MLCC kondenzátorok veszteségi paramétereinek meghatározása.

A paraméter meghatározás jóságát az egyszerűsített és a gyártó által közzétett, alkatrész szimulációs modellek felhasználásával kapott eredmények összehasonlításával dönthetjük el.

2. AZ MLCC KONDENZÁTOROK FELÉPÍTÉSÉNEK VIZSGÁLATA

Az MLCC kondenzátorok állandó kapacitású, kerámia dielektrikumú kondenzátorok. A gyártás során kettő vagy több kerámia és fém réteget helyeznek egymásra, majd szeletekre vágják és hőkezelik. A kerámia alapanyaga finomra őrölt paraelektromos vagy ferroelektromos nyersanyag és egyéb pontosan adalékolt összetevők keveréke [1]. A kondenzátor kapacitása függ a hőmérséklettől és a rákapcsolt feszültség nagyságától. Ez a nem kívánt hőmérsékletfüggés megszüntethető ritkaföldfém adalékolással. A hőmérsékletkompenzált COG (NP0) kondenzátoroknak nagyon kicsi a hőmérsékleti együtthatója ± 30 ppm/K. Ezen eszközök dielektrikumának permittivitása hasonlóképpen alacsony (maximum 75), és ennek megfelelően csak kis kapacitású kondenzátorok készíthetők belőle [1]. Nagyobb kapacitás a rétegek számának növelésével és ferroelektromos adalékok hozzáadásával érhető el. Ebben az esetben természetesen romlanak a kondenzátor villamos és linearitási jellemzői.

Az MLCC kondenzátorok több különálló, egymással párhuzamosan kapcsolt kondenzátorból állnak, melyeket a terminál felületeken keresztül kötnek össze. Ennek megfelelően a kapacitás értékét (1) a szeletek mérete, a rétegek száma és a relatív permittivitás határozza meg.

$$C = \varepsilon \cdot \frac{n \cdot A}{d}, \quad (1)$$

ahol:

- ε – a dielektrikum permittivitása;
- A – a szeletek felülete;
- d – a fegyverzetek közötti távolság;
- n – a szeletek darabszáma. [2]

A kapacitás növelése a dielektrikum permittivitásának növelésével, vastagságának csökkentésével vagy az elektródák felületének és a rétegek számának növelésével lehetséges.

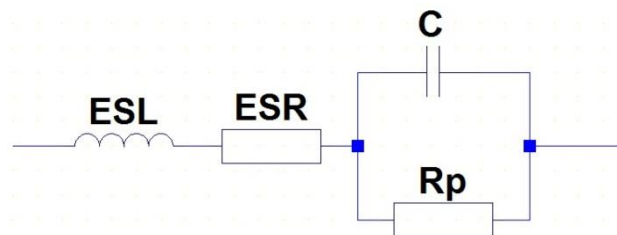
Az MLCC kondenzátorokat szabványosított alakban és méretben gyártják. A méretkódokat mind az Amerikai EIA mind az Európai IEC/EN kód tartalmazza. A gondot az jelenti, hogy vannak olyan méretkódok melyek mind a két szabványban megtalálhatók. Ha nem ismert melyik szabvány szerint van megadva az adott alkatrész mérete, akkor a jelölés egymástól nagyon különböző méretű alkatrészeket is jelenthet.

3. A VESZTESÉGES KONDENZÁTOR ÁRAMKÖRI MODELLJÉNEK VIZSGÁLATA

A valóságos kondenzátorok pusztán kapacitásukkal történő jellemzése nem elegendő. A rajtuk átfolyó áram az eszközön belül és a külső hozzávezetések körül mágneses teret kelt, melynek induktivitása magasabb frekvencián erősebb. Ezt a hatást csökkenteni ugyan lehet, de teljes kiküszöbölése nem lehetséges [3]. A mágneses teret a kondenzátorral sorba kötött soros egyenértékű induktivitással (ESL) tudjuk figyelembe venni.

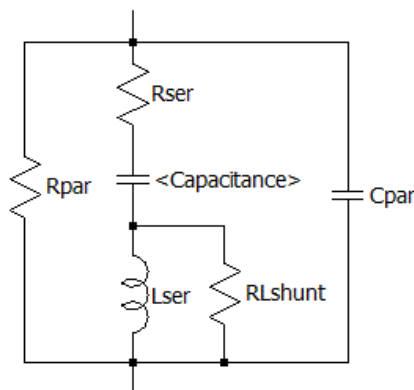
A hozzávezetések és a fegyverzetek villamosan vezető anyagból készülnek. Ezek ohmos ellenállása frekvencia növekedésével arányosan megnő, melynek oka a szkinhatás. Ezt a veszteséget a kapacitással sorba kötött soros egyenértékű ellenállással (ESR) lehet figyelembe venni.

A dielektrikum sem tökéletes. Ha feltöltünk egy kondenzátort, akkor az egyrészt energia befektetéssel jár, másrészt az idő előrehaladtával a kondenzátor veszít töltéséből. Ennek okai a polarizációs veszteségek és a dielektrikum véges vezetőképessége. A dielektrikum véges vezetési ellenállását a kapacitással párhuzamosan kapcsolt R_p (szigetelési vagy átvezetési) ellenállással vesszük figyelembe.



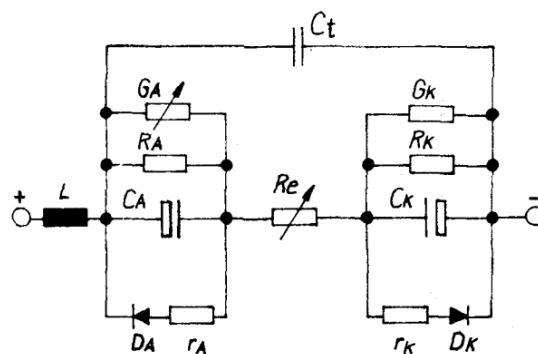
1. ábra. Valóságos kondenzátor egyszerűsített, helyettesítő kapcsolása a veszteségi paraméterekkel

Természetesen minél több tényezőt veszünk figyelembe a modell annál bonyolultabb lesz. Egy beépített kondenzátornál egyéb szórt kapacitásokat (földkapacitás, burkolati kapacitás) is be lehet vonni a modellbe. Az LTspice szimulációs program ettől némileg bonyolultabb modellt használ valóságos kondenzátorok viselkedésének modellezésére (2. ábra).



2. ábra. LTspice által használt valóságos kondenzátor modell, ahol „ser” soros-, „par” az egyenértékű párhuzamos elemeket jelöli. [4]

Az 1. és 2. ábrán bemutatott modellek általános kondenzátor modellek. Speciális kondenzátorok esetén a felépítéstől függően a villamos helyettesítő modell ettől összetettebb. A 3. ábrán az elektrolit kondenzátor egy villamos helyettesítő modellje látható.



3. ábra. Az elektrolit kondenzátor villamos helyettesítő képe [5]

Az MLCC kondenzátorok veszteségi paramétereinek meghatározásához mi az 1. ábrán bemutatott egyszerűsített helyettesítő kapcsolást használtuk fel, mivel a tervezési feladatok többsége esetén az ESR és ESL érték ismerete már elegendő a megoldáshoz.

4. MÉRÉSI ADATOK GENERÁLÁSA SZIMULÁCIÓS MODELLEK ALAPJÁN

A Murata Manufacturing Co. Ltd. (MURATA) Japán elektronikai alkatrészgyártó cég, amely piacvezető a passzív kerámia alapú alkatrészek, főként kondenzátorok gyártása területén. [6] A gyártó honlapján elérhetővé tette az általa gyártott kondenzátorok szimulációs modelljeit. Ezek a modellek a leggyakrabban használt áramkör szimulációs programok által feldolgozható formátumban állnak rendelkezésre. Mi a feladat megoldásához a LinearTechnology Corporation (LT) félvezetőgyártó által közzétett és ingyenesen használható LTspice nevű programot használtuk. [7]

Az LTspice egy SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) alapú analóg szimulációs program. A SPICE olyan nyílt forráskódú szoftver, amit a 70-es években a Berkeley egyetemen fejlesztettek ki. A programot Nonprofit céllal bárki használhatja Ez az alapja az ingyenes és kereskedelmi verziójú SPICE alapú szimulációs programoknak.

A MURATA által közzétett LTspice formátumú szimulációs modellek két részből állnak. Az egyik egy „asy” kiterjesztésű áramköri szimbólum, a másik egy „mod” kiterjesztésű kódolt formátumú áramköri modell fájl. A „asy” kiterjesztésű fájlokat a program főkönyvtárában a lib\sym\ mappában akár mappákba szervezeten vagy akár ömlesztve is elhelyezhetjük. A „mod” fájlokat a program főkönyvtárában a lib\sub mappába kell elhelyezni. Fontos, hogy itt nem szervezhetjük mappákba a fájlokat, hanem minden mod fájlt a sub mappának kell tartalmaznia.

A többi áramkör szimulációs programhoz hasonlóan alapesetben a grafikus felhasználói felületen (GUI) lehet a kapcsolási rajzot összeállítani, a szimulációs paramétereket megadni, a szimulációt futtatni és az eredményeket megjeleníteni. Az LTspice program lehetőséget nyújt a szimuláció parancsmódban való végrehajtására és az eredmények további feldolgozására. Ezt a szolgáltatást használjuk ki a veszteségi paraméterek meghatározásának automatizálására.

Váltakozó áramú analízis esetén legenerálódik egy a kapcsolási rajzzal megegyező nevű „raw” kiterjesztésű fájl is, amely kódoltan tartalmazza a szimulációs eredményeket. Ezen eredményeket felhasználva meghatározhatjuk az adott kapcsolási rajzban lévő kondenzátor veszteségi paramétereit (ESR, ESL). A fájl dekódolásához az LT honlapján keresztül elérhető egy *ltsputil* nevű program. Ezt parancssorból indítva a megfelelő kapcsolókkal kinyerhetjük a szimulációs eredményeket egy ASCII kódolású fájlba. Az átvezetési ellenállás (R_p) meghatározásához munkaponti analízist hajtunk végre hasonló módon. A cél az, hogy mind a szimuláció futtatását mind a veszteségi paraméterek meghatározását, egy programból automatikusan tudjuk elvégezni.

5. VESZTESÉGI PARAMÉTEREK MEGHATÁROZÁSA A MÉRÉSI ADATOKBÓL

Az impedancia meghatározásához a szimulátor programban egy egyamperes AC generátorral hajtjuk meg a modellt. Mérve a feszültség értékét a komplex ohm törvény értelmében az impedancia értékeket kapjuk meg. Az 1. ábrán látható soros rezgőkör impedanciájának minimuma van a rezonancia frekvencián (2)

$$\omega_{rez} = \frac{1}{\sqrt{ESL \cdot C}}, \quad (2)$$

ahol:

- ω_{rez} – a rezonancia körfrekvencia;
- ESL – az egyenértékű soros veszteségi induktivitás;
- C – a kondenzátor kapacitása.

Ezen a frekvencián a kondenzátor és a tekercs hatása ugyanakkora és ellentétes előjelű, így kioltják egymást. Itt az áramkör impedanciája tisztán ohmos jellegű és a soros egyenértékű ellenállással (ESR) megegyező.

Mivel rezonanciafrekvencia felett az áramkör induktív jellegű a megfelelő frekvenciaértékhez tartozó impedancia értékből számolható a soros egyenértékű induktivitás.

$$ESL = \frac{|\bar{Z}(\omega) - ESR|}{\omega}, \quad (3)$$

ahol:

- $\omega > \omega_{rez}$ – a körfrekvencia;

- ESL – az egyenértékű soros veszteségi induktivitás;
 ESR – az egyenértékű soros veszteségi ellenállás;
 $Z(\omega)$ – a soros rezgőkör impedanciája adott frekvencián.

A kondenzátor kapacitásának értékét rezonanciafrekvencia alatti frekvenciához tartozó impedancia és frekvencia értékből tudjuk meghatározni.

$$C = \frac{1}{\omega \cdot |Z(\omega) - ESR|} , \quad (4)$$

ahol:

- $\omega < \omega_{rez}$ – a körfrekvencia;
 C – a kapacitás;
 ESR – az egyenértékű soros veszteségi ellenállás;
 $Z(\omega)$ – a soros rezgőkör impedanciája adott frekvencián.

Az átvezetési ellenállást munkaponti analízis segítségével határozzuk meg. Egyenfeszültséget kapcsolunk a modellre és közben mérjük a rajta átfolyó áramot. Ekkor a kondenzátor szakadásként a tekercs pedig rövidzárként viselkedik. A mért áram a soros egyenértékű ellenálláson és R_p ellenálláson folyik keresztül. Az átvezetési ellenállás értékét a (4) képlettel határozzuk meg.

$$R_p = \frac{U}{I} - ESR , \quad (4)$$

ahol:

- U – a feszültség;
 I – az áram;
 R_p – az átvezetési ellenállás;
 ESR – az egyenértékű soros veszteségi ellenállás;

6. PARAMÉTEREK VALIDÁLÁSA

A meghatározott paraméterek ellenőrzésére több lehetőség is kínálkozik. A számolt kapacitás értéke a gyártó által megadott alkatrész azonosítóból kinyerhető névleges értékkel összevethető. Továbbá, a meghatározott veszteségi paraméterek értékeit az egyszerűsített modellbe behelyettesítve és a szimulációt újra lefuttatva a karakterisztikák összehasonlíthatók.

Az elektronikai alkatrészgyártók egyedi jelölési rendszert használnak termékeik azonosítására. A MURATA alkatrész jelölési rendszere magában hordozza a kondenzátor legfontosabb paramétereit. [8]

Például: GR M 18 8 B1 1H 102 K A01 K
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

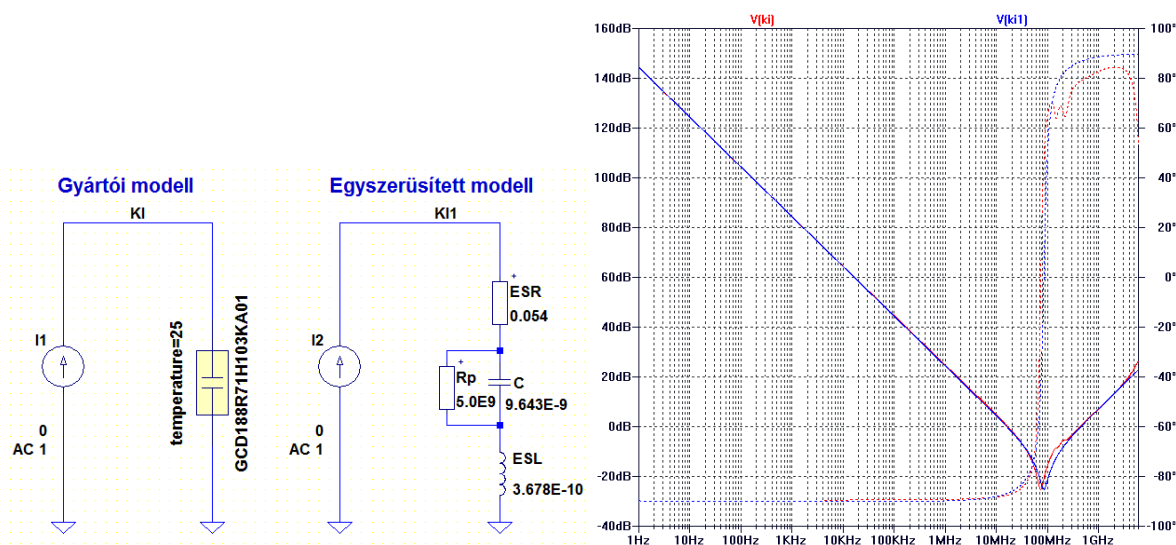
1. – Termékazonosító
2. – Sorozat
3. – Méret (L x W)
4. – Méret (T)
5. – Hőmérséklet karakterisztika

6. – Megengedett feszültség
7. – Névleges Kapacitás
8. – Tűrés
9. – Egyedi azonosító
10. – Tokozás

Kizárólag LLR sorozatszámú kondenzátoroknál a 9-es mező a gyártó által megadott ESR értéket jelenti. Az LLR sorozatszámú kondenzátornak a 9-es mezőjében négyféle érték található: E01; E03; E05; E07. Ezek rendre 0,1; 0,22; 0,47 és 1Ω ESR értékeket jelentenek. A korábban említett módszer segítségével kiszámításra került négy darab ilyen típusú kondenzátor ESR értéke is. Ezen értékek rendre E01 - 0,125Ω; E03 - 0,228Ω; E05 - 0,47Ω és E07 - 1,123Ω eredmények lettek.

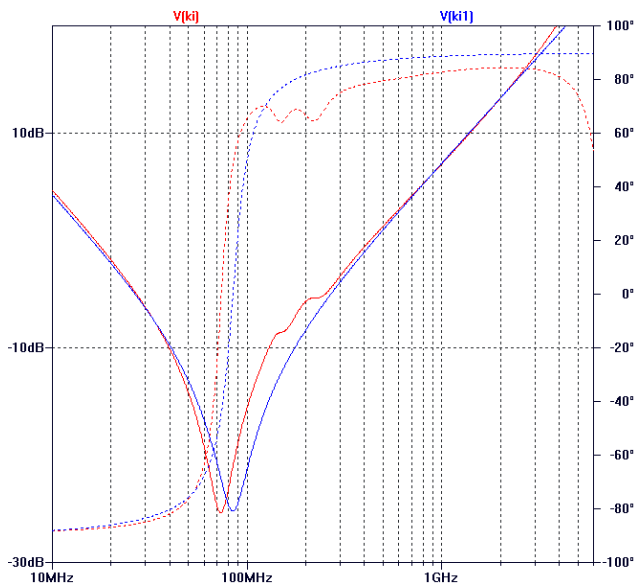
A gyártó a kondenzátor modelljeit valós mérési adatok alapján határozza meg. Így a számolások során kapott kondenzátor értékek az azonosítójukban megadott tűréssel térhetnek el az ideális értéktől. A fenti kondenzátor 7-es mezőjében 102 áll. Ez azt jelenti, hogy a kondenzátor $10 \cdot 10^2$ pF azaz 1 nF kapacitással rendelkezik. A 8-as mezőből pedig kiderül, hogy $\pm 10\%$ tűrése van. A bemutatott eljárással számolt kapacitás érték az előbbi kondenzátor esetén $1,04 \cdot 10^{-9} = 1,04$ nF volt. Ez az érték a tűrésen belül van.

A számolt paraméterértékeket visszahelyettesítve az egyszerűsített modellbe majd a szimulációt újra lefuttatva (4. ábra) látható, hogy a modell a kapacitív és az induktív tartományban megfelelően közelíti a gyártói modellt.



4. ábra. Veszteségi paraméterek validálása

Megvizsgálva az impedanciamenetet a rezonanciafrekvencia környezetében, jelentősebb eltérés látható a gyári modell és az egyszerűsített modell impedancia menete között (5. ábra).



5. ábra. Impedanciamenet a rezonancia frekvencia környezetében

Az eltérés abból ered, hogy a gyártói modell sokkal kifinomultabb, mint az egyszerűsített helyettesítő kép és további, legalább két energiatárolót, azaz szórt paramétereket, például kapacitásokat tartalmazhat. Az ESR, ESL és kapacitásra számolt hiba elhanyagolható mértékű, viszont a rezonancia frekvenciára számolt relatív hiba hozzávetőlegesen 15%.

7. A FOLYAMAT AUTOMATIZÁLÁSA SZOFTVER SEGÍTSÉGÉVEL

A MURATA alkatrészkönyvtára több mint 2500 kondenzátort tartalmaz. Ilyen nagy mennyiségű szimuláció kézzel történő lefuttatása szinte lehetetlen, hiszen egy alkatrész veszteségi paramétereinek meghatározásához kettő, a validálásához további egy szimuláció szükséges. A megoldást szoftveres automatizálásban láttuk.

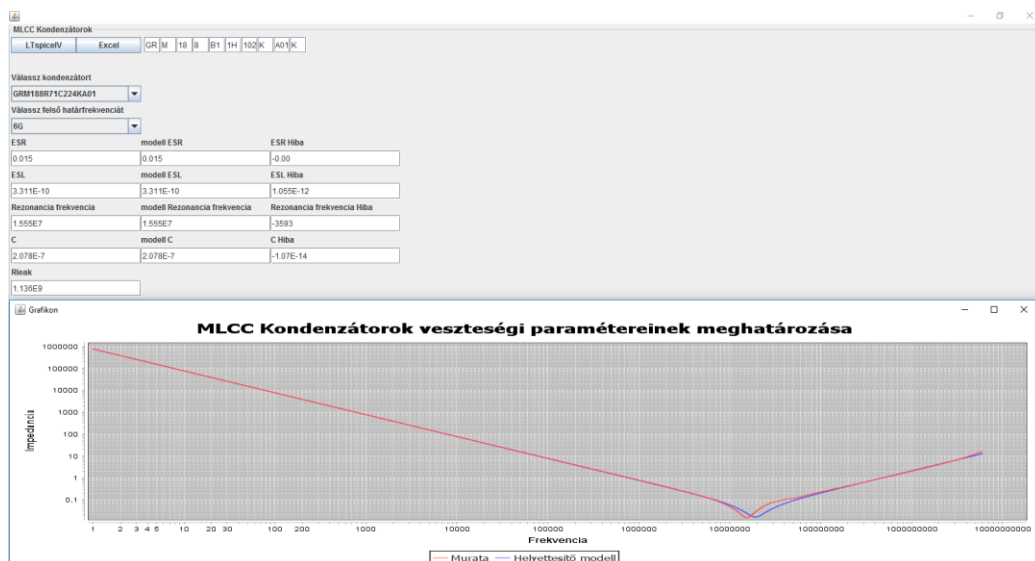
A kapcsolási rajzot a szimulációhoz előre elkészítettük az LTspice programban. A mentést követően egy „.asc” kiterjesztésű fájl jön létre. Ebben a fájlban a kondenzátor a nevével van azonosítva (6. ábra).

```

SYMATTR InstName I2
SYMATTR Value 0
SYMATTR Value2 AC 1
SYMBOL res 1152 48 R0
SYMATTR InstName ESR
SYMATTR Value 0.9188568409052181
SYMBOL ind 1152 304 R0
SYMATTR InstName ESL
SYMATTR Value 1.7054738163149093E-10
SYMBOL cap 1152 192 R0
SYMATTR InstName C2
SYMATTR Value 9.99998863997572E-11
SYMBOL GCD188R71H103KA01 352 224 R90
SYMATTR InstName U1
TEXT 120 -80 Left 2 !.ac oct 100 1 6G
TEXT 616 -240 Left 4 ;Veszteséges modell
RECTANGLE Normal 1536 592 608 -208 2
    
```

6. ábra. Az LTspice áramkört leíró fájl a kondenzátor azonosítójával

Az automatizálást végző programnak ezt az azonosítót kell kicserélnie az aktuális kondenzátor modellre, futtatnia kell a szimulátor programot batch módban, fel kell dolgoznia az eredmény fájlt és meg kell határozni a paramétereket. A meghatározott veszteségi paramétereket a programnak vissza kell írnia a veszteséges modell alkatrészeibe és újra futtatnia kell a szimulációt. Az átvezetési ellenállás meghatározásához 1V egyenfeszültséggel hajtjuk meg a kondenzátor modellt és mérve az áramot meghatározzuk az annak értékét.



7. ábra. A számításokat végző program felhasználói felülete

A teljes folyamatot Java nyelven írt program segítségével automatizáltuk. [9, 10] A program felhasználói interfésze a 7. ábrán látható. Ezen keresztül kontrollálható a paraméter meghatározás folyamata. Kijelzésre kerülnek a meghatározott értékek, a hiba értékek valamint kirajzolásra kerül a gyári modell és a veszteséges modell impedancia menete.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	MLCC Kondik	ESR[Q]	ESL[H]	C[F]	Frez[Hz]	mESR[Q]	mESL[H]	mC[F]	mFrez[Hz]	ESR hibal[Q]	ESL hibal[H]	C hibal[F]	Név kapacitás	Tűrés	Név feszültség	Átv. Ellenlítás
2	GCD188R71E273KA01	0.034	5.212E-10	2.516E-8	4.074E7	0.035	5.21E-10	2.533E-8	4.367E7	-0.00	2.000E-13	-1.69E-10	27000 OpF	+/-10%	DC25V	5.0E9
3	GCD188R71E473KA01	0.026	3.718E-10	4.358E-8	3.309E7	0.027	3.719E-10	4.388E-8	3.935E7	-0.00	-9.99E-14	-3.00E-10	47000 OpF	+/-10%	DC25V	5.0E9
4	GCD188R71H102KA01	0.312	5.748E-10	1.034E-9	2.211E8	0.313	5.591E-10	1.042E-9	2.049E8	-0.00	1.570E-11	-7.99E-12	1000 OpF	+/-10%	DC50V	5.0E9
5	GCD188R71H103KA01	0.054	3.678E-10	9.643E-9	7.293E7	0.055	3.652E-10	9.71E-9	8.377E7	-0.00	2.600E-12	-6.69E-11	10000 OpF	+/-10%	DC50V	5.0E9
6	GCD188R71H122KA01	0.296	6.266E-10	1.15E-9	1.979E8	0.297	6.114E-10	1.158E-9	1.859E8	-0.00	1.520E-11	-7.99E-12	1200 OpF	+/-10%	DC50V	5.0E9
7	GCD188R71H152KA01	0.217	5.964E-10	1.466E-9	1.821E8	0.218	5.837E-10	1.477E-9	1.687E8	-0.00	1.270E-11	-1.10E-11	1500 OpF	+/-10%	DC50V	5.0E9
8	GCD188R71H182KA01	0.184	4.893E-10	1.8E-9	1.711E8	0.185	4.76E-10	1.813E-9	1.687E8	-0.00	1.029E-11	-1.30E-11	1800 OpF	+/-10%	DC50V	5.0E9
9	GCD188R71H222KA01	0.158	4.471E-10	2.181E-9	1.596E8	0.159	4.383E-10	2.196E-9	1.596E8	-0.00	8.800E-12	-1.50E-11	2200 OpF	+/-10%	DC50V	5.0E9
10	GCD188R71H232KA01	0.035	3.107E-10	2.012E-8	5.157E7	0.036	3.096E-10	2.026E-8	6.305E7	-9.99E-4	1.100E-12	-1.39E-10	22000 OpF	+/-10%	DC50V	5.0E9
11	GCD188R71H272KA01	0.138	3.97E-10	2.688E-9	1.449E8	0.139	3.896E-10	2.707E-9	1.531E8	-0.00	7.400E-12	-1.90E-11	2700 OpF	+/-10%	DC50V	5.0E9
12	GCD188R71H332KA01	0.125	4.639E-10	3.345E-9	1.252E8	0.126	4.574E-10	3.368E-9	1.27E8	-0.00	6.500E-12	-2.30E-11	3300 OpF	+/-10%	DC50V	5.0E9
13	GCD188R71H392KA01	0.116	4.379E-10	3.727E-9	1.177E8	0.117	4.32E-10	3.753E-9	1.235E8	-0.00	5.9E-12	-2.59E-11	3900 OpF	+/-10%	DC50V	5.0E9
14	GCD188R71H472KA01	0.102	3.823E-10	4.682E-9	1.098E8	0.103	3.775E-10	4.715E-9	1.185E8	-0.00	4.800E-12	-3.30E-11	4700 OpF	+/-10%	DC50V	5.0E9
15	GCD188R72A102KA01	0.312	5.748E-10	1.034E-9	2.211E8	0.313	5.591E-10	1.042E-9	2.049E8	-0.00	1.570E-11	-7.99E-12	1000 OpF	+/-10%	DC100V	5.0E9
16	GCD188R72A103KA01	0.054	3.678E-10	9.643E-9	7.293E7	0.055	3.652E-10	9.71E-9	8.377E7	-0.00	2.600E-12	-6.69E-11	10000 OpF	+/-10%	DC100V	5.0E9
17	GCD188R72A122KA01	0.296	6.266E-10	1.15E-9	1.979E8	0.297	6.114E-10	1.158E-9	1.859E8	-0.00	1.520E-11	-7.99E-12	1200 OpF	+/-10%	DC100V	5.0E9
18	GCD188R72A152KA01	0.217	5.964E-10	1.466E-9	1.821E8	0.218	5.837E-10	1.477E-9	1.687E8	-0.00	1.270E-11	-1.10E-11	1500 OpF	+/-10%	DC100V	5.0E9
19	GCD188R72A182KA01	0.184	4.893E-10	1.8E-9	1.711E8	0.185	4.76E-10	1.813E-9	1.687E8	-0.00	1.029E-11	-1.30E-11	1800 OpF	+/-10%	DC100V	5.0E9
20	GCD188R72A222KA01	0.158	4.471E-10	2.181E-9	1.596E8	0.159	4.383E-10	2.196E-9	1.596E8	-0.00	8.800E-12	-1.50E-11	2200 OpF	+/-10%	DC100V	5.0E9
21	GCD188R72A232KA01	0.035	3.107E-10	2.012E-8	5.157E7	0.036	3.096E-10	2.026E-8	6.305E7	-9.99E-4	1.100E-12	-1.39E-10	22000 OpF	+/-10%	DC100V	5.0E9
22	GCD188R72A272KA01	0.138	3.97E-10	2.688E-9	1.449E8	0.139	3.896E-10	2.707E-9	1.531E8	-0.00	7.400E-12	-1.90E-11	2700 OpF	+/-10%	DC100V	5.0E9
23	GCD188R72A332KA01	0.125	4.639E-10	3.345E-9	1.252E8	0.126	4.574E-10	3.368E-9	1.27E8	-0.00	6.500E-12	-2.30E-11	3300 OpF	+/-10%	DC100V	5.0E9
24	GCD188R72A392KA01	0.116	4.379E-10	3.727E-9	1.177E8	0.117	4.32E-10	3.753E-9	1.235E8	-0.00	5.9E-12	-2.59E-11	3900 OpF	+/-10%	DC100V	5.0E9
25	GCD188R72A472KA01	0.102	3.823E-10	4.682E-9	1.098E8	0.103	3.775E-10	4.715E-9	1.185E8	-0.00	4.800E-12	-3.30E-11	4700 OpF	+/-10%	DC100V	5.0E9
26	GCD216R71H102KA01	0.315	5.936E-10	1.053E-9	2.092E8	0.316	5.779E-10	1.06E-9	1.992E8	-0.00	1.569E-11	-7.00E-12	1000 OpF	+/-10%	DC50V	5.0E9
27	GCD216R71H122KA01	0.242	5.476E-10	1.220E-9	2.034E8	0.243	5.339E-10	1.234E-9	1.925E8	-0.00	1.369E-11	-8.00E-12	1200 OpF	+/-10%	DC50V	5.0E9
28	GCD216R71H152KA01	0.206	5.01E-10	1.506E-9	1.859E8	0.207	4.894E-10	1.516E-9	1.821E8	-0.00	1.160E-11	-9.99E-12	1500 OpF	+/-10%	DC50V	5.0E9
29	GCD216R71H182KA01	0.185	4.58E-10	1.76E-9	1.759E8	0.186	4.477E-10	1.772E-9	1.759E8	-0.00	1.030E-11	-1.20E-11	1800 OpF	+/-10%	DC50V	5.0E9
30	GCD216R71H222KA01	0.155	4.303E-10	2.174E-9	1.596E8	0.156	4.216E-10	2.189E-9	1.63E8	-0.00	8.699E-12	-1.50E-11	2200 OpF	+/-10%	DC50V	5.0E9

8. ábra. A kondenzátorok veszteségi paramétereit tartalmazó Excel táblázat

Kiszámolt veszteségi paramétereket ideiglenesen tömbökben helyezük el. Ha a program minden egyes kondenzátorral lefuttatta a szimulációkat és elvégezte a számításokat, az eredményeket beírja egy Excel táblázatba.

Az elkészült táblázatból későbbiekben már könnyen kikereshetjük az áramkörtervezéshez szükséges kondenzátorokat.

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben bemutatunk egy olyan módszert, amivel a gyártó által biztosított szimulációs modellekből az MLCC kondenzátorok veszteségi paramétereit könnyen meghatározhatók. Készítettünk egy Java nyelvű szoftvert, amely az LTSpice szimulátort használja a szimuláció elvégzéséhez. A program egy előre összeállított kapcsolási rajzban változtatja az alkatrészeket és a szimulációs beállításokat. A szimulációs programot parancssorból, batch módban futtatva a szimulációs eredmények automatikusan generálódnak. Ezeket az eredményeket a szoftver feldolgozza és meg tudja határozni a megadott szimulációs modellek segítségével a kondenzátorok egyszerűsített helyettesítő kapcsolásában lévő veszteségi paramétereket. Egyesével vizsgálva ki tudjuk rajzolni a szimulációs és helyettesítő modell impedancia menetét egy grafikonra. Az ábrákon jól látható, hogy az egyszerűsített veszteségi modell a számításból származó adatokkal végzett szimuláció során, a kapacitív és induktív tartományban megfelelően közelíti a gyári modell impedancia menetét. Eltérés a rezonanciafrekvencia környezetében figyelhető meg. Ennek oka, hogy a gyártói modell sokkal több szórt paramétert vesz figyelembe, mint az egyszerűsített helyettesítő kapcsolás. A program segítségével előállítottunk egy olyan táblázatot, amely tartalmazza a kondenzátor egyszerűsített helyettesítő modell szerinti veszteségi paramétereit.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] M. KAHN, *Multilayer ceramic capacitors—materials and manufacture, technical information*, AVX Corporation
- [2] *Ceramic Capacitor*, https://en.wikipedia.org/wiki/Ceramic_capacitor
- [3] OTTO ZINKE, HANS SEITHER, *Ellenállások kondenzátorok, tekercesek*, Műszaki

- könyvkiadó, Bp. 1986
- [4] LTwiki-Wiki for LTspice, Capacitor, http://ltwiki.org/?title=C_Capacitor
 - [5] **KOVÁCS GY, MÁRAI GY**, *Az elektrolit kondenzátorok alkalmazási területei és új típusai*, http://www.hiradastechnika.hu/data/upload/file/1984/10/1984_10_09.PDF
 - [6] **MURATA**, *About Murata*, <http://www.murata.com/en-us/about?>
 - [7] LinearTechnology honlapja: <http://www.linear.com>
 - [8] **MURATA**, Murata honlapja: <http://www.murata.com>
 - [9] A Java programhoz segédletek: www.jfree.org; jexcelapi.sourceforge.net
 - [10] **ORACLE**, *Java™ Platform, Standard Edition 7API Specification*, <http://docs.oracle.com/javase/7/docs/api/>

AZ ÖTÖDIK GENERÁCIÓS REPÜLŐGÉPEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA TECHNIKA SZEMPONTJÁBÓL

COMPARISON OF FIFTH GENERATION AIRCRAFT IN TERM OF TECHNOLOGY

MALÁTA Gergő

¹honvéd tisztjelölt, hmg42@citromail.hu

¹Nemzeti Közsolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Katonai Repülő Intézet, Fedélzeti Rendszerek Tanszék, H-5008 Szolnok, Pf. 1.

Kivonat: *Az ötödik generációs repülőgépek korunk legfejlettebb technológiáival rendelkeznek. Új képességeik révén még hatékonyabb feladat végrehajtásra képesek, mely igen eredményes a légi műveletek folyamán. Napjainkban is további fejlesztések zajlanak USA-ban, Oroszországban, Kínában és Japánban. Az alábbi országok különböző fejlesztési filozófiákkal rendelkeznek, így a jelenlegi ötödik generációs repülőgépek képességei, különbözősége láthatók. Ebben a cikkben ezeket a különbségeket és hasonlóságokat jellemezem.*

Kulcsszavak: *ötödik generációs repülőgépek, manőverező képesség, avionika, fegyverzet*

Abstract: *The fifth generation aircraft have the most advanced technology. With their new capabilities, they can carry out tasks more efficiently, which is more successful during air operations. These days USA, Russia, China and Japan has these aircraft. These countries have different philosophies, so capabilities and differences of the fifth generation aircraft are noticeable. I am characterizing the differences and similarity of them in the article.*

Keywords: *new generation fighters, maneuverability, avionics, weapons system*

1. BEVEZETÉS

A vadászrepülőgépeket a különböző hadműveletek, légi fölény, kedvező légi helyzet kivívása, légtér védelmi és légi támogatási feladatok végrehajtása érdekében hozták létre. Öt generációba lehet őket sorolni (1. ábra). Az első generáció a szubszonikus repülőgépek, melyeken a sugárhajtómű először lett alkalmazva, amelyeket a második világháborúban és a koreai háborúban használtak (Me-262, F-86). A második generáció koreai háborúban vettek részt, anyagi és elektronikai jellemzőik fejlettebbek voltak és szuperszonikus repülésre már képesek voltak (F-8 Crusader, F-104 Starfighter, MiG-19 Farmer). A harmadik generációs vadászrepülőgépek a Hideg háború alatt széleskörűen voltak alkalmazva. Légi harcok folyamán itt használtak először levegő-levegő rakétákat, valamint fejlettebb avionikával rendelkeztek (F-4 Phantom, F-111, F-14 Tomcat, MiG-23 Flogger). A negyedik generációs vadászrepülőket az 1970-es években kezdték kifejleszteni a vietnámi, és a helyi háborúk tapasztalatai alapján. Elődjeikhez képes jóval modernebbek voltak új hajtóműveknek, rádiólokátoroknak, szenzorainak, és elektronikai harcászati rendszereinek köszönhetően. (F-15 Eagle, Su-27 Flanker, MiG-29 Fulcrum). A négy és feledik generációs repülőgépek az elődjeik új berendezésekkel való modernizálása, például: új hajtóművek, avionika stb. Az ötödik generációs vadászrepülőgépek nagyfokú manőverezhetőségeik kifinomultabb révén sokkal hatékonyabbak, mint elődjeik. A lopakodó technológiájuk és az integrált fedélzeti informatikájuk végett határoljuk el a negyedik generációtól, amely a hadműveletekben résztvevő repülőgépek eddigi tevékenységei új tervezés és szempontok figyelembe vételét igényelte a légi műveletek szervezésében. A XXI. század légi műveleteinek

szervezése magasabb szintű légi, szárazföldi és tengerészeti erőkkel létesíthető kommunikációs kapcsolatok létrehozhatóságán alapszik. Az ötödik generációs repülőgépek képesek bármilyen meghatározott célra csapást mérni, mely kulcsfontosságú tulajdonság a napjaink légi hadviselésében. Az amerikai F-22A Raptor és F-35 Lightning II, az orosz Sukhoi T-50 PAK-FA, a kínai J-20 és a japán Mitsubishi ATD-X a jelenlegi ötödik generációs vadászipülőgépek [1][2][3][4][6][17].



1. ábra. A vadászipülőgépek fejlődése¹

1.1 Negyedik generációs repülőgépek

Napjaink hadműveleteiben a harci repülőgépek döntő részét ezen generáció teszi ki. Az 1970-es években kezdték el a helyi háborúk tapasztalatai alapján továbbfejleszteni ezeket, ezáltal képesek felderíteni és megsemmisíteni bármilyen légi, földi vagy tengerészeti célpontot, ezáltal effektívebben kivívható a légi fölény [1][2][3][4][17].

Következő új képességekkel rendelkeznek az elődeihez képest:

- hatékonyabb és erőteljesebb hajtóművek;
- magasabb szintű manőverezhetőség;
- FBW² rendszerek;
- Doppler tűz irányító radarok;
- belső és felszerelhető EO/IR³ szenzorok;
- HUD⁴ rendszerek;
- lézer és GPS vezérelt fegyverek alkalmazhatók;
- fejlett elektronikai hadviselés.

¹ Készítette a szerző (MS Paint), Forrás: <http://image.slidesharecdn.com/breakfast2-28-121tgcencarlisle-121223213>

547-phpapp02/95/usaf-fifth-gen-fighter-4-638.jpg?cb=1356298597 (2016.05.06)

² Fly-by-wire – Elektronikus repülés irányító rendszer

³ Electro-Optical/Infrared sensors – Elektro optikai és infravörös érzékelők

⁴ Heads-up display – homloküveg indikátor

Kifinomult sárkányszerkezeti kialakításának köszönhetően kisebb a szárnyterhelés és nagyobb TWR⁵ jellemző és az FBW rendszernek köszönhető a hatékonyabb manőverezőképesség. Az FBW amerikai oldalról igaz, mert a repülésirányítás elektronikusan történik, mely rövidtávon rengeteg problémát okozott, mert számos baleset történt, ezért az oroszok a megbízható mechanikus megoldásoknál maradtak [1][4][17].



2. ábra. Negyedik generációs vadászpilóta nélküli repülőgépek: F-16 Fighting Falcon, MiG-29 Fulcrum, F/A-18E/F Super Hornet, F-15 Eagle⁶

A Doppler tűzirányító radarok, EO/IR érzékelők és fejlettebb HUD rendszerek által képesek észlelni, azonosítani és bemérni az ellenséges légi, szárazföldi és haditengerészeti csapatokat. Egyszerre több célpontot is támadhatnak, akár nagy távolságból is [1][4][17].

1.2 Négy- és feledik generációs repülőgépek

A negyedik generációs gépek tovább fejlesztett változatai, amely az ötödik generációs típusok fejlesztése közben hozták létre. Modernebb képességekkel rendelkeznek, amelyek hasonlóak az ötödik generációs gépekhez, csak a hatásos radarkeresztmetszetet az ellenséges radarok által kibocsájtott sugarak elnyelésére alkalmas szerkezeti anyagok és borítások felhasználásával igyekeztek csökkenteni a tervezők, és nem a sárkányszerkezeti megoldások révén.

Új hajtóművet fejlesztettek ki, amely révén szupermanőverezhetőségre és szupercirkálásra képesek. Ennek még hatékonyabb irányítása is jellemző ezekre a tolóerővektor szabályzó rendszereknek köszönhetően, mely része a repülőeszközök irányítását végző automatikus repülésszabályozó MIMO, (Multi input, Multi output) rendszernek. Ezen berendezések tervezése, méretezése összetett mérnöki feladat [8][9][20][21][22]. Sárkányszerkezetükben kis mértékben különböznek tőlük, mint pl.: a Su-27 Flanker és a Su-35 Flanker-E között észrevehető, hogy a modifikált változat kacsaszárnyal rendelkezik, mely a fejlesztések okozta orrnehezdedést stabilizálja (3. ábra). Korszerűbb rádiólokációs rendszerekkel rendelkeznek, melyek csúcsteljesítménye megfelel az F-22 Raptor (APG-77) radarjáénak.

⁵ Thrust-to-weight ratio – Tolóerő-tömeg arány

⁶ Készítette a szerző (MS Paint), Forrás: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c4/F16_SCANG_InFlight.jpg; <http://cdn2.ubergizmo.com/wp-content/uploads/2015/06/mig-29.jpg>; url: http://www.aerospaceweb.org/aircraft/fighter/su27/su27_01.jpg; <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/736x/de/19/fa/de19fa7a9ba2758f1c3593745aa4a7be.jpg> (2016.04.30)

Rádió frekvenciás vészjelzőkkel és zavarókkal, hőérzékelőkkel, belső és műholdas navigációs rendszerekkel vannak felszerelve. A repülőgépvezetők a fejlett kommunikációs rendszerek révén képesek egymás közti információ, szenzorok által észlelt, bemért és azonosított adatok átadására és célpontok megjelölésére [1][2][3][4][8][9][17].



3. ábra. A Su-27 Flanker⁷ (bal) és a Su-35 Flanker-E⁸ (jobb) közötti sárkányszerkezeti különbség [17][18]

A különböző országok repülőgép típusai közti tulajdonságok hasonlóak, de különbségek mindig vannak. Példaként a Sukhoi Flanker-ek és F-15 különböző típusait, F/A-18E/F Block II Super Hornetet, F-16E/Block-ot hozom fel, melyek egy időben hasonló fejlesztéseken mentek keresztül. A Sukhoi-ok fejlettebb hajtóművel rendelkeznek (AL-41F), mely képes fenntartani a szuperszonikus sebességet és a szupercirkáló üzemmódot. PTB-2000 üzemanyagtartályokkal felszerelve ugyanolyan hatótávolságúak, mint az F-15. Ibris E-kel ellátva gyorsabb észlelés és bemérés jellemző az F-15 APG-63 AESA⁹, az F/A-18E/F Block II Super Hornet APG-79, az F-16E/Block 60 AN/APG-80, az Eurofighter Typhoon Euroradar CAPTOR és a Dassault Rafale RBE2-AA radarokkal szemben, így megvalósítható a „elsőként meglátni, elsőként tüzelni” elv [1][2][3][4][6].

Az európai és az amerikai gépek tulajdonságai között jellemző különbségeket az 1. táblázat tartalmazza.

Kategória	Dassault Rafale	Eurofighter Typhoon	F/A-18E/F Block II Super Hornet	F-16E/F Block 60	F-15E Strike Eagle
Fegyverzet	8,6/10	8,5/10	7,9/10	7,9/10	8/10
Technológia	8,5/10	8,8/10	8,9/10	9/10	9/10
Avionika	8,4/10	8,6/10	9/10	9/10	9/10
Manőverezhetőség	9,3/10	9,5/10	7,8/10	7,9/10	8,2/10
Emelkedési sebesség	300 m/s	315 m/s	228 m/s	254 m/s	254 m/s
TWR	1,13	1,15	1,03	1,11	1,07
Maximális magasság	17 km	20 km	15 km	15 km	18 km
Sebesség	2 Mach	2,35 Mach	1,8 Mach	2 Mach	2,50 Mach

1. táblázat. Az amerikai és európai négy és feledik generációs repülőgépek adatai¹⁰ [13][14][15][16]

⁷ http://www.aerospaceweb.org/aircraft/fighter/su27/su27_01.jpg (2016.05.16)

⁸ Készítette a szerző (MS Paint), Forrás: <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/736x/de/19/fa/de19fa7a9ba2758f1c3593745aa4a7be.jpg> (2016.05.16)

⁹ Active electronically scanned array – Aktív fázis vezérelt radar

¹⁰ Szerkesztette a szerző (Ms-Word)

2. ÖTÖDIK GENERÁCIÓS VADÁSZREPÜLŐGÉPEK ÉS ÖSSZEHASONLÍTÁSUK

A kommunikációs, radar és levegő-levegő rakéta technológia fejlődésével és a lopakodó technológia alkalmazásával születtek meg napjaink legmodernebb harci gépei, az ötödik generációs repülőgépek. Napjainkban, a legfejlettebb országok folytatnak ezekkel kapcsolatos fejlesztéseket. Erőteljes légicsapás és légi harc megvívása mellett lehetséges, hogy sértetlenül térjenek vissza a bázisra a lopakodó technológiájuknak köszönhetően.

Az ötödik generációs repülőgépek tulajdonságai:

- rádiólokátorokkal és infravörös szenzorokkal szembeni alacsony észlelhetőség;
- fegyverzete annak törzsében történik hordozásra;
- szupercirkálás;
- hatékony manőverezhetőség hangsebesség felett;
- utánégető használata nélküli hangsebesség;
- nagy harci hatékonyság a légi, szárazföldi és tengeri célpontok elpusztításakor;
- körkörös érzékelés szenzorjai révén.

Kompozit anyagból készültek, így sárkányszerkezetük nagy teljesítményre képesek. Manőverezéskor csökken a repülőgép sebessége, ezért új hajtóművet fejlesztettek ki és tolóerővektor-eltérítő rendszerrel vannak ellátva, amely a sárkányszerkezeti kialakítás által köszönhető a szupermanőverező képesség.

Avionikájuk integrált rádiófrekvenciás és elektro-optikai érzékelőkkel van felszerelve, amelyek együttműködnek az AESA radarokkal. Ezek több feladat egyidejű elvégzését teszik képessé a repülőgépeket egy bevetés végrehajtása alatt. Például az F-22 Raptor képes elektronikai zavarásra és IFF¹¹-re, a normál érzékelés mellett.

Az egyes koncepciók között különbségek vannak. Az amerikaiak a repülésbiztonságot tekintették fontos tényezőnek, ezért a fedélzeti repülésirányító rendszer tiltja a veszélyes repülési manőverek végrehajtását. Az amerikai repülő-mérnökök a repülő-fegyverzet és a lopakodó technológia területén végeztek kutatásokat. Az alacsony észlelhetőség révén akarták biztosítani az „elsőként meglátni, elsőként tüzelni” elv megvalósítását. Az orosz típusok megtervezésénél a manőverező képességet és a fegyverek célzó rendszereinek működését és fenntartását tekintették a legfontosabbnak. Ezért kevésbé foglalkoztak a repülőgép hajtóművének észlelhetőségének csökkentésével. A szárnyat közvetlen úgy alakították ki, hogy a sugárhajtóművel együtt még hatékonyabb manőverező képességet és nagyobb repülési sebességet biztosítsanak. A kínaiak is a hajtóművek fejlesztését tekintik a legfontosabb tényezőnek, de más fejlesztési területen sincsennek lemaradva, mivel a J-20 ugyanúgy rendelkezik korszerű avionikával, lopakodó kialakítású sárkányszerkezettel és rejtett fegyverzettel [1][2][3][4][11].

2.1 Manőverezőképesség

A Sukhoi PAK FA-ra jellemző manőverező képesség egy szinten van az F-22 Raptor-éval. A T-50-nek a tolóerővektor eltérítő rendszere 3D-s, míg az amerikai típusnak csak 2D-s. Bár az F-22-nek vertikális manőverező tulajdonsága jobbak a nagyobb tolóerőnek és ebből

¹¹ Identification friend or foe – Barát/ellenség azonosítás

következő TWR-nek köszönhetően, mint a PAK FA-nak. Az F-35 koránt sem olyan jól manőverezhető, mint az utóbbi két repülőgép. Ez a vadászrepülőre jellemző nagyobb szárnyterhelés miatt van, valamint nincs tolóerőszabályzó rendszere. A J-20 csak kis híján vetekszik a PAK FA-val ezen a téren amelyet folyamatosan fejlesztenek. Az ATD-X a tolóerővektor szabályzó rendszere az amerikai kísérleti repülőgépekhez (X-31, F/A-18 HARV) hasonlóan van kialakítva a még hatékonyabb manőverek végrehajtása érdekében (4. ábra) [1][2][3][4][11][18][19].



4. ábra. A Mitsubishi ATD-X¹² (bal) és az F-22 Raptor¹³ (jobb) tolóerő vektor szabályzó rendszerei

2.2 Avionika

Még nincs információ arról, hogy a Sukhoi PAK FA, a J-20 és a Mitsubishi ATD-X milyen típusú rádiolokátort használ. Orosz oldalról most is zajlik az Irbis E AESA fejlesztése, mely még nem nyilvános. Ugyanez a képesség amerikai oldalról egyaránt megtalálható. Az F-22 Raptor és az F-35 Lightning II ellenséges radarokkal és elektronikus zavarókkal szembeni hatékony védelemmel vannak felszerelve.

A PAK FA számára veszélyt jelent az amerikai gépek rádiolokációs rendszerei, mivel az F-22 képes az „elsőként meglátni, elsőként tüzelni” elv megvalósításában a lopakodó technológiájának és a nagyteljesítményű AESA radarjának köszönhetően. Az F-35 rádiolokációs rendszere, a kisebb teljesítményű AN/APG-81 képes a hatásos távolságon belül észlelni a PAK FA-t, mielőtt az bemérhetné a Lightning II-t, mivel jobb az észlelhetőség elleni védelme.

A radarok mellett az IRST¹⁴ rendszerekkel is rendelkeznek, kivéve az F-22-t. Az F-35 képes a rendszer által észlelni a PAK FA-t mert az nem rendelkezik infravörös érzékelők elleni védelemmel, mert nem álcázták annak hajtóművét. Az oroszok igyekeznek ezt a problémát megoldani, de a jelenlegi szerkezetét már nagyon bonyolult kiegészíteni ezzel. Az amerikai repülőgépek fel vannak szerelve ilyen védelemmel [1][2][3][4][11][18][19].

2.3 Fegyverzet

¹² Készítette a szerző (MS Paint), Forrás: <https://thaimilitaryandasianregion.files.wordpress.com/2016/02/8e7a7-japanese-stealth-fighter-thrust-vectoring.jpg?w=688&h=431> (2016.05.23)

¹³ https://arcturus415.files.wordpress.com/2013/08/f22_6_187.jpg (2016.05.23)

¹⁴ Infrared search and track – Infravörös érzékelő rendszer

A rakéták képességei amerikai és orosz oldalról nagyon hasonlóak. Számukra biztosítani kell a megfelelő hatótávolság és manőverezőképesség mellett azt is, hogy a rakéta képes legyen észlelni és bemérni az alacsony érzékelhetőségű repülőgépet. A radar által kibocsájtott jelek hatékony elnyelése érdekében fegyverzetüket a törzsbe süllyesztve hordozzák, mint ahogy az F-22-re, a PAK FA-ra, az F-35-re, a J-20-ra és az ATD-X-re is jellemző. Ezek jelentősége a kapacitásuk, hogy milyen és mennyi fegyvert hordozhatnak. Az még ismeretlen, hogy a PAK FA-t, a J-20-t és az ATD-X-et hány levegő-levegő rakétával lehet felszerelni. Az F-22 képes nyolc ilyen fegyvert a törzsében hordozni, az F-35 pedig négyet. Így jelentős hátránya van a PAK FA-val, a J-20 és az ATD-X-el szemben. Bár a T-50 nem rendelkezik infravörös érzékelőkkel szembeni védelemmel, ez orosz oldalról hátrány, mert az F-35 infravörös célzórendszere révén a rakéták is képesek észlelni és bemérni [1][2][3][4][11][18][19].

ÖSSZEFOGLALÁS

Jelenleg is zajlik az ötödik generációs vadászrepülőgépek fejlesztése. Folyamatosan korszerűsítik azok képességeit minden helyzetre való felkészülés érdekében. Ez a verseny mindig is jelen volt és lesz. Számunkra ismeretlen, hogy milyenek lesznek a jövő harci repülői. A hatodik generációs vadászrepülőgépekről feltételezett, hogy pilóta nélküli lesz, újfajta fegyvereket fog használni, például elektromágneses ágyút vagy lézerfegyvert és magasabb sebességre lesz képes. Bár ennek a fejlesztése még kezdeti stádiumban van és sok követelményt támasztottak ezek iránt, valamint még kb. 40-50 év, mire tényleg sikerül létrehozni.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BÉKÉSI B., SZEGEDI P.:** *Trendek a vadászrepülőgépek legújabb generációinak fejlesztésére alkalmazására.* XIV. Természet-, Műszaki- és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia. Nyugat-magyarországi Egyetem, Szombathely 2015. pp. 151-162. (ISBN: 978-963-359-053-9)
- [2] **BÉKÉSI B., SZEGEDI P.:** *Napjainkban fejlesztett fegyverrendszerek megjelenése a jövő hadszínterein, a tudásalkalmazás és fejlesztés szempontjából.* Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2015/3, pp. 105-116.
- [3] **BÉKÉSI B., SZEGEDI P.:** *Napjaink fegyverrendszer fejlesztési trendjei,* ECONOMICA (Szolnok) 2015 (4/2. szám) pp. 158-168.
- [4] **BÉKÉSI B., SZEGEDI P.:** *Ötödik generációs vadászrepülőgépek fejlesztésének filozófiai,* Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi régióban 2015, 591 p, Debrecen. 2015. pp. 194-206. (ISBN: 978-963-7064-32-6)
- [5] **STEVEN L. JONES:** *The Conversation: What is a fifth-generation fighter aircraft?* (online) url: phys.org/pdf318069212.pdf (2016.04.30)
- [6] **RONG YANG, CHI SHEN, FANGMING HUANG:** *Air Combat Tactics among the Fourth Generation Fighters* (online) url: <http://www.joace.org/uploadfile/2014/1008/20141008113010933.pdf> (2016.04.30)

- [7] **ROBBIN F. LAIRD:** *A 21st-century Concept of Air and Military Operations* (online) url: <http://ndupress.ndu.edu/Portals/68/Documents/defensehorizon/DH-66.pdf> (2016.04.30)
- [8] **SZEGEDI P.:** *Szójka-III pilóta nélküli repülőgép repülésszabályozójának tervezése LQR módszerrel*, Repüléstudományi Közlemények 2005/1. pp. 87-102.
- [9] **BÉKÉSI B., SZEGEDI P.:** *Analysis of the Basic Signal Tracking Possibilities of an Altitude Stabilizing System*, Transport Means 2008: Proceedings of the 12th International Conference. Kaunas, Litvánia, 2008.10.23-2008.10.24. pp. 103-106.
- [10] **DAN KATZ:** *F-22 Raptor* (online) url: http://aviationweek.com/site-files/aviationweek.com/files/uploads/2014/12/asd_12_04_2014_dossier.pdf (2016.05.06)
- [11] **CAVIN DSOUZA:** *Comparing Chengdu J-20 with F-22, F-35 and SU-PAK FA or T-50* (online) url: <http://www.defenceaviation.com/2011/01/comparing-chengdu-j-20-with-f-22-f-35-and-su-pak-fa-or-t-50.html> (2016.05.16)
- [12] **HAWK CARLISLE:** *5th Generation Fighters* (online) url: (online) url: <http://image.slidesharecdn.com/breakfast2-28-12lgtgencarlisle-121223213547-phpapp02/95/usaf-fifth-gen-fighter-4-638.jpg?cb=1356298597> (2016.05.16)
- [13] *Rafale vs F-18* (online) url: <http://www.aviatia.net/rafale-vs-f-18/> (2016.05.23)
- [14] *Dassault Rafale vs F-16 Fighting Falcon* (online) url: <http://www.aviatia.net/dassault-rafale-vs-f-16-fighting-falcon/> (2016.05.23)
- [15] *Dassault Rafale vs F-15E Strike Eagle* (online) url: <http://www.aviatia.net/rafale-vs-f-15/> (2016.05.23)
- [16] *Dassault Rafale vs Eurofighter Typhoon* (online) url: <http://www.aviatia.net/rafale-vs-eurofighter/> (2016.05.23)
- [17] *F-15 Eagle Fighter* (online) url: <http://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/f-15.htm> (2016.05.23)
- [18] **BÉKÉSI B., SZEGEDI P.:** *Gondolatok a jövőbeni fegyverek alkalmazási lehetőségeiről*, XIV. Természet-, Műszaki- és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia, Nyugat-magyarországi Egyetem, Szombathely 2015. pp. 183-188. (ISBN: 978-963-359-053-9)
- [19] **TYLER ROGOWAY:** *Everything We Know About The X-2, The Future Of Japanese Stealth Fighter Design* (online) url: <http://foxtrotalpha.jalopnik.com/everything-we-know-about-the-x-2-the-future-of-japanes-1755710322> (2016.05.01)
- [20] **SZEGEDI P.:** *Repülésszabályozó rendszerek szabályozóinak számítógépes analízise és szintézise*, (PhD értekezés), Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Katonai Műszaki Doktori Iskola, Budapest, 2005.
- [21] **SZEGEDI P.:** *A pilóta nélküli repüléshez kapcsolódva... Tanulmány a pilóta nélküli légijárművek működésével és üzemeltetésével kapcsolatban*, p.: 80, ISBN 978-963-12-5224-8, 2016 https://ludita.uni-nke.hu/repozitorium/bitstream/handle/11410/10148/Tanulmany_Szegedi_P%C3%A9ter.pdf?sequence=2&isAllowed=y (2016.05.01)
- [22] **BÉKÉSI B., SZEGEDI P.:** *Preliminary design of controller of longitudinal motion of the unmanned aerial vehicle using LQR design method*, Proceedings of the 10th International Conference, Transport Means 2006, Kaunas, 2006. pp. 324-327.

CSAVARFELÜLETEK ELŐÁLLÍTÁSA INTELLIGENS GYÁRTÓRENDSZERBEN

CREATING HELICOIDAL SURFACES IN INTELLIGENT MANUFACTURING SYSTEM

MÁNDY Zoltán

tanársegéd, zoltan.mandy@uni-miskolc.hu

Miskolci Egyetem Egészségügyi Kar, Elméleti Egészségtudományi Intézet, 3515 Miskolc-Egyetemváros,
+36-46-565-111

Kivonat: A csavarfelületek megmunkálásánál a hagyományos gépek esetén a munkadarabot a félkúpszögnek megfelelően el kell állítani. A félkúpszöggel történő előállítás után az addigi menesztési körpálya ellipszis keresztmetszetűvé változik. Ez okozza a fellépő szögsebesség ingadozás miatti menesztési hibát. A matematikai elemzés során a csavarfelületek transzformációs mátrix geometriai elemzésénél 4×4 -es mátrixokat alkalmazunk. Ezen transzformációs mátrixok szorzata alapján kapjuk meg eredményül a kinematikai leképezési mátrixot. A kapcsolódás I. törvényének ismeretében a hiba elemzése, meghatározása és kiküszöbölése megoldást nyer.

A publikáció célkitűzése a megmunkálás során fellépő menesztési probléma vizsgálata. A kapott egyenleteket felhasználva számítógépes programot készítettünk. A program a csiga geometriai adatai, a menesztőcsap átmérő, a menesztővilla és a csiga tengelyvég távolsága, a csiga félkúpszög és a főorsón lévő furat középátmérő ismeretében meghatározza és ábrázolja az ω_p szögsebesség ingadozást a φ_p főorsó szögelfordulás függvényében. Ennek alapján matematikai levezetés alapján kialakítottuk a helyes menesztőcsap geometriáját.

Kulcsszavak: Csiga, mátrix, transzformáció, kinematika

Abstract: During the classical manufacturing process of conical thread surfaces with lathe center displacement, the worm shaft is driven with the help of the driving pin through the lathe fork. As a result of the shifting of the worm shaft by half cone angle, the path curve of the driving pin will be an ellipse path instead of a circle on the perpendicular plane to axis. The peripheral speed of the spindle is constant, but due to the ellipse path, the radius is constantly changing as a function of time. That is why the angular velocity and the angular rotation are also changing, and these cause pitch fluctuation during the manufacturing process of conical worms. At analysing of transformational matrices we use 4×4 matrices. These calculations leads us to get the kinematical mapping matrices. We can determine the error and the solutions if we use the law of I. Connection. Then we made comuter programme which is based on the mathematical equations. As the program knows the following pieces of information: the geometrical data of the worm, the driving pin diameter, the distance between the lathe fork and the worm shaft neck, the worm half cone angle, and the distance between the center line of the driving pin and the rotational axis of spindle. Then it calculates and represents the angular velocity fluctuation ω_p as a function of spindle angular rotation φ_p . During the manufacturing process, we have examined pitch errors which are caused by angular velocity fluctuation and we have also determined the geometrical shaping of the driving pin by which errors of the pitch can be eliminated.

Keywords: worm, helicoid, transformation, kinematics

1. BEVEZETÉS

A mozgásviszonyok jellemzésére értelmezzük az egyes koordináta-rendszerek saját mozgásait. Direkt eljárás [2], mely esetben én ismerem a csiga felületét (r_{1F}) és keresem a hozzá megfelelő szerszám profilját (r_{2F}) [1].

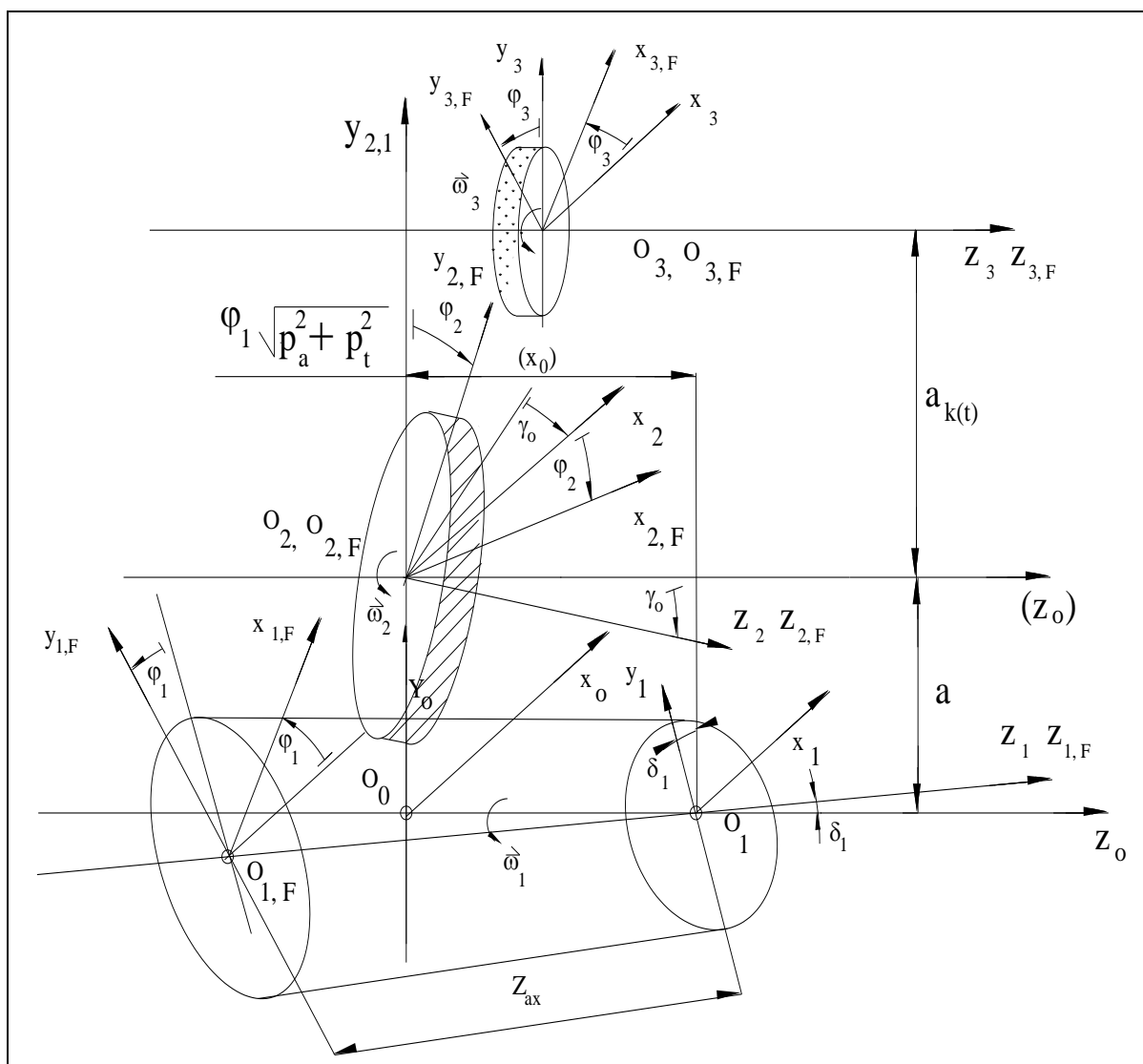
Ezek miatt a transzformáció lépései a következően alakulnak [2][7]:

K_0

Álló koordinátarendszer, a megmunkáló szerszámgép
koordináta-rendszere

K_1	A lineáris mozgást végző gépasztalhoz kötött koordináta-rendszer
K_{1F}	A csavarfelülethez kötött forgó koordináta-rendszer
K_2	A szerszámhoz kötött álló koordináta-rendszer
K_{20}	A forgástest alakú szerszám generálgörbéjének koordináta-rendszere
K_{2F}	A szerszámhoz kötött forgó koordináta-rendszer
K_k	Segéd koordináta-rendszer

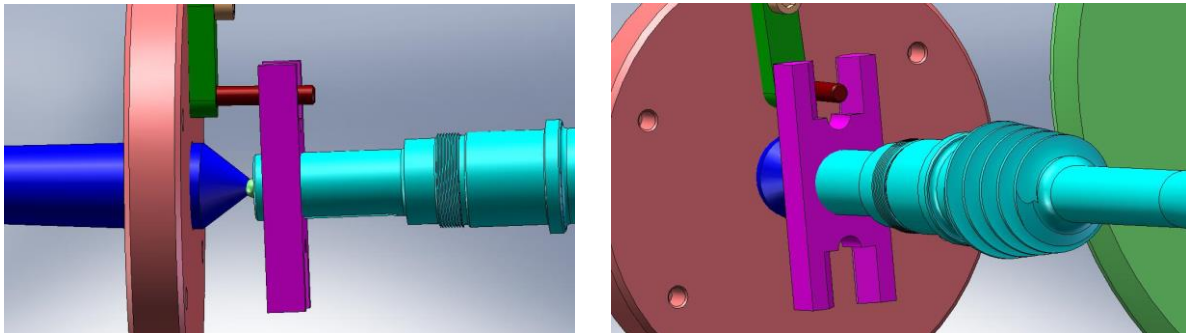
Az ehhez tartozó megmunkálás mozgásviszonyait az 1. ábrán szemléltetett koordináta-rendszerek és egymáshoz viszonyított helyzetük segítségével írhatjuk le.



1. ábra. Kinematikai analízis modell, $a = \text{const}$. Kösörülés és a korongszabályozás

2. A HENGERES MENESZTŐCSAPPAL TÖRTÉNŐ MEGMUNKÁLÁS MODELLEZÉSE

Mivel a gép főorsó kerületi sebessége állandó, de az ellipszis pálya miatt a rádiusz folyamatosan változik az idő függvényében, ezért változik a szögsebesség és a szögelfordulás, ami menetemelkedés ingadozást idéz elő a kúpos csiga megmunkálása során. Feladatunk, a menesztőcsap kialakítását úgy meghatározni, hogy a csúcselállításból adódóan le lépjen fel menetemelkedés ingadozás. A kutatásaink során hengeres csappal történő menesztés modellezéséből indultunk ki (2. ábra). Pontszerű érintkezést feltételezünk a menesztőcsap és a menesztővilla között ezáltal meghatározzuk a menesztőcsap és a menesztővilla közötti érintkezési pont útját egy körülfordulás során.

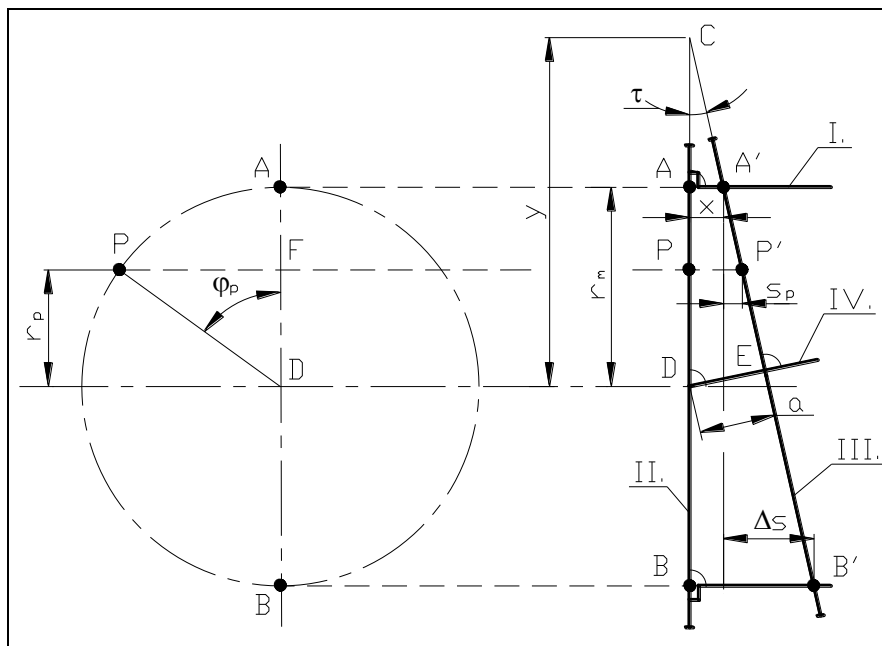


2. ábra. Hengeres menesztőcsappal történő megmunkálás modellezése [8]

A 3. ábra jelölései:

- I. – menesztőcsap;
- II. – főorsó;
- III. – menesztővilla;
- IV. – csigatengely;
- τ – csiga félkúpszög;
- a – a menesztővilla és a csigatengelyvég távolsága;
- r_m – a menesztőcsap középvonalának távolsága a főorsó forgástengelyétől;
- x – az érintkezési pont és a főorsó között lévő kiindulási távolság;
- Δs – az érintkezési pont teljes megtett útja;
- φ_p – főorsó szögelfordulás.

Felismerhető az , hogy a 3. ábra szerinti főorsó tengelymetszeti síkjában a forgás kezdetekor az I. menesztőcsap és a III. menesztővilla érintkezési pontja az A' pont. A III. menesztővilla a IV. csiga tengelyére merőlegesen helyezkedik el, azaz a II. főorsó homloklapjával τ félkúp szöget zár be. A főorsó φ_p szöggel való elforgatása után az érintkezési pont az A' pontból a P' pontba kerül és közben s_p utat tesz meg. 180° -al való φ_p elforgatás után az érintkezési pont az A' pontból a B' pontba kerül és ekkor teszi meg a leghosszabb Δs távolságot. Látható, hogy $0^\circ - 180^\circ$ -ig terjedő φ_p szögelfordulás esetén nő az érintkezési pont útja, majd 180° -nál eléri a Δs leghosszabb úthosszt, majd $180^\circ - 360^\circ$ csökken az úthossz és 360° -nál az érintkezési pont ismét visszaáll az x kiinduló távolságba, azaz a kiindulási helyzetbe [8].



3. ábra. A menesztőcsap és a menesztővilla érintkezési pontjának útja a főorsó tengelymetszeti síkjában [8]

A CDE derékszögű háromszög alapján állítható (3. ábra):

$$y = \frac{a}{\sin \tau} \quad (1)$$

A CAA' derékszögű háromszög alapján (3. ábra):

$$x = (y - r_m) \cdot \operatorname{tg} \tau \quad (2)$$

(1)-et (2)-be helyettesítve:

$$x = \left(\frac{a}{\sin \tau} - r_m \right) \cdot \operatorname{tg} \tau \quad (3)$$

A CBB' derékszögű háromszög alapján a menesztővilla és a menesztőcsap érintkezési pontjának leghosszabb útja (3. ábra):

$$x + \Delta s = (y + r_m) \cdot \operatorname{tg} \tau \quad (4)$$

$$\Delta s = (y + r_m) \cdot \operatorname{tg} \tau - x \quad (5)$$

3. AZ ÉRINTKEZÉSI PONT MEGHATÁROZÁSA EGY TETSZŐLEGES ϕ_p SZÖGHELYZETBEN

Matematikai összefüggést tárunk fel, mely alapján tetszőleges ϕ_p szöghelyzethez tartozó érintkezési pont helye meghatározható [8].

A PFD derékszögű háromszög alapján (3. ábra):

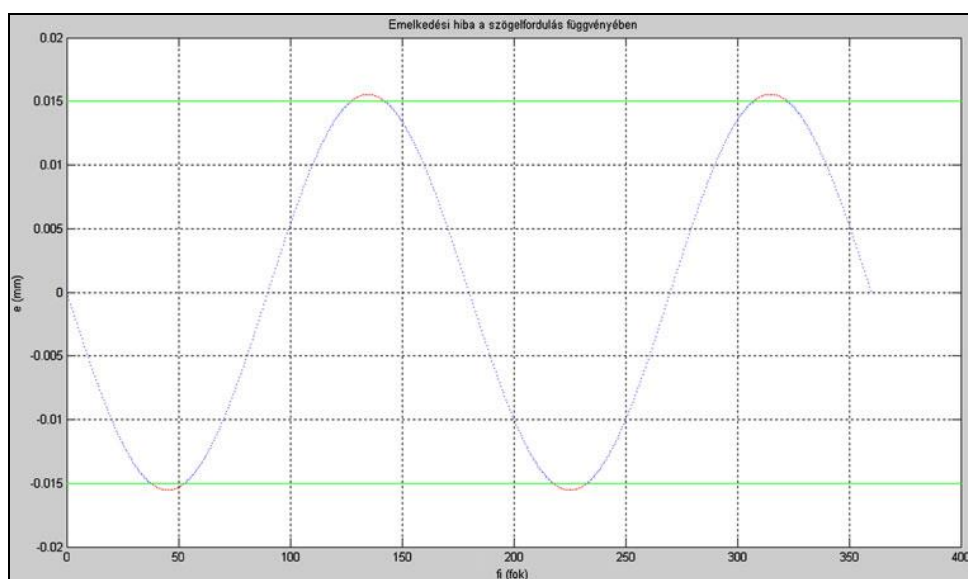
$$r_p = r_m \cdot \cos \varphi_p \quad (6)$$

A CPP' derékszögű háromszög alapján (3. ábra):

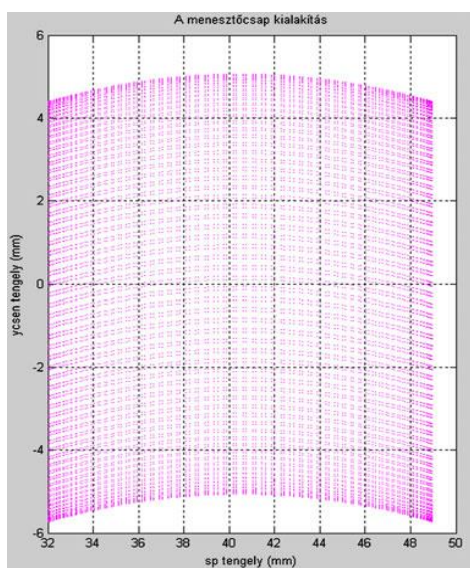
$$s_p = (y - r_p) \cdot \operatorname{tg} \tau \quad (7)$$

A (6)-t behelyettesítve (7)-be az érintkezési pont helye tetszőleges φ_p szöghelyzet esetén:

$$s_p = [y - r_m \cdot \cos \varphi_p] \cdot \operatorname{tg} \tau \quad (8)$$



4. ábra. Az emelkedési hiba a szögelfordulás függvényében [8]



5. ábra. A menesztőcsap kialakítása

ÖSSZEFOGLALÁS

Meghatároztuk a megmunkálás során fellépő menesztési problémát. A kapott egyenleteket felhasználva számítógépes programot készítettünk (4 és 5. ábra). A program a csiga geometriai adatai, a menesztőcsap átmérő, a menesztővilla és a csiga tengelyvég távolsága, a csiga félkúpszög és a főorsón lévő furat középtátmérő ismeretében kiszámolja és ábrázolja az ω_p szögsebesség ingadozást a φ_p főorsó szögelfordulás függvényében. Ennek alapján matematikai levezetés alapján kialakítottuk a menesztőcsap geometriáját (5. ábra). Az új menesztőcsap geometriai kialakításával elérhető, hogy a menetemelkedés ingadozás kiküszöbölhető legyen.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A konkrét kísérleti gyártás a miskolci DifiCAD Mérnökiroda Kft. laboratóriumában történt.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BÁNYAI, K.:** *Új típusú spiroid hajtások gyártásgeometriája, elemzése*, PhD értekezés, Miskolc, 2007.
- [2] **DUDÁS I.:** *The Theory and Practice of Worm Gear Drives*. Penton Press, London, 2000. (ISBN 1 8571 8027 5)
- [3] **HEGYHÁTI J.:** *Untersuchungen zur Anwendung von Spiroidgetrieben*. Diss. A. TU. Dresden, 1988.
- [4] **LITVIN, F. L., FUENTES, A.:** *Gear Geometry and Applied Theory*, Cambridge University Press, 2004 (ISBN 978 0 521 81517 8)
- [5] **DUDÁS I., CSER I.:** *Gépgyártástechnológia IV.*, Miskolci Egyetemi Kiadó, 2004., ISBN 963 661 629 9 , Miskolc
- [6] **BODZÁS S.:** *Kúpos csiga-, tányérkerék-, és szerszám felületek kapcsolódásának elemzése*, Ph. D disszertáció
- [7] **ÓVÁRINÉ BALAJTI ZS.:** *Kinematikai hajtópárok gyártásgeometriájának fejlesztése*, Ph.D disszertáció
- [8] **DUDÁS, I., BODZÁS S., MÁNDY Z.:** *Solving the pitch fluctuation problem during the manufacturing process of conical thread surfaces with lathe center displacement*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology Springer-Verlag London 2013.

TERMÉSZETES KŐZETTESTEK MINŐSÍTÉSE KŐZETFIZIKAI PARAMÉTEREK ÉS TAGOLTSÁGI VISZONYOK ALAPJÁN

RATING OF NATURAL ROCK MASS BASED ON PETROPHYSICAL PARAMETERS AND PARTING

MCINTOSH Richard William¹, ENCS Balázs²

¹Egyetemi tanársegéd, mcintosh.richard@science.unideb.hu
¹Debreceni Egyetem, Ásvány- és Földtani Tanszék

²hallgató, encsbalazs@gmail.com
²Debreceni Egyetem, Ásvány- és Földtani Tanszék

Kivonat: A Bükk hegységben Bánkút és Ómassa térségében 29 feltárás kőzettestének szilárdságát vizsgáltuk a Rock Mass Rating (RMR) kőzetest minősítő rendszer alapján. A kőzettek szilárdsága nem mutatott összefüggést azzal, hogy milyen formáció kőzetanyagát tárják fel, ugyanakkor területi összefüggés rajzolódott ki a völgyek és gerincek elrendeződése, valamint a leginkább igénybevett, deformált kőzetanyag megjelenése és így a leggyengébb minősítésű kőzettek elhelyezkedése között.

Kulcsszavak: egyirányú nyomószilárdság; tagoltság; kőzetest minősítés; Bükk hegység

Abstract: In the region of Bánkút and Ómassa, Bükk Mountains the strength of the rocks of 29 outcrops was studied based on Rock Mass Rating (RMR). Strength of the rock masses showed no correlation with the material of the Formations they exposed, however, correlation between the orientation of valleys and ridges and the location of the most deformed rocks and thus that of the rock masses with poorest qualification could be observed.

Keywords: unconfined compressive strength; parting; rock mass rating; Bükk Mountains

1. BEVEZETÉS

A földtani felépítés és egy-egy táj geomorfológiai arculatának kapcsolata mindig a kutatások központjában állt [7, 3, 19]. Egyes kutatások a szerkezeti és morfológiai elemek között keresték a kapcsolatot morfológiával [13; 14; 10], mások a földtani közeg szilárdsága és a lejtésviszonyok kapcsolatában keresték a morfológiai kép kialakulásának legfontosabb elemét [16; 17; 12]. Ez utóbbi kutatások a földtani közeg szilárdságát, ellenálló képességét alapvetően egy paraméterrel, leggyakrabban az egyirányú nyomószilárdság értékével jellemezték. Jelen tanulmányban a célunk az, hogy a földtani felépítés és a morfológiai kép kapcsolatának vizsgálatában a földtani közeg szilárdságát számos paraméter alapján kíséreljük meg jellemezni. A paramétereket a mérnöki gyakorlatból vettük át, ahol ezeket elsősorban mesterséges kőzetekre, fűrómagokra, vagy természetes kőzettekben kialakítandó mesterséges létesítményekre (útbevágás, vasúti bevágás, alagutak, stb.) alkalmazzák. Úgy gondoltuk azonban, hogy a földtani közeget alkotó kőzetek szilárdságát ezekkel a paraméterekkel komplexebben lehetne jellemezni, mint egyetlen – gyakran laboratóriumi körülmények között mért – paraméter értékével.

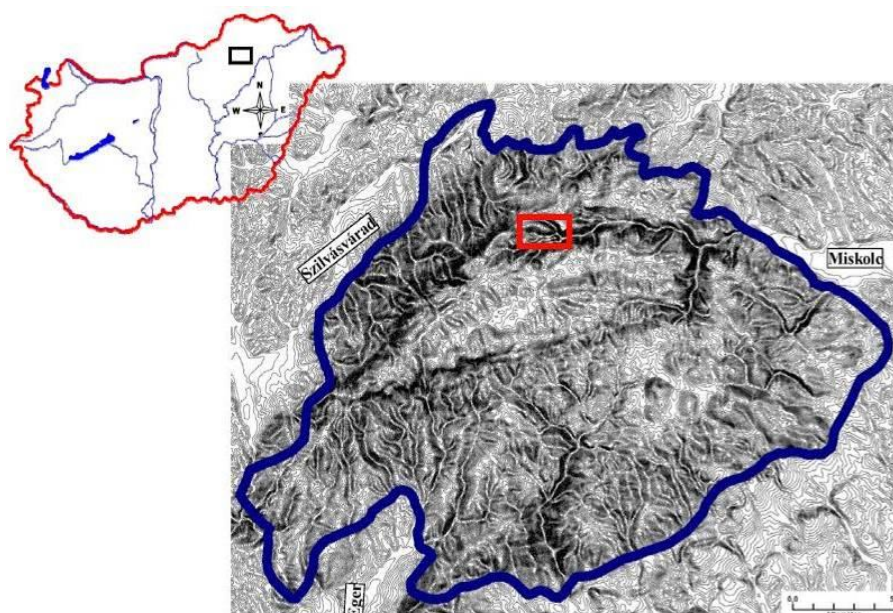
A terepi vizsgálatok során a következő paramétereket mértük, illetve állapítottuk meg: a kőzet felületének keménységét Schmidt-kalapács segítségével, a tagoló felületek távolságát és állapotát, a tagoltság mértékét vízszintes és függőleges irányban RQD érték számításával tagoló felületeken víz jelenlétét, valamint a tagoltság irányát.

Bár a jelen tanulmányban bemutatott kutatás során egy kisebb mintaterületen végeztük el a

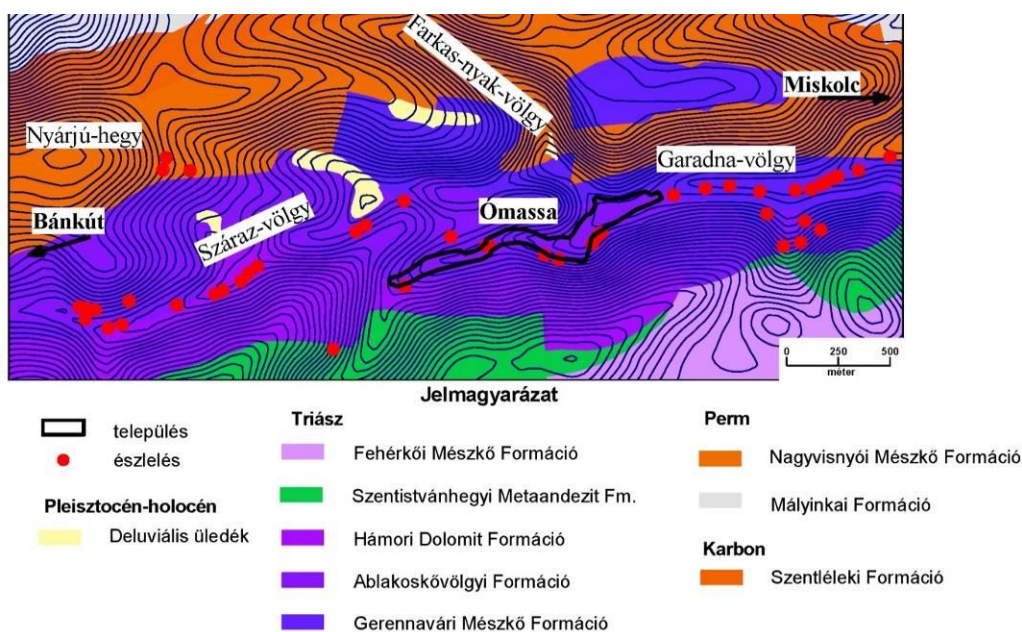
kőzettest minősítést, ahol néhány mezozoos formáció alkotja a feltároló kőzettesteket, reményeink szerint az eredmények alapján nagyobb területre és számos formációra elvégezhető lesz a vizsgálat, s így megvizsgálhatjuk, hogy mely képződmények mennyire ellenállók a denudációval szemben és hogy van-e valamilyen területi összefüggés a kőzettestek ellenállóképességében, vagy az ellenállóképesség és a völgsűrűség, vagy egyéb morfológiai paraméterek között.

2. FÖLDTANI FELEPÍTÉS

A Bükk hegység északi részén Miskolc Ómassa településrészének környékén (1. ábra) 25 feltárás kőzettestét minősítettük a Rock Mass Rating (RMR) módszer alapján. A 2. ábra tanúsága szerint a vizsgált területet 6 paleo-mezozoos képződmény alkotja, melyek közül 3 kőzetén történtek mérések.



1. ábra. A vizsgált terület elhelyezkedése a Bükkben



2. ábra. A vizsgált feltárások környékének földtani térképe [8] alapján

A Nagyvisnyói Mészke Formációt vékonypados felépítésű, márga és mészmárga betelepüléssel fekete mészke alkotja, melynek mikrofáciése wackestone-packstone típusba sorolható [20]. Normál sótartalmú, oxigénszegény környezetben képződhetett. Nagy mennyiségben tartalmaz paleontológiailag jelentős mikrofauna-együtteseket, algákat, foraminiferákat, brachiopodákat, conodontákat, kagylókat, csigákat, stb. Vastagsága 300m körül mozog [5].

Az alsó triász korú Ablakoskővölgyi Formáció megközelítőleg 300m átlagvastagságú, s négy tagozat alkotja, melyek közül az Újmassai Mészke Formáció jelenik meg területünk feltárásaiban. E mészke szövete finomkristályos, színe feketés, vagy sötétszürke. Agyagos közbetelepülések, dolomitpadok, márgás szakaszok, bioklasztos mészkövek jellemzik [15; 1; 11].

A középső-triász korú Hámori Dolomit Formációt sötétszürke színű, pados rétegzettségű, néhol breccsás szerkezetet mutató, fossziliákban gazdag dolomit alkotja. Egyik legszebb feltárása a Szomorú-völgyi dolomitbánya [11].

3. ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

A [2] által kidolgozott és [6] által továbbfejlesztett Rock Mass Rating (RMR) közzétett értékelő rendszerben 6 paraméter alapján értékeltük az egyes feltárásainkat (1. táblázat). Az egyirányú nyomószilárdságot, RQD értéket és a tagoló felületek távolságát közvetlenül mértük a feltárásokon. A tagoló felületek állapotát, a víz jelenlétét és a tagoló felületek irányát szemrevételezéssel jellemeztük.

Egyirányú nyomószilárdság	>250Mpa	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
Érték (RMR-hez)	15	12	7	4	2	1	0
Horizontális RQD	90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
Érték (RMR-hez)	20	17	13	8	3		
Vertikális RQD	90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
Érték (RMR-hez)	20	17	13	8	3		
Tagoló felületek távolsága	>2m	0,6-2m	0,2-0,6	0,06-0,2	<0,06		
Érték (RMR-hez)	20	15	10	8	5		
Tagoló felületek állapota	Nagyon érdes Nem folytonos Üde kőzet	Kissé érdes Szétnyílás >1mm Kissé mállott	Kissé érdes Szétnyílás >1mm Erősen mállott	Vetőtükrös vagy Bevésődéses <5mm vagy 1-5mm folytonos szétnyílás	Agyagos vetőzóna v. bevésődéses >5mm v. >5mm folytonos szétnyílás		
Érték (RMR-hez)	30	25	20	10	0		
Víz jelenléte a tagoló felületen	teljesen száraz	párás	vizes	csepeg	vízfolyás		
Érték(RMR-hez)	15	10	7	4	0		
Csökkentő Tényező							
Tagoltság iránya	nagyon kedvező	kedvező	megfelelő	kedvezőtlen	nagyon kedvezőtlen		
Érték, alapoknál (RMR-hez)	0	-2	-7	-15	-25		
Közzettest osztály	I	II	III	IV	V		
Megnevezés	nagyon kedvező	kedvező	megfelelő	kedvezőtlen	nagyon kedvezőtlen		
Össz RMR	120-95	95-70	70-45	45-20	<20		

1. táblázat. A Rock Mass Rating (RMR) közzettest értékelő rendszer [18] alapján módosítva

Az egyirányú nyomószilárdság terepi becslésére felületkeménység mérést végeztünk Proceq Silverschmidt N típusú Schmidt kalapács segítségével. Az egyes feltárásokat nagyságuk alapján szakaszokra osztottuk (horizontálisan), majd mindegyik szakaszon 10-10 ütést hajtottunk végre a kalapáccsal. Minden 10 visszapatpanási értéket átlagolt az eszköz. Ezeket az átlagokat átlagoltuk minden egyes feltárásszakaszra, s az egyes szakaszok átlagai jelentették a feltárást alkotó kőzetek átlagos egyirányú nyomószilárdsági értékeit.

A tagoltság mértékét a [4] által eredetileg fűrómagokra kidolgozott Rock Quality Designation (RQD) értékével jellemeztük. Az (1) képlet alapján a 10 cm-nél hosszabb szakaszok arányát mérjük a kőzettest teljes hosszához viszonyítva:

$$RQD = \frac{\sum h_{10}}{h} 100[\%] \quad (1)$$

ahol h_{10} = A 10 cm-nél hosszabb, tagoló felületekkel nem szabdaltnak, egységes kőzetfelület hossza, h = a teljes vizsgált szakasz hossza.

Az RQD érték mérést ugyanazonokon a szakaszokon végeztük el, mint a Schmidt kalapáccsal történt mérést, majd az értékeket átlagoltuk. A vízszintes irányban mért RQD érték mellett minden szakaszra függőlegesen is mértünk RQD értéket egy vonalban.

A tagoló felületek távolságát szintén szakaszokra bontva mértük az egyes feltárásokban és minden szakaszt pontozva kaptuk meg a feltárássra jellemző átlagértéket.

A tagoló felületek állapotát, a víz jelenlétét és a tagoló felületek irányát szemrevételezéssel az egyes szakaszokra és a feltárások egészére is megadtuk.

Az eredeti RMR rendszerben minden paramétert pontozva maximálisan 100 pont rendelhető egy kőzettesthez. Az általunk elvégzett kiegészítéssel (függőleges RQD érték mérésével) azonban a maximális pontszám 120, így az egyes minősítési intervallumokon is módosítottunk (1. táblázat).

A feltárások kőzeteinek mikroszkópos petrográfiai jellemzését a Debreceni Egyetem Ásvány- és Földtani Tanszékének laboratóriumában egy Nikon Microphot SA kutatómikroszkóp segítségével végeztük.

4. EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

A Bükk hegységben a Garadna-völgy völgyfőjében, Bánkút és Miskolc-Ómassa térségében 30 feltárásban vizsgáltuk meg a természetes kőzettestek állapotát. A módosított RMR kőzettest értékelő rendszerben a feltárásokhoz 16 és 67 pont közötti eredményeket rendelhettünk (2. táblázat).

Feltárás Neve	Formáció	Terepi RMR	Alkotó Kőzet	Feltárás Neve	Formáció	Terepi RMR	Alkotó Kőzet
Mályinka 3A	Mályinkai Fm.	52	Mészke	Borovnyák 21	Ablakoskővölgyi Fm.	31	Dolomit
Mályinka 3B	Mályinkai Fm.	67	Mészke	Borovnyák 22	Ablakoskővölgyi Fm.	53	Dolomit
Mályinka 4	Mályinkai Fm.	58	Mészke	Borovnyák 23	Gerennavári Mészke Fm.	65	Dolomit
Borovnyák 2A	Ablakoskővölgyi Fm.	55	Mészke	Borovnyák 24	Ablakoskővölgyi Fm.	56,5	Dolomit
Borovnyák 2A alsó	Ablakoskővölgyi Fm.	58	Dolomit	Bánkút 1	Nagyvisnyói Mészke Fm.	41	Mészke
Borovnyák 5	Ablakoskővölgyi Fm.	38	Dolomit	Bánkút 2	Nagyvisnyói Mészke Fm.	50	Mészke
Borovnyák 7	Ablakoskővölgyi Fm.	53	Dolomit	Ómassa 1	Ablakoskővölgyi Fm.	28	Dolomit
Borovnyák 8	Ablakoskővölgyi Fm.	53	Dolomit	Ómassa 2	Gerennavári Mészke Fm.	46	Dolomit
Borovnyák 12	Ablakoskővölgyi Fm.	56	Dolomit	Ómassa 3	Gerennavári Mészke Fm.	36	Dolomit
Borovnyák 14	Ablakoskővölgyi Fm.	32	Dolomit	Ómassa 4	Gerennavári Mészke Fm.	48	Dolomit
Borovnyák 15	Ablakoskővölgyi Fm.	31	Dolomit	Ómassa 5	Gerennavári Mészke Fm.	35	Dolomit
Borovnyák 17	Hámori dolomit Fm.	43	Dolomit	Ómassa 6	Gerennavári Mészke Fm.	54	Dolomit
Borovnyák 18	Hámori dolomit Fm.	16	Dolomit	Ómassa falu 1	Hámori dolomit Fm.	48	Dolomit
Borovnyák 19	Hámori dolomit Fm.	38	Dolomit	Ómassa falu 2	Hámori dolomit Fm.	47	Dolomit
Borovnyák 20	Hámori dolomit Fm.	43	Dolomit				

2. táblázat. A vizsgált feltárások kőzetei és RMR minősítése

A 2. táblázatban látható, hogy a feltárásokat alapvetően mészkő és dolomit alkotja, amelyeket általában a szakirodalom igen jó szilárdságú kőzetként kezel. A legjobb minősítéssel rendelkező kőzettestek egymástól távol tárnak fel és anyagukat különböző formációk alkotják. 67 és 65 pontos RMR értékük a megfelelő kategória (III. kategória) felső határának közelébe esik. A feltárások csaknem 60%-a a megfelelő minősítést kapott, majdnem 40% pedig a kedvezőtlen minősítésű. Egy feltárás (Borovnyák 18) a nagyon kedvezőtlen kategóriába esik. Tehát a megfelelő minősítéstől jobb minősítéssel egy feltárás kőzettestre sem rendelkezik.

A Bükk hegységre vonatkozó összefoglaló irodalmi adatok alapján a paleo-mezozóos karbonátok átlagos egyirányú nyomószilárdsága 98 MPa körüli [12], tehát jó szilárdságot és ellenállóképességet vártunk a vizsgált feltárások kőzeteitől. Ezzel szemben egyik feltárás sem kapott a megfelelő minősítésnél jobbat. Ennek részben az az oka, hogy a kőzetek egyirányú nyomószilárdsága terepen jóval kisebb értékeket mutatott. Részben pedig a kőzettestek nagyfokú tagoltsága csökkenti azok szilárdságát.

A vizsgált területen a felszínalkotó mészkövek háromirányú deformációt szenvedtek [9; 10]. Ezért általában markánsan megjelenik palás elválás (3. ábra) valamilyen irányú dőléssel. Gyűrődések (4. ábra) kisívű, diszharmonikus jelleggel, illetve nagyívű formában áttört profillal is általánosan elterjedtek. Egyes zónákban olyan erőteljes a szerkezeti igénybevétel és deformáció, hogy breccsás szerkezetet mutat a kőzet (5. ábra) és vékonyan laminált elválásokkal finomszemű törmelékké (6. ábra) aprózódik.



3. ábra. Palás elválás a Gerennavári Formáció mészkövében



4. ábra. Áttört redőződés mészkőben Bánkút térségében

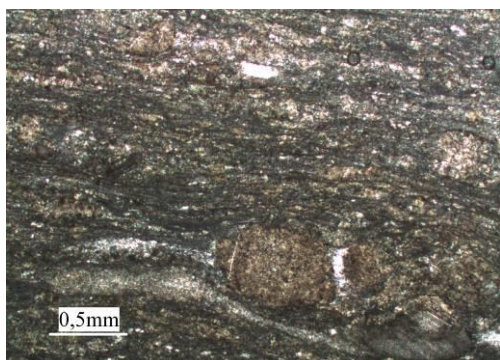


5. ábra. Az Ablakoskővölgyi Formáció apróra töredezett mészköve Ómassa határában

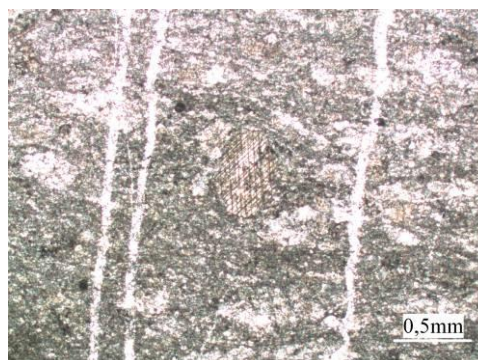


6. ábra. Breccsás szerkezetű dolomit a Garadna-völgy északi oldalában Ómassán

A kőzetek mikroszkópos képe is az erőteljes szerkezeti igénybevetségről és többirányú deformációról tanúskodik az irányított szövetbe ágyazva erőteljes nyírásra utaló szigma klaszttal (7. ábra), illetve a nyomás hatására ikerlemezes megjelenést mutató kalcit ásványokkal (8. ábra) és egymást, valamint az irányított szövetet is metsző kalciterekkel és kalcit kitöltésű hasadékokkal.



7. ábra. Szigma klasztok erősen irányított szövetben az Ablakoskővölgyi Formáció kőzetében (II N)



8. ábra. Ikerlemezes kalcit kristály és az irányított szövetre merőleges kalciterek Gerennavári Mészkőben Ómassa környékén (II N)

Az erőteljes szerkezeti igénybevetség és többirányú deformáció jelentősen növeli a kőzettestek tagoltságát és csökkenti a kőzetek egyirányú nyomószilárdságát, így egyik feltárásban sem érik el a kőzettestek a „jó” minősítést. Még a leginkább kompakt kőzettestek kőzeteiben is megjelenik egy-egy nagyobb vető agyagos vetőtükörrel (9. ábra), vagy hasadék (10. ábra).



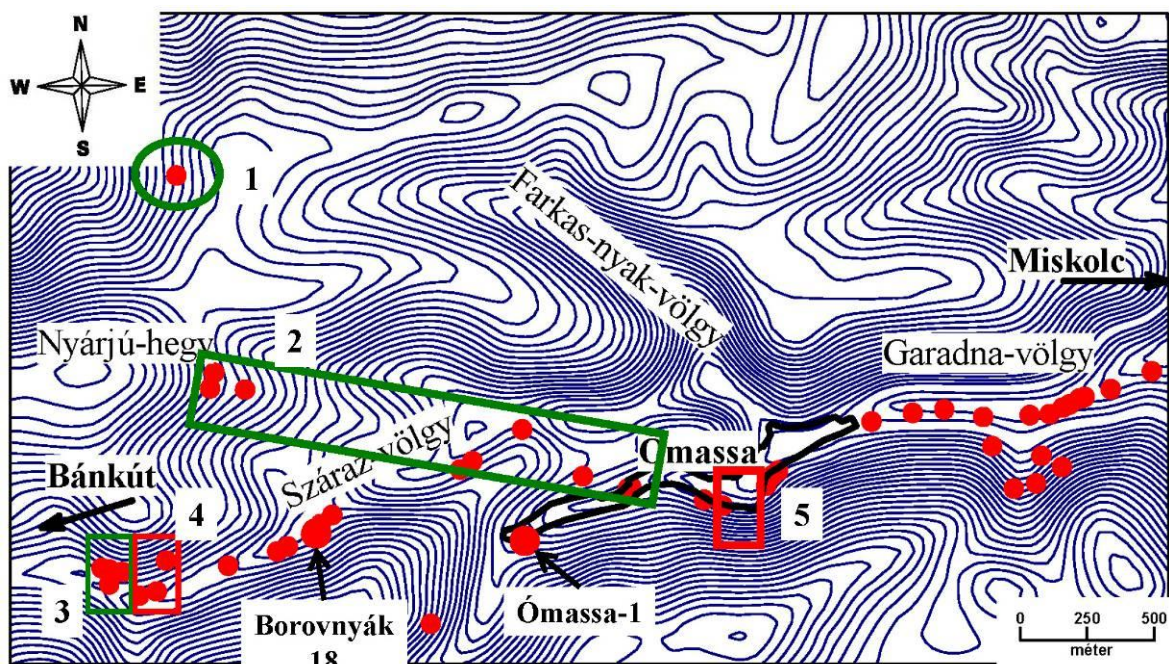
9. ábra. Agyagos vető a Hámori Dolomit feltárásában Ómassán



10. ábra. Egységesebb megjelenésű kőzettest Bánkút térségében (Nagyvisnyói Mészke Formáció)

A 2. táblázat alapján megállapítható, hogy a legjobb minősítéssel rendelkező kőzettesteket nem egy formáció kőzetei alkotják, hasonlóképpen a leggyengébb RMR értékű feltárásokban is különböző formációk kőzetei tárulnak fel. Jelen eredmények alapján tehát nem állapítható meg, hogy a kőzettestek minősítése formáció függő lehetne. Ráadásul egy formáción belül is meglehetősen szórnak az RMR értékek. A Hámori Dolomit Formáció egyik feltárása 16 pontot, más feltárása pedig 48 pontot kapott. Hasonlóképpen az Ablakoskővölgyi Formáció kőzetének is van 31 pontos és 58 pontos feltárása is. A kőzettestek RMR minősítése tehát a helyi viszonyoktól függ, azonban területi elrendezésben mutat összefüggéseket.

A 11. ábrán zölddel keretezett (1, 2, 3 jelzéssel) területek kőzettestei viszonylag jó stabilitással és ellenállóképességgel, megfelelő RMR minősítéssel rendelkeznek. A pirossal keretezett területek (4, 5 jelzéssel) és két feltárás (Borovnyák 18, Ómassa-1) rendelkeznek a leggyengébb RMR minősítéssel. Tulajdonképpen a legjobb minősítésű területek és feltárások a Nyárjú-hegy északi peremén (1-es terület), a déli lábánál (3-as terület) és az Ómassa belterületéig ÉNy–DK-i csapással futó gerincen található. A leggyengébb minősítésű területek és feltárások a Garadna-völgyben (illetve annak Ny-i folytatásában a Száraz-völgyben) található olyan helyeken, ahol egy-egy mellékvölgy csatlakozik a K–Ny-i csapású fővölgyhöz (4-es terület és az Ómassa-1 feltárás), vagy gyengeségi övek található (Borovnyák 18 feltárás és az 5-ös terület).



11. ábra. Ellenállóbb és kevésbé ellenálló kőzetestek területi elrendeződése a Garadna-völgy völgyfőjénél Bánkút és Ómassa térségében

A Garadna-völgy és a Száraz-völgy is egy-egy fő törés mentén alakult ki, s a hozzájuk csatlakozó kisebb mellékvölgyek is egy-egy törést képviselnek. A törések metszéspontjában a leginkább igénybevett és a legerősebben deformált a kőzetanyag [9; 10].

A Borovnyák 18-as feltárás a Nyárjú-hegy fő tömegének K-i elvégződésében (az É–D-i csapású Angyal-völgy és a Száraz-völgy metszéspontjában) annak és a Borovnyák-tető ÉK felé futó gerincének a találkozásánál található. A két gerinc közötti átmeneti zónában a völgyek által képviselt szerkezeti vonalak metszéspontjában jelenik meg a legerősebben igénybevett és deformált kőzetanyag (5. ábra) a legnagyobb tagoltsággal, kis egyirányú nyomószilárdsággal és így igen kis RMR pontszámmal (2. táblázat).

Az Ómassa-1 feltárás is jól láthatóan (11. ábra) a Garadna-völgy és egy mellékvölgye találkozási zónájában, azaz két törésvonal metszéspontjában található, így itt is breccsásan összetört kőzetanyag jelenik meg a feltárásban rendkívül nagy tagoltsággal.

Az 5-ös terület meredek völgyoldalon húzódik, ahol vízmosásszerű mellékvölgyek fejlődtek ki, itt két forrás is megjelenik, s időszakosan vizet vezetnek le a Garadna-völgybe. E gyengeségi zónával szemben Ómassa északi oldalán a Farkas-nyak-völgy csatlakozik a Gardna-völgybe, tehát ez a terület is két főtörés metszéspontjában helyezkedik el.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Encs Balázs kutatómunkáját a DETEP tehetséggondozó program támogatta. A szerzők köszönetüket fejezik ki Debreczeni Tamásnak, Juhász Tamásnak, Nagy Lajosnak, Perge Tibornak és Sohajda Bencének a terepi munkában nyújtott segítségükért.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BALOGH, K.:** *A Bükkhegység földtani képződményei*, a MÁFI Évkönyve, 1964, 48/2, 245–719.

- [2] **BIENIAWSKI, Z. T.:** *Engineering classification of jointed rock masses*, Trans. S. African Institute of civil engineers, 1973, 15/12, 335–344
- [3] **BIROT, P.:** *Morphologie Structurale*, Presses Univers, Paris, 1958.
- [4] **DEERE, D. U.:** *Geological considerations*, In: STAGG, K. G., ZIENKIEWICZ, O. C. (eds.): *Rock mechanics in engineering practice*, 1969, 1-20.
- [5] **FÜLÖP, J.:** *Magyarország geológiája – Paleozoikum II*, Akadémiai kiadó, Budapest, 1994, ISBN 9630566869
- [6] **GÁLOS, M., VÁSÁRHELYI, B.:** *Közettestek osztályozása az építőmérnöki gyakorlatban*, Műszaki Egyetemi Könyvkiadó, Budapest, 2006.
- [7] **GERASIMOV, I. P.:** *Experience with geomorphological interpretation of the general scheme of geological structure of URSS*. Probl. Fizich. Geogr., 1946, 12, 89–115.
- [8] **GYALOG, L.:** *Magyarország földtani térképe 1:100000* – MÁFI kiadvány, 2005
- [9] **KOZÁK, M., PÜSPÖKI, Z., MCINTOSH, R. W.:** *Structural Development Outline of the Bükk Mountains Reflecting Recent Regional Studies*, Acta Geographica, Geologica ac Meteorologica Debrecina, 2001, 35, 135–174.
- [10] **MCINTOSH, R. W.:** *A Bükkium morfolitekonikája*, PhD értekezés, Debreceni Egyetem, 2014
- [11] **PELIKÁN, P.:** *A Bükk hegység földtana*, Magyarázó a Bükk-hegység földtani térképéhez (1:50000), a MÁFI kiadványa, 2005, 284 p.
- [12] **PÜSPÖKI, Z., SZABÓ, SZ., DEMETER, G., SZALAI, K., MCINTOSH, R. W., VINCZE, L., NÉMETH, G.:** *Statistical relationship between lithological characteristics and morphological factors – an example for statistical surface analysis*, Geomorphology, 2005, 71, 424–436.
- [13] **SCHEIDEGGER, A. E.:** *The orientation of valley trends in Ontario*, Zeitschrift für Geomorphologie N.F. 1980, 24(1), 19–30.
- [14] **SCHEIDEGGER, A. E.:** *Surface joint systems, tectonic stresses and geomorphology: a reconciliation of conflicting observations*, Geomorphology, 2001, 38, 213–219.
- [15] **SCHRÉTER, Z.:** *A Bükkhegység triász képződményei*, Földtani Közöny, 1935, 65, 90–105.
- [16] **SELBY, M. J.:** *A rock mass strength classification for geomorphic purposes with tests from Antarctica and New Zealand*, Zeitschrift für Geomorphologie N.F. 1980, 24, 31–51.
- [17] **TELBISZ, T.:** *Computer simulation in geomorphology*, Bulletin of the Hungarian Geographical Society, 1999, 151–162.
- [18] **TÖRÖK, Á.:** *Geológia mérnököknek*, Műegyetem Kiadó, Budapest, 2007, ISBN 978-963-420-934-8
- [19] **TWIDALE C. R.:** *Structural Landforms*, The M.I.T. Press, London, 1971
- [20] **VELLEDITS F.:** *A Bükki középső és felső triász rétegtani korrelációja és fejlődéstörténeti elemzése* – PhD értekezés, Budapest, 1998

HAJTOTT GÉPJÁRMŰKERÉK DINAMIKAI MODELLJE

DYNAMIC MODEL OF DRIVEN WHEEL

MEZEI Lajos¹, KINCSES Dávid², HAJDU Sándor³

¹BSc. hallgató, mezei.lajos14@gmail.com

¹Debreceni Egyetem Műszaki Kar

²BSc. hallgató, davidkincses@gmail.com

²Debreceni Egyetem Műszaki Kar

³főiskolai adjunktus, hajdusandor@eng.unideb.hu

³Debreceni Egyetem Műszaki Kar

Kivonat: Cikkünkben a kerékdinamikai modellezéssel és annak fizikai hátterével foglalkozunk. Először bemutatjuk a kerék kinematikai tulajdonságait - amelyek ismerete elengedhetetlen a további modellezésekhez. Ezután három különböző modellt mutatunk be, amelyek példát is szolgáltatnak az elméleti és tapasztalati modellezési eljárásokra. Végül konklúziót vonunk, hogy a bemutatott modellek közül melyik lenne a legmegfelelőbb az általunk megoldani kívánt problémára.

Kulcsszavak: kerék kinematika, szlip, dinamikai modell

Abstract: In this article, the dynamic model methods of driven wheel and its physical background are described. At first, the kinematic properties of a wheel are defined - knowledge of these properties is fundamental for further modelings. Furthermore examples of theoretical and empirical modeling methods are explained by three different models. As a final conclusion the most appropriate solution is suggested for the initial problem from the given models.

Keywords: wheel kinematics, slip, dynamic model

1. BEVEZETÉS

A járművek kerekeinél minden esetben találkozhatunk a csúszás jelenségével, azonban ennek mértéke határozza meg, hogy mekkora hatással van a menetdinamikai tulajdonságokra. A kérdés az, hogy mekkora az a maximális erőhatás, amit át lehet vinni a kerékről az úttestre. A kerékcúszás problémáját egy versenyautó kerekein szeretnénk kiküszöbölni, amely megoldás első lépése a kerekek dinamikai vizsgálata. Többféle kerékdinamikai modell létezik, (mint például a legelterjedtebb és legszélesebb körben alkalmazott Pacejka Magic Formula) amelyek közül néhányat be is fogunk mutatni, majd konklúziót vonunk az ismereteink alapján és a számunkra legmegfelelőbbet választjuk ki.

2. DINAMIKAI MODELLEZÉS HÁTTERE

A dinamikai modellezéshez elengedhetetlen a kerék kinematikai ismerete. A gumiabroncs kerületén hosszirányú erők ébrednek, amelyek a következő tényezőktől függenek: hosszirányú szlip, tapadási tényező és függőleges kerékterhelés. Hajtó - vagy fékező - nyomaték hatása alatt a gumiabroncs úttessel érintkező felületén lévő gumirészecskék parciális csúszása miatt sebességkülönbség keletkezik a jármű és a kerék gördülése között. Emiatt a kerék által megtett távolság eltér a kerék forgási szögéből számítható távolsággal, úgynevezett hosszirányú szlip keletkezik.

A hosszirányú szlip(λ_x) a v_x menetsebesség és a kerék/talaj közötti $r_{dyn}\omega$ relatív sebesség különbségéből határozható meg. A dinamikus keréksugár r_{dyn} a gumiabroncs legördülési kerületéből adódik. A legördülési kerület egyenlő a szabadon gördülő kerék által egy fordulat alatt megtett úttal. Így a kerék dinamikus gördülési sugarát a következő definíció alapján határozhatjuk meg:

$$v_x = r_{dyn}\omega \quad (1)$$

ahol:

- ω a kerék szögsebessége
- v_x a járműsebesség

Tehát a dinamikus keréksugár az az effektív r_{dyn} keréksugár, amivel az ω fordulatszámot szorozva a kerék által elért sebesség adódna.

A dinamikus keréksugár összefüggése alapján:

$$x = r_0 \sin\phi \quad (2)$$

$$r_{dyn} = \frac{x}{\phi} = r_0 \frac{\sin\phi}{\phi} \quad (3)$$

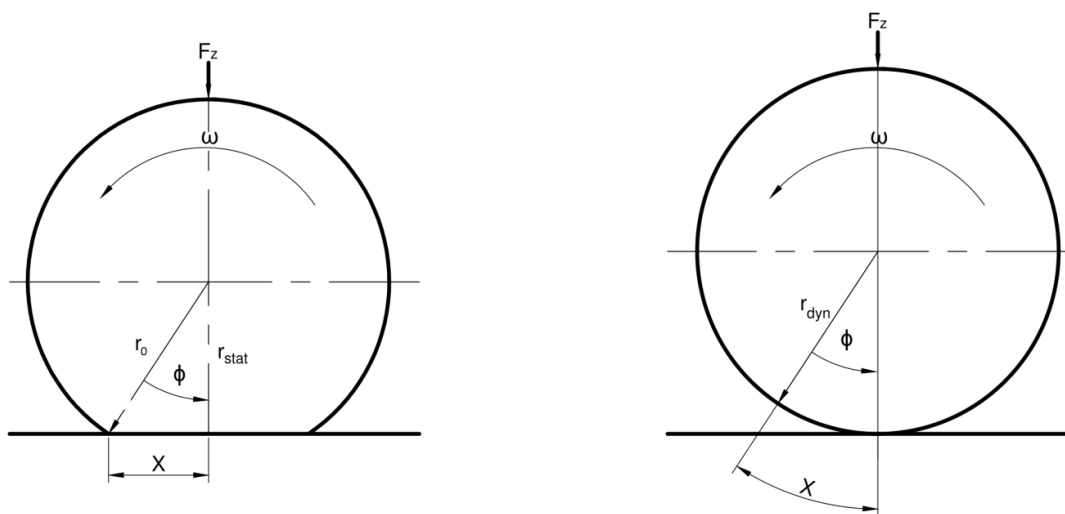
$$r_{dyn} = r_0 \frac{\sin\phi}{\phi} = r_0 \frac{\sin\{\cos^{-1}(\frac{r_{stat}}{r_0})\}}{\cos^{-1}(\frac{r_{stat}}{r_0})} \quad (4)$$

ahol:

- r_0 a terheletlen kerék sugara
- r_{stat} a terhelt álló kerék sugara
- x ívhossz
- ϕ érintkezési tartományhoz tartozó szög

Ennek egy közelítő értékét az alábbiak szerint kaphatjuk meg:

$$r_{dyn} \approx \frac{2}{3}r_0 + \frac{1}{3}r_s(F_z) \quad (5)$$



1. ábra. Kontaktpont sebessége [3]

Látható, hogy

$$r_{stat} < r_{dyn} < r_0 \quad (6)$$

Egy meghajtó kerék esetén a forgásból számított sebesség nagyobb a jármű sebességénél, azaz $r_0\omega > v_x$. Egy szabadon futó kerék esetén a jármű sebessége nagyobb a kerék forgásából számított sebességénél, tehát $v_x > r_0\omega$. Hajtás esetén a következő sebességkülönbség adódik: $r_0\omega - v_x$. A járműdinamikai modellekben szereplő egyik legfontosabb paraméter a λ longitudinális csúszási együttható (szlip).

A hosszirányú szlip hajtás és fékezés esetén a következőképpen definiálható:

Hajtási szlip:

$$\lambda_{xa} = \frac{r_0\omega - v_x}{r_0\omega} \quad (7)$$

Fékezési szlip:

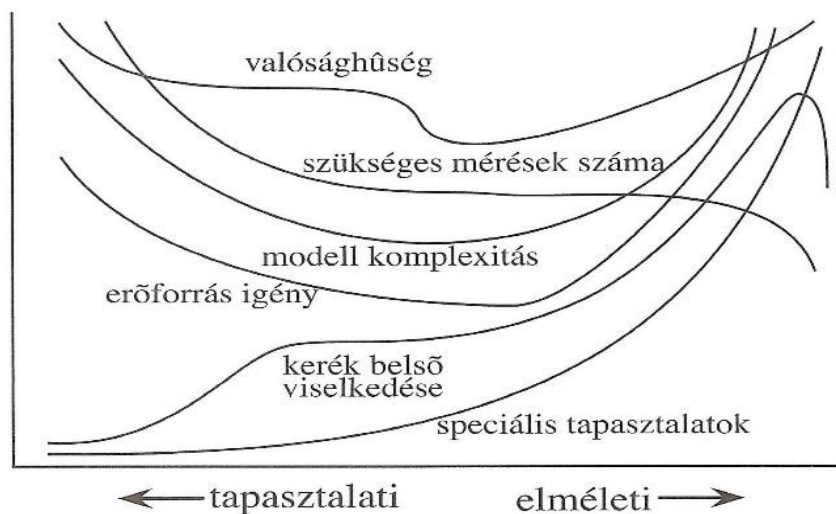
$$\lambda_{xb} = \frac{v_x - r_0\omega}{v_x} \quad (8)$$

Az álló járművön kipörgő kerék, illetve a fékezéskor blokkoló kerék egyaránt „1” értékű szlipet jelent. Összefoglalva, a kerék kinematikáját meghatározó legfontosabb tényezők az alábbiak: a jármű $v = (v_x, v_y)$ sebessége, a $v_c = \omega R_e$ kerék kerületi sebessége valamint a $v_s = (v_x - v_c, v_y)$ csúszási sebesség. Az $R_e = \frac{v_x}{\omega_0}$ effektív gördülési sugár értékét a szabadon futó (fék/hajtás=0) kerék ω_0 szögsebessége határozza meg. Bevezetjük még az $\alpha = \arctan \frac{v_y}{v_x}$ csúszási szöget valamint a csúszási sebesség $\beta = \arctan \frac{v_{sy}}{v_{sx}}$ irányát.

3. ELMÉLETI ÉS GYAKORLATI HÁTTERE A MODELLEKNEK

Az elmúlt 50 évben sokfajta megközelítés született, amelyek a gumi modellezését szolgálták. A fél empirikus gumibroncs modellek, mint például a Magic Formula, amelyek a mért abroncs adatokra illeszkednek, azt a célt szolgálják, hogy a kereket helyettesítsék járműdinamikai szimulációkban.

A számítógépes erőforrások és szimulációs lehetőségek növekedésével, komplex fizikai kerékmodellek születtek. Ezek a gumi fizikai tulajdonságai és kialakítása alapján előre jelzik, hogy milyen erő és nyomaték jellemzői lesznek az abroncsnak. Az elméleti modellek arra valók, hogy a menettulajdonságokra összpontosítanak, ezzel szemben a tapasztalati modellek, amelyek az abroncs erő és nyomatékmérésen alapulnak, (pl.: Magic Formula) a leggyakrabban alkalmazott modellek a jármű dinamikai szimulációkban. Természetesen vannak olyan modellek, amik e közé a két szélsőség közé esnek: kerékmodellek, amik hasonlósági metódus alapján a kerék alapvető karakterisztikáit utánozzák, és olyan modellek, amik egyszerű mechanikai jellemzései a kerék szerkezetének. Az alábbi ábra a különböző modellezési lehetőségek tulajdonságait foglalja össze:



2. ábra. A kerékmodellek komplexitása [1]

Az alábbi táblázat néhány gyakorlatban alkalmazott modell típust mutat be:

Tapasztalati		Elméleti	
Csak mért adatok alapján	Hasonlósági elv alapján	Egyszerű fizikai modell alapján	Bonyolult fizikai modell alapján
Regresszió segítségével teljes körű adatokat illeszt	Torzítás, alapvető karakterisztikákat méretez át és kombinál	Egyszerű mechanikai ábrázolás, zárt formájú megoldás	Nagy pontossággal írja le a kerék tulajdonságait, számítógépes szimuláció, végeelem módszer
Pl.: Magic Formula	Pl.: Tire Model Easy	Pl.: Brush modell	Pl.: RMOD-K

1. táblázat. Gyakorlatban alkalmazott modell típusok

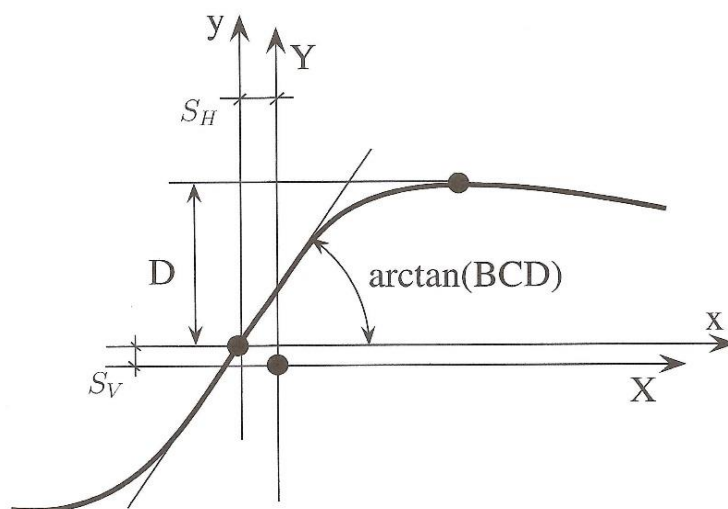
3.1 Pacejka Magic Formula

A Pacejka Magic Formula sok mérésen alapszik, az egyik legelterjedtebb a kerékdinamikai modellek közül. A Magic Formula mérések során nyert tapasztalatokra támaszkodó görbe, ami jól illeszthető paramétereinek megválasztásával a mérési eredményekre.

$$f(x) = y(x) = D \sin[C \arctan(Bx - E(Bx - \arctan Bx))] \quad (9)$$

$$f(x) = y(x) = D \sin[C \arctan(Bx - E(Bx - \arctan Bx) + H \arctan Bx)] \quad (10)$$

$$Y(X) = y(x) + S_V \quad (11)$$



$$x = X + S_H \quad (12)$$

2. ábra. Magic Formula egyszerűsített függvénye [1]

ahol:

- Y: kimeneti változó (F_x, F_y, M_z)
- X: bemeneti változó ($\kappa, \tan \alpha$)
- B: merevségi tényező
- C: alaktényező
- D: csúcsérték
- E: görbületi tényező
- S_H : horizontális eltolás
- S_V : vertikális eltolás

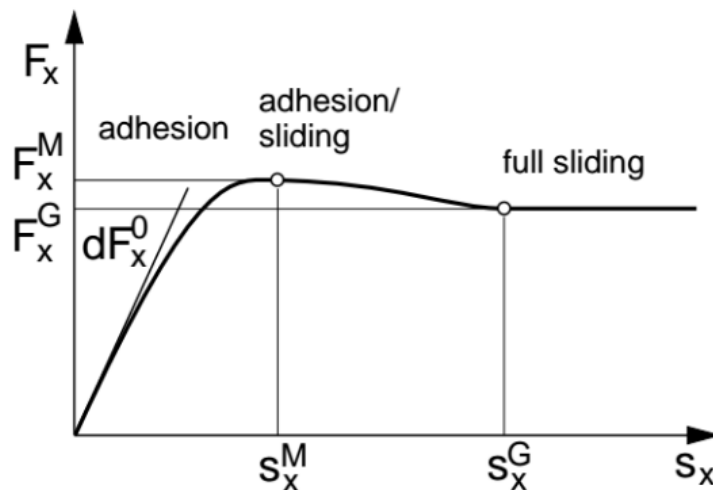
A Magic Formula függvénye számos olyan elemet tartalmaz, amik kiszámítása időbeli számítási korlátokba ütközhet. Pacejka modellből redukált lineáris kerékmodellek fontos tényezője a kanyarodási merevség. Ez a mérőszám a járműirányítási alkalmazások döntő többségében megjelenik.

Ebből a néhány adatból és függvényből is jól látható, hogy a Magic Formula egy nagyon szabadon formálható, jól illeszthető görbét szolgáltat. Többek között ez a rugalmas alakíthatóság az egyik szempontja annak, hogy miért is ez a leginkább elterjedt kerékdinamikai modellezés.

3.2 Tire Model Easy (TMEasy)

A TMEasy modell először mezőgazdasági gépek járműdinamikai szimulációinál jelent meg. Sikeresen alkalmazták „Real-Time” alkalmazások kocsikban és tehergépjárművekben. Ezt a fél-empirikus modellt (mint a TMEasy) arra fejlesztették ki, hogy olyan helyzetekben segítsen, ahol kevés vagy egyáltalán nincsenek mért adatok az abroncsról. Az elképzelés az,

hogyan ezekben az esetekben mérnöki becslést alkalmazunk, abból a célból, hogy interpoláljuk vagy extrapoláljuk a tulajdonságokat egy a mienkhez hasonló abroncsról. A TMEasy célja az, hogy használható kerék erőket adjon kevés információból a modell paramétereinek segítségével, amelyeknek konkrét fizikai jelentése van.



3. ábra. Hosszirányú erő karakterisztika [2]

ahol:

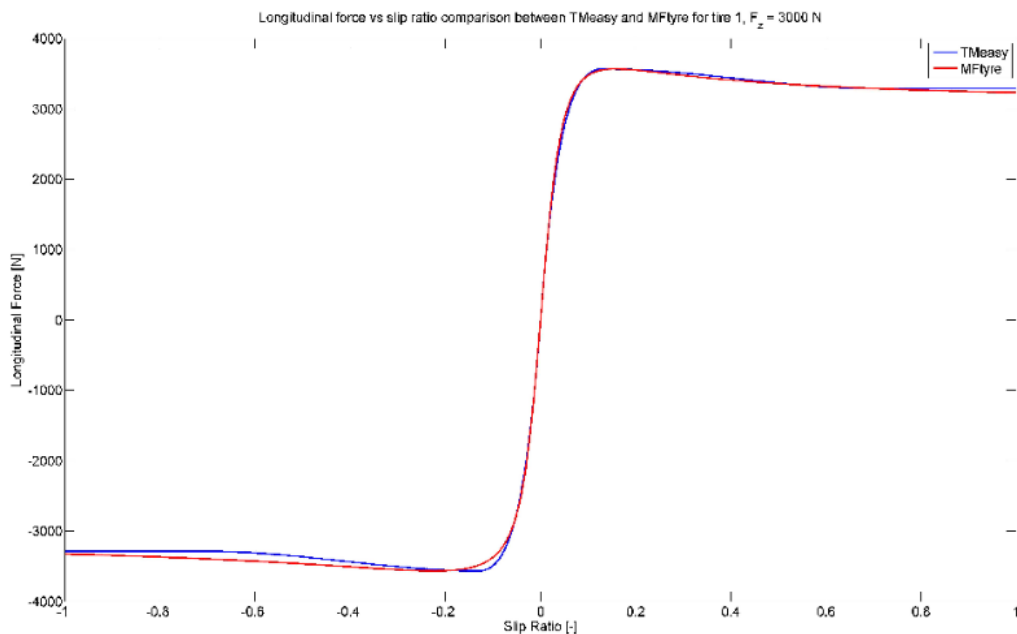
- dF_x^0 - kezdeti dőlés (hosszirányú merevség)
- F_x^M - maximális hosszirányú erő
- s_x^M - hosszirányú szlip maximális erőnél
- F_x^G - csúszási erő
- s_x^G - hosszirányú szlip a csúszási erőnél

A függvény „Y” tengelyén a hosszirányú erő, míg az „X” tengelyen a hosszirányú szlip értékek szerepelnek. A függvény három részre osztható. Ezek közül az első szakasz a tapadási szakasz, a második a tapadás és megcsúszás határszakasza, míg a harmadik a teljes csúszásé. Ezeket a részeket más és más képletek írják le, eltérő a számítási módjuk.

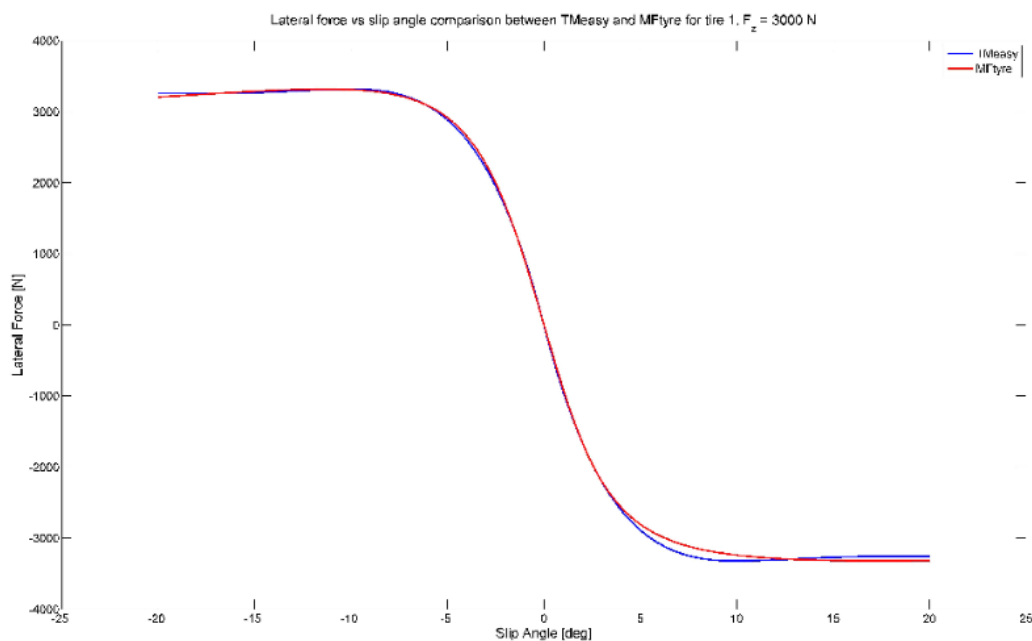
$$F = \begin{cases} s^M dF^0 \frac{\sigma}{1 + \sigma(\sigma + F^0 \frac{s^M}{F^M} - 2)}, & \sigma = \frac{s}{s^M}, & 0 \leq s \leq s^M \\ F^M - (F^M - F^G)\sigma^2(3 - 2\sigma), & \sigma = \frac{s - s^M}{s^G - s^M}, & s^M < s \leq s^G \\ F^G, & & s > s^G \end{cases} \quad (13)$$

A TMEasy és a Magic Formula közötti hasonlóságok és eltérések a következők: Először is a TMEasy modell a Magic Formula alapján készült el egy úgynevezett „gumiabroncs 1”-re generálva (ami meglévő kerékatadatokot használ fel az „átültetés” során). Ez úgy történt, hogy a hosszanti és keresztirányú visszatérítő nyomatékgörbéket a Magic Formulában ábrázoljuk, majd a TMEasy értékeit felvisszük a görbékbe. Az ábrákon jól látszik, hogy a TMEasy nagyon hasonló görbékkel dolgozik, mint a Magic Formula, viszont sokkal kevesebb bemenő

adattal produkálja ezeket az eredményeket. Hosszirányú erőknél max 2,9% eltérés, laterális erőknél max 3,7%-os az eltérés.



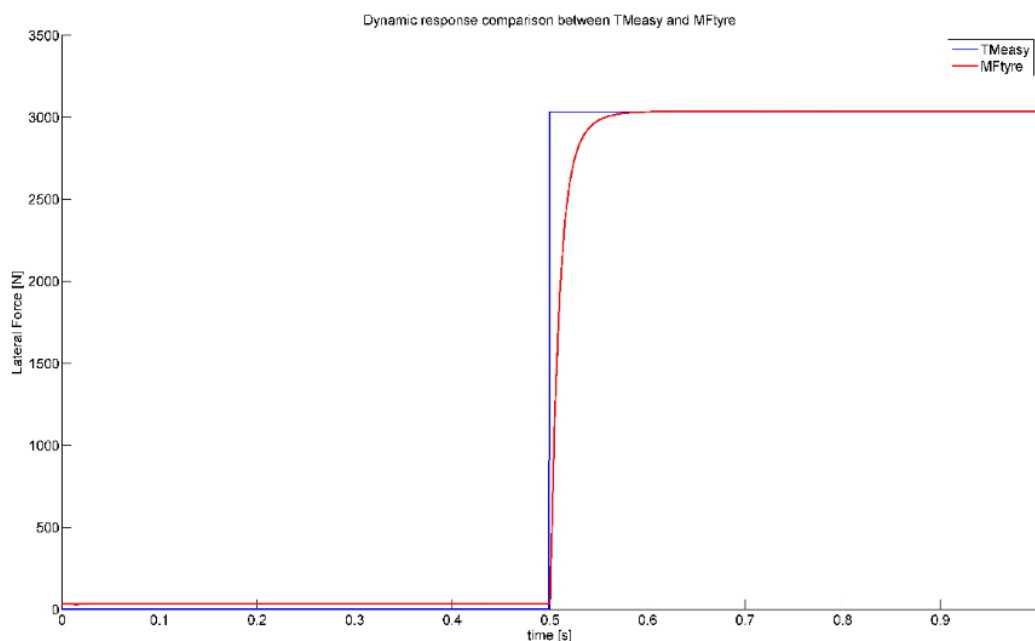
4. ábra. Hosszirányú erők (max 2,9%) [2]



5. ábra. Laterális erők (max 3,7%) [2]

A TMEasy hátránya a Magic Formulával szemben hogy a visszatérítő nyomaték közepesen magas szlip értéknél nagyon eltérnek egymástól. Ez abból adódik, hogy az oldalirányú erők eloszlásánál és az eredő erőnél meglehetősen egyszerű feltételezésekkel dolgozik. A szlip karakterisztikánál is jelentkeznek eltérések, amik az aszimmetrikus abroncs viselkedéséből (amit a TMEasy nem kezel) adódnak. Ezen kívül, amíg a Magic Formula kombinált szlip paramétereket vizsgál, addig a TMEasy csupán tiszta csúszással kapcsolatos adatokat dolgoz

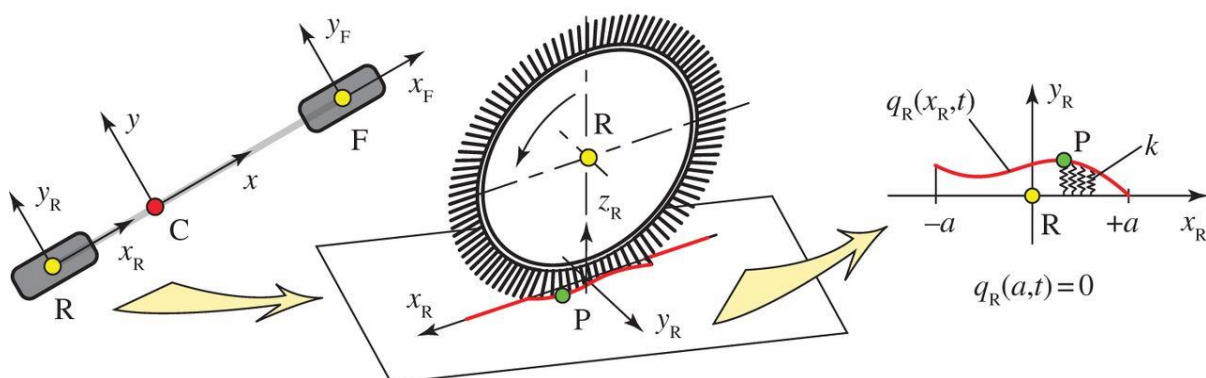
fel és egy olyan görbét alkot, amivel normalizálja a kereszt és a normálirányú erőket. Valamint a nagy függőleges terhelések esetén és nedves úton „kiszögesedik” az amúgy parabolikus függvényalak.



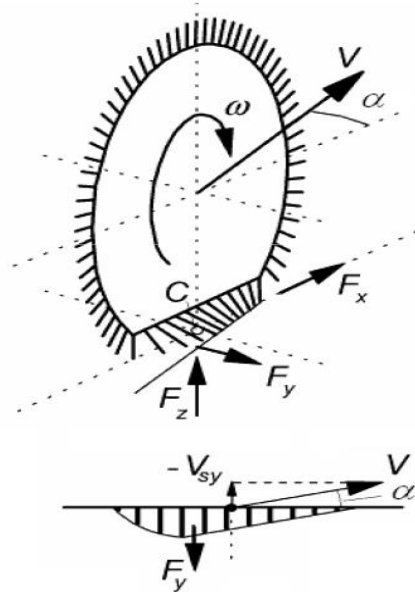
6. ábra. Átmeneti állapot karakterisztika

3.3 Brush model

A Brush modellben azt feltételezzük, hogy a szlipet a gumi térfogatának (testnek) deformációja okozza, ami a gumibroncs vázszerkezete és a talaj között van. Ezt a térfogatot kis „kefe” elemekkel modellezzük, amelyek a szövetvázzal érintkeznek. A vázról azt feltételezzük, hogy merev nem nyúlik meg és nem zsugorodik össze, de a kerékgagyon el tud hajolni. Minden kefe elem a másiktól függetlenül deformálódhat. A Brush modell egy elméletibb megközelítése a kerékmodellezésnek.



7. ábra. A súrlódó kerék mozgás közben [3]



8. ábra. A kontaktfelület a Brush modell alapján [3]

4. FELHASZNÁLNI KÍVÁNT ELJÁRÁS

Mivel nagyon sokféle mérési lehetőségünk egyelőre nincs, így egy fél-empirikus modellt fogunk használni, ami vagy maga a TMEasy lesz, vagy egy hozzá hasonló kevés paraméterrel rendelkező modell. Ezeket az adatokat egy tervezési fázisban lévő mérőberendezés fogja mérni, ami a kerékagyba lesz beépítve.

ÖSSZEFOGLALÁS

Cikkünkben a kerék kinematikájával foglalkoztunk, amely a dinamikai modellezés alapját szolgáltatja. Ezután különböző modelleket mutattunk be, amelyek néhány tulajdonságukban eltérnek egymástól, ilyenek a komplexitás, a pontosság, valamint a felhasználási cél. A bemutatott ismeretek alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy a csekély mérési lehetőségeinket figyelembe véve, egy kevés mért adatra támaszkodó dinamikai modellre van szükségünk. Ennek az elvárásnak a TMEasy modell tesz leginkább eleget (megfelelő pontosság mellett). A kapott adatainkat egy már meglévő teljes járműdinamikai modellben, valamint egy hajtáslánc áttervezésében szeretnénk felhasználni.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **Gáspár Péter, Szabó Zoltán, Bokor József:** *Járműdinamika és Irányítás* 2015.
- [2] **Foam Mohammadi:** *Tire Characteristics Sensitivity Study* Master's Thesis 2012:34 Chalmers University and Technology, 2012., ISSN 1652-8557
- [3] **Gurkan Erdogan PhD.:** *Tire Modeling Lateral and Longitudinal Tire* 2009.04.27.
- [4] **Hans B. Pacejka Professor Emeritus:** *Tyre and Vehicle Dynamics (Second edition)* Delft University of Technology, 2006.
- [5] **Carlos Canudas-de-Wit, Panagiotis Tsiotras, Efstathios Velenis, Michael Basset and Gerard Gissinger:** *Dynamic Friction Models for Road/Tire Longitudinal Interaction* 2002.10.14.

ÖNTÉSZETI FOLYAMATOK SZÁMÍTÓGÉPES SZIMULÁCIÓJA

COMPUTER SIMULATION OF CASTING PROCESSES

MOLNÁR Dániel

Ph.D., egyetemi docens, Intézeti Tanszékvezető
Miskolci Egyetem, Műszaki Anyagtudományi Kar, Öntészeti Intézet

Kivonat: A számítógépes szimuláció az utóbbi években a korszerű öntvénygyártás és tervezés egyre nagyobb mértékben alkalmazott segédeszközévé vált. A költséges kísérletsorozatok lerövidítése, illetve mellőzése, valamint a kialakuló hiba okok feltárása érdekében napjainkban már széles körben elterjedt a különféle öntészeti szimulációs programok alkalmazása, melyek segítségével már az öntvénytervezés fázisában tanulmányozhatjuk az öntéskor lejátszódó termikus- és mechanikai folyamatokat, amelyek megfigyelésével fontos következtetéseket vonhatunk le az esetlegesen felmerülő öntvényhibák bekövetkezéséről. Mivel folyamatosan növekednek az öntvényekkel szemben megkövetelt minőségi elvárások és szélesedik a gyártani kívánt öntvények skálája, ezért egyre fontosabbak a munkát segítő modern szimulációs eszközök.

Kulcsszavak: öntészet, számítógépes szimuláció, control volume módszer

Abstract: Recently computer simulation is a basic tools for modern casting construction and production. The simulation of casting processes are expansively applied method for the abbreviation and replacement of expensive experiments and the apprehension of casting defects, by the help of with thermal and mechanical processes can be examined during the construction process. By the interpretation of the simulation results important conclusions can be determined. Quality issues of cast products are continuously increases which can be also back up by simulation calculations.

Keywords: casting, computer simulation, control volume method

1. ÖNTÉSZETI SZIMULÁCIÓ

A számítógépes szimuláció fogalmának definiálása számtalan módon lehetséges. Az angolszász szakirodalmakban fellelhető definíciók általában az informatika és számítástudomány szempontjából közelítenek, ami a mérnöki folyamatok szimulációját kevésbé jól írja le. A magyar nyelvű szakirodalmak általában túl általános definíciókat tesznek meg, így mérnöki szempontból az alábbi megfogalmazást javaslom:

A szimuláció modellek kidolgozása és azon kísérletek elvégzése létező, vagy hipotetikus rendszerek vizsgálatára. Ennek során a vizsgált rendszer egyes aspektusait számokkal, vagy szimbólumokkal reprezentáljuk oly módon, hogy azok könnyen kezelhetők legyenek és elősegítsék a rendszerek tanulmányozását és kiértékelését. [1]

A formatöltés és a dermedés modellezésének célja:

- vizsgálni a beömlő- és táplálórendszer kialakításának hatását az áramlásra,
- vizsgálni az áramlás okozta hibákat,
- vizsgálni a hőmérséklet eloszlást és a dermedési morfológiát,
- vizsgálni a dermedés és lehülés közben kialakuló hibákat,
- vizsgálni az erő és feszültség viszonyokat, valamint a kialakuló méretváltozásokat.

Elmondható, hogy egy és ugyanazon vizsgált öntvény/forma/környezet rendszerhez, elhanyagolva annak lényegtelen jegyeit, különféle számítási modelleket rendelhetünk hozzá annak függvényében, hogy a valóságos rendszerben lejátszódó folyamatok mely aspektusa érdekes számunkra és azt milyen pontossággal szeretnénk leírni. A számítási modell

megalkotását két, ellentétes kívánalom teljesítése befolyásolja: a modell minél jobban helyettesítse a valóságos testet és annak körülményeit, illetve hogy a vizsgált jellemzők lehetőleg kevés időráfordítással és jó közelítéssel meghatározhatók legyenek.

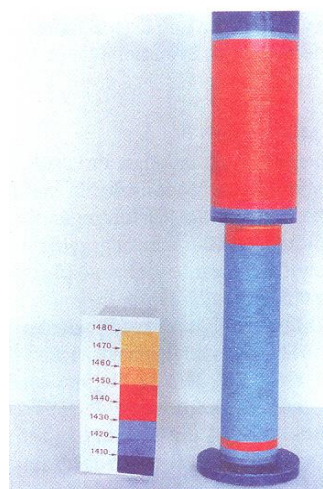
A modellezés során többek között mérlegelni kell a környezeti hatásokat, a testek kölcsönhatását, az anyag szerkezetét, a kialakuló alakváltozást, a geometriai alakot és a megfogásokat. [2]

Az öntés közben lejátszódó folyamatokat fő jellemzőik alapján két részre lehet osztani: anyagtranszport- és hőtranszport folyamatokra. Az anyagtranszport folyamatokat legegyszerűbben olyan módszerekkel lehet számítani, amelyek a Navier-Stokes áramlási egyenletet alkalmazzák. Ennek segítségével egy kétegyenletes turbulencia modell írható fel, mely közelítés a szabadságfokok mindhárom dimenziója esetén alkalmas az áramlási karakterisztikák számítására.

A hőtranszport folyamatok tapasztalati-, részben tapasztalati- és fizikai alapokon nyugvó szimulációs programokkal is számíthatóak. A tapasztalati programok olyan egyszerű, ismétlődő folyamatokat tudnak leírni, ahol a változók kis határokon belül alternálnak (pl. hőhalmozódási helyek számítása). A részben tapasztalati programok megfelelően tudják modellezni azokat a folyamatokat, ahol a változók intervalluma limitált és a lejátszódó fizikai változások egyszerűek és követhetőek. A fizikai alapokon nyugvó programok alkalmazásával a öntés közben lejátszódó legtöbb folyamat megfelelő pontossággal számítható. Az eljárás a legtöbb ötvözet-formázóanyag rendszer esetén jól alkalmazható modellt eredményez. A számítások során általában a Fourier hőátadási egyenletet alkalmazzák, mely háromdimenziós hőátadást feltételez és a konvektív hőátadást is figyelembe veszi, amely főleg nagy öntvénykeresztmetszetek esetén lényeges. Az alkalmazott anyagok részletes hőfizikai adatai lehetővé teszik a hővezetés, a hőáramlás és a hőszugárzás számítását egyenletrendszerekkel, amiket így a teljes folyamatra ki lehet terjeszteni. A közelítés lépcsőzetes, időtől függő analízis és lehetővé teszi a hőmérséklet extrapolálását minden helyen és időpillanatban. [3-5]

1.1. Az öntészeti szimuláció kialakulása

A dermedési folyamatok matematikai leírásáról szóló első folyóirat cikket Chworinov publikálta 1940-ben a Giesserei Zeitung öntészeti folyóiratban. Az 1950-es években alkalmaztak először analóg számítógépeket a dermedési front mozgásának egy- és kétdimenziós számítására. Digitális számítógépet először 1962-ben alkalmaztak, aminek során a homokformába történő acélpenetrációt vizsgálták. Fontos lépés volt Hentzel és szerzőtársainak 1965-ös publikációja az acélöntvények dermedésének kétdimenziós vizsgálatáról, aminek során egy General Electric cég által kifejlesztett hőátadási programot fejlesztettek tovább. 1968-ban publikáltak egy hegesztés közbeni hőterjedést leíró kétdimenziós modellt, aminek továbbfejlesztve 1970-ben kidolgoztak egy kétdimenziós programot lapalakú öntvények kitáplálhatóságának meghatározására. 1975-ben történt az első háromdimenziós szimulációs megoldás, mellyel aélöntvények melegpedésének modellezését oldották meg. A szimulációs eredmény térbeli prezentációját famodellre festve prezentálták, mely az 1. ábrán látható.



1. ábra. Hőmérséklet eloszlás szemléltetése famodellre festve

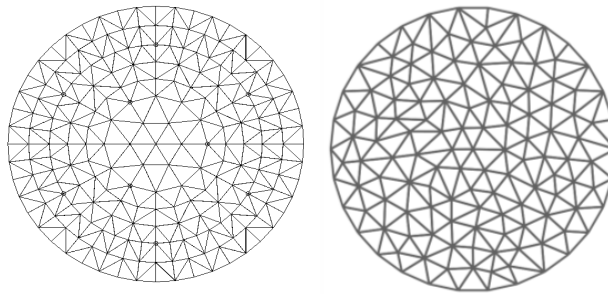
Az 1980-as évek elején fellendült az öntészeti folyamatok szimulációjának kutatása. A főbb kutatási bázisok egy-egy meghatározó kutatóhoz kapcsolódóan, általában műszaki egyetemeken alakultak ki, jellemzően Dániában, az Egyesült Államokban, Japánban és Svájcban. A legfontosabb kutatóműhely a németországi RWTH Aachen Főiskola Öntészeti Intézetéből fejlődött ki Peter Sahm professzor irányításával. [6-9]

1.2. A szimulációs vizsgálatok felépítése

A szimuláció folyamata három fő részre osztható: előkészítés (pre-processing), számítási folyamat (main-processing) és kiértékelés (post-processing).

Az előkészítő folyamat során történik meg a vizsgálni kívánt geometria feldolgozása. A vizsgálni kívánt geometriáknak tartalmaznia kell azokat a modelleket, melyeket az adott folyamat során figyelembe kívánunk venni. Egyszerű esetekben az öntvény/forma/környezet rendszer geometriája előállítható csak az öntvénygeometria ismeretében oly módon, hogy a többi elemet Boole műveletek segítségével állítjuk elő. A gyakorlatban a vizsgálatra kerülő geometriák rendelkezésünkre állhatnak hagyományos papír alapú gépészeti rajz formájában, a gépészeti modell 3D CAD modelljeként, illetve ideális esetben 3D öntvénymodellként, mely tartalmazza a technológiai sajátosságokat (zsugorodások, megmunkálási ráhagyás, magok, stb.).

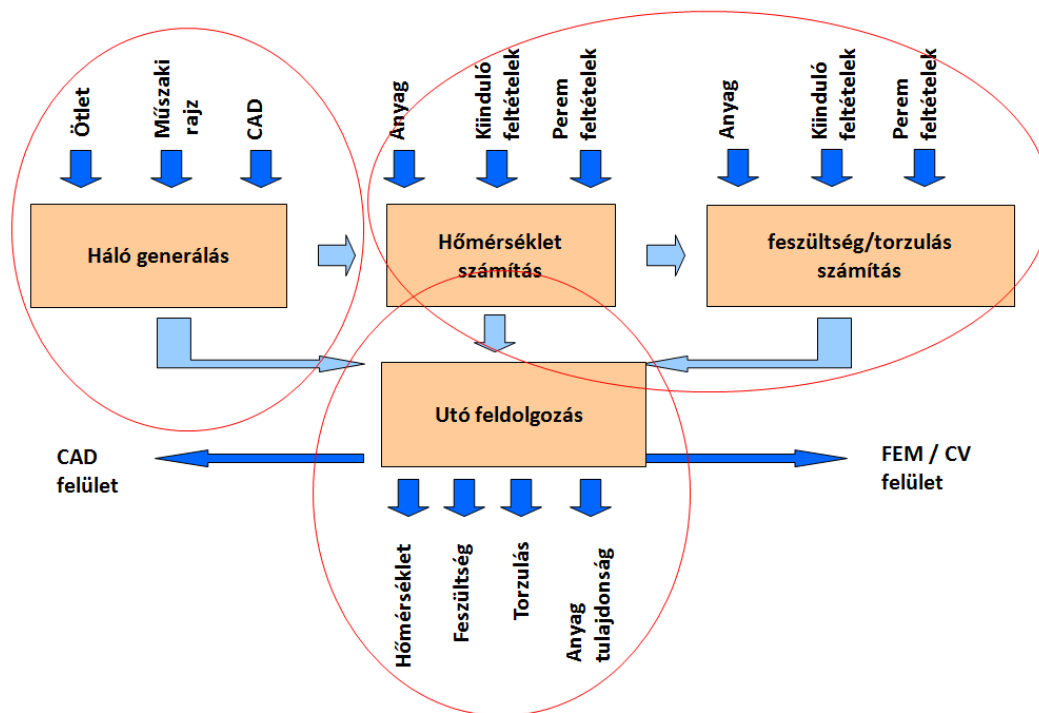
A számítási tartomány, mint kontinuum, partíciónálása során történik a hálógenerálás. A háló létrehozásakor figyelembe kell venni a modell geometriai sajátosságait (pl. rávágásbeli falvastagság, anyaghalmozódási helyek) és ennek, valamint az alkalmazandó matematikai megoldásnak megfelelően kell megválasztani a hálóelemeket és a hálózási módszert. A hálózás történhet manuálisan, fél-automatikusan, illetve teljesen automatikusan. Alkalmazható struktúrált hálózás, mely során valamely előre definiált rendezőelv alapján hozzuk létre a hálót, vagy izotropikus hálózás, amikor iránytangentstől független elemelrendezésű hálót hozunk létre. A struktúrált és izotropikus hálózás összehasonlítása a 2. ábrán látható.



2. ábra. Struktúrált vs. izotropikus hálózás

A számítási folyamat kezdetén kell definiálni a futtatáshoz szükséges anyagtulajdonságokat, valamint a kiindulási-, és határfeltételeket. Ahhoz, hogy a valós folyamatoknál minél jobban megfeleltessük a számítási kívánt modellt, a folyamatokban résztvevő anyagok tulajdonságainak minél részletesebb megadása szükséges. Alapvetően a Fourier összefüggés megoldásához ismerni kell a folyamatban résztvevő anyagok vegyi összetételét, sűrűségét, fajlagos hőkapacitását, hőátadási tényezőjét, hővezető képességét, látens hőjét, rugalmassági modulusát, hőtágulási együtthatóját, valamint az ötvözetrendszer kétalkotós fázisdiagramját. A kezdeti- és határfeltételek megadása során a figyelembe venni kívánt geometriai, időbeli és értelmezési peremfeltételek definiálása szükséges. A geometriai definíciók során meg kell adni a beömlési és táplálási pontokat, a hűtőközegek viselkedését leíró paramétereket, a szűrők tulajdonságait és a hőmérsékletteret befolyásoló anyagok (fekecskek, exoterm tápfejsapkák) tulajdonságait. Visszamaradó öntési feszültségek kialakulásának vizsgálata során először a dermedési-lehülési folyamat számítása szükséges, majd a visszamaradó öntési feszültségeket a számítás következő lépésében, az előállt inhomogén, időben változó hőmérsékletterben számítjuk, a szükséges mechanikai peremfeltételek megadásával.

A kiértékelés a vizsgált rendszer egyes aspektusainak számokkal, vagy szimbólumokkal történő reprezentációjával tehető meg tetszőleges nézetek, metszetek, skálák segítségével. Az információk adatok, képek, illetve videók formájában menthetőek. A kiértékelési folyamat során történik meg a számítás eredményeinek feldolgozása. Ennek során lehetőség van az egyes keresett tulajdonságok (hőmérséklet, nyomás, sebesség) kiértékelésére és pl. a geometriai változások és anyaghibák megjelenítésére. A szimuláció részfolyamatainak felosztása a 3. ábrán látható.



3. ábra. A szimuláció részfolyamatai

2. NUMERIKUS SZÁMÍTÁSOK

Az öntés során lejátszódó folyamatok leírására felírt egyenletrendszereket általában véges elem módszerrel, vagy szabályozott térfogatok módszerével szokták megoldani. Mindkét módszer alkalmas a vizsgált egyenletrendszerek megoldására, de mindegyiknek megvannak az előnyei és a hátrányai.

2.1. Véges elem módszer

Folytonos közegek számítása esetén bármely változó (nyomás, hőmérséklet, feszültség) végtelen számú értéket vehet fel, mivel ezek az értékek az adott test minden egyes pontjának függvényei. Következésképpen a problémának végtelen számú megoldása lehetséges. A véges elemes diszkrétizálás a vizsgált test elemekre való felosztásával véges számúra csökkenti az ismeretlenek számát, és azokat az elemeken belül egy feltételezett közelítő értékkel fejezi ki. A közelítő értékek a vizsgált tartomány meghatározott pontjaiban, a csomópontokban kerülnek meghatározásra. A csomópontok általában az elemhatárokon helyezkednek el és a szomszédos elemekhez kapcsolódnak. Egy elemnek, az elemhatárokon elhelyezkedő csomópontokon kívül, több belső csomópontja is lehet. A változók csomóponti értékei és az interpolált változók egyértelműen meghatározzák az elemeken belül a változók értékeit.

Adott probléma véges elemes reprezentációja esetén a vizsgált tartomány csomóponti értékei lesznek az ismeretlenek. Amint ezeket az ismeretleneket meghatározzuk, az interpolációs függvények meghatározzák az elemek keresett értékeit.

A megoldás jellege és a közelítés mértéke nem csak az elemek méretétől és számától, hanem a választott interpolációs eljárástól is függ. A funkciókat gyakran úgy választják ki, hogy a változók, vagy azok deriváltjai a szomszédos elemhatárokon keresztül folytonosak legyenek. Fontos továbbá a véges elemes módszernek az a képessége, hogy az egyes elemekre az előtt ki tudjuk számítani a megoldásokat, mielőtt összegeznénk őket. Lényegében a komplex problémát leegyszerűsített problémák sorozataként kezeljük.

Folytonos közegek számítása esetén a véges elemes módszer mindig egy többlépcsős számítási struktúrát követ, ami az alábbi lépésekből áll:

1. A kontinuum diszkretizációja

A kontinuum, vagyis a megoldandó régió elemekre osztása, melynek megoldása során különféle elemtípusok alkalmazhatóak. Vannak olyan esetek, amikor nemcsak lehetséges, hanem szükséges is különböző elemtípusok alkalmazása. Az elemek számának és típusának eldöntése főként mérnöki tapasztalat alapján történik.

2. Az interpolációs függvény kiválasztása

A csomópontokat hozzárendeljük az elemekhez és kiválasztjuk a változó értékeket reprezentáló interpolációs függvényt. A változók lehetnek skalárok, vektorok, vagy magasabb rendű tenzorok. Gyakran polinómokat választanak interpolációs függvénynek, mivel azokat könnyű integrálni és differenciálni. A kiválasztott polinómok foka függ az adott elemhez rendelt csomópontok számától és az ismeretlenek számától és sajátosságaitól.

3. Az elemek értékeinek meghatározása

Az egyes elemek tulajdonságait leíró, mátrixban lévő egyenletek felírása. Ennek elvégzéséhez alkalmazható direkt-, vagy variációs közelítés.

4. Az elemek értékeinek összesítése a rendszert leíró egyenletek felírásához

A vizsgált rendszer össztulajdonságainak meghatározásához összegezni kell az egyes elemek kiszámított tulajdonságait. Az egyes elemek tulajdonságait leíró mátrix egyenleteket úgy kell módosítani, hogy azok leírják a teljes rendszer viselkedését. A rendszert leíró mátrixban lévő egyenletek alakja megegyezik az egyes elemeket leíró egyenletekkel, de sokkal több tagból állnak, mivel az összes csomópontra vonatkoznak. Az összegzési folyamat azon alapszik, hogy az elemek csatlakozási pontjában, a csomópontban, a változók értéke vonatkozik az összes-, az ehhez a csomóponthoz kapcsolódó elemre.

5. A peremfeltételek megadása

A rendszert leíró egyenleteket a megoldásuk előtt módosítani kell, hogy figyelembe lehessen venni a peremfeltételeket. Ekkor kell meghatározni a változók csomóponti értékeit.

6. A rendszert leíró egyenletek megoldása

Az összegzési folyamat több, szimultán megoldandó egyenletet eredményez, amik megoldásával megkapjuk az ismeretlen csomóponti értékeket. Ha a felírt probléma egyensúlyi jellegű, akkor algebrai-, ha nem egyensúlyi jellegű, például a csomóponti értékek időben változóak, differenciál egyenletrendszert kell megoldanunk.

7. További számítások elvégzése

Számos esetben a rendszert leíró egyenletek megoldásával előállt eredményeket további számítások bemenő paramétereiként alkalmazzuk. Ilyen eset például az időben változó inhomogén hőmérsékletterben kialakuló visszamaradó öntési feszültségek számítása. [10-11]

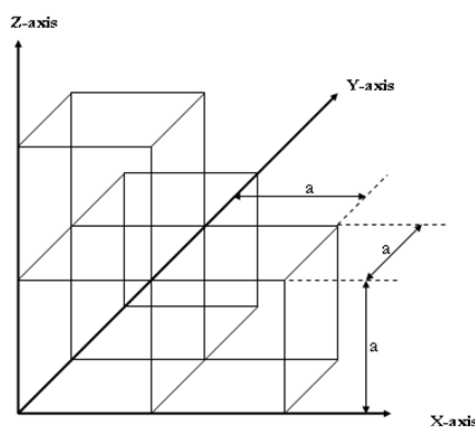
2.2. Szabályozott térfogatok módszere

A szabályozott térfogatok módszere, a véges elem módszerhez hasonlóan, a számítási tartományt kisebb térfogati elemekre bontja, amelyeken belül a keresett áramlási mezőváltozók egyszerűbb, pl. lineáris függvényekkel közelíthetők. A tartomány felbontását a szabályozott térfogatok módszere esetén is hálógenerálásnak, a térfogatelemeket pedig celláknak nevezzük.

A diszkrétizálás első lépése a számítási tartomány diszkrét számú rácspontból álló hálóval történő lefedése. Minden egyes rácspontban, a parciális differenciálegyenletekben szereplő parciális deriváltakat differenciahányadosokkal közelítjük. Eredményül minden egyes rácspontbeli értékre egy algebrai egyenletet kapunk, amely az illető pontbeli értéken túl általában a környezetében lévő pontokban lévő értékeket is ismeretlenként tartalmazza.

A differenciálegyenletekben szereplő változók térkoordináták szerinti első- és második deriváltjait, vagy a rácspontbeli ismeretlen értékekre illesztett polinom differenciálásával, vagy a csonkított Taylor sorral közelítik. A mezőváltozók diszkrét értékeit a cellák középpontjában határozzuk meg. A differenciálegyenleteket integrálva egy-egy cella térfogatára minden divergenciás tag a cella összes részfelületére vonatkozó felületi integrállá alakul. Az integrálok értéke minden cellafelületre egy-egy skalár, ami az adott felületen egységnyi idő alatt átáramló megmaradó mennyiséget fejezi ki, ezek a felület két oldalán tárolt (ismeretlen) mezőváltozóktól függenek. Minden transzportegyenlet, minden cellára egy-egy nemlineáris algebrai egyenletet eredményez. A nagyszámú ismeretlen és az egyenletek nemlinearitása miatt az algebrai egyenletrendszer pontos megoldása nem lehetséges, ezért iteratív közelítő eljárások alkalmazhatók. A számítási tartomány határára eső cellarészfelületekre vonatkozó integrálok számításához az elhagyott térrész hatását leíró újabb összefüggések, peremfeltételek megadása szükséges.

Elvileg a szabályozott térfogatok módszere tetszőleges számítási hálóra alkalmazható, azonban a gyakorlatban általában strukturált háló esetén alkalmazzák. Strukturált hálónál a rácsvonalak a helyi koordináta vonalakkal esnek egybe. Különösen egyenközű hálón nagyon egyszerűen nyerhetők a magasrendű differenciálási sémák, de egyik hátránya az, hogy főleg csak egyszerű tartományok esetén használható. A szabályozott térfogatok módszere esetén alkalmazott egyenközű elemi cellákkal történő térkitöltés a 4. ábrán látható.



4. ábra. Számítási tartomány kitöltése elemi cellákkal

3. VISSZAMARADÓ ÖNTÉSI FESZÜLTSEGEK SZIMULÁCIÓJA

Az öntvényekben a megszilárdulás- és lehülés folyamán feszültségek keletkeznek. Ez a jelenség azzal magyarázható, hogy az öntvények zsugorodnak és bennük hőmérséklet különbségek alakulnak ki. Ha a keletkezett feszültségek nagyobbak az ötvözet folyási határánál, az öntvényben képlékeny alakváltozás jön létre és a méretei megváltoznak. Ha a lehülés folyamán az öntvény képlékeny alakváltozásra nem képes részeiben rugalmas alakváltozás közben belső feszültségek halmozódnak fel, akkor ez a visszamaradó feszültség csökkenti az öntvény szerkezeti szilárdságát. Kedvezőtlen körülmények között (ütés, hirtelen terhelés) a felhalmozódott rugalmas feszültségek elősegíthetik az öntvény törését, valamint a feszültségekkel terhelt öntvények a megmunkálás során méretüket változtathatják és bekövetkezhet az öntvények vetemedése, deformálódása. A felhalmozódott rugalmas feszültségek következtében az öntvények alakjukat hosszú időn keresztül, kis mértékben változtathatják és a rugalmas erők által előidézett vetemedés nagymértékben veszélyezteti a készre munkált öntvények méretpontosságát [12].

Az öntvényekben kialakuló visszamaradó öntési feszültségek mérése bonyolult és nehezen kivitelezhető feladat. Ezért a törvényszerűségek összefüggésének megállapítására egyszerű próbatesteken végeznek méréseket és gyűjtenek adatokat. Összefüggéseket keresnek az ötvözetek összetételétől függően a várható visszamaradó öntési feszültség, a rugalmas alakváltozás, a vetemedés és a hosszú ideig tartó öntvény-alakváltozás okainak felderítésére. A visszamaradó öntési feszültségek vizsgálatára leggyakrabban alkalmazott technológiai próbatest az úgynevezett szimmetrikus, kettőskeretű rácsok csoportjába tartozó, eltérő falvastagságú rudakból álló Bauer-Shipp típusú feszültségrács [13-14].

Az elvégzett kísérletek során különböző átmérőaránytal kialakított Bauer-Shipp típusú feszültségrács próbatesteket vizsgáltunk. A középső – szélső rudak átmérője 32-12, 32-20, 42-20 és 42-30 mm volt. A próbatesteknek a kémiai összetételét, telítési számát, grafitosodási hajlamát, szakítószilárdságát, mért keménységét, visszamaradó öntési feszültségét, relatív feszültségét, számított rugalmassági moduluszát, relatív keménységét és relatív szilárdságát vizsgáltuk. A forma anyaga minden esetben bentonitos nyers formázókeverék volt.

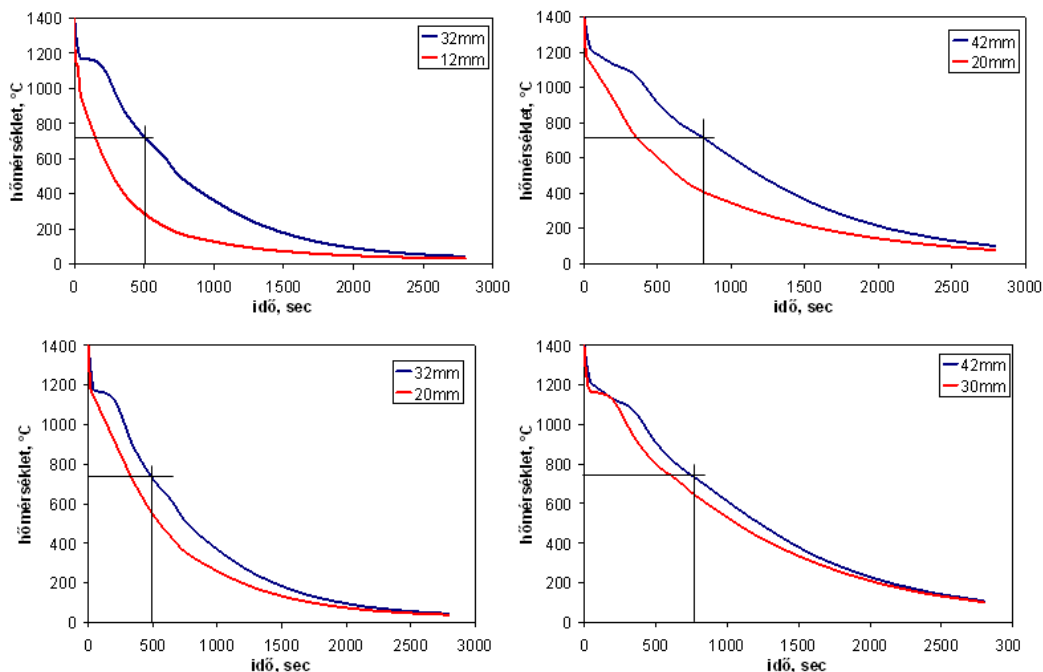
3.1. Elvégzett vizsgálatok

A technológiai próbákon mért feszültségek jellemzőek, de nem azonosak az öntvényeken mérhető feszültségekkel. Az öntvényekben keletkező öntési feszültségek nagyságának megállapítására kidolgozott módszerek nehézkesek. Ezért fokozott igény merül fel a szimulációs módszerek alkalmazására. Az elvégzett számítások során alkalmazott véges elemes modellt az RWP GmbH által fejlesztett SIMTEC/WinCast véges elemes programkörnyezetben futtattuk. A vizsgált próbatest modellje az 5. ábrán látható.



5. ábra. A vizsgált próbatest

A feszültséggrác próbatest hossz tengelyre merőleges szimmetria síkjában a középső és a szélső rúd középpontjában felvett lehülési görbék adatit vizsgáltam a szimulációs eredmények alapján. A különböző keresztmetszet arányú próbatestek lehülési görbéit GJL-200 anyagminőségű lemezgrafitos öntöttvas próbatest esetén a 6. ábra szemlélteti.



6. ábra. A feszültséggrác próbatestek rúdjaik geometriai középpontjában felvett lehülési görbék

A lehülési görbék kezdőértéke (öntési hőmérséklet) és végső értéke (szobahőmérséklet) azonos, a két szélső időpont között változó hőmérséklet-különbséget mutatnak. Lemezgrafitos öntöttvasak esetén az öntési feszültség az A1 átalakulási hőmérsékletet (723°C) követően alakul ki. Ennek figyelembe vételével vizsgáltam a kialakuló visszamaradó öntési feszültség és a feszültséggrác vastag és vékony rúdja közötti hőmérséklet különbség kapcsolatát. A különböző átmérő kombinációjú feszültséggrácok esetén a vastag rúd A1 átalakulási hőmérsékletének időpontjához tartozó hőmérséklet különbséget jelöltem ki az összefüggések vizsgálatára.

A lehülési görbéken jelölésre került az A1 átalakulási hőmérséklet. Ahol ez az egyenes metszi a vastag rúd lehülési görbéjét, ott az Y tengellyel párhuzamosan egy egyenes került levetítésre, ami metszi a vastag és a vékony rudak lehülési görbéjét és így meghatározható a vastag rúd A1 hőmérsékletéhez tartozó hőmérséklet különbség (ΔT_{A1}). Az így mért hőmérsékletkülönbség értékek és a szimulációval meghatározott visszamaradó öntési feszültség (középső rúd főfeszültsége) értékek az 1. táblázatban láthatóak.

Átmérő	A1 hőmérsékletéhez tartozó hőmérséklet különbség	Visszamaradó öntési feszültség
\varnothing	ΔT_{A1}	σ_v
mm	°C	N/mm ²
32-12	437,3	77,9
32-20	179,5	58,0
42-20	308,1	57,2
42-30	90,0	38,9

1. táblázat. A hőmérséklet-különbség és a visszamaradó öntési feszültség kapcsolata

3.2. Eredmények, összefoglalás

Az elvégzett szimulációs vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a visszamaradó öntési feszültség várható értéke meghatározható a vastag rúd A1 átalakulási hőmérsékletéhez tartozó, időben kialakuló vastag-vékony rúd hőmérsékletkülönbség alapján. Bentonitos homokformába öntött GJL-200 anyagminőségű lemezgrafitos öntöttvas esetén: $\sigma_v = 0,0976 \cdot \Delta T_{A1} + 33,221$.

A kidolgozott módszer segítségével előre jelezhetővé válik a lemezgrafitos öntöttvasakból öntött méret pontos alkatrészek várható visszamaradó öntési feszültsége és az ebből adódó méretváltozások értéke.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **JÁVOR A. et al.:** *Diszkrét rendszerek szimulációja*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979
- [2] **PÁCZELT I. et al.:** *A végeselem-módszer alapjai*, Miskolci Egyetem 2007
- [3] **T. MIDEA et al.:** *Casting simulation software survey*, Modern Casting, 1999 May
- [4] **O. GÖSER et al.:** *Der virtuelle Weg zum Gussteil*, Giesserei-Praxis Spezial, 2007/6
- [5] **W. KAPTURKIEWICZ ET AL.:** *Why is the computer modelling needed in casting?* Przegląd Odlewnictwa, 1/2005
- [6] **MOLNÁR D.:** *Visszamaradó öntési feszültség és méretváltozás mérése és szimulációja*, 2010, Ph.D. értekezés, Miskolci Egyetem, Doktori Témavezető: Dr. Dúl Jenő
- [7] **N. CHWORINOV:** *Theorie der Erstarrung von Gußstücken*, Giesserei, 1940. Mai
- [8] **V. PASCHKIS:** *Influence of Dry Sand Conductivity on Rate of Freezing of Steel Slabs*, Trans. AFS, 1950
- [9] **K. FURSUND:** *Das Eindringen von Stahl in Formsand*, Giesserei Tech. Vol 14, 1962.
- [10] **K. H. HUEBNER:** *Finite element for engineers*, John Willey & Sons, Canada 2001
- [11] **M. GREMAUD:** *Modeling of foundry processes: differences between various solutions*, AFS Transactions, 2001
- [12] **NÁNDORI Gy:** *Elméleti öntészet II.*, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1979
- [13] **U. QUACK et al.:** *Messung und Simulation von Eigenspannungen in Gusseisen*, Giesserei, 11/2010
- [14] **E. GUSTAFSSON:** *Optimization of Castings by using Surrogate Models*, Linköping University, Sweden 2007

A LEAN MENEDZSMENT ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI A KÖZSZFÉRÁBAN

APPLICATION POTENTIALS OF LEAN MANAGEMENT IN THE PUBLIC SECTOR

MOLNÁR Viktor¹, KERCHNER András²

¹egyetemi docens, szvmv@uni-miskolc.hu

²Miskolci Egyetem, Gazdaságtudományi Kar, Vezetéstudományi Intézet

²tanársegéd, szvka@uni-miskolc.hu

²Miskolci Egyetem, Gazdaságtudományi Kar, Vezetéstudományi Intézet

Kivonat: A cikk a lean szemlélet és eszköztár alkalmazási tendenciájáról és területeiről nyújt átfogó képet strukturált módszerrel történő szakirodalmi szelekció alapján. Ezen túl összefoglalja a közszféra szervezeteinek legfontosabb kihívásait és bemutat egy olyan keretmodellt, ami ezeket a nehézségeket figyelembe véve hatékonyan tudja támogatni a lean implementációját. A lean nem termelési területen történő alkalmazását illetően az egészségügy az élenjáró terület. Megállapítható, hogy az itt keletkezett eredmények jól hasznosíthatók a közszférában is.

Kulcsszavak: Lean menedzsment, Közszféra, Lean implementáció

Abstract: A comprehensive study has been elaborated and introduced in the paper on the application tendencies and areas of lean thinking with the use of a structured literature review technique. Furthermore the major challenges of the public sector are summarised. A framework is also introduced. It is capable of supporting the lean implementation in an efficient manner, taking into consideration the difficulties of the sector. Healthcare is the most intensively cited area of lean application in case of non-production organisations. It can be stated that the results of this area can be easily utilised in the public sector too.

Keywords: Lean Management, Public Sector, Lean implementation

1. BEVEZETÉS

A lean intenzív köztudatba kerülése és a lean menedzsment, az alkalmazott módszerek térnyerésének a kezdete a kilencvenes évek közepére tehető, noha maga a koncepció és eszköztár évtizedekkel előtte, Toyota termelési rendszer néven indult útjára. Azóta számos vállalat, elsősorban autóiipari multinacionális cég alkalmazza a szervezeti és működési sajátosságaihoz adaptálva és sokszor egyedi névre keresztelve. Ez a sikeresnek mondható gyakorlati menedzsment megoldás a tudományos közéletben is fókuszterületként jelenik meg, bár a legtöbb esetben pontszerű esetleírásokat és önkényes mintavételen alapuló empirikus felmérésekkel találkozhatunk. A lean térnyerése és alkalmazásának tetőpontja a 2000-es évek első évtizedére tehető, azóta pedig a six sigma folyamatmenedzsment koncepcióval való összefonódása látszik hatékonynak. Ez az integráció, hasonlóan egyéb menedzsment megközelítésekhez a hibrid megoldások jótékony hatásait igazolja.

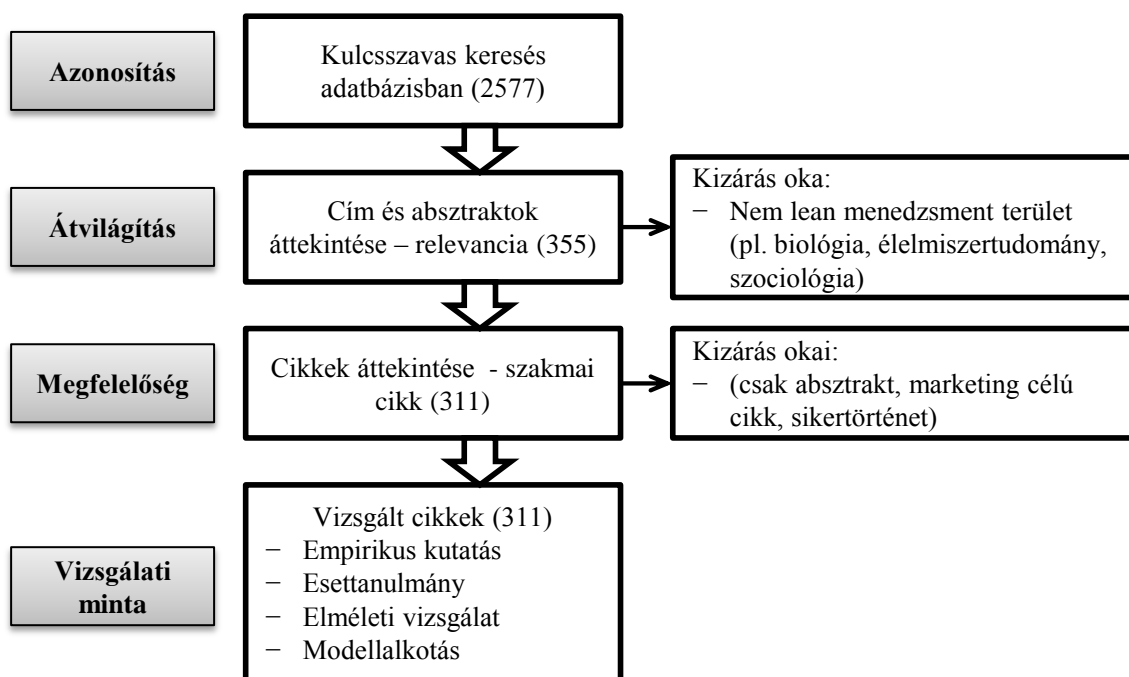
Jelen cikk a lean menedzsment közszférában való alkalmazási lehetőségét járja körül. A vizsgálatunk fő kérdései ezen fő kutatási kérdés köré csoportosulnak. Megvizsgáltuk, hogy milyen tendenciák figyelhetők meg a lean alkalmazási területeit illetően, azaz mely iparágakban, hogyan alakult a lean diffúziója. Ezen túlmenően arra kerestük a választ, hogy a közszféra intézményeihez kapcsolódóan milyen tendenciák figyelhetők meg, majd rátértünk az itt megjelenő legfontosabb kihívásokra, amellyel a közszféra a sajátosságainak megfelelően szembenéz ezen újszerű menedzsmentszemlélet adaptációját illetően.

A cikkben egy szekunder vizsgálat eredményeit mutatjuk be, majd egy egyszerű implementációs modell leírását közöljük. A modell segítséget nyújthat ahhoz, hogy a lean szemléletet és eszköztárat sikeresen alkalmazhassák a közszféra intézményeiben hosszú távon.

2. KUTATÁSI MÓDSZER

A lean menedzsment alkalmazását illetően számos forrásból táplálkozhatunk, ha ötleteket szeretnénk nyerni vállalatunk működésének, illetve folyamatainak racionalizálásához, vagy ha módszertani segítségre van szükségünk. Tapasztalataink szerint azonban számos forrás nélkülözi a tudományos igényességet, így megbízhatóságuk kérdéses.

Sok tankönyv áll rendelkezésre – elsősorban idegen nyelven – amelyek felhasználása kielégítő lehet. Ugyanakkor a piac túlszűfolt ezekben a kiadványokban, a szelekció nehézkes. Tudományos szempontból csak kis arányban tartalmaznak a tankönyvek új információt, azok más kiadványok ismétlései. A tankönyvekkel megegyező nagyságrendű azon könyvek száma, amelyek nem az akadémiai szférához köthetők, általában tanácsadók vagy vállalati szakemberek publikációi. Sajnos legtöbbjük sokszor teljes mértékben nélkülözi a tudomány alapelvei mentén történő strukturálást és tartalmat, így a kiadvány csupán sikertörténet-szerű leíró mű. Hangsúlyozandó, hogy ettől függetlenül tartalmazhatnak jó ötleteket. A nem szakmai folyóiratnak számító ún. menedzsment magazinok többsége csupán sikertörténeteket jelentet meg, így azok megbízhatósága is alacsony szintű. Számos tanácsadó saját honlapján található cikket. A legtöbb esetben ezek hivatkozás nélküli leírások vagy egyszerű siker sztorik vagy blog műfajú szövegek.



1. ábra. A PRISMA eljárás a szakirodalom-vizsgálat során (forrás: saját szerkesztés)

A kutatás módszerét tekintve alapvetően szekunder vizsgálatot végeztünk, melynek bázisát – a fenti problémák miatt – szakmai folyóiratok képezték. Két téma mentén zajlott a vizsgálat. Az első az aktualitás-vizsgálat volt, melynek keretében 311 releváns folyóirat cikket tekintettünk át az előző fejezetben ismertett kutatási kérdések mentén. A cikkelemzéshez a

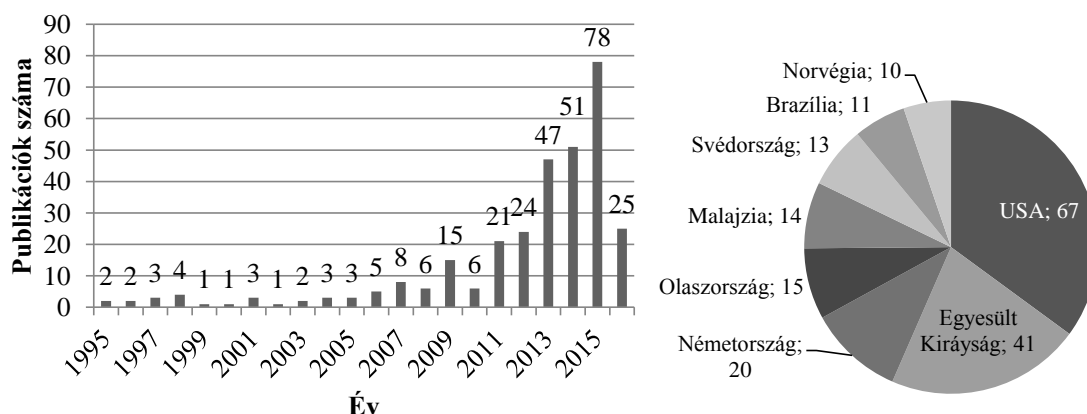
PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) eljárást alkalmaztuk, ami egy strukturált módszer többek között szakcikkek szisztematikus kiválogatására és értékelésére. A módszer szerint alkalmazott struktúrát az 1. ábra szemlélteti. A kutatás második területe az implementációs lehetőség vizsgálata volt. Ehhez szakcikkekben publikált gyakorlati beszámolókat vizsgáltunk meg, illetve egyéb szakirodalmi források alapján gyűjtöttük össze a közszféra azon jellemzőit, amelyek miatt a lean menedzsment meghonosítása a szervezetben nehézségekbe ütközhet.

3. A KUTATÁS EREDMÉNYEI

3.1. A lean szemlélet aktualitása, alkalmazási területei

A lean témájú szakcikkek elsősorban esettanulmányok formájában szemléltetik az alkalmazó szervezet eredményeit. Megannyi hasznos tanulmány született az egészségügy területén az utóbbi években, pl.: [1], [2], [3], [4]; de a lean szemlélet és a környezettudatos gazdálkodás összekapcsolása is intenzifikálódott [5], [6]. A cikkek között található olyanok, amik a különböző iparágakat, szektorokat hasonlítják össze [7], de a kormányzat, a közigazgatás és általában véve a közszféra szervezeteinek a vizsgálatait illetően is megjelentek érdemi cikkek [8], [9], [10]; melyek egy része komoly empirikus vizsgálatokat is tartalmaz.

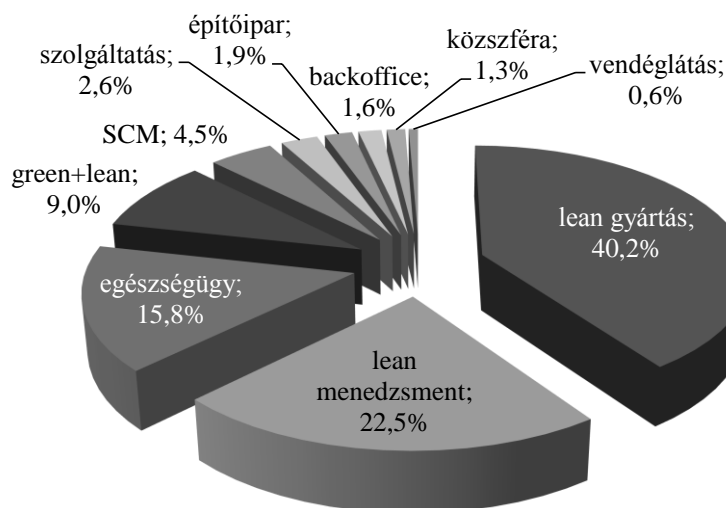
A minta alapján végzett szakirodalmi feltárás során 311 db. szakcikket vizsgáltunk. A 2. ábra szemlélteti a cikkek megjelenésének időbeli alakulását. A diagram jól mutatja be azt a tendenciát, miszerint a 2000-es évek közepétől került a tudományos közélet érdeklődésének középpontjába a lean téma. Ettől az időszaktól kezdve a cikkek számát tekintve progresszív növekedés mutatható ki. A 21. század második évtizedében ugrásszerű növekedést tapasztalhatunk, aminek az oka vélhetően az, hogy több európai multinacionális vállalat is ebben az időszakban kezdte el végrehajtani a lean adaptációt. Az ábra a publikációk országokénti megoszlását is mutatja (amelyeket illetően legalább 10 darab cikk szerepelt a mintában), ezek szerint az USA, az Egyesült Királyság és Németország élenjáró a lean témájú publikációban.



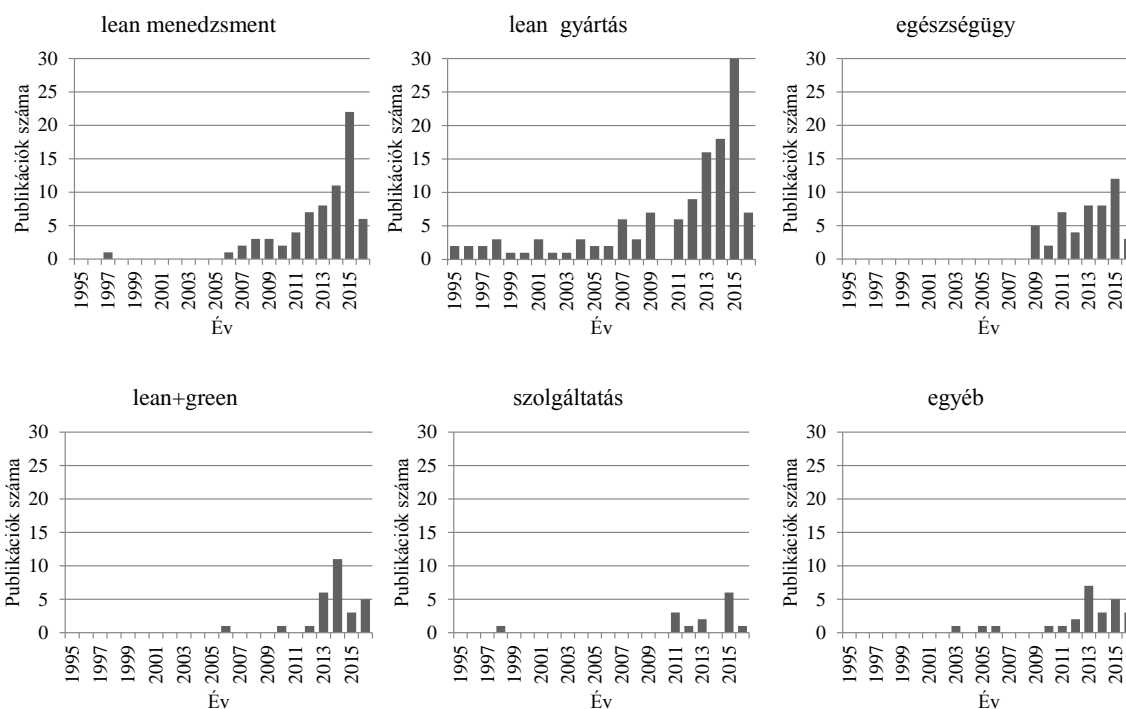
2. ábra. A lean témájú publikációk időbeli alakulása – a 2016-os évben áprilissal bezárólag és országokénti megoszlása (forrás: saját szerkesztés, a ScienceDirect adatbázis alapján)

A 3. ábra ezeknek a publikációknak az alkalmazási területeit mutatja be. Jól látható, hogy a leanról szóló publikációkon belül magas arányt (40,2%) képvisel a gyártás területén történő alkalmazás. A gyártáson belül is elsősorban a gépipari, járműipari alkalmazások részaránya

jelentős. A 4. ábra ezen területeken belül a cikkek számának alakulásáról informál. A gyártáson belüli publikációk számának alakulása hasonló az összes publikáció alakulásával, megállapítható, hogy ennek a területnek a részaránya nem csökkent. Ugyanakkor jelentős arányt képvisel a tágabban értelmezett lean alapokon nyugvó menedzsment és az egészségügyi alkalmazás aránya is. Utóbbiak térnyerése a 2000-es évek közepétől kezdődően növekszik. 2010-től megjelent a lean viszonylag nagyszámú publikációval a környezetgazdaságtani publikációkban (green+lean) és kisebb arányban ugyan, de a szolgáltatások területén is.



3. ábra. A publikációk megoszlása alkalmazási területenként (forrás: saját szerkesztés, a ScienceDirect adatbázis alapján)

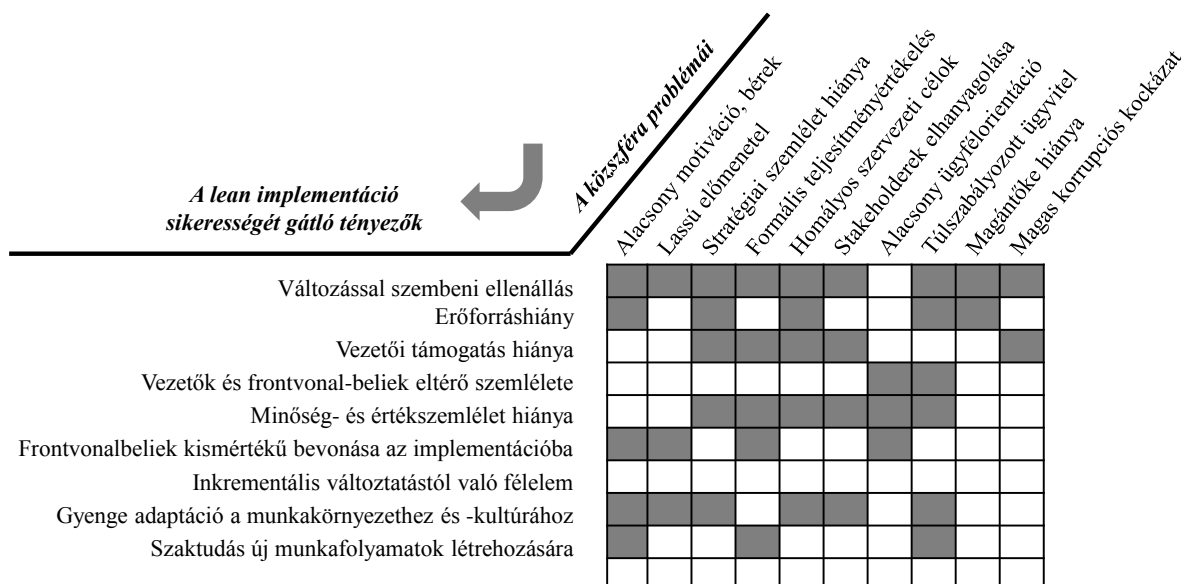


4. ábra. A publikációk számának időbeli alakulása alkalmazási területenként (forrás: saját szerkesztés, a ScienceDirect adatbázis alapján)

Joggal tehető fel a kérdés, hogy mi a kapcsolata a publikációknak a gyakorlati alkalmazással. Ennek megválaszolására elegendő áttekinteni a lean témájú cikkeket és jól látható, hogy azok több mint 60%-a valamilyen gyakorlati esetet dolgoz fel, ami általánosan elmondható a különböző vizsgált területek vonatkozásában. A vizsgált cikkek közül 2010 és 2016 között 52 db. a szolgáltatás területéhez kapcsolódik, melyen belül 44 db. cikk az egészségügyhöz, 3 db a versenyszféra szolgáltató cégeihez, 3 db. közszolgáltatókhoz és 2 db. turisztikai szolgáltatókhoz. Az összes 252 db cikkben belül (2010-2016) a szolgáltatók részaránya csak 20,6%.

3.2. Alkalmazási nehézségek a közszférában

Az utóbbi 5-10 évben felfokozódott a lean iránti érdeklődés. A magyarországi „innovátorok” az autópári multinacionális vállalatok voltak és néhány egyéb nagyvállalat. Az azóta eltelt időben nem csupán a kisebb cégek tudatában foglalt helyet a lean, hanem a közszféra szervezetei is megismerték. Ugyanakkor ennek a markánsan eltérő munkakultúrát feltételező megközelítésnek számos külső és belső determináns [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17]) is korlátokat szab. Emellett viszonylag nagy erőfeszítést jelent az implementáció előrehaladásának [18] és hatékonyságának a folyamatos értékelése a bevezetés után. Vizsgálatainkból kiderült, hogy bizonyos negatív befolyásolók a lean szemlélet és módszercsalád alkalmazásával hosszú távon leküzdhetők. Az 5. ábra a közszférát illetően feltárt nehézségeket felelteti meg a lean implementáció legfontosabb sikertényezőinek. A kapcsolati mátrix utóbbi elemeket tartalmazó dimenziója Holden [19] összeállítása alapján került kidolgozásra a szerző listájának szűkítésével és általánosításával. Az összekapcsolás célja, hogy a kidolgozandó keretmodellnek megfelelő módszertani alapot teremtsen.

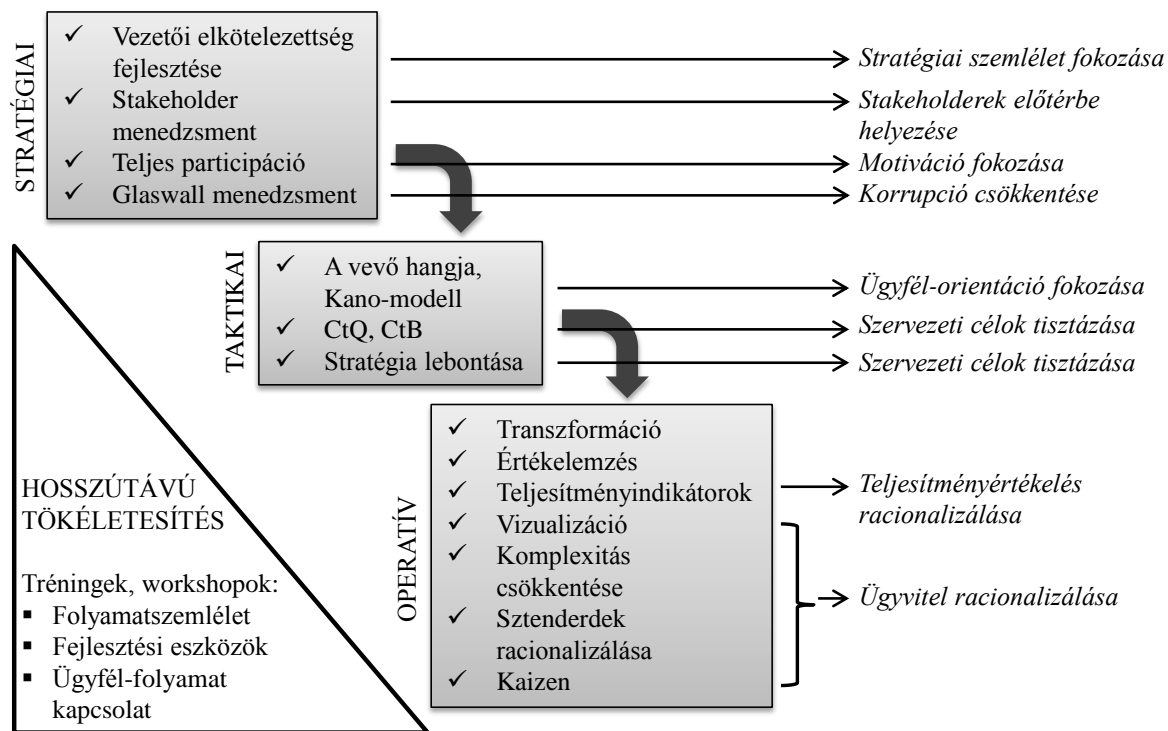


5. ábra. A lean implementáció sikertényezői és az azokat befolyásoló tényezők a közszférában (forrás: saját szerkesztés [11]-[19] alapján)

4. IMPLEMENTÁCIÓS MODELL

Az átfogó szakirodalom vizsgálat során feltárt sajátosságokat és tendenciákat figyelembe véve elkészítettünk egy összefoglaló keretmodellt arról, hogy milyen stratégiai szintű kezdeményezések szükségesek a közszférában jelentkező problémák leküzdéséhez (a modell

jobb oldali részén látható felsorolás). A modell struktúrájának alapját Ciarniene és Vienazindiene modellje [20] képezi, amely a lean koncepció többdimenziós jellegét (stratégiai, taktikai és operatív szint) hangsúlyozza. A modell tartalmazza azokat a tipikus lean módszereket, amelyek a megfelelő minőségű adaptációt szolgálják. Számos publikáció azt tanácsolja, hogy ezeket a módszereket kell megfelelően alkalmazni a sikeresség eléréséhez, azonban ezzel nem értünk egyet. Ugyanis ezen módszerek kiváló alkalmazása ahhoz szükséges, hogy a stratégiaileg menedzselendő területeket javítsuk (hatásosság fokozása) és ezen közvetett kapcsolaton keresztül várható a sikeres bevezetés és fenntartás. Ezt a közvetett jelleget azért kell hangsúlyozni, mert az adaptáció sikertelenségéhez kapcsolódó, itt értelmezett okok a problémák valódi gyökérokai. Az 5. ábrára visszatekintve az is látható, hogy a közszféra problémáinak csak egy részére képes megoldást nyújtani a lean szemlélet és az abban alkalmazott módszercsalád, számos nehézség nem mikroszintű megoldási igényekre vezet. Egy másik nagy gond a lean felé vezető úton a vezetők és a beosztottak elkötelezettségének hiánya. Mivel a lean Magyarországon egy újszerű munkakultúrát és egyben gondolkodásmódot igényel, tudatos és gyakran felülvizsgált fejlesztési módszerek segítségével kell a szemlélet meghonosítását támogatni: például rendszeres tréningek, megbeszélések, viták és workshopok formájában.



6. ábra. A sikeres lean implementációhoz szükséges fejlesztési területek (forrás: saját szerkesztés)

5. KÖVETKEZTETÉSEK, TOVÁBBI VIZSGÁLATI IRÁNYOK

A cikkünkkel arra kívántuk felhívni a figyelmet, hogy a szerteágazó és szinte minden területre begyűrűző lean szemlélet nemcsak hasznos tanácsokkal látja el a döntéshozó szakembereket, hanem sajnos kihívások elé is állítja, amikor arra kényszeríti, hogy szakmailag alacsony minőségű cikkek közül is válogatnia, illetve kritikus szemléletét fokozottan alkalmaznia kelljen. A cikkben összegyűjtöttük a legfontosabb kihívásokat,

amellyel a nem termelő, pontosabban a közszféra szervezetei szembenézek a lean újtára való lépés előtt és kidolgoztunk egy egyszerű keretmodellt, ami arra ad tanácsot, hogy a lean szemlélet és eszköztár implementációja során milyen területeken kell elkezdni a problémák gyökérok-szintű leküzdését.

A vizsgálat következő fontos lépése a modell valós környezetben történő tesztelése. A nehézséget az okozza, hogy egy-egy esettanulmány jellegű összefoglalás kidolgozása lehetséges csak egy-egy szervezet esetén, módszertanilag pedig reprezentatív adatokra van szükség minden esetben, amikor egy komplex rendszer hatékonyságát kívánjuk vizsgálni és általános következtetéseket levonni. A kidolgozott modell alkalmas arra, hogy a már bevezetés után álló szervezetek önértékelést készítsenek a lean szemlélet kezdeti vagy előrehaladott állapotáról, ez pedig egyszerűsíti a megbízható és nagyszámú adat összegyűjtését.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **DICKSON, E.W. et al:** *Application of Lean Manufacturing Techniques in the Emergency Department*, The Journal of Emergency Medicine, Vol. 37, No. 2, pp. 177-182, 2009.
- [2] **RICHARD, J.H. et al:** *Healthcare Workers' Perceptions of Lean: A Context-Sensitive, Mixed Methods Study in Three Swedish Hospitals*, Applied Ergonomics (47) pp. 181-192, 2015.
- [3] **CREMA, M. – VERBANO, C.:** *How to Combine Lean and Safety Management in Healthcare Processes: a Case from Spain*, Safety Science (79), pp. 63-71, 2015.
- [4] **WARING, J.J. – BISHOP, S.:** *Lean Healthcare: Rhetoric, Ritual and Resistance*, Social Science & Medicine (71), pp. 1332–1340, 2010.
- [5] **VERRIER, B. et al:** *Combining Organizational Performance with Sustainable Development Issues: the Lean and Green Project Benchmarking Repository*, Journal of Cleaner Production (85), pp. 83-93, 2014.
- [6] **DHINGRA, R. – KRESS, R. – UPRETI, G.:** *Does Lean Mean Green?*, Journal of Cleaner Production (85), pp. 1-7, 2014.
- [7] **WELO, T. – RINGEN, G.:** *Investigating Lean Development Practices in SE Companies: a Comparative Study between Sectors*, Procedia Computer Science (44), pp. 234-243, 2015.
- [8] **USLU, T. – ERYIGIT, N. – CUBUK, D.:** *Individual and Organizational Effects of the Corporate Practices with the Mediating Role of Lean Intrapreneurship: Differences between Public and Private Sector in Turkey*, Procedia - Social and Behavioral Sciences (210) pp. 301-309, 2015.
- [9] **LOADER, K.:** *Is Local Authority Procurement 'Lean'? An Exploration to Determine if 'Lean' can Provide a Useful Explanation of Practice*, Journal of Purchasing & Supply Management (16), pp. 41-50, 2010.
- [10] **JANSSEN, M. – ESTEVEZ, E.:** *Lean Government and Platform-Based Governance—Doing More with Less*, Government Information Quarterly (30), pp. S1–S8, 2013.
- [11] **DINYA, L.:** *A közszféra szerepe a régió versenyképességének növelésében*, JATEPress, Szeged, pp. 117-123, 2000.
- [12] **HAJNAL, Gy.:** *Igazgatási kultúra és a New Public Management reformok egy összehasonlító esettanulmány tükrében*, Ph.D. értekezés, Budapesti Közgazdaságtudományi és Államigazgatási Egyetem, 2004.

- [13] **HORVÁTH, M.T.:** *Közmenedzsment*, Dialóg Campus Kiadó, Budapest-Pécs, 2010.
- [14] **JENEI, Gy.:** *Közigazgatás-menedzsment*, Századvég, Budapest, 2005.
- [15] **VADÁL, I.:** *Korszerű közigazgatás - avagy: kényszer szülte megoldások a közszolgáltatások szervezésében*, Magyar Közigazgatás, L. évf. 1. sz. pp. 1-6, 2000.
- [16] **VASS, L.:** *Az "új közmenedzsment" és a hatékonyság javítása a közigazgatásban*, Magyar Közigazgatás, 48. évf. 2. sz. 1998.
- [17] **VASSNÉ, V.E.:** *Teljesítménymérés a közigazgatásban*, Századvég, Budapest, 2001.
- [18] **WAN, H. – CHEN, F.F.:** *Decision Support for Lean Practitioners: A Web-Based Adaptive Assessment Approach*, Computers in Industry (60), pp. 277-283, 2009.
- [19] **HOLDEN, R.J.:** *Lean Thinking in Emergency Departments: A Critical Review*, Annals of Emergency Medicine (57), pp. 265-278, 2011.
- [20] **CIARNIENE, R. – VIENAZINDIENE, M.:** *An Empirical Study of Lean Concept Manifestation*, Procedia - Social and Behavioral Sciences (207), pp. 225-233, 2015.

FOLYAMATOK ÉS INNOVÁCIÓK A KÖLTSÉGSZÁMÍTÁSBAN

PROCESSES AND INNOVATIONS IN THE COST SYSTEMS

MUSINSZKI Zoltán

Ph.D., egyetemi docens, musinszki.zoltan@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem

Kivonat: Gazdaságtörténeti példák sokasága bizonyítja, hogy a gazdasági, műszaki, informatikai változások a döntéstámogatást, a controllingot és a számvitelt is folyamatos megújulásra készítik, ösztönzik. Jelen tanulmányomban ezen változások két szegmensét kívánom bemutatni. A tanulmány első fejezetében betekintést nyerhetünk a költségrendszerek fejlődéstörténetébe a korai költségszámítási rendszerektől a stratégiai vezetői számvitelig. A második fejezet a költségrendszerek funkcionális fejlődést mutatja be a pénzügyi kimutatás orientált rendszerektől az integrált döntéstámogatási rendszerekig.

Kulcsszavak: költség, költségrendszer, innováció, döntéstámogatás

Abstract: As it can be seen by the examples of economic history, the economic, technical and IT changes can encourage, compel the decision support, controlling and accounting to continuous renaissance. In this study two segments of the changes will be presented. In the first chapter an insight can be got to the phylogeny of the cost system from the early costing systems to the strategic management accounting. The second chapter introduces the functional development of the cost systems from the financial statement oriented systems to the integrated decision support one.

Keywords: cost, cost system, innovation, decision making

1. AGYAGTÁBLÁTÓL A SCORECARDIG – A KÖLTSÉGRENSZEREK FEJLŐDÉSE

1.1 Korai költségszámítási rendszerek

A teljesítmények, az erőforrásfelhasználások, és ezen keresztül a költségek nyomon követése mindig attól függött, hogy az adott korszakban milyen eszközök – beleértve az írásjelek és számjegyek fejlettségi fokát – álltak a kor döntéstámogatói rendelkezésre. A készletállomány mérésére már a korai folyamvölgyi társadalmak is használtak például agyagtáblákat vagy papiruszt. Fejlettebb, a mennyiség mellett az érték követésére is alkalmas, a mai elszámolások alapjait jelentő elszámolástechnikák azonban csak az 1400-as évekre alakultak ki. Ekkor a kereskedelmi számvitel elsődleges célja a követelések és kötelezettségek nyilvántartása volt. A számvitel hasznosságát a vállalatvezetők azonban csak a vállalati méretek és a termelési folyamatok komplexitásának növekedésével ismerték fel. A telephely, a gyár és a tulajdonos központi irodájának földrajzi elkülönülése új típusú információkat igényelt. A központnak olyan információkra volt szüksége, amelyek alkalmasak voltak:

- a távoli telephely vezetőinek motiválására,
- a dolgozók és a vezetők teljesítményének megítélésére,
- a munkaerő és az átalakítási folyamat költségeinek elszámolására,
- a termelékenység nyomon követésére és összehasonlítására.

A költségrendszerek történetével foglalkozó szerzők a modern költségszámvitel megszületését az 1800-as évek közepére, a textilipar, az Amerikai Egyesült Államok vasúti társaságainak, majd vegyipari és acélipari vállalatainak felvirágzásának idejére vezetik vissza.

A textilgyárak a pénzügyi adatokat elsősorban a végtermékek tényleges költségeinek meghatározására, a munkaerő termelékenységének és az alapanyag felhasználásának nyomon követésére használták. A költségrendszerek fejlesztésének motorjai a XIX. század derekán a vasúttársaságok voltak. Az árképzéshez, az – olykor nagy földrajzi kiterjedésű – üzletágak és tevékenységek összehangolásához, teljesítményeik értékeléséhez költséginformációkra volt szükség egy olyan környezetben, amelyet kevés piaci szereplő, növekvő szervezeti méretek és komplex termelési folyamat jellemezett. Olyan mércéket, mutatókat fejlesztettek ki (például egy tonnakilométerre jutó költség, egy utaskilométerre jutó költség, működési költséghányad), amelyek alapján a vezetők megítélhették a működési folyamatok gazdaságosságát. A vasúttársaságok ötleteit az acélipari vállalatok átvették, adaptálták és továbbfejlesztették. A korai költségszámítási rendszerek nem foglalkoztak az általános költségek termékekhez rendelésével, a tőkelekötés költségeivel. A költségszámítás középpontjában ebben az időben a közvetlen munka- és anyagfelhasználás nyomon követése állt. A szűk termékválaszték, a homogén termékek következtében a vezetők a hangsúlyt a termelés hatékonyságára helyezték. Úgy vélték, hogy ha az alaptevékenység gazdaságos, akkor a vállalkozás egésze nyereséges. [5, 15]

1.2. Tudományos vezetési iskola

Az összetett fémmegmunkálással foglalkozó vállalatok megjelenése új problémákat, megoldandó kérdéseket vetett fel. A fémet átalakító, feldaraboló üzemek a termékek széles választékát állították elő, miközben az egyes késztermékek az erőforrásokat eltérő arányban használták fel. A termékegységre jutó költség tehát már nem volt megfelelő mérőszám az átalakítási folyamat gazdaságosságának jellemzésére. A Frederich Taylor és mérnöktársai nevéhez fűződő tudományos vezetői mozgalom újításai vezettek a standard költségszámítási rendszerek kialakulásához. A munka- és üzemszervezési megoldások hozzájárultak a költségszámítás fejlődéséhez is. A XX. század első évtizedében már kifinomult rendszereket használtak a tényköltség és a normaköltség eltéréseinek rögzítésére és elemzésére, a termelékenység elemzése során a tényleges fajlagos erőforrásfelhasználásokat össze lehetett hasonlítani az ideális körülmények között elérhető normákkal. A tudományos vezetési mozgalom képviselői foglalkoztak először az általános költségek termékhez rendelhetőségével. Az információgyűjtés és feldolgozás magas költségei és az általános költségek viszonylag alacsony aránya egyszerű és olcsó eljárásokat eredményezett. Erre a korszakra vezethető vissza az általános költségek közvetlen munka (munkaóra, bérköltség) alapján történő felosztása a termékekre. A megfelelő vetítési alap megválasztása mai napig viták tárgya. [5, 11, 12, 14]

A tudományos vezetői iskola mellett a német üzemgazdasági iskolának is kiemelkedő szerepe volt a költségszámvitel elméleti alapjainak megteremtésében. A múlt század elején a német üzemgazdasági iskola költségszámvitelében az erőforrás felhasználás termékhez történő hozzárendelése mellett kiemelt szerepet kap a költséghelyek kialakítása és a szervezeti kérdések. A több száz költséggyűjtő alkalmazása ugyan informatív, ám lassú és költséges rendszert eredményezett. A terminológia és a módszertan elterjedéséhez és egységesüléséhez a két világháború közötti központi gazdálkodás, a nemzeti szocializmus időszakának számos rendelete és irányelve, az erős állami befolyás vezetett. [13, 16]

A XIX. század végére, a XX. század elejére kialakult költségrendszerek tehát elsősorban a tényköltségek elszámolására, az előállítási költségek meghatározására koncentráltak. Mindkét iskola képviselői foglalkoztak az üzemi általános költségek termékekhez rendelésének kérdésével, azonban továbbra is kidolgozatlan maradt a tőkeköltségek kezelése.

1.3. Felelősségi elvű vezetői számvitel

Az 1900-as évek első évtizedeinek vállalategyesítési hulláma hatalmas, vertikálisan és területileg is tagolt cégeket hozott létre. A vállalatvezetők azzal a problémával szembesültek, hogy ebben az esetben hogyan érvényesíthető az összvállalati érdek az egyes szervezeti egységek időnként ezzel akár ellentétes céljaival szemben. A korábbi szervezeti keretek, a centralizált funkcionális irányítás egyre inkább alkalmatlannak bizonyult az egyes érdekek összehangolására. A megoldást a felelősségi elvű vezetői számvitel és az Alfred Sloan, Pierre du Pont és Donaldson Brown nevéhez kötődő divízionális szervezeti forma jelentette. Az egységek céljainak az összvállalati célokhoz rendelését, a folyamatosan nem felügyelhető vállalatrészek teljesítményének kontrollját úgy látták megoldhatónak, hogy a szervezeti egységekből felelősségi és elszámolási egységeket alakítottak ki. Ezek az egységek előre meghatározott felelősséggel jellemezhető részek, működésük eredménye a többi egységtől viszonylag függetlenül, esetleg önmagában is mérhető és értékelhető. Az alapján, hogy a divízióvezetők felelőssége a működés mely területeire terjed ki, a felelősségi és elszámolási egységek három típusát különböztették meg:

- a működési költségek alakulásáért felelős költségközpontot,
- az eredmény alakulásáért felelős profitközpontot és
- a működési eredmény mellett a pénzügyi eredményért is felelős befektetési központot.

A DuPont Company egyik legnagyobb, máig ható újítása a befektetett tőke hozamának mércéje a ROI (Return on Investment) és a hozzá kapcsolódó mutatószámrendszer kidolgozása volt. A ROI segítségével a felsővezetők a tőkét a nyereségesebb divíziók felé terelhették, a mutatószám alkalmas volt arra, hogy a vállalati célokat közvetítése a divíziók felé, valamint arra, hogy a felsővezetők visszacsatolást kapjanak a működési területek hatékonyságáról. A divízióvezetők pedig felelőssé váltak divíziójuk eredményességéért, a divíziójukba fektetett tőke hozamáért. A ROI mérce, a divízionális szervezetek elterjedése az 1920-as, 30-as években életre hívta a felelősségi elvű vezetői számvitelt. Olyan irányítási rendszerek jöttek létre, amelyek lehetővé tették, hogy összhangban legyenek a viszonylag nagy önállósággal működő vállalati egységek tevékenységei egymással és az összvállalati célokkal is. A decentralizáció révén módosultak a központi vezetők feladatai. A hatékony belső tőkeallokáció mellett a divízióvezetők tevékenységét össze kellett hangolni, motiválni és értékelni kellett őket. [4, 8, 14]

1.4. Stratégiai költségszámítási rendszerek

Az 1980-as évektől kezdődően – mind az angolszász, mind a német szakirodalomban – megfigyelhető a korábbi költségszámítási rendszerek kritikája. A korai kapitalizmusban a technikai és gazdasági fejlődéssel együtt fejlődtek a költségszámítási rendszerek, az állam, a műszaki és gazdasági szakemberek közötti vita eredményeként. A költségrendszerek a termékek költségeinek meghatározására koncentráltak. Egyszerűek voltak a termelési technológiák, a termékek jól elhatárolható gyártási folyamatokon mentek keresztül, az általános költségek aránya alacsony volt, a munkaerő és anyagfelhasználás költségeinek meghatározása sem jelentett különösebb problémát. [2] A XIX. században, illetve a XX. század elején kifejlesztett költségrendszerek azonban az 1920-as, 1930-as évektől nem változtak, nem tartottak lépést a környezet változásaival. Az európai és észak-amerikai vállalatok versenyhátrányba kerültek japán versenytársaikkal szemben. A japánok által alkalmazott rugalmas gyártási technológiák jobb minőséggel, kisebb költséggel a termékek szélesebb körét tudták előállítani. Miközben a termelés egyre automatizáltabbá, specializáltabbá és rugalmasabbá – és ebből következően tőkeigényesebbé – vált, a

költségszámvitel és a költségcontrolling továbbra is azzal a feltételezéssel élt, hogy a létrehozott termékek homogének és munkaigényesek. A fejlett technológiák mellett korszerűtlen számviteli és controlling technikákat alkalmaztak. Több vezetői számvittel foglalkozó közgazdász megközelítése szerint a vállalatok a fejlődés akadályát a pénzügyi számvitelben látták. A vezetői számvitel – beleértve a költségelszámolást is – évtizedekig alá volt rendelve a külső érintettek információs igényeit pénzügyi jelentések formájában kielégítő pénzügyi számvitelnek. [3]

Johnson és Kaplan *Relevance Lost: The Rise and Fall of Management Accounting* című tanulmányukban arra a következtetésre jutottak, hogy az 1980-as években alkalmazott vezetői számviteli rendszerek nem felelnek meg a változó környezet új kihívásainak. A szervezetek költségrendszerei leragadtak az 1920-as évek szintjén, a vezetők figyelmét elterelik a lényeges dolgokról, képtelenek torzításmentesen megjeleníteni a szervezetek folyamatait, termékeit, technológiáit és a szervezetek versenykörnyezetét. Johnson és Kaplan az alábbiakban foglalja össze a vezetői számvitel, a költségszámvitel kritikáit:

- a költségszámvitel nem illeszkedik a piaci és technológiai környezethez. A hagyományos költségellenőrzési és teljesítménymenedzsment rendszerek nem adnak megfelelő információt a fejlett termelési környezetben működő vállalatok irányításához. A korszerű gyártási technológiák következtében módosult a költségszerkezet, a termelési költségnek a közvetlen (munkaerő)költség már csak kis részét teszi ki, és egyre nagyobb hányadot képviselnek az általános költségek, miközben a vezetői jelentésekben továbbra is nagy súlyt fektetnek a közvetlen (munkaerő)költségre és a (munka)termelékenységre. A költségekre összpontosító jelentések esetében fennáll annak a veszélye, hogy pénzügyileg nem kifejezhető, ám a vállalatok közötti verseny szempontjából lényeges tényezők nem kapnak elég figyelmet.
- a hagyományos kalkulációs módszerek félrevezetőek, az így meghatározott költség és önköltségadatok alkalmatlanok a döntéshozók tájékoztatására. A hagyományos költségszámítási rendszereket akkor alakították ki, amikor a gazdálkodást a szűk termékválaszték és a közvetlen munkaerő- és anyagköltség dominanciája jellemezte. Az általános költségek felosztása – az általános költségek súlytalansága okán – nem torzította jelentősen a termékek önköltségét. Az információgyűjtés és -feldolgozás magas költsége szintén az általános költségek felosztásának egyszerűbb eljárásainak alkalmazását erősítette. A költségszerkezet változása és az informatikai forradalom korában a túlságosan egyszerű költségfelosztási módszerek létjogosultságát azonban már nem lehet igazolni.
- a vezetői számvitelt alárendelték a pénzügyi számvitel igényeinek, a vezetői döntésekhez felhasznált számviteli információk a pénzügyi számvittel szemben támasztott elvárásoknak felelnek meg.
- a vezetői számvitel szinte kizárólag a vállalaton belüli tevékenységekre összpontosít, kevés figyelmet fordít a vállalat külső környezetének vizsgálatára. [9]

A globális verseny erősödése, a technológiai fejlődés felgyorsulása új kihívásokat és elvárásokat fogalmazott meg. Felmerült a stratégia és a controlling összekapcsolásának igénye, megjelent a stratégiai controlling és a stratégiai vezetői számvitel. Kidolgoztak több, a döntéshozatal, a hosszú távú eredményességet és értékteremtő képességet támogató (költségszámítási) eljárást.

Az életciklus-költségszámítás a költségeket már nem csak egy – a pénzügyi számvitel számára releváns – időszakban vizsgálja, hanem a termék életciklus különböző szakaszaiban felmerült költségeket azonosítja. A termékhez rendelhető költségek jelentős része a tervezési szakaszban merül fel, és lényeges hatást gyakorolnak a gyártási szakasz költségeire. A költségek hozzárendelése a termék életgörbe szakaszaikhoz megteremti annak a lehetőségét,

hogyan a jövedelmezőségi számítások időhorizontja az üzleti év helyett/mellett az egész életciklus legyen.

Az életciklusköltség-számításhoz hasonlóan a Japánban kifejlesztett célköltségszámítás is a tervezési szakaszban használatos eszköz. A költségeket nem kalkulációs egységekhez, hanem a fogyasztók számára érzékelhető haszonhoz rendelik. A célköltségszámítás kiindulópontja az az ár, amit a fogyasztó hajlandó megfizetni az elvárt minőséggel és funkciókkal rendelkező termékért. Ez a megcélzott ár tükrözi a termék fogyasztók által értékelt funkcióinak körét. A megcélzott árból levonva a megcélzott nyereséget, meghatározható a célköltség. Amennyiben a tervezett költség meghaladja a célköltséget, akkor az eljárás mindaddig folytatódik, amíg a tervezett költség meg nem egyezik a célköltséggel.

A célköltségszámításhoz hasonlóan a kaizen költségszámítást is célok vezérlik, azonban a kaizen költségszámítás középpontjában a termék helyett az előállítási folyamat, a tervezés helyett a termelés áll. Legfőbb pillére, hogy a dolgozókat bevonja a folyamatok fejlesztésébe, ezáltal a hatékonyság fokozásába, a költségek csökkentésébe.

Felismerték, hogy nagy azoknak a költségeknek az aránya, amelyek nem a kibocsátás mennyiségének függvényében változnak. Ebből következően azok a módszerek, amelyek az általános költségeket a termelt mennyiség vagy valamely erre visszavezethető mutató – például a közvetlen anyagköltség vagy a közvetlen munkaóra-, gépóra-felhasználás – arányában terhelik az egyes termékekre, szükségszerűen torz költségadatokat eredményeznek. A probléma megoldására született egy olyan több vetítési alapot alkalmazó technika, amely az általános költségeket csak olyan mértékben terheli a termékekre, amilyen mértékben a termékek az erőforrásokat ténylegesen igénybe vették. Az eljárás az angolszász irodalomban Activity Based Costing (ABC, tevékenység alapú költségszámítás), a német nyelvű szakirodalomban pedig Prozesskostenrechnung (PKR, folyamatköltség-számítás) néven terjedt el. A két elgondolás ugyanazon az elven alapul, és az utóbbi időben a két elmélet folyamatos közeledése figyelhető meg. [7, 8, 11]

2. EGY RENDSZER NEM ELÉG – A TÖBBSZINTŰ KÖLTSÉGRENDSZEREK

2.1. Pénzügyi kimutatás orientált költségrendszerek

A környezeti változásokhoz való rugalmas alkalmazkodás maga után vonta a vezetési módszerek változását, amelyek másfajta vállalatirányítást ezen belül másfajta vezetői információs (és költség)rendszert igényeltek. Mindez értelemszerűen kihatott a költségrendszerektől elvárt funkciókra is. Kaplan és Cooper [12] megközelítésében a költségszámítási rendszereknek három fő funkciónak kell megfelelniük:

- a pénzügyi jelentésekben szereplő készletek értékelése, (valamint a készletek eredményre gyakorolt hatásának bemutatása),
- a tevékenységek, termékek, szolgáltatások és a vevők költségeinek figyelemmel kísérése,
- visszacsatolás a folyamatok hatékonyságáról a vezetők, a folyamatokért felelős személyek számára.

Kaplan és Cooper a költségszámítási rendszerek négy szintjét különbözteti meg. Az első két szint a pénzügyi kimutatások készítésére, a második két szint a vezetői döntések támogatására helyezi a hangsúlyt.

Az első szintű rendszerekben a gazdasági események rögzítése hiányos vagy hibás, a könyvek zárása idő- és erőforrás-igényes, a rendszer alkalmatlan a pénzügyi jelentések összeállítására. A rendszer átláthatatlan, karbantartása nehézkes.

A felmérések alapján a vállalkozások többsége második szintű, a pénzügyi beszámolót

középpontba állító rendszerrel rendelkezik. A rendszer megfelel a pénzügyi beszámolás követelményeinek, alkalmas a készletértékelésre, az eredmény megállapítására, a beszámoló összeállítására. A költségek gyűjtése során felelősségi egységekre, gyártási, összeszerelési, karbantartási valamint egyéb, az előállítási tevékenységet támogató költséghelyekre épít. A termékre csak az üzemi és egyéb gyártási költségeket osztják fel, rendszerint a közvetlen munkavégzés, esetleg az anyagköltség vagy a gépóra alapján. A második szintű rendszerek megfelelnek a pénzügyi számvitel követelményeinek, alkalmatlanok azonban a második (termékköltség meghatározása) és a harmadik (visszacsatolás) funkciók ellátására. A felelősségi elvű számvitel koncepciójának megfelelően kiemelt szerepet kap a költségek költséghelyekhez rendelése. A tevékenységek, folyamatok, termékek, vevők költségeinek meghatározása és ebből következően a tevékenységek fejlesztése, a minőség javítása nem élvez prioritást. A rendszer hiányossága elsősorban a közvetett költségek termékekhez történő hozzárendelésében nyilvánul meg. A költségek felosztásánál alkalmazott mutatókat a vállalatok ugyan következetesen használják, azonban a felosztás eredménye pontatlan, a döntéshozók félrevezető információkhoz jutnak. A második szintű rendszerek a költségeket költséghelyekhez, nem pedig tevékenységekhez, folyamatokhoz rendelik. A rendszer pontatlansága mellett fontos kiemelni a jelentések, visszacsatolások aktualitásának hiányát és a pénzügyi mutatók túlsúlyát. Tehát a második szintű rendszerek által szolgáltatott információk nem pontosak, nem aktuálisak és korlátozottan alkalmasak a vezetői információs igények kielégítésére.

2.2. Döntésorientált költségrendszerek

A harmadik szintű költségrendszerek testreszabottak, mindhárom funkciót ellátják, de nem integrált rendszerek. Egyaránt megjelenik bennük a hagyományos pénzügyi számviteli rendszer, a tevékenység alapú költségszámítási rendszer, illetve az operatív visszacsatolási rendszer. A harmadik szintű rendszerek egyaránt alkalmasak a tevékenységek, folyamatok, termékek, vevők pontos költségeinek meghatározására és a pénzügyi illetve nem pénzügyi információkat is tartalmazó, operatív, a tanulást és fejlődést elősegítő visszacsatolásra. A rendszer tartalmaz egy hagyományos pénzügyi rendszert, amely ellátja a pénzügyi számviteli és ügyviteli funkciókat, értékeli a készleteket, elkészíti a pénzügyi beszámolókat, kielégíti a külső érintettek – például befektetők, hitelezők, adóhatóság – információs igényeit. A rendszerhez tartozik legalább egy tevékenység alapú költségszámítási rendszer, amely a hagyományos pénzügyi rendszer és az esetleg meglévő egyéb vállalati információs rendszerek adatait használja fel a tevékenységek, termékek és a vevők pontos költségeinek meghatározásához. A rendszer harmadik eleme az operatív visszacsatolást biztosítja. A vezetők, döntéshozók, az első vonalban dolgozó alkalmazottak számára biztosít aktuális és pontos pénzügyi és nem pénzügyi információkat a folyamatok minőségéről, átfutási idejéről, hatékonyságáról.

Ezen a szinten a vállalatok megtartják a hagyományos – második szintű – pénzügyi számviteli rendszerüket, és a már meglévő információkat alakítják át a vezetők számára hasznos információkká. A harmadik szintű rendszer második és harmadik elemét új számítástechnikai háttér kiépítése nélkül is ki lehet alakítani, a pénzügyi rendszer, valamint a vállalat többi információs rendszere jellemzően már tartalmazza azokat az adatokat, amelyek a rendszer többi eleme (tevékenység alapú költségszámítási rendszer, operatív visszacsatolási rendszer) számára szükségesek. A harmadik szint jelentősége pontosan abban rejlik, hogy a döntéstámogatók – csekély többszörös fordítással – munkájukhoz olyan adatokat is igénybe vehetnek, amelyeket a szervezetben már korábban összegyűjtöttek.

A harmadik szintű rendszerekben több rendszer működik egymás mellett. Csábító a

rendszerek számának csökkentése, a tevékenység alapú költségszámítási rendszer és az operatív visszacsatolási rendszer összevonása, azonban ez veszélyekkel jár. A tevékenység alapú költségszámítási rendszerek alkalmasak a folyamatok fejlesztésére, a stratégiai döntések előkészítésére, azonban alkalmatlanok az operatív ellenőrzés és döntéshozatal támogatására. A két rendszer eltérően kezeli a költségek változékonyságát, a jelentések gyakoriságát, pontosságát, a jövőbeni költségek becslését. Az összevonás olyan rendszert eredményezne, amely a kitűzött célok egyikét sem érné el. Azon vezetőknek, akiknek zavaró az, hogy a rendszerek egymásnak ellentmondó információkat tartalmaznak például a termékek jövedelmezőségéről, ajánlatos megismerniük a negyedik szintű költségszámítási rendszereket.

A negyedik szinten egymáshoz kapcsolódva jelenik meg a tevékenység alapú költségszámítási rendszer és az operatív visszacsatolási rendszer, a pénzügyi jelentés pedig a két rendszerre építve készíthető el. A tevékenység alapú költségszámítás módszertana felhasználható az általános költségek pénzügyi számviteli előírásoknak is megfelelő felosztására. Azokat a költségeket, amelyeket a tevékenység alapú költségszámítás a termékhez rendel, ám a számviteli előírások alapján nem részei a bekerülési értéknek, a rendszer automatikusan figyelmen kívül hagyja. Az operatív visszacsatolási rendszer a tényleges működésről folyamatosan gyűjti az adatokat. A rendszer pénzügyi adatait kinyerve, időről-időre elkészíthető a pénzügyi jelentés. Ily módon a vezetői célokat szolgáló tanulási-visszacsatolási rendszer és a külső érintettek számára pénzügyi jelentéseket készítő pénzügyi rendszer összekapcsolódik. A hangsúly a korábbiakhoz képest azonban eltolódik. A második szinten a pénzügyi jelentéseken, a negyedik szinten azonban már a vezetők, a döntéshozók informálásán van a hangsúly. A pénzügyi beszámolók, információk és mutatók szerepe tehát átalakul. A pénzügyi, termelési, gazdasági szerepek mellett egyre nagyobb teret kap a társadalmi felelősségvállalás, a fenntarthatóság. A korábbi főszereplő tehát immár egy sokszereplős játék mellékszereplője lesz.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **ANTHONY, R. N. – GOVINDARAJAN, V.:** *Menedzsmentkontroll-rendszerek.* Panem Könyvkiadó, 2009.
- [2] **ASHTON, D. – HOPPER, T. – SCAPENS, R. W.:** *Introduction.* In. **ASHTON, D. – HOPPER, T. – SCAPENS, R. W. (ed.):** *Issues in Management Accounting.* Prentice Hall, New York, 1991., pp. 1-16.
- [3] **BHIMANI, A. – BROMWICH, M.:** *Management Accounting: evolution in progress.* In. **DRURY, C. (ed.):** *Management Accounting Handbook.* Butterworth – Heinemann Ltd., Oxford, 1992., pp. 14-35.
- [4] **BODNÁR, V.:** *Menedzsment kontroll, controlling, vezetői számvitel: nemzetközi elmélet és gyakorlat – haza tapasztalatok – A controlling vezetési megközelítése.* Vezetéstudomány. XXVIII. évf. 5. sz. 1997., pp. 3-12.
- [5] **CHANDLER, A. D.:** *The visible hand.* 13. kiadás, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, London, 1995.
- [6] **COOPER, R. – KAPLAN, R. S.:** *Measure Costs Right: Make the Right Decisions.* Harvard Business Review. September-October 1988. pp. 96-102.
- [7] **DRURY, C.:** *Management and Cost Accounting.* 7th edition, Thomson Learning, 2008.
- [8] **HORVÁTH & PARTNER:** *Controlling, Út egy hatékony controllingrendszerhez.* Complex Kiadó, 2009.
- [9] **JOHNSON, H. T. – KAPLAN, R. S.:** *Relevance Lost. The Rise and Fall of Management Accounting.* Harvard Business School Press, Boston, 1987.

- [10] **KAPLAN, R. S.:** *One Cost System Isn't Enough.* Harvard Business Review. January-February 1988. pp. 61-66.
- [11] **KAPLAN, R. S. – ATKINSON, A. A.:** *Vezetői üzleti gazdaságtan, Haladó vezetői számvitel.* Panem Könyvkiadó, Budapest, 2003.
- [12] **KAPLAN, R. S. – COOPER, R.:** *Költség & Hatás, Integrált költségcsökkentési rendszerek: az eredményes vállalati működés alapjai.* Panem – IFUA Horváth & Partner, Budapest, 2001.
- [13] **LÁZÁR, L.:** *Értékek és mértékek. A vállalati erőforrás-felhasználás leképezése és elemzése hazai üzleti szervezetekben.* Ph.D értekezés, BKÁE, Budapest, 2002.
- [14] **LOFT, A.:** *The History of Management Accounting: Relevance Found.* **In. ASHTON, D. – HOPPER, T. – SCAPENS, R. W. (ed.):** *Issues in Management Accounting.* Prentice Hall, New York, 1991., pp. 7-38.
- [15] **MUSINSZKI, Z.:** *Az agyagtáblától a scorecardig – fejezetek a költségcontrolling és a költségcsökkentés történetéből.* A Controller, VIII. évfolyam, 2012/9., pp. 9-16.
- [16] **WEBER, J.:** *Cost Accounting Systems Design and SAP-learning from German History.* Journal of Cost Management. July/August 2001. pp. 33-36.

A HATÉKONY MARKETING KRITÉRIUMAI

CRITERIA OF EFFECTIVE MARKETING

NAGY Szabolcs

Ph.D., intézeti tanszékvezető, egyetemi docens, marvel@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Gazdaságtudományi Kar

Kivonat: A hazánkban tevékenykedő vállalatok marketingtevékenysége drasztikus mértékben átalakult a rendszerváltás óta eltelt időben. Ez a tanulmány azt vizsgálja, hogy a marketing szerepe és jelentősége hogyan változott meg mára a vállalati gyakorlatban, melyek a jellemző marketingtevékenysége és mekkora a marketing költségvetés nagysága. Mindezekon kívül a tanulmány bepillantást enged a mindennapi marketingtevékenységeket alakító jelenlegi trendekbe, valamint feltárja az árbevétel és a különféle marketing tevékenységek közötti korrelációkat. A kutatási eredmények alapján kijelenthető, hogy a legerősebb pozitív irányú kapcsolat a márkaépítés és a növekvő árbevétel között tapasztalható, azaz az erős márkák építése tekinthető a leghatékonyabb marketingtevékenységnek.

Kulcsszavak: hatékony, marketing, kritérium, elemzés, gyakorlat

Abstract: The practice of marketing has drastically changed among companies operating in Hungary since the economic transition. This paper analyzes the role and significance of marketing in corporate practices; uncover the most important activities of marketing managers and the size of the marketing budget. Besides this paper give an overview of the current trends influencing daily marketing practices and analyzes the correlation between the size of revenue and marketing activities. It is found that the strongest positive correlation is between brand building and higher revenue, e. g. building strong brands can be considered as the most effective marketing activity.

Keywords: effective, marketing, criteria, analysis, practice

1. BEVEZETÉS

A marketing elmélete és gyakorlata is rendkívül nagy változásokon ment keresztül az elmúlt évtizedek során mind világszerte, mind pedig Magyarországon. A gyors technológiai változások paradigmaváltáshoz vezettek a marketingben. Leeflang, Verhoef, Dahlström és Freundt (2014) szerint a fogyasztói és a szervezeti piacokon is a digitális (marketing) lett a versenyelőny forrása, az internethasználók számának exponenciális növekedése miatt. Ezzel egy időben és részben pont emiatt a hatékonyság lett a mai modern marketing kulcsszava. A vállalatok egyre nagyobb erőfeszítéseket tesznek az üzleti folyamataik, beleértve a marketinget is, mérhetővé tétele érdekében, azért, hogy a különféle akciók költségét meg tudják határozni és össze tudják hasonlítani az általuk generált pénzügyi- vagy egyéb hatásokkal, eredményekkel. Az angolszász irodalomban marketing metrics névvel illetett marketing kontrolling az ezredforduló óta a marketing megújulásának frontvonalában található (Farris, Bendle, Pfeifer, Reibstein, 2006). Tehát egyre nagyobb az igény az üzleti folyamatok mérhetővé tételére, beleértve a marketing tevékenységeket is. Ez online marketing környezetben sokkal egyszerűbb, mint a tradicionális marketing esetében. A digitális marketing előretörése sok kihívást is tartogat. Ilyen például a felhasználók által létrehozott tartalom (user-generated content), melynek hatása egyre nagyobb a részvényárfolyamokra is (Tirunillai és Tellis, 2012), illetve a piacról, elsősorban a fogyasztókról összegyűjtött hatalmas mennyiségű adat (big data) elemzésének képessége (Feit, Wang, Bradlow, és Fader, 2013).

Hazánkban míg a marketing elmélettel kapcsolatos elemzések és publikációk széles körben hozzáférhetőek, addig a marketing gyakorlatára vonatkozó kutatások szinte teljesen hiányoznak. Bár 2012-ben tartottak egy konferenciát a marketing új tendenciáiról Győrben, a konferencia kiadványban megjelent publikációk szinte egytől-egyig akadémiai szempontból foglalkoztak a marketing új kihívásaival (Józsa, 2012). Ez volt a legfőbb oka annak, hogy erős igény mutatkozott a hazai marketinggyakorlat feltérképezésére és a hatékony marketing kritériumainak meghatározására.

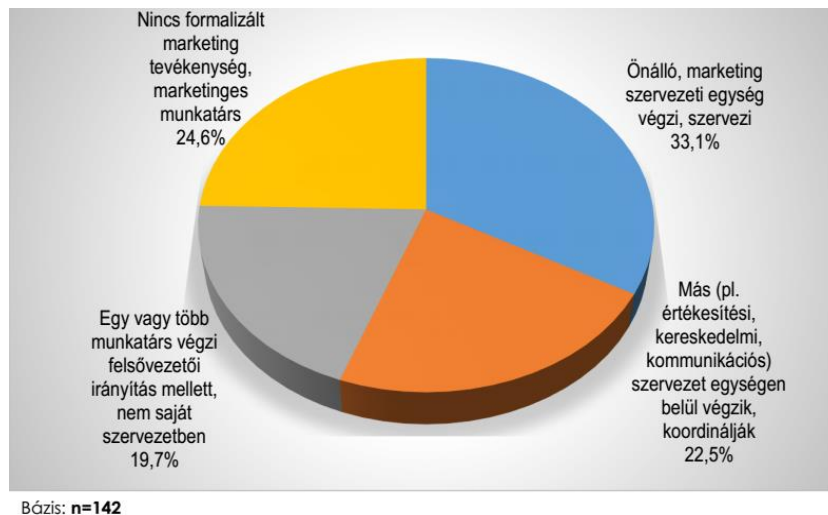
2. KUTATÁSI MÓDSZERTAN

A hazai marketinggyakorlat feltérképezése érdekében a Miskolci Egyetem Marketing Intézete kérdőíves megkérdezéses vizsgálatot végzett a hazai cégvezetők és marketing menedzserek körében a Magyar Marketing Szövetség megbízásából a Beesatisfaction technikai támogatásával. 2014. október 1-29. között összesen több mint 1000 vezetőt kérdeztünk meg. Az adattisztítás során a kérdések felére „nem tudom” választ adók kizárásra kerültek a további vizsgálatokból. A használható válaszok száma ezek után 112-re csökkent. Ez roppant alacsony válaszadási hajlandóságot takar. Ebből is származik a minta egyik hiányossága, a reprezentativitás hiánya.

Az eredményül kapott mintában a kisvállalkozások felülreprezentáltak (62,3%), a középvállalatok aránya 19,8%, a nagyvállalatoké pedig 17,9%. A kapott mintában a Közép-Magyarország régióban található székhellyel rendelkező cégek aránya 69,7%-ot tett ki, míg Dél-Alföld 3,7%, Dél-Dunántúl 2,8%, Észak-Alföld 1,8%, Észak-Magyarország 10,1%, Közép-Dunántúl 2,8% és a Nyugat-Dunántúl 9,2% részarányt ért el. A legtöbb cég magyar tulajdonosi háttérrel rendelkezett, míg a közel minden ötödik cég állt külföldi tulajdonban. Közel minden harmadik mintába került vállalat egy vállalcsoport részeként tevékenykedik (31,1%), 68,9%-uk pedig önállóan, független céggként. Kevesebb, mint 50 millió Ft árbevételűt ért el a cégek 28,4%-ka, 50-100 millió Ft között 9,8%, 100-250 millió Ft között 15,7%, 250-500 millió Ft között 5,9%, 500-1000 millió Ft között 10,8%, és 1000 millió Ft felett 29,4%.

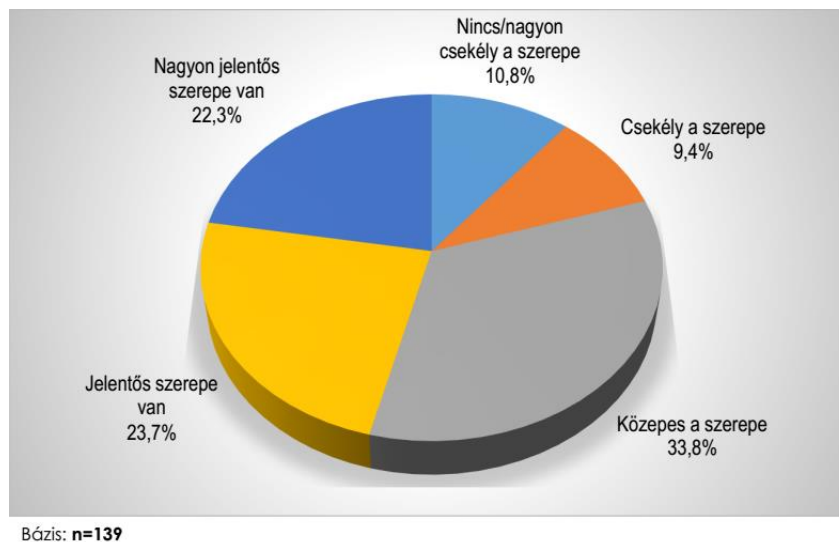
3. KUTATÁSI EREDMÉNYEK

A marketing szerepének és fontosságának elemzése során először azt vizsgáltam, hogy a vállalatok milyen formában végzik a marketingtevékenységeiket, illetve létezik-e egyáltalán valamilyen formalizált kerete ennek a munkának. Sajnálatos módon a cégek közel egynegyede egyáltalán nem rendelkezik formalizált marketing tevékenységekkel, illetve egyáltalán nincs marketinggel foglalkozó munkatársuk (lásd 1. ábra). A másik végletet azon cégek jelentik (33,1%), ahol önálló marketing szervezeti egység végzi a marketingtevékenységeket. A cégek 22,5%-nál más szervezeti egységen belül végzik, koordinálják, míg minden ötödik vállalatnál egy vagy több munkatárs végzi, felsővezetői irányítás mellett, nem saját szervezetben.



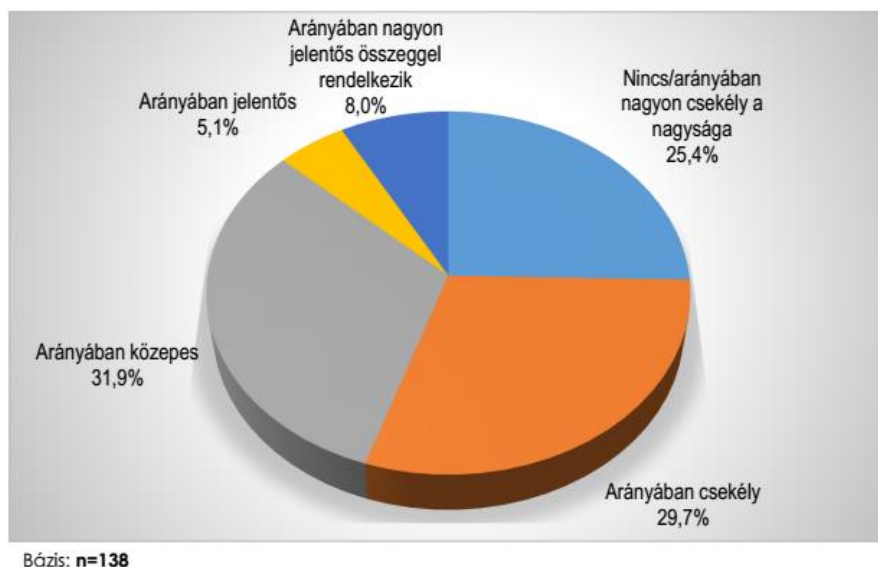
1. ábra. A marketingtevékenységek formalizálásának jellemzői

Ezután arra kértük a vállalatokat, hogy értékeljék, hogy mekkora szerepet tölt be a szervezetükben a marketing, mennyire fontosak számukra a marketing tevékenységek (lásd 2. ábra). Megdöbbentő, hogy a mai globális piacgazdaságban, az egyre erősebb verseny közepette közel minden ötödik vállalat esetében a marketing szerepe elhanyagolható, csekély, vagy egyáltalán nem is létezik, hiszen az lenne az elvárható, hogy a marketing szerepe legalább jelentős, vagy nagyon jelentős legyen, ami a cégek 46%-a esetében be is bizonyosodott.



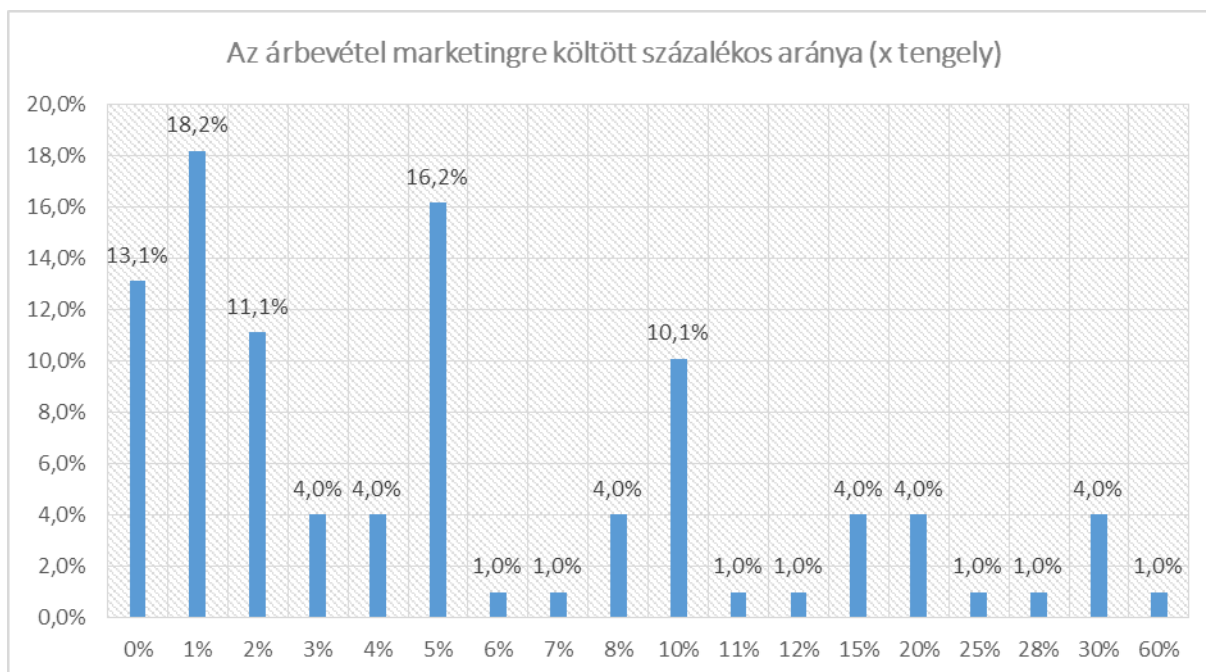
2. ábra. A marketing szerepe a szervezetben

A cégek marketing költségvetésének nagysága is fontos közvetett indikátora a marketing fontosságának (lásd 3. ábra). Szintén döbbenetes adat, hogy a cégek 25%-a egyáltalán nem költ marketingre, vagy csak elenyésző mennyiségű forrást fordít erre a célra, 29,7% pedig arányában csupán csekély mértékű marketing budget-tel gazdálkodik. Ugyanakkor a vállalatok csupán 15%-ka rendelkezik arányában jelentős, vagy nagyon jelentős marketing költségvetéssel.



3. ábra. A marketing költségvetés nagysága

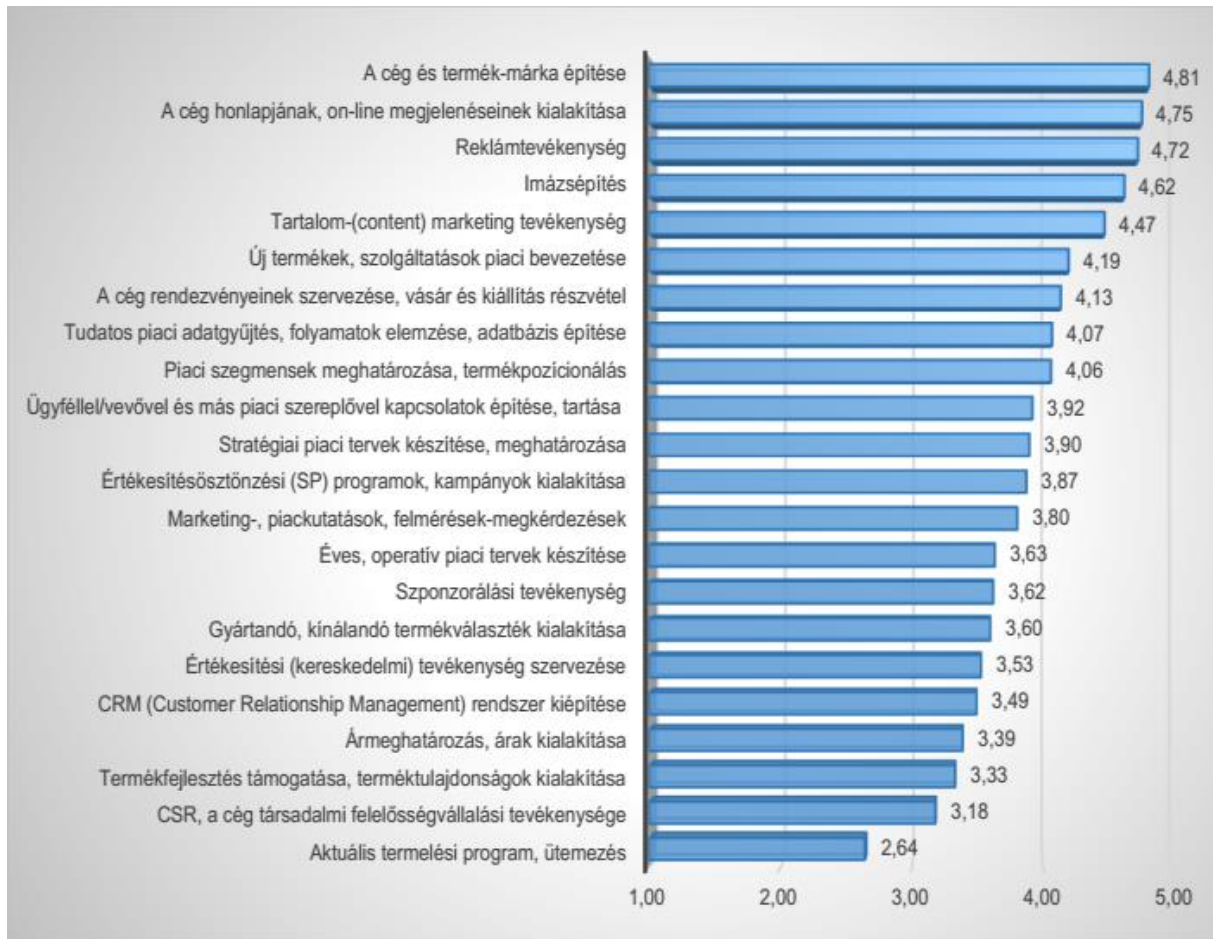
A legtöbb cég (18.2-a a vállalatoknak) csupán az árbevétel 1%-át fordítja marketingre (lásd 4. ábra). A második leggyakoribb költési arány 5% (a cégek 16.2%-ra jellemző), a harmadik nulla (0!) % (13.1%), ez követi a 2% (11,1%) and 10% (10,1%) A legmagasabb arány (60%) a vállalatok 1%-ra jellemző. Az átlagos marketing költség mértéke az árbevétel 6,8%-a.



4. ábra. A marketing költségvetés nagysága az árbevétel százalékában kifejezve

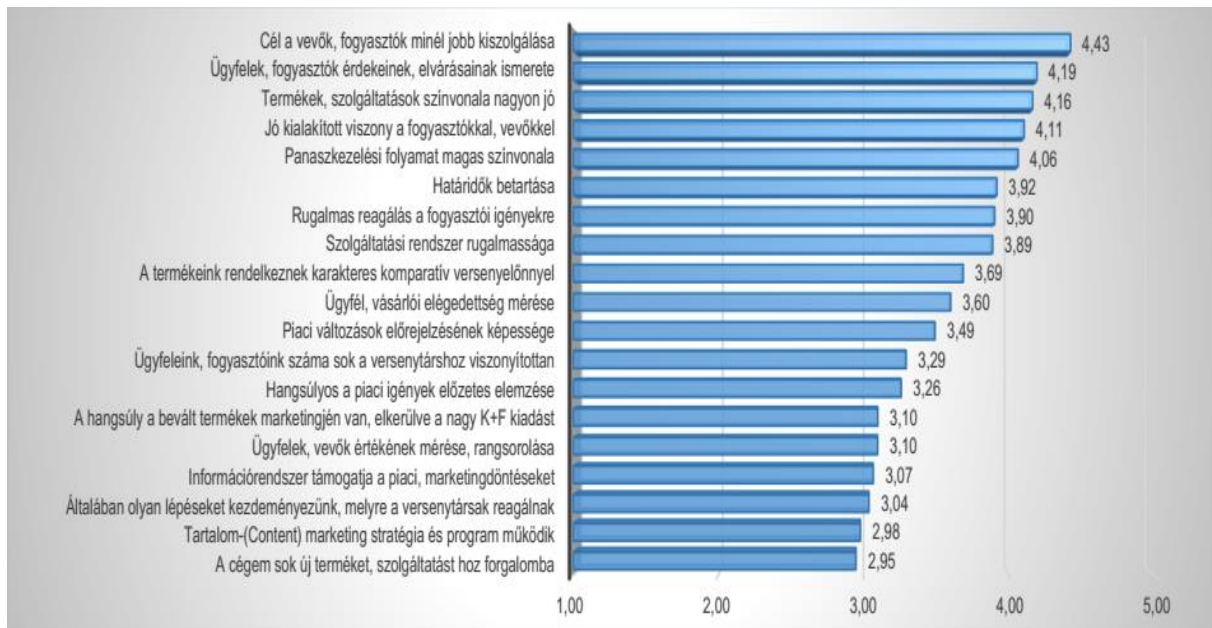
A cégek megítélése szerint a vállalati- és termékmárka építése a legfontosabb feladata a marketingeseknek (lásd 5. ábr). Mindezen túl a marketingesek feladatkörébe leginkább az alábbi, jellemzően kommunikációs tevékenységek tartoznak: a cég honlapjának, on-line megjelenéseinek kialakítása, reklámtevékenység, imázs építés és tartalom-(content) marketing tevékenység. A választékkal, a termékkel, a terméktulajdonságok meghatározásával és a

termelésbefolyásolással kapcsolatos teendőknél, illetve az árképzésnél kevésbé tudatosul, hogy ez marketinges feladat lenne. Az ügyfélkapcsolat, értékesítés-szervezés, CRM és a CSR tevékenységeket sem tekintik egyértelműen marketinges feladatoknak. A legkevésbé tartozik a válaszadók véleménye szerint a marketing határákörébe a termelés programozása, ütemezése.



5. ábra. Milyen mértékben tartoznak a „marketingesek” illetékességi, feladatkörébe az alábbi tevékenységek?

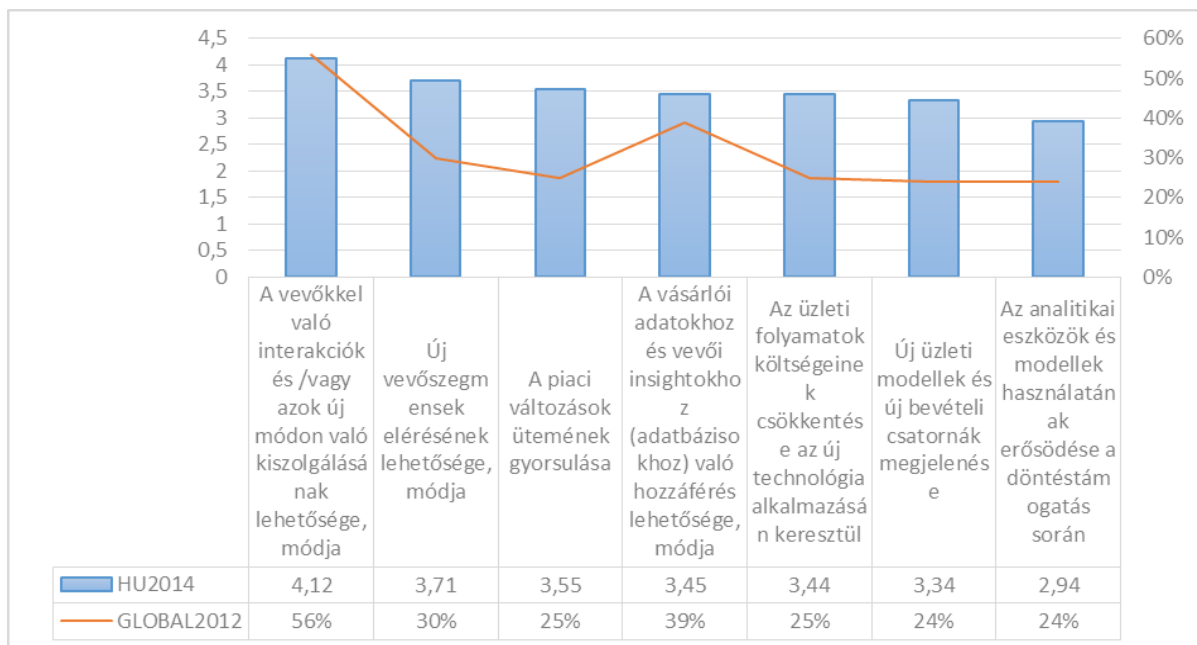
A megkérdezés eredményi szerint a vállalatok az ügyfelek, fogyasztók minél jobb kiszolgálására törekednek a gyakorlatban leginkább (lásd 6. ábra). Ezt követik az alábbi nagyon fontos tevékenységek: az ügyfelek, fogyasztók érdekeinek, elvárásainak ismerete, nagyon jó színvonalú termékek, szolgáltatások kialakítása, jó viszony megteremtése és fenntartása a fogyasztókkal, vevőkkel (relationship management) és a kiemelkedő panaszkezelés. Ezzel szemben a cégek szinte alig foglalkoznak a bevált termékek marketingjével, a nagy K+F kiadások elkerülése érdekében; az ügyfelek, vevők értékének mérésével, rangsorolásával, a döntéstámogató információs rendszerek kiépítésével, a „provokatív” piaci lépések kezdeményezésével, illetve a tartalom (content) marketing stratégia és program működtetésével. De a legkevésbé az jellemző a hazánkban tevékenykedő vállalatok marketing gyakorlatára, hogy sok új terméket és szolgáltatást vezetnének be a piacra, ami a K+F tevékenységek hiányára, vagy nehézségeire vezethetők vissza.



Bázis: n=125-135

6. ábra. Mennyire jellemzőek cégekre, vállalkozásukra az alábbiak?

A globális és a magyarországi marketing trendek összehasonlítása és elemzése érdekében a Leeflang, Verhoef, Dahlström, Freundt (2014) tanulmányában bemutatott, általuk azonosított hét legfontosabb globális marketing trendet használtam a saját kutatásom során (lásd 7. ábra). Ezeket a domináns változásokat jelentő trendeket egy 777 vállalatra kiterjedő világszintű felmérés eredményeként kapták.



7. ábra. A legfontosabb marketing trendek Magyarországon és globálisan

* A módszertan és a GLOBAL2012 eredményei Leeflang, Verhoef, Dahlström, Freundt (2014)-ből kerültek átvételre

Kutatásuk során arra jöttek rá, hogy a marketingre a legnagyobb hatást a digitális média eszközök alkalmazása gyakorolta. Saját kutatásom ezzel összhangban azt az eredményt hozta, hogy a fogyasztókkal való interakciók és/vagy azok kiszolgálásának új (digitális) módja a legerősebben ható trend hazánkban is, hasonlóan a globális eredményekhez. A második legerősebben ható trend Magyarországon az új vevőszegmensek elérésének lehetősége, módja, amit a piaci változások ütemének gyorsulása követ. A vásárlói adatokhoz és vevői insightokhoz (adatbázisokhoz) való hozzáférés lehetősége, módja; az üzleti folyamatok költségeinek csökkentése az új technológia alkalmazásán keresztül, illetve az új üzleti modellek és új bevételi csatornák megjelenése globális trendjei is hatás gyakorolnak hazánkban is, de csak közepestől kicsit erősebb mértékben. Vizsgálataim szerint legkevésbé az analitikai eszközök és modellek használatának erősödése a döntéstámogatás során globális trend érzeteti hatását a Magyarországon tevékenykedő cégek marketing gyakorlatában.



7. ábra. Az árbevétel és a marketing tevékenységek közötti kapcsolatok

A hatékony marketing kritériumainak meghatározása érdekében - ahol a hatékonyságot a pénzügyi eredmények szempontjából definiálom - az árbevétel és az egyes marketing tevékenységek közötti szignifikáns kapcsolatok elemzését végeztem el korrelációs számítás segítségével (lásd 7. ábra). A legerősebb pozitív irányú kapcsolat az árbevétel és a cég és termék-márka építése között mutatkozott, amit a cég rendezvényeinek szervezése, vásárokon és kiállításokon való részvétel és a cég honlapjának, on-line megjelenéseinek kialakítása követett. Közepes erősségű kapcsolatot sikerült felfedezni a reklámtevékenység, a szponzorálási tevékenység és az imázs építés valamint a cég árbevétele között. Gyenge kapcsolat mutatható ki az árbevétel, valamint a tartalom-(content) marketing tevékenység; a marketing-, piackutatások, felmérések, megkérdezések; az értékesítés-ösztönzési (SP) programok, kampányok kialakítása, illetve a CSR, a cég társadalmi felelősségvállalási tevékenysége között.

Azonban nem csak a marketing tevékenységek, hanem más marketing változók, beleértve a demográfiai változókat is, szignifikáns hatás gyakorolnak a cégek árbevételére. Amint azt az 1. ábra is mutatja a legerősebb kapcsolat a vevői igények változására való rugalmas reagálás és az árbevétel növekedése között mutatkozik, de a rugalmas szolgáltatások és a piaci változások előrejelzésének képessége is érzékelhetően pozitív hatást gyakorol a várható árbevételre.

Változó	Korreláció erőssége
A vevői igények változására való rugalmas reagálás	0,317
Rugalmas szolgáltatások	0,272
A vevőkkel való jó kapcsolat	0,242
A piaci változások előrejelzésének képessége	0,213
A vállalat típus (nagyság)	0,731
Tulajdonos	-0,507
Csoporthoz való tartozás	-0,432
Értékesítés orientáció	0,283

1. táblázat. Az árbevétel és az egyes marketing változók közötti korrelációk

A demográfiai változók közül a vállalat nagysága gyakorolja a legerősebb, nagyon erős hatást az árbevételre, azaz a vállalati méret növekedésével az árbevétel is erőteljesen növekedni fog. A tulajdonosi háttér és a vállalatcsoporthoz tartozás státusza is erősen korrelál az árbevétel nagyságával. Az árbevétel nagysága magasabb lesz az átlagnál külföldi tulajdonosi háttér esetén, illetve ha egy cég egy vállalatcsoport tagjaként működik Magyarországon. A globális értékesítési orientáció csak kis mértékben növeli a várható árbevétel nagyságát.

4. KÖVETKEZTETÉSEK

A hazai vállalatok marketingtevékenységének elemzésére, a marketing fontosságára vonatkozó kutatásom feltárta, hogy jelentős számú hazai cég (25,9%) egyszerűen nem rendelkezik formalizált marketing szervezettel, nincs egy olyan személy, aki a marketinggel foglalkozna, így számunkra a marketing teljesen lényegtelen ez a tevékenység. Ez már önmagában is megdöbbentő tény a legtöbb iparágat jellemző globalizálódó, turbulens piaci környezetben. A marketing költségvetés nagyságára vonatkozó vizsgálataim is azt támasztják alá, hogy azon cégek, melyek számára nem fontos a marketing nagyon keveset, vagy egyáltalán semmit sem költenek rá. Megdöbbentő, hogy a vállalatok 13%-ka nulla forintot költ marketingre, illetve több mint egyharmaduk csupán az árbevételük 1-4% -át. Az átlagos marketing költési ráta, mely 6,8%-a az árbevételnek önmagában véve alacsonynak mondható. Mindezek miatt tanácsos lenne ezen cégek számára, melyek jellemzően kisvállalkozások, egy felvilágosító kampányt szervezni a marketing fontosságáról.

A kommunikációval kapcsolatos marketing feladatok a legtipikusabbak mind az elvárások, mind pedig a mindennapi gyakorlat során. A termék- és vállalati márka építése, az imázs építés és a reklám a legtipikusabb marketing tevékenységek. A gyakorlatban a vállalatok leginkább arra törekednek, hogy a fogyasztói igényeket kielégítsék, hiszen a számukra ideális termékek és szolgáltatások kifejlesztése és piaci bevezetése, illetve a fogyasztói igények felmérése, megértése áll a mindennapi gyakorlati törekvések fókuszpontjában. A fogyasztó és vevőközpontúság a piaci siker záloga. A világszerte érzékelhető domináns marketing

trendek Magyarországon is éreztetik a hatásukat, leginkább a fogyasztók kiszolgálásának új módozatai pl. az online-, digitális- vagy tartalom marketing.

A pénzügyileg hatékony vállalatok erős márkákat építenek, kiállításokon és vásárokon vesznek részt és jók az online marketing, reklám és szponzorálás területén. Ezen túl jellemzően külföldi tulajdonosi háttérrel rendelkeznek, egy cégcsoport tagjaként tevékenykednek és nagyvállalatok.

Mindent összevetve, a marketing gyakorlata ma hazánkban meglehetősen vegyes képet mutat. Léteznek ugyanis a globálisan is versenyképes nagyvállalatok, amelyek a legkorszerűbb marketing tudást és megoldásokat alkalmazzák, de ezzel szembe létezik egy elég jelentős számú kisvállalati kör, akik még fel sem ismerték a marketing jelentőségét, vagy ha igen, akkor sem költenek rá. Erőteljes marketing kampány segítségével azonban az ő figyelmüket is fel kellene kelteni a marketing iránt, mely a jövő feladatát képezi.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **FEIT, E. M., WANG, P., BRADLAW, E. T., FADER, P. S.** (2013). *Fusing aggregate and disaggregate data with an application to multiplatform media consumption*. Journal of Marketing Research, 50(3), 348–364., 2013
- [2] **JÓZSA, L. (ed.):** *A Marketing új tendenciái* - A Széchenyi István Egyetem Kautz Gyula Gazdaságtudományi Kar és a Regionális- és Gazdaságtudományi Doktori Iskola szervezésében megrendezésre kerülő konferencia kiadványa, Győr, 2012, ISBN: 978-963-7175-75-6
- [3] **FARRIS, P. W, BENDLE, N. T., PFEIFER P.E., REIBSTEIN, D.J:** *Marketing Metrics: 50+ Metrics Every Executive Should Master*, 2006, Wharton School Publishing
- [4] **LEEFLANG, P.S.H., VERHOEF, P.C., DAHLSTRÖM, P., FREUNDT, T.:** *Challenges and solutions for marketing in a digital era*, European Management Journal, Volume 32, Issue 1, 2014, 1 - 12
- [5] **TIRUNILLAI, S., TELLIS, G. J.:** *Does chatter really matter? Dynamics of usergenerated content and stock performance*. Marketing Science, 31(2), 198–215., 2012

AZ OLAJEXPORTŐR ORSZÁGOK SEBEZHETŐSÉGÉNEK VIZSGÁLATI LEHETŐSÉGEI

METHODS FOR ASSESSING THE VULNERABILITY OF THE MAIN OIL EXPORTING COUNTRIES

NAGY Zoltán¹, SEBESTYÉNNÉ Szép Tekla²,

¹Ph.D., egyetemi docens, nagy.zoltan@uni-miskolc.hu

¹Miskolci Egyetem, Gazdaságtudományi Kar, Világ- és Regionális Gazdaságtan Intézet

²Ph.D., egyetemi tanársegéd, regtekla@uni-miskolc.hu

²Miskolci Egyetem, Gazdaságtudományi Kar, Világ- és Regionális Gazdaságtan Intézet

Kivonat: Az elmúlt években jelentős változások történtek az olajpiacon, a 2011-2013-as években stabil hordónkénti 100 USD körüli olajár 2014. második felében összeomlott, és ez a piaci szereplők jelentős részét igen váratlanul érte. A bekövetkezett áresés nagysága indokoltá teszi a főbb nettó olajexportőr országok sebezhetőségének vizsgálatát. Tanulmányunkban célunk a sebezhetőség vizsgálatához szükséges mutatók számbavétele, így a különböző kereskedelmi mutatók megjelenítése (exportintenzitás, egyszerű cserearány-mutató, exportérzékenység, Herfindahl-Hirschman index), valamint a Bennett-módszer segítségével egy komplex mutató képzése, és a 14 legjelentősebb nettó olajexportáló ország kitettségeinek értékelése.

Kulcsszavak: energia, olajár, olajexportőr, sebezhetőség, energiabiztonság

Abstract: In the last year significant changes went on the oil market. The oil market was relatively balanced between 2011 and 2013 at around 100 USD. In the second half of 2014 the sharp decline in oil prices was an unexpected event for most of the market players. The size of price drops justifies an analysis of the oil vulnerability of the most significant net oil exporting countries. In this study our objective is to take into account many types of trade statistics (export intensity index, terms of trade index, export sensitivity, Herfindahl-Hirschman index), and furthermore calculating the Bennett indicator to quantify the oil vulnerability of the 14 most important oil exporting nations.

Keywords: energy, oil price, oil exporting countries, vulnerability, energy security

1. SEBEZHETŐSÉG VIZSGÁLATÁNAK SZAKIRODALMI ELŐZMÉNYEI

Az olaj kitermelése, feldolgozása, szállítása, felhasználása meghatározó szerepet játszik napjaink világgazdaságában, 2013-ban a világ teljes energiaszükségletének több, mint 45 százalékát az olajforrások fedezték [1], és ezen mennyiség körülbelül 60 százaléka nemzetközi kereskedelem útján jut el a termelőktől felhasználókhoz [2].

Általánosságban egy rendszer sebezhetősége, illetve annak mértéke egy külső hatás (sokk) nagyságát jelenti, melyet a rendszer még anélkül képes elviselni, hogy súlyos károsodások következzenek be [3]. Számos tanulmány, például [4] a reziliencia kifejezést alkalmazza, mely általános értelemben rugalmas ellenállási képességet jelent. Mi a továbbiakban az általánosabb sebezhetőség fogalmát használjuk.

Az energetikai, illetve az olajpiacokkal szembeni sebezhetőségnek mind a mai napig nincs egy egységesen kialakult meghatározása. Az olajpiacokkal szembeni sebezhetőség (~ oil vulnerability) többdimenziós fogalomként értelmezhető, melyet általában az importőr országok nézőpontja dominál. Megkülönböztetünk az olajárakban bekövetkező változásokkal szembeni sebezhetőséget (piaci kockázat), illetve a kínálati oldalon tapasztalható, egyéb sokkoknak való kitettséget (kínálati oldalról jövő kockázat, például geopolitikai konfliktusok, tartalékok nagysága). Ehhez társul még a környezeti kockázat, mely a klímaváltozással,

globális felmelegedéssel, környezetszennyezéssel van összefüggésben. Az emelkedő olajárak időszakában a kutatások jelentős része az olajimportáló, fejlett országokra fókuszált, esetükben kerültek kiszámításra különböző kockázatok, illetve sebezhetőséget mérő indikátorok. Fontos megjegyezni, hogy a sebezhetőség mértékének vizsgálatát követően a legtöbb kutatás az energiabiztonságra fókuszál, mely alatt elsősorban energetikai függetlenséget értenek, amelyet az energiaimport csökkentésével, továbbá a diverzifikáció (mind az energiamixben, mind a szállítók tekintetében) mértékének növelésével lehet elérni. Ugyanakkor Cohen G. et al. (2011) [5] arra hívja fel a figyelmet, hogy egy szállítótól való nagyobb függőség alacsonyabb energiabiztonságra utal, ugyanakkor nem biztos, hogy maga a sebezhetőség is magasabb. Így célszerű a két fogalmat külön-külön is vizsgálni. Míg a sebezhetőség esetében elsősorban a fogadó ország gazdasági és energetikai jellemzőire fókuszálunk, addig az energiabiztonság vizsgálatánál sokkal inkább az ellátó országot értékelik az elemzők (ez utóbbi részletes leírását adja [6]). A továbbiakban tanulmányunkban a sebezhetőség vizsgálatát helyezzük a középpontba, célunk, hogy mindezt a nettó olajexportőr országok szemszögéből nézve értékeljük, a csökkenő olajárak időszakában.

A témában az egyik első jelentősebb tanulmányt az ESMAP jelentette meg 2005-ben [7]. Ebben az importőr országok sebezhetőségét vizsgálja növekvő árak idején. Egyszerű dekompozíciós módszerrel bontja tényezőkre az olajimport GDP-hez viszonyított arányát egyes afrikai országokban. Sokkal mélyebb és komplexebb elemzésnek, így úttörő munkának számít Gupta E. 2008-as publikációja [2], melyben 26 nettó olajimportőr ország sebezhetőségét vizsgálja szintén emelkedő árak időszakában (2004-es évre végzi el a számításokat). Elemzésébe piaci és kínálati kockázatokat von be és létrehozza az olaj sebezhetőségi indexet (*OVI ~ oil vulnerability index*), melynek a kiszámításához szükséges súlyokat főkomponens-elemzéssel határozza meg. Gnansounou E. (2008) [8] - Gupta E. 2008. évi tanulmányához hasonlóan [2] - szintén 37 fejlett, iparosodott országok sebezhetőségét vizsgálja a 2003-as évre egy kompozit indikátor segítségével. A korábbiakhoz hasonlóan mérföldkőnek számít Christie E. (2009) [3] tanulmánya, melyben szisztematikusan bemutatja a sebezhetőség témakörében addig elért eredményeket. Európa és Oroszország viszonyát vizsgálva elsősorban a nemzet-, illetve energiabiztonságra helyezve a hangsúlyt, és a pénzügyi szakirodalomból kiindulva a potenciális veszteség számítására törekszik.

Rowies D. (2015) [4] az eddig felsoroltakkal szemben az olajexportőr országokat vizsgálta, és a sebezhetőségi indikátorok áttekintésénél az olajbevételek teljes exporthoz viszonyított arányára fókuszál, továbbá, hogy mekkora részét képezik a kormányzati bevételeknek. Szintén kitér a bruttó államadósság, a devizatartalékok és a költségvetés egyensúlyához szükséges hordónkénti olajár mutatók fontosságára. Ez utóbbi szempontjából Jement, illetve Líbiát sorolja a legsérülékenyebb országok közé. A sérülékenységgel párhuzamosan értékeli a rezilienciát.

Galland R. (2015) [9] a nettó olajexportőrök sérülékenységének (csökkenő olajárak idején) vizsgálatába – a korábbiakhoz hasonlóan – a főbb nemzetgazdasági mutatókat vonja be (és ezeket külön-külön elemzi):

- kormányzati költségvetés, annak egyensúlyához szükséges hordónkénti olajár,
- a kormányzat olajból származó bevételei,
- nemzetközi tartalékok, az olajexport részaránya,
- folyó fizetési mérleg egyenlege.

2. AZ OLAJÁRCsökKENÉS KÖVETKEZMÉNYEI

A növekvő olajárak legfontosabb makrokonómiai hatása lehet (a nettó importőr országokban) a növekvő infláció, illetve munkanélküliségi ráta, továbbá a romló fizetési

mérleg. Ezek mértéke persze nagy mértékben függ az adott ország olajfüggőségétől, az olajbeszerzéssel kapcsolatos költségek arányától, az olajfelhasználás intenzitásától, az energiamixtől, a nemzeti tartalékoktól, a pénzügyi tartalékoktól, továbbá a gazdasági fejlettségtől [2]. A továbbiakban a csökkenő árak hatásaira fókuszálunk.

Annak ellenére, hogy az olajárak alakulásából származó nyereségek, illetve veszteségek - a termelők és a fogyasztók között – kiegyenlítik egymást (összegük zéró), mégis a csökkenő olajárak világgazdasági hatása összességében pozitívnak mondható: az EY (2015) [10] számításai szerint egy 50 USD körüli hordónkénti árcsökkenés naponta 4,6 milliárd USD-nyi stimulust jelent a világgazdaság számára. Az elemzők konszenzusos véleménye szerint a világgazdaságban elérhető hasznok nagyságrendileg meghaladják az olaj- és gáziparban tapasztalható veszteségeket. Az alacsonyabb olajárak hatására szintén csökkennek a termelési költségek, mely alacsonyabb fedezeti pontot indukál és magasabb nyereséget (elsősorban az anyag- és energiaigényes ágazatokban). Az alacsonyabb költségek a termékek árainak csökkenését eredményezik (csökken az infláció), mely pozitívan hat a fogyasztásra, illetve a gazdasági növekedésre (bár a fogyasztás növekedése függ attól, hogy az olajár-csökkenés mennyire csapódik le az üzemanyagárakban, közüzemi számlákban, stb...). Fokozódnak a beruházások, a legtöbb országban javul a folyó fizetési mérleg egyenlege, az alacsonyabb infláció pedig további monetáris lazításra ösztönzi a központi bankokat [11]. Jelen helyzetben ilyen lazításra a legtöbb fejlett országban kevés lehetőség van, hiszen az irányadó kamatlábak nullához közelítenek. Itt jegyeznénk meg, hogy az itt leírt hatások erőssége számos tényezőtől függ (például az olaj szerepe a gazdaságban, az energia árát torzító támogatások és adók). Az elemzők (például Krugman P. 2016. [12]) általában egyetértenek abban, hogy az olajár-emelkedés gazdasági hatásai jelentősebbek és gyorsabban jelentkeznek, a csökkenés hatásai sok tekintetben bizonytalanok: 10-20 USD-os áresésnél a fentebb leírt mechanizmus lép életbe, de egy 60-70 USD-os csökkenés már drasztikus következményekkel járhat. A Worldbank 2015. évi tanulmánya [13] felhívja a figyelmet, hogy a jelenlegi romló gazdasági kilátások miatt a háztartások valószínűleg az így realizált jövedelem megtakarítását választják fogyasztásuk növelése helyett.

Fontos megvizsgálni a csökkenő olajárak hatását a kitermelő országokban. Mivel a kitermelés, illetve a tartalékok jelentős része politikailag és társadalmilag instabil térségekre koncentrálódik, ezért a csökkenő bevételek a bizonytalanság növekedését hozzák magukkal. A munkanélküliség növekedése, a gazdasági recesszió a társadalmi elégedetlenség növekedését okozhatja. Azokban az országokban, ahol jelentős az állami kontroll (például ártámogatások az üzemanyag, élelmiszer, víz, illetve egyéb fogyasztási cikkek esetében) ott a költségvetési bevételek csökkenésével ezen támogatások megvágására kényszerül a kormányzat, mely felszínre hozhatja a mélyen lappangó feszültségeket. A Worldbank (2015) [13] becslése szerint az olajárak 10 százalékos csökkenése ezen országok jelentős részében 0,8-2,5 százalékkal veti vissza a GDP-t, továbbá a költségvetés - mivel a költségvetés egyensúlyához szükséges hordónkénti olajár jóval magasabb - jelentős korrekciójára kényszerülnek. Az IMF (2016) [14] becslése szerint 2016-ban az olajexportőr országok gazdasága várhatóan átlagosan 3,5 százalékkal fog zsugorodni. Ezekben az országokban mind a reál jövedelmek, mind az olajtermelésben elért nyereség csökkenése várható (mindez tulajdonképpen tükröképe az olajimportáló országokban végbemenő folyamatoknak), ugyanakkor ezen visszaesés mértéke jelentősen függ az olajexport gazdasági súlyától, illetve a gazdaságpolitikai válaszoktól, a korábban megtett óvintézkedésektől. A legtöbb országban a fiskális deficit bekövetkezése egy valószínű forgatókönyvnek tűnik.

3. SEBEZHETŐSÉGI VIZSGÁLATOK MUTATÓI

A szakirodalmi előzmények alapján kijelenthető, hogy azok a tanulmányok, melyek a csökkenő olajárak időszakában vizsgálják az exportőr országok sebezhetőségét, mindössze néhány makrogazdasági adat egyszerű, idősoros elemzéséből vonnak le következtetéseket. Nem aggregálják a kiválasztott indikátorokat, nem alkotnak olyan komplex mutatót, melyből egyértelműen meghatározható lenne a sebezhetőség mértéke. Ezzel szemben elemzésünkben a kereskedelmi számításokon túl egy szintetizált mutatót alkotunk a Bennett-módszer segítségével, mely nemcsak a vizsgált országok (pozícióit) rangsorát mutatja az olaj sebezhetőség esetén, hanem az egymáshoz viszonyított abszolút távolságot is megadja. Bár súlyokat nem alkalmaz a módszertan, ennek ellenére nagyon informatív és sokrétű eredményekkel szolgál, melyekkel lehetővé válik az elemzésbe bevont országok csoportosítása, a szükséges és differenciált gazdaságpolitikai eszközök kiválasztása.

A sebezhetőség vizsgálatakor megjelenő makrogazdasági mutatók:

- költségvetés egyensúlyához szükséges olajár alakulása;
- az olajexport részesedése az összes exportból;
- nettó olajexportnak a GDP-hez viszonyított aránya.
- az adott ország társadalmi, gazdasági fejlettsége (melyet sok esetben az egy főre jutó GDP segítségével mutatnak be);
- az olajszektor által elszenvedett veszteség a GDP arányában (%).

Ezek mellett a sebezhetőséget nagyban befolyásolják olyan mutatók is amelyek az ország gazdasági állapotához, gazdasági, fejlődési kilátásaihoz kapcsolódnak. Ilyen lehet a vizsgált országok nemzeti valutájának árfolyamváltozása, az infláció, a nemzetközi tartalékok mértékének alakulása (amelyet akár a nemzeti tartalékok és az olaj árának (egyszerű számtani átlaga a Brent, WTI és Dubai olaj spot árának) változásával lehet szemléltetni).

Véleményünk szerint a makrogazdasági mutatók mellett a különféle kereskedelmi mutatók (exportintenzitási mutató, cserearány mutató, exportérzékenység, Herfindahl-Hirschman index) vizsgálata is szükséges a sebezhetőség minél teljesebb megjelenítéséhez:

- exportintenzitási mutató;
- cserearány-mutató;
- exportérzékenység;
- és a koncentráció mérésére alkalmas a Herfindahl-Hirschman index.

Ezen mutatók, indexek vizsgálata megítélésünk szerint még nem ad teljes képet az olajexportőr országok sebezhetőségének alakulásáról, így a Bennett-módszer segítségével szándékozunk heterogén mutatókból szintetizált mutatóhoz jutni.

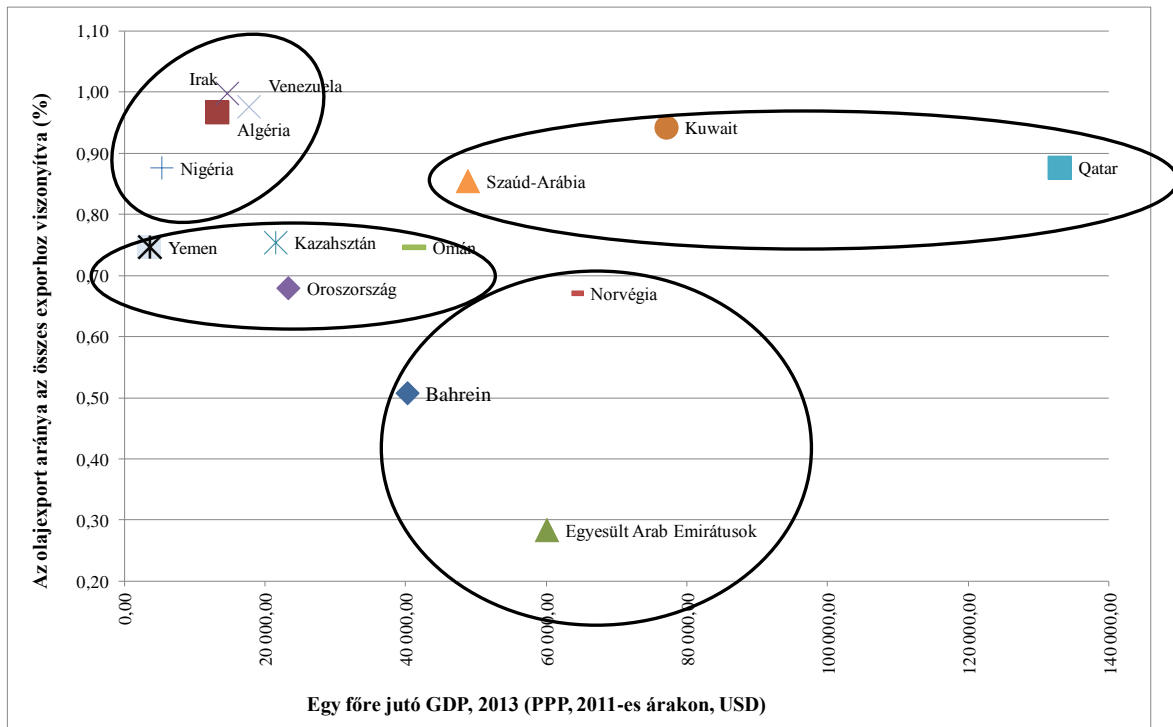
Elemzésünkben az elérhető adatok széles körét használjuk fel, melyet részletesen a melléklet tartalmaz. A vizsgálatba azon országok kerültek bevonásra, melyek esetében az olajexport értékének (USD) folyó áron mért, GDP-hez (USD) viszonyított aránya meghaladta a 15 százalékot 2013-ban (ezt tekintettük bázisnak, hiszen ez volt az utolsó év, amikor stabilan 100 USD körül volt a hordónkénti olajár, tehát jó viszonyítási alapot nyújt a későbbi áresés hatásainak vizsgálatához). Ezek a következők: Algéria, Bahrein, Irak, Kuvait, Kazahsztán, Katar, Norvégia, Omán, Nigéria, Oroszország, Szaúd-Arábia, Egyesült Arab Emírátsok, Jemen és Venezuela. Az olajexportba a Comtrade (2016) [15] adatbázis, HS osztályozás szerinti 2709-2715 közötti árufőcsoportokat. Azért határoztuk meg a 15 százalékos limitet, mert ezalatt már olyan országok is szereplnének a számításainkban, melyek nem számítanak hagyományosan jelentős olajkitermelőknek, például Belgium,

Hollandia, Litvánia vagy Szingapúr. Ezek gazdasága messzemenően diverzifikált, nem tartottuk indokoltnak a sebezhetőség vizsgálatát az esetükben.

Éves adatokkal megvizsgáltuk a 2000-2014 között eltelt mintegy másfél évtizedet, terjedelmi okok miatt azonban a vizsgált mutatók és indexek ábrázolása, elemzése közül csak két ábrát közlünk a legjellemzőbb adatokkal, és a Bennett-számítás eredményeit a sebezhetőség komplex vizsgálatához. Megítélésünk szerint a bemutatott eredményekből így is következtetni lehet arra, hogy ezen országok gazdasága mennyire volt felkészülve az áresésre. A képet természetesen sok esetben árnyalják az aktuálpolitikai események, egyéb országspecifikus jellemzők, melyekre jelen tanulmány keretein belül csak korlátozottan tudunk kitérni. Ezek mellett havi adatokkal vizsgáltuk (2013 januárjától kezdődően) az olajárésés hatásait az infláció, a nemzetközi tartalékok és a nemzeti valuták árfolyama esetében (mivel havi adatok csak korlátozottan érhetőek el, ezért ezzel a részelemzéssel csak egy rövid betekintést kívánunk adni a legfrissebb gazdasági történésekbe).

3.1. *Eredmények - makrogazdasági mutatók*

A sebezhetőség legfontosabb összetevői közé tartozik az olaj részesedése az összes exportból, továbbá az adott ország társadalmi, gazdasági fejlettsége, melyet jelen esetben az egy főre jutó GDP segítségével mutatunk be. Az 1. ábrán a két tényező függvényében pozicionáltuk a vizsgált országokat. Irak, Venezuela, Algéria, Nigéria azok az országok, melyek esetében az export aluldiverzifikáltsága alacsony egy főre jutó GDP-vel párosul. Ezen országokban a kivitel majdnem teljes egészét az olajexport teszi ki, mely rendkívül sérülékenyvé teszi gazdaságukat. Szaúd-Arábia, Kuvait és Katar esetében ez az arány szintén jelentős (több, mint 85 százalék), viszont a GDP alapján jóval gazdagabb országokról van szó (az egy főre jutó, vásárlóerőparitások GDP meghaladja a 45.000 USD-t a 2013-as Worldbank adatok szerint). A diverzifikáltságot tekintve egymáshoz képest hasonló szinten áll Kazahsztán, Oroszország, Jemen és Omán, bár az egy főre jutó, vásárlóerőparitások GDP széles skálán szóródik (Jemen 3.609 USD, Omán 41.186 USD volt 2013-ban). A leggazdagabb és legdiverzifikáltabb kereskedelmi struktúrával az Egyesült Arab Emírátsok, Bahrein és Norvégia rendelkezik. (1. ábra)



1. ábra. Elért pozíciók az olajexport aránya és az egy főre jutó GDP alapján, 2013
 Forrás: [14] és a [17] adatai alapján saját szerkesztés

A nettó olajexportnak nemcsak az összes exporthoz, hanem a GDP-hez viszonyított aránya is tanulságokkal szolgál. Ez a mutató – Omán kivételével - csökkenést mutat a vizsgált országokban, és ez nemcsak a csökkenő olajárak időszakára igaz, hanem 2011-től megfigyelhető).

3.2. Eredmények - kereskedelmi mutatók

Az exportintenzitási mutató a gazdasági nyitottság mérésére alkalmas. Ez egy viszonyszám, mely azt mutatja meg, hogy az adott ország a hazai munka mekkora hányadát (hány százalékát) értékesíti a külső piacokon. Optimális mértéket nem tudunk meghatározni, de általános szabály, hogy minél kisebb egy nemzetgazdaság, annál inkább rá van utalva a nemzetközi gazdasági együttműködésre. [16]

$$\text{exportintenzitási mutató} = \frac{\text{export}}{\text{GDP}} * 100$$

A mutató adatainak 2000-2014 közötti alakulásának alapján jól elkülöníthető csoportot alkotnak a kis öbölmenti államok, és a mind GDP, mind népesség tekintetében nagyobb országok. Az első körbe az Egyesült Arab Emírátsok, Bahrein, Katar és Kuwait tartozik, az exportintenzitás értéke 70 százalék körüli, vagy azt meghaladó, mely nagyobb fokú nyitottságra és sérülékenységre utal. 40 és 50 százalék közötti értékkel bír Szaúd-Arábia, Irak, Kazahsztán és Norvégia, a legzártabb pedig Oroszország, Algéria és Nigéria. A mutató értéke az elmúlt években általában csökkenő tendenciát mutat, bár Ománban és az Egyesült Arab Emírátsokban ez csak 2014-ben következik be (az exportérzékenység eredményeihez hasonlóan, melyet részletesen a későbbiekben tárgyalunk).

A cserearány-mutató az exportár és importár-index változásának hányadosa, melyből arra következtethetünk, hogy egyik évről a másikra romlott vagy javult az export átlagos vásárlóereje.

$$\text{egyszerű cserearány – mutató} = \frac{\text{exportárindex}}{\text{importárindex}} * 100$$

A cserearány-mutató eredményei szerint az export átlagos vásárlóereje 2008-ig intenzíven nőtt, de az árak 2008. év végi összeomlását követően meredeken hanyatlott. Ez azonban átmenetinek bizonyult, 2013-ig újra javult az export vásárlóereje a vizsgált országokban. Ebben jelentős szerepe a stabil 100 USD körüli olajárnak, továbbá az USD erősödésének. 2014-ben az árcsökkenés jelei már mutatkoznak: kismértékben, de csökken a cserearány-mutató értéke Norvégia kivételével az összes országban. Kijelenthető, hogy a vizsgált nemzetgazdaságokban a realizált komparatív előnyök relatív növekedése ment végbe 2000 és 2014 között (bár ennek mértéke széles skálán szóródik), ennek azonban erőteljes csökkenése várható 2015-től kezdődően.

Az exportérzékenység megmutatja, hogy a GDP elemi elmozdulása milyen mértékű változást enged meg az exportvolumen területén.

$$\text{exportérzékenység} = \frac{\Delta \text{export}}{\Delta \text{GDP}}$$

Vizsgálataink szerint 2000 és 2013 között jelentősen csökkent a vizsgált országok exportérzékenysége, vagyis a GDP egységnyi elmozdulása egyre kisebb mértékű exportváltozást indukált. A továbbiakban a 2012-2013-as éveket emelnénk ki. Egyre több ország esetében látunk negatív értékeket, mely minden esetben pozitív irányú GDP változás és csökkenő exportmutató eredménye. Vagyis már 2012-ben érzékelhető volt a kereslet stagnálása (a piac telítődése), hiszen a kivitel visszaesését tapasztaljuk. Ugyanakkor a makrogazdasági környezet még kedvezett a növekedésnek, mely a GDP emelkedését eredményezte az összes országban.

A koncentráció mérésére alkalmas a Herfindahl-Hirschman index ([3], [11]):

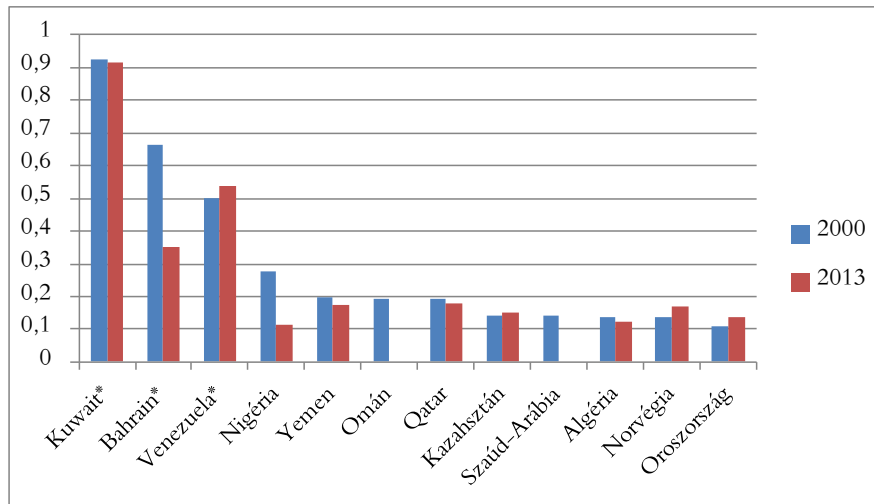
$$S_j = \frac{X_j}{\sum_j X_j}$$

$$HHI = \sum_j S_j^2$$

ahol: X_j egy választott kvantitatív indikátor (jelen esetben az adott ország részesedése az összes exportból) és j az országok csoportja ($j=1, \dots, N$)

A Herfindahl-Hirschman index tehát képes mérni a diverzifikációt, melynek értéke minél közelebb van az 1-hez, annál koncentráltabb a piac. Amennyiben eléri az 1-t, az azt jelenti, hogy mindössze egy kereskedelmi partnere (vevője vagy szállítója) van az adott országnak. [18] A Herfindahl-Hirschman index számításánál a Worldbank World Integrated Trade Solution (WITS) adatbázisát használtuk fel. Néhány esetben (*-gal jelölt országoknál) partnerként az *Unspecified* (~meghatározatlan) kód van feltüntetve (ugyanaz szerepel az

ENSZ Comtrade adatbázisában is), mely így torzítja az eredményeket. Ez alapján az olajexport aluldiverzifikáltsága lenne megfigyelhető Kuvaitban, Bahreinben és Venezuelában. A többi országban 0,1 és 0,2 között szóródnak az értékek, mely szerint az export diverzifikáltsága a partnerek szempontjából közepesnek mondható. Ez arra utal, hogy ezen országok esetében nem okoz problémát a kereskedelmi partnerektől való függés, nem jellemző, hogy kizárólag egy-két országnak értékesítsék a kitermelt olajat. (2. ábra)



2. ábra. A Herfindahl-Hirschman index eredményei a vizsgált országok esetén
 Forrás: a [18] adatai alapján saját számítás

Megjegyzés: * a Worldbank World Integrated Trade Solution (WITS) adatbázisában az adott ország esetében partnerként az *Unspecified* (~meghatározatlan) kód szerepel.

3.3. Eredmények - Bennett-módszer

A Bennett-módszer segítségével heterogén mutatókból juthatunk szintetizált mutatóhoz. A módszer lényege, hogy minden mutató esetében azon területegység adatát tekintjük bázisnak, amelynél a mutató értéke a legnagyobb. Bennett az egy-egy területegységre kapott viszonylagos értékek összegét tekintette a számítás eredményének (pontszámának). Általános képlet:

$$a_{ik} = \frac{A_{ik}}{A_{imax}}$$

(i=1,2,...,n)
 (k=1,2,...,m)

ahol:

a_{ik} : az i-edik naturális mutató viszonylagos nagysága k területegységben;

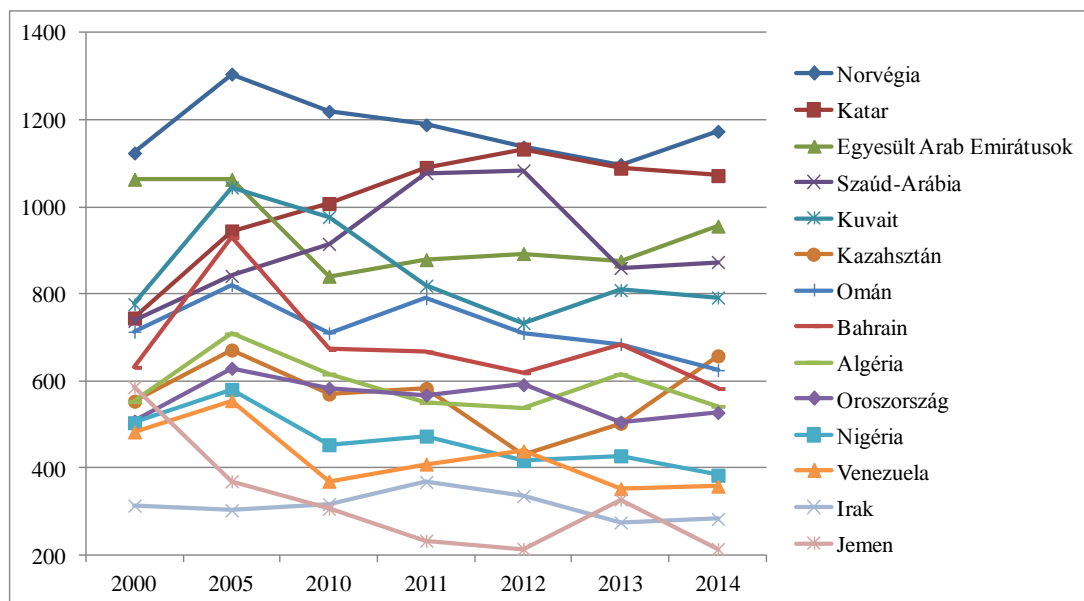
A_{ik} : az i-edik naturális mutató értéke k területegységben

A_{imax} : az i-edik naturális mutató maximális értéke (a figyelembe vett területegységekben);

m: a vizsgálatba bevont területegységek száma

n: a vizsgálatba bevont mutatók száma [19].

A Bennett-módszerrel végzett számítások feltétele, hogy valamennyi mutató egyenes (minél magasabb értékű, annál magasabb fejlettséget mutat) legyen. Mutatónként a legmagasabb értéket kiválasztva, minden területegységre ki kell számítani, hogy hány százaléka a legfejlettebb értéknek. Ezután területegységenként összeadandók a százalékos értékek és ezen összegek rangsorolhatók. Így látható, hogy egyes értékek mely területegységekben a legmagasabbak, illetve ezek milyen relatív fejlettséget mutatnak. Minél magasabb az adott területi egység által elért érték, az annál jobb pozíciót mutat (esetünkben kisebb sebezhetőséget). Számításainkban fajlagos mutatókat alkalmazunk (például egy főre jutó GDP, stb...), illetve a mellékletben jelöltük, hogy az adott indikátor hogyan hat a sebezhetőségre: fokozza vagy csökkenti azt.



3. ábra. A vizsgált országok sebezhetőség terén elért pozícióinak változása a Bennett-módszer alapján (% , 2000-2014)
Forrás: saját számítás

A Bennett-módszerrel végzett számítás eredményei (3. ábra) megerősítik Galland R. (2015) [9] következtetéseit, bár árnyalják azt. Jemenben és Irakban polgárháború zajlik, így a politikai kockázatok jelentősebbek. A sebezhetőség szempontjából Nigéria és Venezuela esetében folyamatos leszakadás figyelhető meg a vizsgált időtartamban. Még a stabil, 100 USD-os hordónkénti olajár időszakában sem tudtak érdemi változást elérni. Nigéria is nehéz helyzetben van, 2016 év elején az IMF segítségét kérte, mivel tartalékainak közel a felét elvesztette és képtelen költségvetését egyensúlyba hozni. A Moody's (2016) [20] adatai szerint mindkét ország esetében komoly lehetősége van az államcsődnek az elkövetkező 5 évben.

Oroszország, Algéria és Kazahsztán alkotják a következő csoportot: az elmúlt években egyértelműen a magas olajárakból származó jövedelmekre rendezkedtek be, komoly infrastrukturális projekteket indítottak, javítottak a szociális ellátórendszeren. Jelenleg a központi költségvetés kiigazítása, a nemzeti valuta stabilizálása az egyik legfontosabb teendő. Mindhárom ország pozíciója abszolút értelemben romlott 2000 és 2014 között, bár egymáshoz képest nem tapasztalunk elmozdulást (bár Kazahsztán eredménye 2013-2014 között némileg javult).

A hagyományosan gazdagnak számító, öböl-menti monarchiák közül a legsérülékenyebb Bahrein és Omán, melyek így külön csoportba sorolhatók. Bahrein esetében a vizsgált évek alatt nem növekedtek a nemzetközi tartalékok, ráadásul 2016-ban is 100 USD felett van a költségvetés egyensúlyához szükséges olajár. Omán a legtöbb mutató tekintetében jól teljesít, az egy főre jutó, vásárlóerőparitásos GDP igen magas (2016-ban is meghaladja a 45000 USD-t). Ugyanakkor a költségvetés egyensúlyához szükséges olajár megközelíti 2016-ban a 100 USD-t, illetve a nemzetközi tartalékok is jelentősen csökkentek 2013. évet követően, mely fokozza sérülékenységét.

Az olajexportáló országoknál több esetben árnyalhatja a képet, módosíthatja a sebezhetőséget a különféle állami tartalékok megléte, amelyek különböző alapokban, befektetésekben kezelt, egyes esetekben több tízmilliárd dolláros összegek is lehetnek, ezeket megbízható adatok híján nem volt módunk vizsgálni. A csökkenő olajárak hatása a lista elején elhelyezkedő Norvégia, Katar, Egyesült Arab Emírátságok, Szaúd-Arábia és Kuvait számára lesz a legkisebb. Számításaink szerint ezek a legkevésbé sebezhető országok az olajexportálók közül. Ezek az országok jelentős mennyiségű devizatartalékkal rendelkeznek, kitermelési költségeik (nagyjából 10 USD/hordó) a legalacsonyabbak közé tartoznak, illetve a gazdaságuk növekedési motorja (Kuvait és Szaúd-Arábia kivételével) már az olajon kívüli iparágak. Valószínűleg néhány éven keresztül könnyen ellensúlyozni tudják az alacsony olajárakból származó negatív gazdasági hatásokat. Kivételt egyedül Szaúd-Arábia képvisel, melynek - habár nem a legrosszabbul teljesítő ország ebben a csoportban – nemcsak gazdasági problémákkal kell megküzdenie, hanem politikai és társadalmi feszültségekkel is. Mindezeket figyelembe véve a sebezhetősége komolynak mondható a csoporton belül, ugyanakkor ezen ország egymaga képes lenne az olajárakon változtatni a termelés visszafogásával (politikájának megváltoztatásával), mely a gazdasági körülmények romlása esetén valószínűleg bekövetkezik.

ÖSSZEGZÉS

Tanulmányunkban a világ 14 legjelentősebb olajexportőr országának sebezhetőségét vizsgáltuk meg a 2000 és 2014 között, melyhez a gazdasági mutatókon kívül társadalmi és politikai indikátorokat is felhasználtunk. Az eredmények az egyes nemzetgazdaságok felkészültségét mutatják a csökkenő olajárak negatív hatásai tekintetében, az értékelés során figyelembe vettük a jelenleg is zajló geopolitikai eseményeket is. Kijelenthető, hogy az exportőr országok esetében a sebezhetőség vizsgálatának jelenleg nincs egységesen kialakult módszertana (szemben az importőr országokra vonatkozó elemzésekkel), ugyanakkor a Bennett-módszer alkalmazásával lehetőség nyílik az országok rangsorolására (a sebezhetőség tekintetében), és a szükséges gazdaságpolitikai intézkedések differenciálására. A kereskedelmi mutatók (exportintenzitási mutató, cserearány mutató, exportérzékenység, Herfindahl-Hirschman index) számítása további információkkal szolgál, megalapozottabbá teszi következtetéseinket.

A főbb olajexportőr országok vizsgálata során a következő, főbb megállapításokat tettük.

1. A sebezhetőség vizsgálatát leggyakrabban az olajimportáló országok esetében végzik el. Az olajexportáló országokra is találunk példát, de azok módszertani megalapozottsága elmarad az előbbiektől.
2. A 2014 év vége óta tartó olajárcsökkenés világgazdasági hatása pozitív, ugyanakkor az exportáló országok bizonytalansága (gazdasági, társadalmi és politikai) jelentősen megnőtt. Véleményünk szerint ezekben az országokban gazdaság zsugorodása tovább folytatódik az elkövetkező 2 évben (2016-2017).
3. A cserearány-mutató eredményei szerint a vizsgált nemzetgazdaságokban a realizált komparatív előnyök relatív növekedése ment végbe 2000 és 2014 között (bár ennek mértéke széles skálán szóródik), ennek azonban

erőteljes csökkenése várható 2015-től kezdődően. 4. 2000 és 2013 között jelentősen csökkent a vizsgált országok exportérzékenysége, ez a kedvező tendencia azonban a következő években megfordul, nő az érzékenység. 5. A sebezhetőség szempontjából a legrosszabb helyzetben Jemen és Irak van, Nigéria és Venezuela helyzete egy szinttel jobb besorolást tesz lehetővé (bár szintén kritikusnak mondható). Oroszország, Algéria és Kazahsztán alkotják a következő csoportot, mely bizonyos mértékig átmenetinek tekinthető a kritikusnak tekinthető és a stabil csoport között. A jó kilátásokkal rendelkező csoportba az öböl-menti országok tartoznak (továbbá Norvégia), bár Bahrein és Omán leszakadása figyelhető meg. Fontosnak tartjuk megjegyezni, hogy a sebezhetőség vizsgálata elsősorban a gazdaság állapotára világít rá, ehhez természetesen figyelembe kell venni a nemzetspecifikus tényezőket (például politikai berendezkedés, geopolitikai viszonyok), melyek tovább árnyalják a kialakult képet. Kijelenthető, hogy jelenleg a vizsgált országok kormányainak legfontosabb feladata, hogy költségvetésüket a jelenlegi olajárakhoz igazítsák. Az, hogy ezt mennyire gyorsan és drasztikusan kell megtenniük, az függ a nemzetközi tartalékaiktól, továbbá a korábban elemzett makrogazdasági mutatóiktól, sebezhetőségüktől. A monetáris politika eszközeinek gondos megválasztásával stabilizálhatják nemzeti valutájuk árfolyamát, csökkenthetik az inflációs nyomást.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **IEA**, *Key World Energy Statistics*. 2015, 81p. https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld_Statistics_2015.pdf
- [2] **GUPTA, E.**, *Oil vulnerability index of oil-importing countries*. Energy Policy 36. 2008, pp.1195-1211
- [3] **CHRISTIE, E.**, *Energy vulnerability and EU-Russia Energy Relations*. Journal of Contemporary European Research 5 (2) 2009, pp.274-292.
- [4] **ROWIES, D.**, *MENA oil exporters' resilience to oil price shocks*. Credendo Group, 2015, 6p. <http://www.delcredereducroire.be/newsletter/en/risk-monthly/53862/mena-oil-exporting-countries-resilience-to-oil-price-shock>
- [5] **COHEN, G., JOUTZ, F., LOUNGANI, P.**, *Measuring energy security: trends in the diversification of oil and natural gas supplies*. IMF, 2011, 40p. <https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2011/wp1139.pdf>
- [6] **JOBBÁGY, SZ.**, *Hazai és EU energiabiztonság és a megújuló energiaforrások*. Hadmérnök, V. évf., 3. szám, 2010, pp.47-62.
- [7] **ESMAP**, *The vulnerability of African countries to oil price shocks: major factors and policy options – The case of oil importing countries*. Worldbank Group, 2005, 76p. https://www.esmap.org/sites/esmap.org/files/FR308-05_AFR_The_Vulnerability%20of_African_Countries_to_Oil_Price_Shocks.pdf
- [8] **GNANSOUNOU, E.**, *Assessing the energy vulnerability: case of industrialized countries*. Energy Policy 36. 2008, pp.3734-3744.
- [9] **GALLAND, R.**, *Emerging oil producing countries: which are the most vulnerable to the decline in oil price?* Econote 27. szám, 2015, 8p. http://www.societegenerale.com/sites/default/files/documents/Econote/Econote%20N27%20-%20Impact%20prix%20du%20p%C3%A9trole%20-%20EN_2.pdf

- [10] **EY**, *Resilience in a time of volatility: oil prices and the energy industry*. 2015. [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-resilience-in-a-time-of-volatility/\\$FILE/ey-resilience-in-a-time-of-volatility.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-resilience-in-a-time-of-volatility/$FILE/ey-resilience-in-a-time-of-volatility.pdf)
- [11] **IMF**, *MENAP Oil Exporters: Increase Resilience and Create Private-Sector Jobs*. 2012. 20p. <https://www.imf.org/external/pubs/ft/reo/2012/mcd/eng/pdf/Menap-chapt1.pdf>
- [12] **KRUGMAN, P.**, *Oil goes nonlinear*. New York Times, 2016. The opinion pages http://krugman.blogs.nytimes.com/2016/01/16/oil-goes-nonlinear/?_r=0
- [13] **WORLDBANK**, *Understanding the plunge in oil prices: sources and implications 2015*. 14p. https://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/GEP/GEP2015a/pdfs/GEP2015a_chapter4_report_oil.pdf
- [14] **IMF**, *Database 2016*. <http://www.imf.org/en/data>
- [15] **COMTRADE**, *UN Comtrade Database 2016*. <http://comtrade.un.org/>
- [16] **LAKOS, I. SZIVI, J.**, *Külgazdaságtan*. 2005. Külkereskedelmi Oktatási és Továbbképző Központ
- [17] **CHUANG, M. C., MA, H. W.**, *Energy security and improvements in the function of diversity indices – Taiwan energy supply structure case study*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 24. 2013. pp.9-20.
- [18] **WORLDBANK**, *Database2016* <http://data.worldbank.org/>
- [19] **ABONYINÉ PALOTÁS, J.**, *Általános statisztika alkalmazása a társadalmi-gazdasági földrajzban*. JATEPress, Szeged 1999. 123p.
- [20] **MOODY'S**, *Research and ratings*. 2016. <https://www.moody.com/>

Melléklet

Felhasznált adat	Alkalmazott számítás	Hatása a sebezhetőségre (+: fokozza; -: csökkenti)
Javak és szolgáltatások exportja és importja (éves adatsor, 2000-2014, USD, forrás: UNCTAD)	exportintenzitási mutató exportérzékenység	
Exportárindex (éves adatsor, 2000-2014, forrás: UNCTAD, 2000=100%)	egyszerű cserearány-mutató	
Importárindex (éves adatsor, 2000-2014, forrás: UNCTAD, 2000=100%)	egyszerű cserearány-mutató	
Olajexport desztináció szerint (éves adatsor, 2000. és 2013. év, forrás: Worldbank World Integrated Trade Solution, 1000 USD)	Herfindahl-Hirschman index	
Bizonyított olajkészletek (milliárd hordó, éves adatsor, 2000-2014, forrás: BP)	Bennett-módszer	-
Bruttó államadósság, GDP százalékában (éves adatsor, 2000-2014, forrás: IMF)	Bennett-módszer	+
Bruttó nemzeti megtakarítások, GDP százalékában (éves adatsor, 2000-2014, forrás: IMF)	Bennett-módszer	-
CPI korrupciós index (éves adatsor, 2000-2014, forrás: Transparency International, Corruption Perceptions Index)	Bennett-módszer	+
Egy főre jutó GDP, PPP (PPP), (USD, folyó áron, éves adatsor, 2000-2014, forrás: IMF)	Bennett-módszer	-
Elszámoltathatóság, becült adatok (éves adatsor, 2000-2014, forrás: Világbank, Worldwide Governance Indicators adatbázis)	Bennett-módszer	-
Folyó fizetési mérleg egyenlege, GDP százalékában (éves adatsor, 2000-2014, forrás: IMF)	Bennett-módszer	-
GCI versenyképességi index (éves adatsor, 2000-2014, forrás: World Economic Forum)	Bennett-módszer	-
GDP, folyó áron (USD, éves adatsor, 2000-2014, forrás: Világbank és IMF)	Bennett-módszer; exportintenzitási mutató exportérzékenység	
Infláció, átlagos fogyasztói árváltozás (éves adatsor, 2000-2014, forrás: IMF)	Bennett-módszer	+
Jogállamiság, becült adat (éves adatsor, 2000-2014, forrás: Világbank, Worldwide Governance Indicators adatbázis)	Bennett-módszer	-
Kormányzati hatékonyság, becült adat (éves adatsor, 2000-2014, forrás: Világbank, Worldwide Governance Indicators adatbázis)	Bennett-módszer	-
Korrupció ellenőrzése, becült adat (éves adatsor, 2000-2014, forrás: Világbank, Worldwide Governance Indicators adatbázis)	Bennett-módszer	-
Munkanélküliségi ráta, a teljes munkaerőállomány százalékában (éves adatsor, 2000-2014, forrás: Világbank és IMF)	Bennett-módszer	+
Olajexport kereskedelmi értéke, HS 2709-2715 kód (USD, éves adatsor, 2000-2014, forrás: ENSZ, Comtrade adatbázis)	Bennett-módszer	- (fajlagosan: a folyó áron mért GDP-hez viszonyítva)
Olajtermelés (ezer hordó/nap, éves adatsor, 2000-2014, forrás: BP)	Bennett-módszer	-
Országkockázat (éves adatsor, 2000-2014, forrás: OECD, Country Risk Classifications of the Participants to the Arrangement on Officially Supported Export Credits adatbázis)	Bennett-módszer	+
Politikai stabilitás, erőszakmentesség, terrorizmus megfékezése, becült adat (éves adatsor, 2000-2014, forrás: Világbank, Worldwide Governance Indicators adatbázis)	Bennett-módszer	-
Szabályozás minősége, becült adat: (éves adatsor, 2000-2014, forrás: Világbank, Worldwide Governance Indicators adatbázis)	Bennett-módszer	-

Teljes beruházások, GDP százalékában (éves adatsor, 2000-2014, forrás: IMF)	Bennett-módszer	-
Bizonyított olajtartalék (éves adat, 2000-2014, 1000 millió hordó, forrás: BP)	Bennett-módszer	- (fajlagosan: egy főre vetítve)

1. táblázat. A számítások során felhasznált adatok

Forrás: saját szerkesztés

HAJLÉKONY ELEMŰ DÖRZSBOLYGÓMŰ MÉRÉSE

TEST RIG FOR EPICYCLIC TRACTION DRIVE OF SPRING TYPE

NÉMETH Géza

egyetemi adjunktus, machng@uni-miskolc.hu

Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet, Miskolc-Egyetemváros H-3515

Kivonat: A csavarrugók igen változatos kialakítású gépelemek, alkalmazási területük hasonlóképpen sokrétű. A szerző röviden rendszerezi a kérdéses gépelem-csoportot, majd felsorolja a szokásostól eltérő, esetenként meglepő alkalmazási területeket, melyekben a rugó terhelése erősen különbözik a szakkönyvekben leírtaktól. A szakkönyvekben javasolt újabb alkalmazás az előbbi érdekes esetek számát gyarapítja, hiszen dörzsbolygóművekben a gyűrűkerek helyettesítő forgató csavarrugó önmagában is újdonság, nem említve annak terhelési és alakváltozási állapotát. A szerző javaslatot tesz egy ilyen újszerű dörzsbolygómű mérőpadon történő értékelésére. A mérőpad lehetőséget teremt a dörzshajtás kapcsolódó elemei közötti összeszorító erő pontos beállítására, a mérés pedig a nyomaték átviteli képesség és a csúszás mértékének meghatározását, valamint a kedvező merevségű rugó kiválasztását célozza.

Kulcsszavak: dörzsbolygómű, forgató csavarrugó, csavarrugós tengelykapcsoló, szalagrugó, 3 -5 kulcsszó, Times New Roman 10 pontos, dőlt betű

Abstract: Helical springs are versatile machine elements both in formation and in application. The author briefly organizes the group of machine elements in question and enumerates the unusual and sometimes surprising areas in which the loads very different from those described in the textbooks. The proposed novel application increases the number of interesting cases. The helical torsion spring substituting the annular wheel of an epicyclic traction drive is new itself not mentioning its load and deformation status. The author proposes a test rig measurement for the assessment of such a novel epicyclic traction drive. The abilities of the test rig are the accurate adjustment of clamping force, the measurement of the torque transmission capacity and the slip. The main goal of the test is to select a spring having the propitious stiffness, e.g. which assures a slight and load independent slip to achieve a favourable life rating and efficiency.

Keywords: epicyclic traction drive, helical torsion spring, spring clutch, strip spring,

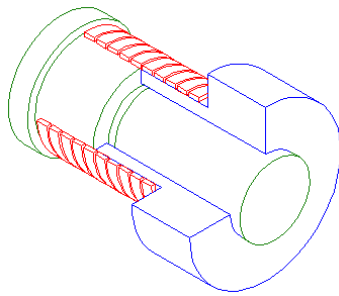
1. CSAVARRUGÓK TERHELÉSE ÉS ALAKVÁLTOZÁSA

A csavarrugókat általában fémötvözetből készítik tekercseléssel, kör, négyszög vagy egyéb keresztmetszetű huzal hideg vagy meleg alakításával. Készülhetnek forgácsolással is a pontosabb rugó jelleggörbe vagy a tervezéseméletben ismert egyik építési elv, a feladat-összevonás érdekében. Lehetnek hengeresek, kúposak vagy egyéb tengelyszimmetrikus alakúak, egy vagy több bekezdésűek, állandó vagy változó emelkedési irányúak és állandó vagy változó keresztmetszetűek. Készülhetnek kompozit anyagból is.

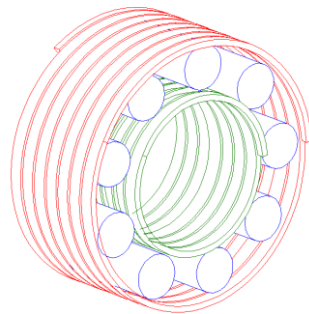
Feladatunk szempontjából az acél anyagú hengeres csavarrugók érdekesek, ezért vizsgálatunkat ezekre korlátozzuk. Egy hagyományos csavarrugó a külső terhelés alapján húzó, nyomó vagy forgató csavarrugó lehet, és a végkialakításból vagy csak a beépítési környezetből következtethetünk arra, hogy ténylegesen melyik terhelésmódban működik. Külső terhelés hatására a rugóvégek egymáshoz képest távolodnak, közelednek vagy elfordulnak, miközben a húzó és nyomó csavarrugó egyes keresztmetszeteiben csavaró igénybevétel, míg a forgatórugóban hajlítói igénybevétel ébred. Fontos megjegyezni, hogy az említett igénybevételek és alakváltozások csak fő igénybevételek és fő alakváltozások. Hagományos csavarrugók esetén, nem túl nagy emelkedési szög, nem túl kis D/d átmérőviszony és megfelelő szerelési hézag esetén ezek figyelembe vétele elegendő. Ugyancsak lényeges szempont, hogy a hagyományos csavarrugók a terhelésüket kizárólag a

végeiken keresztül kapják, a felületi igénybevétel nem mértékadó. A rugókat mindig előfeszítve építik be, és ez a terhelés a beépítés helyétől függően lehet változatlan vagy változó. A terhelés ismétlődés száma lehet hetente egy vagy másodpercenként több tízezer.

Tekintsünk néhány, szokásostól eltérő csavarrugó példát. Ilyenek lehetnek az [1] és [2] szakirodalomban leírt csavarrugós szabadonfutók, amelyben a forgató csavarrugó a teljes belső felületén érintkezik két külső hengerrel, és kötélszerűen rájuk feszülve össze is köti azokat, amint ezt az 1. ábrán láthatjuk. A két hengeres test egymáshoz lazán illeszkedik, közöttük nyomatékot a jobb emelkedésű csavarrugó továbbít. A gördülőcsapágyak területén a rugógörgős és a rugógyűrűs csapágyak [4] említhetőek, melyekben a csavarrugók terhelése egyáltalán nem hasonlít a hagyományos alkalmazásokban megismertekhez, amint az alakváltozások sem. Ezekben a másodlagos alakváltozásoknak van nagy szerepük. Terhelés hatására ugyanis a rugó középátmérője kis mértékben változik, és ez a változás elegendő a csavarrugós tengelykapcsolóban a rugónak a tengelyekre feszülésére, vagy egy csapágygyűrű esetén a hőterhelés okozta egyenlőtlen alakváltozások elkerülésére. A felületi igénybevétel jelentős, a berágódás, a túlzott melegedés és a kopások elkerülésére mindenképpen kenést igényelnek.



1. ábra. Csavarrugós szabadonfutó [1]

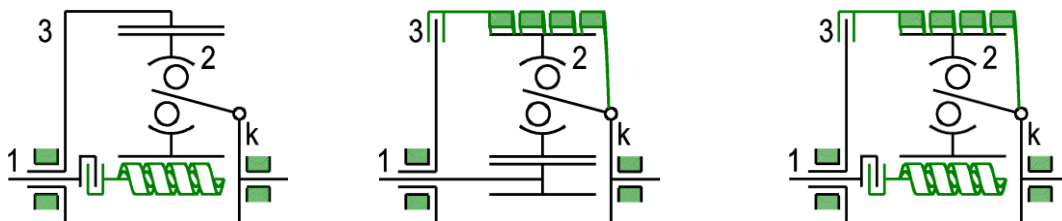


2. ábra. Rugógyűrűs csapágy [4]

2. CSAVARRUGÓ DÖRZSBOLYGÓMŰBEN

Az említett gördülőcsapágy és tengelykapcsoló csavarrugójához hasonló hajlékony elemeket javasoltunk korábbi tanulmányainkban dörzsbolygóművek legördülő kerekeinek kialakításához, az összeszorító erő egyszerűbb, terheléssel arányos előállításához [5, 6, 7, 8]. Az 1. ábrán látható kinematikai vázlatok a kb változatú dörzsbolygómű egy-egy csavarrugó elhelyezési lehetőségét mutatják. A bolygókerék mindegyik esetben merev, de a sugár irányú beállítás lehetőségével kapcsolódik a karhoz. A kétszabadságfokú hajtás 3 jelű gyűrűkerekét

rögzíthetjük az állványhoz, a hajtó teljesítmény az 1 jelű napkeréktől a k jelű kar felé, vagy fordítva áramolhat.

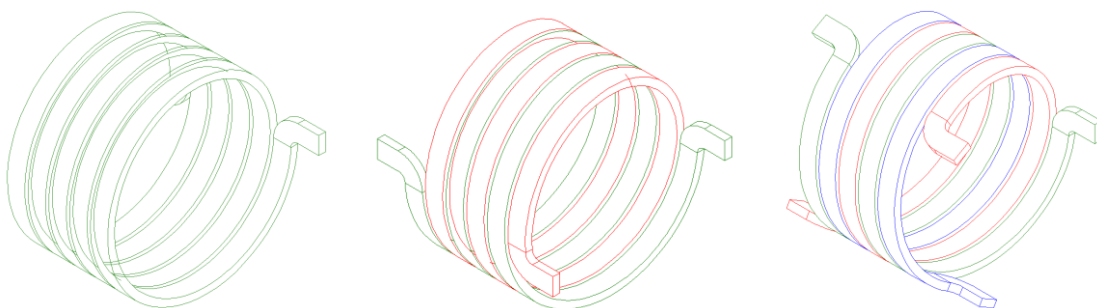


3. ábra. Csavarrugó elhelyezése dörzsolygóműben

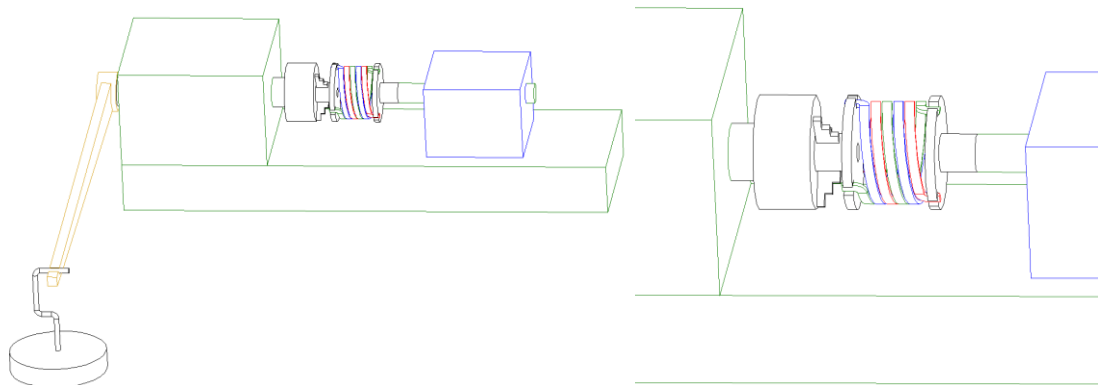
A forgató csavarrugók merevsége eltérő, a gyűrűkerék helyettesítőt kell lágyabbra választani. A csavarrugók emelkedési irányát az előírt forgásirányokhoz, illetve a rögzítési oldalhoz kell igazítani. A középső esetben, amikor csak a 3 jelű gyűrűkerék csavarrugó, és rögzítési pontja a hajtás oldalán van, az óramutató járásával egyező hajtásirány jobb emelkedésű csavarrugót kíván, mert az alkalmasan választott merevségű rugó ekkor feszül rá a bolygókerékekre. Adott hajtómű tehát csak egy forgásiránnyal üzemeltethető. A működőképesség pedig a szereléskor előfeszített csavarrugóval biztosítható. A példaként említett csavarrugós tengelykapcsolóhoz és gördülőcsapágyhoz hasonlóan itt is jelentős a felületi igénybevétel, ezért célszerű négyzet szelvényű rugóacél huzalt választani a rugó tekerceseléséhez. Hasonló eredményre jutunk, hasonló termelékenységgel, ha rugóacél csőből kiindulva lézervágással hozzuk létre a kívánt rugóalakot. Utóbbi eljárás még nagyobb szabadságot ad a tervezőnek, hiszen a keresztmetszet is változtatható, és a nyomatékátadó felületek is könnyebben igazíthatóak a csatlakozó alkatrészekhez.

2.1. A kísérleti bolygómű összeszerelése

A bolygómű központi elemei a tömör acél napkerék, a csavarrugóból készült gyűrűkerék és a kar, mely a bolygókerékeket tartja. A három bolygókerék a karon sugárirányú elmozdulásra képes, a gyűrűkerékkel egyező szélességű bolygókeréket a megfelelő számban egymás mellé helyezett egysorú mélyhornyú golyóscsapágyak alkotják. A gyűrűkerék lehet egy, kettő vagy három bekezdésű csavarrugó, a 4. ábrán látható kialakításban. A több bekezdés a kiegyensúlyozottabb terhelésátadásra enged következtetni. A huzalvégeken kialakított fülek a rugót előfeszítő nyomaték átadását segítik, melyre a bolygómű összeszerelésekor kerül sor, az 5. ábrán vázolt berendezés segítségével.



4. ábra. A gyűrűkerék helyettesítő csavarrugó változatai



5. ábra. A csavarrugó terhelése adott nyomatékkal

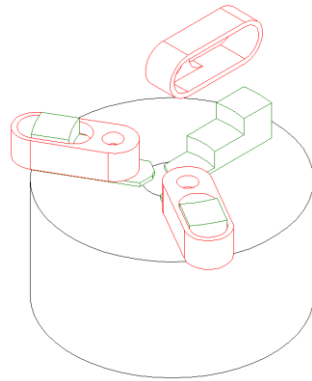
A csavarrugó egyik végét egy állványhoz rögzített hornyos tárcsához kötjük, a másik végét pedig egy elfordulásra képes tárcsához. A rugóvég elfordítását egy karon keresztül, súlyterheléssel előállított nyomatékkal végezzük. A kar közel vízszintes állapotát kilincsműves szabadonfutóval biztosítjuk. A terhelőnyomaték hatására a rugó belső átmérője megnő, így a belsejében elhelyezett bolygókerék közé a terhelő tengely furatán keresztül behelyezhetjük a napkerék. Adott rugó esetén a napkerék átmérőjének változtatása a bolygómű áttételének kismértékű változtatása mellett az előfeszítő erőt jelentősen megváltoztatja.

2.2. Görbületi viszonyok alakulása, hatása a terhelhetőségre

A súrlódó hajtás terhelhetősége az egymáson legördülő elemek méret- és anyagjellemzőin túl a közöttük kialakuló összeszorító erőtől, illetve a nyírásra növekvő viszkozitású, reopektikus kenőanyag esetére megengedett tapadási tényezőtől függ. Tömör, hengeres felületű testek érintkezésekor az E rugalmassági tényező és a ν Poisson tényező mellett a főgörbületek összege és a felületeket összeszorító erő határozza meg az érintkezési tartomány szélességét. A csavarrugón nem alakul ki nagy felületi feszültség, mert a hullámhajtásokhoz hasonlóan nem csak az érintkezési tartomány rugalmas alakváltozása növeli a külső és belső hengeres felület b érintkezési fél szélességét, hanem a hajlékony rugó maga is a kötélhajtáshoz hasonlóan ráfeszül a külső hengerre, a csavarrugós szabadonfutó tengelykapcsolónál tapasztaltakhoz hasonlóan, de nyilván annál kisebb mértékben [1]. Mivel várhatóan a kötélhajtásnál fellépő kötél súrlódás jelenségével is számolhatunk, nem tisztán a szereléskor beállított sugár irányú erő érvényesül a felületek között, hanem a csavarrugó szalag szabad végétől a megfogási pontig egyre növekvő kötél erő is, ahol az átfogási szög az egyes érintkezési környezetekben mérhető $2b$ érintkezési szélességek összegéből számítható. A kezdeti előfeszített, de külső terheléstől mentes állapotban közel állandó sugárirányú erővel és közel állandó érintkezési szélességekkel számolhatunk, így az átfogási szög N bolygókerék szám, n bekezdés szám és n_m menetszám, d_b belső rugóátmérő esetén $\alpha = N \cdot n \cdot n_m \cdot 2b / (d_b / 2) = 4 \cdot N \cdot n \cdot n_m \cdot b / d_b$. Ha a csavarrugó (kötél) végén a μ_0 tapadási tényezővel számítható némi F_2 kötél erő, akkor számottevő $F_t = F_1 - F_2$ kerületi erő vihető át a hajtással, az $F_1 / F_2 \leq \exp(\mu_0 \alpha)$ feltétel egyidejű teljesülése esetén.

2.3. A kísérleti bolygómű mérése – az összeállítás menete

A mérés úgy is összeállítható, hogy egy egytetemes csúcseszterga, vagy ehhez hasonló szerszám gép három- vagy négy pofás központosító tokmányát használjuk fel a bolygókerekeket tartó karként. A pofákhoz az 5. ábra szerint papucsokat illesztve lehetőséget teremtünk a bolygókerekek tengelyeinek rögzítésére. Hasonló eredményre jutnánk puha pofák használatával is. A mérés összeállítását a következő sorrend szerint végezzük:



6. ábra. Központosító tokmány kiegészítése

- A bolygókerekeket sugár irányban kifelé mozdítjuk, ezzel a csavarrugót kissé előfeszítjük.
- A napkereket a bolygókerekek közé helyezzük, tengelyét a főorsó furatában támasztjuk.
- Lazítjuk a bolygókerék-gyűrűkerék kapcsolatát, közben létrehozuk a napkerék-bolygókerék kapcsolódást.
- A főorsót kis fordulatszámmal a szokásos forgácsolási iránnyal ellentétesen forgatjuk, tehát a karon keresztül hajtjuk be a kb típusú bolygóművet.
- A napkerék tengelye a karral azonos irányban, a gyorsító áttételnek megfelelően forog.

Kapcsolat kereshető a napkerék átmérő (a rugóelőfeszítés) és az átvihető nyomaték (kimenő nyomaték a napkeréken) között, valamint a napkerék átmérő (a rugóelőfeszítés) és a relatív csúszás között, adott terhelőnyomaték esetén. A főorsó fordulatainak száma ismert, a napkeréké mérhető. A csúszás (slip) ábrázolható a rugó előfeszítés és a terhelőnyomaték függvényében. Feltételezzük, hogy az enyhe kezdeti előfeszítő erő mellett is kismértékű, terheléstől független csúszás elérése biztosítja az élettartam és hatásfok szempontjából is kedvező hajtást.

ÖSSZEFOGLALÁS

Dörzsbolygóművek területén egy újszerű megoldással, a dörzskerekek rugalmas kialakításával biztosítjuk a működéshez szükséges, terheléssel arányos összeszorító erőt.

Megvalósítottuk az egy gépelemen belüli feladat összevonás elvét, melytől a hajtómű fontos jellemzőinek (egyszerűség, szerelhetőség, megbízhatóság) javulását várjuk.

Egy lehetséges mérési módszert javasoltunk a rugó előfeszítés mértékének meghatározására, a megfelelő terhelhetőség és az elfogadható csúszások biztosítása érdekében.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

„A cikkben ismertetett kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt

eredményeire alapozva a TÁMOP-4.1.1.C-12/1/KONV-2012-0002 jelű projekt részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.”

„The research work presented in this paper/study/etc. based on the results achieved within the TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 project and carried out as part of the TÁMOP-4.1.1.C-12/1/KONV-2012-0002 project in the framework of the New Széchenyi Plan. The realization of this project is supported by the European Union, and co-financed by the European Social Fund.”

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **WIEBUSCH, C. F.**, *Dial Clutch of the Spring Type*, Bell System Technical Journal, Volume 18, Issue 4, October 1939, p. 724–741.
- [2] **KAWAMOTO, H.**, *Self-Excited Vibration of a Lap Spring Clutch Used in Electrophotography Fuser*, Nonlinear Dynamics 16, 1998, p. 153–165.
- [3] **MUSSER, C.W.**, *A New Look at Elastic-Body Mechanics*, Machine Design, Penton publishing Co., 1961, p. 150-156.
- [4] **EICH ROLLENLAGER GmbH**, *Product Information on Spring Bush Bearings*, http://www.eich-waelzlager.de/index_eich.htm (downloaded 22. Jun. 2016.)
- [5] **NÉMETH G., PÉTER J., DÖBRÖCZÖNI Á.**, *Helical Springs in Epicyclic Traction Drives*, Design of Machines and Structures, 2:(2) , 2012, p. 81-92.
- [6] **NÉMETH G., PÉTER J., NÉMETH N.**, *A new type of epicyclic traction drive*, Advances in Mechanical Engineering, 1:(1), 2013, p.137-142, ISBN 978-963-473-623-3.
- [7] **NÉMETH G.**, *Possible Materials and Production Technologies for a Special Purpose Helical Torsion Spring*, Review of Faculty of Engineering: Analecta Technica Szegedinensia (online), 8:(2), 2014, p. 66-71.
- [8] **NÉMETH G., NÉMETH N., PÉTER J.**, *Dörzsolygómű hajlékony elemeinek szilárdsági számítása*, In: Bodzás Sándor (szerk.), Műszaki Tudomány az Észak - Kelet Magyarországi Régióban 2015 Konferencia előadásai, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 2015, pp.213-219, ISBN 978-963-7064-32-6.

AZ EBESI POLGÁRMESTERI HIVATAL HŰTÉSI RENDSZEREINEK TERVEZÉSE ÉS ÖSSZEHASONLÍTÁSÁNAK EREDMÉNYE

THE COMPARISON OF DIFFERENT COOLING SYSTEMS IN THE MAYOR'S OFFICE OF EBES AND IT'S RESULT

NÉMETHI Zoltán¹, L. SZABÓ Gábor²

¹gépészmérnök, Nemeti.Zoltan@hotmail.com
¹4028, Debrecen, Ótemető utca 2.-4.

²tanársegéd, l.szabo.gabor@eng.unideb.hu
²4028, Debrecen, Ótemető utca 2.-4.

Kivonat: Az elkövetkező években az épület szigetelése egyre komolyabb méreteket ölt a jogszabályi előírások miatt, így a hő egyre inkább beszorul az épületbe, melynek elvezetéséről gondoskodni kell. Figyelembe véve, hogy általában a hidegenergia előállításához közel háromszor annyiba kerül, mint a hőenergiáé, kiemelt figyelmet kell fordítani a megfelelő hűtési rendszer kiválasztására. Jelen cikk és előadás azt vizsgálja egy konkrét épület esetében, a szóba jöhető hűtési megoldások közül energetikailag melyik megoldás lenne a legmegfelelőbb.

Kulcsszavak: : hűtéstechnika, multisplit rendszerek, fan-coil rendszerek, mennyezethűtési rendszerek

Abstract: In the following years the insulation of the houses will be thicker and thicker than before because of the new regulatory requirements, therefore the heat stuck in the building, so we have to transport this extra amount of heat somewhere. Considering that the production of the cold energy usually costs three times more than the production of the heat energy, so special attention should be paid to select the right cooling system. This article and lecture is exploring that which cooling system is the most energy efficient choice in this case..

Keywords: cooling-system, multisplit, fan-coil-system, ceiling-cooling

1. BEVEZETÉS

A 7/2006 TNM rendelet és módosításainak valamint a kormányok támogatási politikájának hatására az épületek hővesztesége drasztikusan csökken. Ezt jellemzően az épületek nyílászáróinak cseréjével és hőszigetelésével érik el. Ennek sokrétű következménye lesz. Ezek közé tartozik, hogy a belső hőterhelések szerepe megnövekszik, csökken a hőszükséglet, indokolttá válik komoly épületfelügyeleti rendszerek kiépítése, a mesterséges levegő ellátás megoldása. Valamint az, hogy a hő beszorul az épületbe. Télen, ugyebár ez a célunk, nyáron ez viszont komoly probléma, melynek következménye, hogy az épületek hűtése a hőszigeteléssel együtt egyre szükségesebb lesz. Viszont általánosságban elmondható, hogy a hőenergia előállítása (földgázból) harmadannyiba kerül, mint a hidegenergia (elektromos áramból). Emiatt nem mindegy, hogy milyen rendszert tervezünk egy adott épületbe. Mert felelőtlen vagy elnagyolt munka esetén a rendszer üzemeltetése nagyon jelentős mértékben lesz drágább. Jelen cikkben egy konkrét példa esetén vizsgáljuk meg három hűtési rendszer összehasonlítását költségek valamint energetikai besorolás szempontjából.

2. AZ ÉPÜLET ISMERTETÉSE

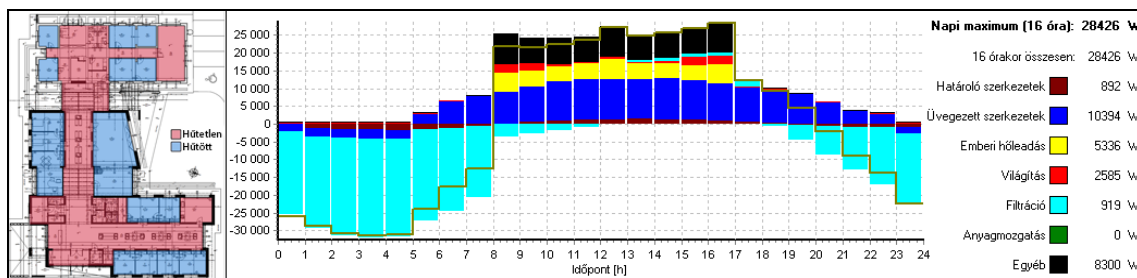
A választott épület az Ebesi Polgármesteri Hivatal. A korábbi épületet elbontották és a helyére egy nagyobb épület került kialakításra, hozzá építve a megmaradó rendőrségi épülethez. A kibővített polgármesteri hivatal „U” alaprajzú, földszintes, modern megjelenésű

épület (1. ábra), amelyen fellelhetők lapos és ferdetetős megoldások is. Az épület Ebes település központi részén fekszik. A hivatali telek beépítettsége 35,1 [%]-os, az épület nettó, azaz hasznos alapterülete 710,8 [m²].



1. ábra. A vizsgált épület és kialakítása

Az épület szerkezeti jelentős hőszigeteléssel vannak ellátva, melyek így megfelelnek a 7/2006 TNM rendelet, 20/2014 BM rendelettel történő módosításának. Az épület legnagyobb nyári hőterhelése így 28,43 [kW], 16 órás időpontban. A hőtechnikai számításokat a Bausoft Pécsvárad által fejlesztett Winwatt Gólya tervezői szoftver segítségével végeztük el. A méretezési nyári belső léghőmérsékleteket az MSZ 24-140-2015 szabvány alapján a hűtött helyiségekbe 26 [°C]-ot, míg a hűtetlen helyiségekbe 30 [°C]-ot vettünk fel. Az épület hűtött és hűtetlen helyiségeinek megoszlását a 2. ábra mutatja be.



2. ábra. Az épület hűtött és hűtetlen helyiségeinek elhelyezkedése az épületben, valamint a maximális hőterhelés időpontja

3. A VIZSGÁLT RENDSZEREK

Egy épület hűtésére nagyon sok megoldás létezik. Manapság három féle rendszert tekinthetünk a legelterjedtebbnek. Ezek a mono- és multisplit légkondicionálók, a fan-coil és a mennyezet- és falhűtési rendszerek. Ezért jelen cikkben ezen három rendszert tervezését végeztük el, és hasonlítottuk össze. Az összehasonlíthatóság miatt törekedtünk egy gyártótól válogatni a termékeket. Néhány mondatban összefoglalnánk a 3 vizsgált rendszert.

Az első megoldás a multisplit rendszer volt. A „split” szó, maga „osztottat” jelent és azt fejezi, hogy a hűtőgépek 4 fő részegysége (kompresszor, elpárologtató, kondenzátor és az expanziós szelep) két részre osztva jelenik meg. Pontosan ilyen berendezések a monosplittek. Ezek tovább fejlesztett változata a multisplit, amikor egy kültéri egységhez (itt található a

kompresszor, kondenzátor, és az expanziós szerkezet) több beltéri egység (itt van az elpárologtató) is tartozik. A vizsgált rendszert a Haier cég inverteres termékeivel oldottuk meg. (beltéri: AS09QS1ERA, kültéri: 4U25HS1ERA). Ezen készülékek energiahatékonysági mutatója (EER) 3,42 [-], míg teljesítmény tényezője (COP), 3,92 [-]. Az épületet blokkokra bontottuk és így 4 kültéri egységgel és 16 beltéri egységgel sikerült megoldani. Ennek a megoldásnak a bekerülési ára a forgalmazó árajánlata alapján 4.089.500 [HUF]

A második megoldás a fan-coil készülékekkel történő hűtés volt. Ez egy központi hidegenergia előállítóval működő közvetítőközegezes hűtési rendszer, melyet irodaépületekben előszeretettel alkalmaznak. A hűtési igényeket a helyiségekben a CIAT cég, Major Line 202A készülékei jelentik, összesen 15 darab került betervezésre. A hidegenergia előállításáról ugyanazon cég Aquaciat 2 Evolution elnevezésű, 120V LD típusú folyadékűtője gondoskodik. Ennek energiahatékonysági mutatója (EER) 3,42 [-], míg teljesítmény tényezője (COP), 3,92 [-]. Beruházási költsége a teljes rendszernek 10.343.121 [HUF]

A harmadik megvizsgált megoldás a mennyezethűtés. Kutatások kimutatták, hogy az emberi komfort szempontjából ezen megoldás a legjobb. A fan-coilos hűtési rendszerekkel szemben magasabb víz hőmérsékletet és komolyabb automatikát igényel (a mennyezet felületi hőmérséklete nem csökkenhet harmatponti hőmérséklet alá). A tervezés során az összehasonlíthatóság miatt törekedtünk rá, hogy minél inkább hasonlítson a rendszer kialakítása a fan-coilos rendszerére. A megvalósításhoz a szükséges folyadékűtő méret egyel kisebb, mint a fan-coilos rendszer esetén, azaz Aquaciat 2 Evolution 100V LD. Ennek oka, hogy ezen rendszereknél nem kell előállítani a fan-coil-os rendszereknél meglévő látens hőt. Ezen különbségek ilyen teljesítmények esetén összeadódva adtak lehetőséget kisebb készülék választására. Ezen készülék energiahatékonysági mutatója (EER) 3,12 [-], míg teljesítmény tényezője (COP), 3,92 [-]. Beruházási költsége a teljes rendszernek 8.543.060 [HUF]

4. A VIZSGÁLT RENDSZEREK MEGTÉRÜLÉSÉNEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

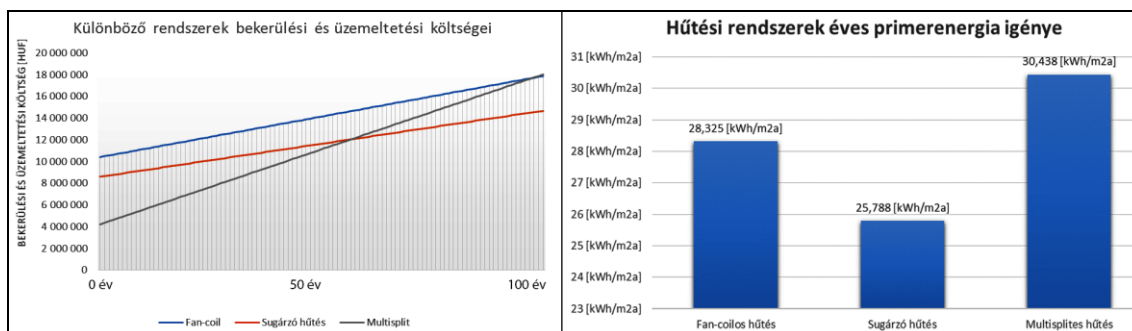
Egy hűtési rendszer anyagi vonzatai sokkal inkább fontosabbak a végfelhasználók számára, mint az energetikai szempontok. Ezen okból kifolyólag hasonlítottuk össze a tervezett hűtési rendszereket bekerülési és üzemeltetési költségeit. A rendszerek üzemeltetési költségeként a bennük szereplő berendezések által felvett elektromos teljesítmény igényt vettem figyelembe. A rendszer bekerülési árának megállapításakor figyelembe vett nettó és bruttó árak megállapításához a CLH Kft. által készített árajánlatot és a termékek hivatalos árkatalógusából kivett értékeket használtuk. A bekerülési árak meghatározásakor a cikk írásakor aktuális, 1 [EUR] = 314 [HUF]-os árfolyammal és 27 [%]-os ÁFÁ-val számoltunk, míg az üzemeltetési költségeknél 1 [kWh] = 35,33 [HUF]-os energia árfolyamot alkalmaztunk, mely értékről az E.ON hivatalos magyarországi honlapjáról tájékozódunk. A szükséges munkaórák számát egységesen 185 [h] órára vettük. Ennek az az oka, hogy a hivatal 18,5 órát tart nyitva egy héten, és vizsgálataimat 10 hetes időszakra végeztem el. A hűtött helyiségek belső hőterhelését (23,152 [kW]) figyelembe véve a gépi hűtés éves nettó energiaigénye 4283,12 [kWh/év]-re adódott, így az összehasonlítás során is ezeket az adatokat használtam fel. Eredményeinket a 3. ábra szemlélteti.

Mint az az ábrán jól látszik, a három hűtési megoldás közül a legkevesebb ráfordítással megvalósítható rendszer a multisplites rendszer, melynek kiépítéséhez 4.089.500 [Ft]-ra lenne szükség és éves üzemeltetési költsége 139.414 [Ft]. Éves üzemeltetési költség tekintetében ez a megoldás rendelkezik a legmagasabb értékkel, melyet az egyenes szakasz meredeksége jelöl.

Bekerülési ár szempontjából a második helyet a sugárzó hűtés foglalja el a maga 8.543.060

[Ft]-os értékével. Ennek a rendszernek az éves üzemeltetési költsége a legalacsonyabb, szám szerint 61.374 [Ft]. Jól megfigyelhető, hogy az üzemeltetési költség kevesebb, mint a multisplites rendszerének a fele. Ennek ellenére 58 [év] szükséges ahhoz, hogy gazdaságosabb legyen a multisplites rendszerhez képest.

A harmadik vizsgált rendszer a „fan-coil”-os rendszer, melynek a bekerülési ára a legmagasabb lett, 10.343.121 [Ft], ennek éves üzemeltetési költsége 75.325 [Ft], mely kevéssel több a sugárzó hűtéses rendszerétől. A multisplites rendszerrel összehasonlítva a költségeit, majdnem száz év szükséges ahhoz, hogy olcsóbb legyen ezt a rendszert alkalmazni. Bekerülési ára és üzemeltetési költsége még, a sugárzó hűtéssel szemben sem jobb.



3. ábra. A három hűtési rendszer megtérülési ideje, és primer energia igénye

5. A VIZSGÁLT RENDSZEREK ENERGETIKAI ÖSSZEHASONLÍTÁSA

A hűtési primerenergia igények meghatározását a 7/2006 TNM rendeletben (és módosításaiban) leírtak szerint határoztuk meg. Az eredményeket a 3. ábra tartalmazza.

Az ábrából jól leolvasható, hogy a három rendszer közül a legenergiahatékonyabbnak a sugárzó hűtés bizonyult. Ez az eredmény a folyadékűtő 3,12-es EER számának köszönhető, mivel a végeredmény meghatározásánál szükség van a teljesítménytényező (C_k) értékére is, ami az EER szám reciproka. Ebből kifolyólag minél magasabb egy hűtőberendezés EER száma, annál energiahatékonyabbnak tekinthető.

Energiahatékonyság szempontjából legrosszabbnak a multisplites rendszer bizonyult, ugyanis hiába bizonyultak a rendszerben elhelyezett kültéri egységek külön – külön energiahatékonyabbnak a maguk 3,93 – 3,62 – 3,40-es EER értékekkel, a rendszer egészét tekintve mégis gyengébben szerepelt a „fan-coil”-os és sugárzó hűtéses megoldásokkal szemben.

A továbbiakban megvizsgáltuk, hogy ennek milyen hatása van az épület energetikai osztályba sorolására. Annak érdekében, hogy egyértelműen kitűnjön a különbség, a többi épületgépészeti rendszert azonosnak vettük fel. Az eredményeket az 1. táblázat tartalmazza.

	Fan-coil hűtési rendszer	Mennyezethűtési rendszer	Multisplit hűtési rendszer
Épület fajlagos primer energiaigénye	150,5 [kWh/(m ² ·év)]	147,9 [kWh/(m ² ·év)]	152,6 [kWh/(m ² ·év)]
Követelmény érték	201,6 [kWh/(m ² ·év)]	201,6 [kWh/(m ² ·év)]	201,6 [kWh/(m ² ·év)]
Eltérés	74,6 [%]	73,4 [%]	75,7 [%]

Besorolás	A	A	B
-----------	---	---	---

1. táblázat. Az épület energetikai osztálya az eltérő hűtési rendszereknél

A teljes épület energetikai vizsgálatánál láthatóvá vált, hogy a három hűtési rendszer esetén a különbségek nem számottevőek, közel azonosnak mondhatóak. Fontos megjegyezni azt is, hogy a számítás végeredményét nagymértékben befolyásolja az alkalmazott hűtőgép energiahatékonysága. Esetemben azonban éppen egy osztállyal rosszabb, „B” kategóriás besorolást kapott a multisplites rendszer, míg a másik két rendszerrel hűtött épület esetén ez az érték „A” kategóriás értékre adódott.

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk egy konkrét épület esetében bemutatta, hogy három megfelelően tervezett hűtési rendszer esetében, hogyan befolyásolja a költségeket és az energia igényeket. Az épület energetikai besorolásában elenyésző hatása van (2,3 [%] a legjobb és legrosszabb eset között). A hűtési primer energiaigényben már számottevőbb az eltérés. Itt az energiaigény szempontjából legnagyobb (multisplit) és a legkisebb (sugárzó hűtés) között már 4,65 [kWh/(m²év)] a különbség. Ez az eltérést költségekben is megjelenik és kb. 64 ezer forintot jelent éves szinten. Ez egy nagyobb épület/rendszerek esetén ez a költség még nagyobb lehet.

Érdekes volt megvizsgálni a multiplites rendszerhez képesti megtérülést. Azt a meglepő eredményt adta, hogy jelen esetben, figyelembe véve ezen rendszerek szokásos élettartalmát (kb. 25 év) nem térülnek meg az energiahatékonyabb megoldások. Ez egyértelműen a rendszer méretére vezethető vissza, vagyis arra, hogy a közvetlen hűtési rendszerek alacsony teljesítménytartományban versenyképesek a jobb energiahatékonyágú folyadékűtős rendszerekkel.

A későbbiekben a vizsgálatot nagyobb és másfajta rendszerek esetén is el kell végezni.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **DR. JAKAB Z.:** *Kompresszoros hűtés I.*, Magyar Mediprint Szakkiadó, 2000, ISBN 963-87262-1-0
- [2] **BAUMANN M., DR. CSOKNYAI T., DR. KALMÁR F.:** *Épületenergetika segédlet*, Pécs: PTE Pollack Mihály Műszaki Kar, 2009. ISBN 978-963-7298-31-8
- [3] **BABIAK, J., OLESEN, B.W., PETRAS, D.:** *Alacsony hőmérsékletű fűtés, magas hőmérsékletű hűtés*, REHVA, 2007, ISBN 978-963-88254-0-7
- [4] 7/2006 TNM rendelet
- [5] 20/2014 BM rendelet

GÁTAK HIDRAULIKAI ÉS ÁLLÉKONYSÁGI MODELLEZÉSE A GMS SZOFTVER SEGÍTSÉGÉVEL

DAMS HYDRAULIC AND STABILITY MODELING WITH THE GMS SOFTWARE

NYIRI Gábor¹, ZÁKÁNYI Balázs²

¹környezetvédelmi megbízott, és vízgazdálkodási ügyintéző, hgzb@uni-miskolc.hu
¹Északmagyarországi Regionális Vízművek ZRt. Technológiai, és Környezetvédelmi Osztály

²adjunktus
²Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, hgzb@uni-miskolc.hu

Kivonat: Az elmúlt évek hidrológiai viszonyait figyelembe véve, és ezen viszonyok hatásait látva megállapíthatjuk, hogy hazánknak kiemelt vízügyi tevékenysége az árvízvédelem, melynek fontossága megkérdőjelezhetetlen. A 2010-es árvíz ösztönzött minket arra, hogy munkánk során árvízvédelemmel foglalkozzunk.

Tanulmányunkban három árvízvédelmi töltést, és két völgyzárógátat vizsgáltunk, az altalaj-adottságaikkal együttvéve. A vizsgálatok kiterjednek mind a szivárgási viszonyok, mind pedig a rézsűállékonyság modellezésére. A szivárgási modelleket a Groundwater Modeling System 10. szoftver SEEP2D moduljával végeztük, mely egy végéselemes módszert alkalmazó szoftver. A rézsűállékonysági vizsgálatokhoz a GMS UTEXAS modulját, használtuk fel. A rézsűállékonysági vizsgálatokat elvégeztük száraz állapotra, illetve vizsgáltuk a pórusvíznyomás hatását a töltések állékonyságára.

A modellezési eljárások rendkívül látványos, és egyszerű módjai az árvízvédelmi töltések szivárgási, és rézsűállékonysági vizsgálatának, melyek nagy segítséget nyújtanak az árvízvédelmi szakemberek számára.

Kulcsszavak: gát, hidraulikai modellezés, állékonyság vizsgálat

Abstract: Observing the past years' hydrology conditions we can state that flood protection is a priority task in Hungary's water management and its importance cannot be questioned. As a habitant of Sajólad, the floods of 2010 motivated me to immerse in flood protection.

Our work examines three flood control embankment and two dams including their subsoil characteristics. The examinations also contain the modeling of the slope stability and seepage conditions. The seepage models were created with Groundwater Modeling System 10. software's SEEP2D module which uses the finite element method. For the slope stability examinations we have used the Groundwater Modeling System UTEXAS module. The slope stability measurements were done on dry state however we also examined the effects of the pore water pressure to the embankments' stability.

The modeling methods are excessively spectacular and simple methods of the flood control embankments seepage and the slope stability examinations, which provide a great help for the flood protection professionals.

Keywords: dam, hydraulic modeling, slope stability test

1. BEVEZETÉS

Az elmúlt évek áradásait figyelembe véve megállapíthatjuk, hogy hazánknak kiemelt vízügyi tevékenysége az árvízvédelem, melynek fontossága megkérdőjelezhetetlen. Ha csak az elmúlt pár évet nézzük, öt éven belül két nagy árvíz is jelentkezett az országban.

2010-ben a Sajó, a Hernád, és a Bódva is jelentős károkat okozott az érintett településeken, ezzel indokoltá téve a folyók melletti védvonalak felülvizsgálatát, illetve kialakítását. Ebben az időszakban sajóladai lakosokként részt vettünk a védekezési munkálatokban is, mely érdeklődésünket az árvízvédelem felé irányította. 2013-ban a Duna vízszintje ért el

rekordokat, hatalmas készültséget, és károkat okozva ezzel. Sajnos a jövőben is az árvízszintek növekedésével kell számolnunk [1]. Ezen kívül figyelembe kell vennünk, hogy a természeti körülmények változnak, az emberi tevékenységek befolyásolják a folyók, és azok környezetét [2]. Ezen okok miatt megállapíthatjuk, hogy az árvízi védekezés egy véget nem érő feladat, mely újabb és újabb megoldandó problémákat ró a vízügyi szakemberekre.

Munkánk során az árvízvédelmi töltések, és azok általajának szivárgáshidraulikai viszonyait vizsgáltuk, melyek kiegészülnek állékonyságvizsgálatokkal is. Úgy gondoljuk, hogy megfelelő paraméterek ismeretében, ezen töltések szivárgási, és állékonysági problémái jól modellezhetők, mely modellek rendkívül nagy segítséget nyújtanak a már meglévő töltések biztonságának meghatározásában, illetve a tervezési feladatok elvégzésében.

2. AZ ÁRVÍZVÉDELMI TÖLTÉSEK IGÉNYBEVÉTELEI, ÉS ELLENÁLLÁSAI

Hazánk árvízvédelmi töltéseinek döntő része földgát. Ezen gátak szerkezetéből adódóan több olyan hatás éri, mely a töltések tönkremenetelét igyekeznek elősegíteni [3]. Az árvízi jelenségeket a gátra ható igénybevételek és ellenállások határozzák meg.

A gátra ható főbb terhek:

- vízteher,
- önsúly,
- hullámteher,
- jégteher,
- járműteher.

A gát tönkremenetelét akadályozó hatások:

- önsúly,
- talajfizikai, szivárgási jellemzők:
 - súrlódási erő,
 - kohéziós erő,
 - szivárgási jellemzők,
- víznyomás (ellennyomó medencék).

Ezen hatások, és ellenhatások ismeretében árvízi időszakban vizsgálni kell a töltéseket, hiszen bizonyos jelenségek segítenek a tönkremenetel megelőzésében. Az árvízi időszakban végzett vizsgálatoknak a következő igénybevételek hatásait kell tisztáznunk:

- külső víznyomás,
- árvízi terhelés tartóssága,
- esetleges dinamikus terhelések,
- töltésben kialakuló nyomásviszonyok,
- általajban kialakuló felhajtóerők.

A gát ellenállását meghatározza:

- a talajnak a vízfelvétel mértékétől függő ellenállása, a belső súrlódási szögből és a kohézióból származó nyírószilárdsága,
- erózióval szembeni viselkedése,
- vízáteresztő képessége.

Az árvíz alatti töltésállapot vizsgálatoknak a következő jelenségek tanulmányozására kell irányulnia:

A töltéstestet terhelő külső víznyomás hatására létrejövő:

- áztatásra,
- rétegszivárgásra,
- talpszivárgásra,

- csurgásra,
- duzzadásra, zsugorodásra, repedésre,
- rézsúhámlásra, rézsúcsúszásra,
- erózióra, töltésteget folyósodásra.
- Az altalajszivárgás hatásaként létrejövő jelenségekre:
- fakadóvízre,
- mentett oldali talajréteg felpuhulásra,
- buzgárokra,
- esetleges talajtörések kialakulására [4].

3. A GÁTTESTEN ÁTSZIVÁRGÓ HOZAM SZÁMÍTÁSA MODELLEZÉSSSEL

A gáttesten átszivárgó vízhozamot kétféleképpen határozhatjuk meg: analitikus, illetve numerikus módon.

Analitikus számítással csak úgy oldhatjuk meg az egyenletrendszert, hogy valamely paramétert a teljes rendszerben állandónak veszünk, és kihasználjuk valamely speciális tulajdonságát. Az analitikai megoldások jellemzője, hogy egy egzakt képlettel, formulával meghatározható az eredmény. Az analitikus megoldások hátránya az, hogy egy homogén gáttestre pontos megoldást adnak, viszont kismértékű inhomogenitás esetén az eredmény vagy pontatlan, vagy pedig megoldása nagyon nehézkes, hosszadalmas [5].

A numerikus módszerek ezzel szemben közelítő megoldások. Lehetővé teszik, hogy a képződményjellemzők tér és időbeli változásait figyelembe vegyük a megoldásoknál. A numerikus megoldások általában egy egyenlet-rendszer vagy mátrix-egyenlet iteratív megoldására vezetnek vissza a vizsgált problémát. A megoldás nemcsak közelítő, hanem numerikus hibákkal is terhelt. A szivárgás alapegyenletének legismertebb numerikus megoldásai a véges differencia módszerrel és a véges elem módszerrel való megoldás [6]. A modellezési vizsgálatainknál, mi az utóbbit alkalmaztuk.

4. AZ ALKALMAZOTT SZOFTVEREK

Groundwater Modelling System (GMS) 10-es program

A modellezés során a GMS 10-es program SEEP2D modulját használtuk a szivárgási modellek elkészítéséhez. Rézsúk esetében fontos szerepet játszanak a különböző víznyomás szintek a rézsúk - jelen esetben árvízvédelmi töltések, és a völgyzárógátak - állékonyságában. Ez a modul alkalmas arra, hogy ezeket a nyomásszinteket, áramlási vonalakat, valamint az áramlási sebesség viszonyait modellezze a gáttest belsejében, illetve az altalajban is.

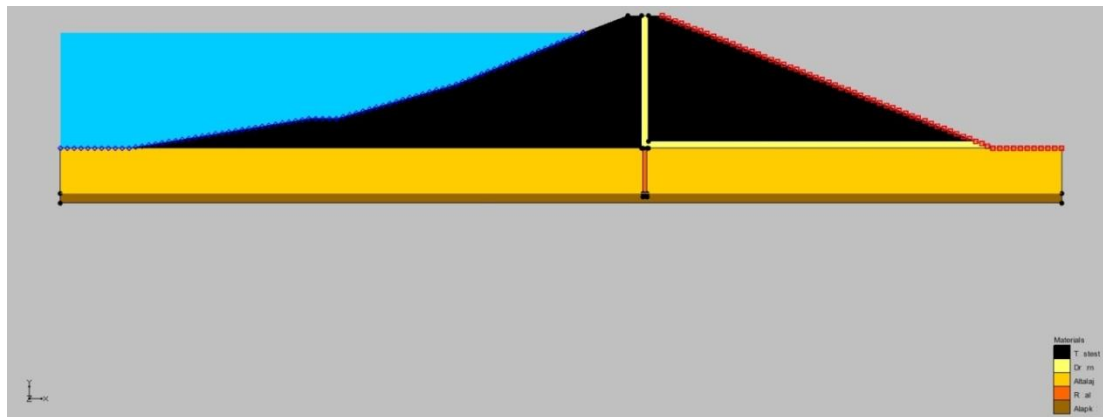
A rézsúállékonyság vizsgálatához, az UTEXAS modult használtuk, mely kiszámítja a kritikus csúszólapot, és a hozzá tartozó biztonsági tényezőt is.

Soilvision programcsomag

Rézsúállékonysági modelleinket a Soilvision SVSlope moduljával is elvégeztük. A Soilvision programcsomag egy geotechnikai hidrogeológiai modellezési program, a felszín alatti földtani folyamatok modellezéséhez. A csomag képes 1D, 2D, 3D eseteket, telítetlen, és telített állapotot, is modellezni. A csomag gerince egy rézsúállékonysági modul, melyhez csatlakoztathatók más modulok hatásai is. Az SVOoffice alkalmas felszín alatti vizek áramlási viszonyainak modellezésére, rézsúállékonysági vizsgálatokra. Az SV Office a következő hat csomagot tartalmazza: SVSlope, SVFlux, SVHeat, Chemflux, SVSolid, SVAirflow (*soilvision.com*). A program lamellás állékonyságvizsgálati módszereket alkalmaz (Bishop, Spencer, Janbu, Morgenster-Price).

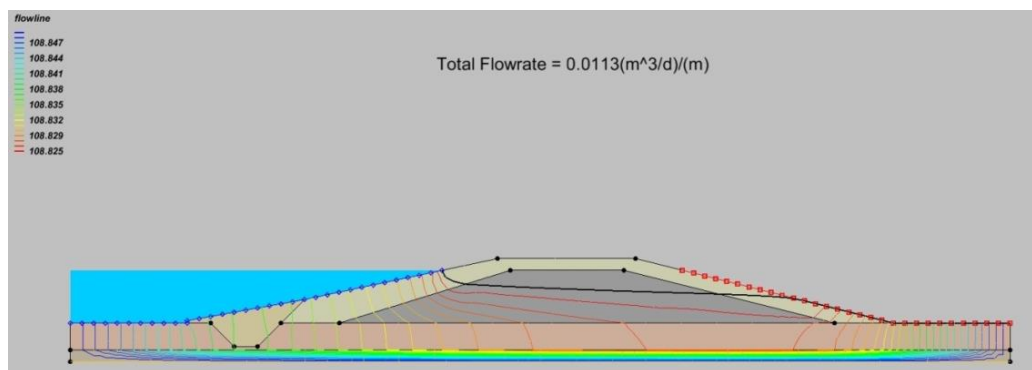
5. A MODELLEZÉS EREDMÉNYEI

A modellezések során vizsgálataink a szivárgási modellekre, és a rézsúállékonysági problémákra terjedt ki. Vizsgálatainkat három árvízvédelmi töltésre (Révleányvár, Cigánd, Halászhonok), a lázberci (1. ábra), valamint a rakacai víztározó gátjára végeztük el.



1. ábra. A lázberci völgyzárógát keresztmetszete

A GMS 10-es program segítségével a gátak, és azok általajának hidraulikai modellezése könnyen kivitelezhető (2. ábra), valamint lehetőségünk van a vízáramlás figyelembe vételével rézsúállékonysági vizsgálatot is végezni. A program kiszámítja a gátban lévő sebesség, és pórusvíznyomás értékeket, és a fajlagos hozamot, melyekből ábrákat készíthetve a számított értékek vizualizációja könnyen megvalósítható.



2. ábra. Áramvonalak a cigándi töltésben

A fajlagos vízhozam megállapításánál a program egy méter hosszú töltésszakaszra vonatkozó hozamot számít. A sebességértékek felhasználásával kiszámítottuk, hogy a szabad felszínű szivárgás szempontjából a vizsgált töltés biztonságos-e. Mindegyik töltésnél a mértékadó árvízszintet vettük alapul, mely a töltéskoronától lefele számított egy méternél van, a víztározók gátjánál pedig a maximális üzemvízszintet vettük figyelembe.

A Soilvision program SVSlope csomagját, és a GMS UTEXAS modulját használva rézsúállékonysági vizsgálatokat végeztünk, melynek egyik célja a két program összehasonlítása volt. Az SVSlope modullal három féle állapotot vizsgáltuk. Az egyik esetben egy száraz állapot modellezését végeztük (1. táblázat), a másik esetben pedig a GMS által számított pórusvíznyomás értékeket tápláltuk be a Slope modulba diszkrét pontokként (2. táblázat), és így vettük figyelembe a víznyomást. A víz hatását úgy is figyelembe tudjuk venni, hogy a GMS által számított legfelső áramlási vonalat átvisszük az SVSlope modulba,

és mint vízszintet adtuk meg (3. táblázat). A különböző esetek eredményeinek összehasonlítását is elvégeztük.

Soilvision által számított biztonsági tényezők, száraz állapotra					
	Cigánd	Révleányvár	Halászhomok	Lázbérc	Rakaca
Bishop	4,095	2,573	3,746	1,739	2,818
Janbu	3,879	2,482	3,413	1,623	2,666
Spencer	4,104	2,575	3,747	1,756	2,829
Morgenstern- Price	4,113	2,574	3,749	1,759	2,883

1. táblázat. Biztonsági tényezők száraz állapotra

Soilvision által számított biztonsági tényezők, pórusvíznyomás figyelembevételével					
	Cigánd	Révleányvár	Halászhomok	Lázbérc	Rakaca
Bishop	2,851	2,11	2,737	1,578	2,509
Janbu	2,698	2,084	2,596	1,42	2,29
Spencer	2,858	2,111	2,739	1,595	2,508
Morgenstern- Price	2,865	2,11	2,74	1,597	2,517

2. táblázat. Biztonsági tényezők a pórusvíznyomás figyelembevételével

Soilvision által számított biztonsági tényező értékek vízszint megadásával					
	Cigánd	Révleányvár	Halászhomok	Lázbérc	Rakaca
Bishop	3,3	2,21	3,185	1,578	2,795
Janbu (egyszerűsített)	3,126	2,166	2,99	1,426	2,619
Spencer	3,305	2,212	3,186	1,595	2,79
Morgenstern- Price	3,312	2,211	3,188	1,595	2,805

3. táblázat. A szivárgási felület figyelembevételével számított biztonsági tényezők

A GMS UTEXAS modulja a SEEP2D modul által számított víznyomás értékeket, és áramlási viszonyokat is figyelembe veszi, és így számítja ki Spencer módszerrel a kritikus csúszólapot, és a hozzá tartozó biztonsági tényezőt (4. táblázat). Az állékonyságvizsgálatok mindegyike lamellás módszerrel történt, több számítási metódust követve. Kiszámításra került a biztonsági tényező, és a kritikus csúszólap helye Bishop, Spencer, Janbu, és Morgenstern-Price módszerrel, melyek mindegyike kör csúszólapot feltételez. A vizsgálatok mindegyike, egy időben állandó (steady state) állapotot vizsgál.

A GMS, és a Soilvision program összehasonlítása			
	GMS	Soilvision	Biztonsági tényező változás (%)
Cigánd	2,971	2,555	16,28
Révleányvár	1,943	2,111	7,96
Halászhomok	2,815	2,738	2,81
Lázbérc	1,561	1,595	2,13
Rakaca	2,679	2,508	6,82
Átlag			7,20

4. táblázat. A GMS, és a Soilvision által adott biztonsági tényező értékek összehasonlítása

6. A MODELLEZÉSI EREDMÉNYEK ÖSSZEGZÉSE, JÖVŐBELI TERVEK

A modellezés során három Tisza menti töltés, a lázbérci, és a rakacai víztározó völgyzárógátjának szivárgási viszonyait vizsgáltuk, állékonyságvizsgálatokkal kiegészítve, figyelembe véve az altalaj adottságait is. Vizsgálatunk során a töltések esetében a mértékadó árvízhez, a lázbérci tározó esetében a maximális üzemvízszinthez viszonyítottunk. Modellezésünk során egy időben állandó, úgynevezett steady state folyamatot feltételeztünk, mely azt jelenti, hogy a vízállás viszonylag tartós, és nincs vízszintingadozás.

Az árvízvédelmi töltések geometriájára jellemző a szerkezetesség, a töltés anyagainak adatait részben átvettük, részben műszaki irányelvől származtattuk. A völgyzárógátak esetében a jellemző keresztmetszetben megtaláljuk azokat a szerkezeti elemeket, melyek a szivárgás koordinálására lettek beépítve. Az árvízvédelmi töltések esetében megfigyelhető volt, hogy az áramlási vonalak helyzete nagymértékben függ az altalaj adottságaitól: a vastagságtól, és a szivárgási tényezőtől. Az ország nagy részén a folyószabályozások miatt, a gyors áramlást biztosító kavics, illetve homok teraszok, gyakran a töltés altalajainak részei, ezzel gyengítve a vízzáró képességet. A völgyzárógátaknál jól kirajzolódott a különböző szerkezeti elemek hatása. A szivárgási modelleket több esetre is elvégeztük. A rácsháló sűrűségének, és a töltésláb szélességének hatását is vizsgáltuk, melynek eredményeképpen megállapítható ezeknek a feltételeknek fontossága. Mindkét esetben megfigyelhető a fajlagos hozam változása, illetve az áramvonalak pontosságának növekedése.

A rézsúállékonyság vizsgálatánál két programot használtunk, a Groundwater Modeling System 10-es verziójának UTEXAS modulját, és a Soilvision SVSlope modulját. A vizsgálatokat több rézsúállékonysági vizsgálati módszerrel is elvégeztük. Két esetet vizsgáltunk, egy telítetlen, állapotot, és egy olyan állapotot, melyben a víz hatását is figyelembe vesszük. Alkalmunk volt a két program összehasonlítására is, mind eredmények, mind pedig felhasználás tekintetében. Megállapítható, hogy a víz hatásának figyelembevétele rendkívül nagy jelentőséggel bír, hiszen a pórúsvíznyomás figyelembe vételével átlagosan 25,1 %-os eltérést tapasztaltunk a biztonsági tényezők esetében.

Összegzésként elmondható, hogy a modellezési eljárásokkal rendkívül szemléletes eredményeket kapunk, melyek nagy segítséget nyújthatnak a vízügyi szakemberek számára. Mivel az árvízvédelmi munkálatok folyamatosságot követelnek, így ezen gyors módszerek rendkívül jól mutatják az esetleges meghibásodásokat, és a katasztrófák súlyossága enyhíthető, vagy elkerülhető. Jövőbeli terveink között szerepel az árvízvédelmi töltések további vizsgálata, különös tekintettel az anyag típusok paramétereinek megállapítására, és a szivás állékonyságnövelő hatásának vizsgálatára. Fontos lenne a vízdoldali rézsú állékonyságát is vizsgálni, valamint fontos eredményekre vezetne, az árvízszint hirtelen csökkenésének, illetve időbeli változásának hatása is.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **SZUCS P; MADARASZ T.:** *Hydrogeology in the Carpathian basin – how to proceed?* European Geologist, No. 35, May 2013, ISSN: 1028-267X, pp. 17-20
- [2] **IMRE E.:** *Az árvízvédelmi gátakban lejátszódó vízáramlás modellezése*, Hidrológiai közlöny, 89. évf. 2. szám (2009. március-április)
- [3] **KERTÉSZ-KÁLDOSI ZS.:** *Fenntartható fejlődés a Tisza-völgy térségében*, a Vásárhelyi Terv Továbbfejlesztése program, VIII. Környezettudományi Tanácskozás, Győr 2008.
- [4] **MSZ 15921-1999** *Árvízvédelmi gátak vizsgálata árvíz idején*

- [5] **VÖLGYESI I.:** *Árvédelmi töltések szivárgáshidraulikai modellezése.* Hidrológiai Közlöny, 88. évf. 1. szám (2008. január-február)
- [6] **P. SZUCS, T. MADARASZ:** *Complex hydrogeological modeling of multifunctional artificial recharge options of the Great-Forest Park in Debrecen, Hungary.* Water Pollution VIII, Modelling, Monitoring and Management. Editors: C.A. Brebbia and J.S. Antunes do Carmo WIT Press, 2006, pp. 177-184., ISBN: 1-84564-042

A RÉGI ÉS ÚJ ÓZDI SZENNYVÍZTISZTÍTÓ TELEP ÖSSZEHASONLÍTÁSA

THE COMPARISON OF THE NEW, AND THE OLD – TIME WASTE WATER TREATMENT PLANT OF ÓZD

NYIRI Gábor¹, ZÁKÁNYI Balázs²

¹környezetvédelmi megbízott, és vízgazdálkodási ügyintéző, hgzb@uni-miskolc.hu

¹Északmagyarországi Regionális Vízművek ZRt. Technológiai, és Környezetvédelmi Osztály

²adjunktus, hgzb@uni-miskolc.hu

²Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet hgzb@uni-miskolc.hu

Kivonat: A 2014-ben induló új európai tervezési időszak, a Horizont 2020 program prioritásai közül többen is megjelenik a vízkészletek védelme. A természeti erőforrások és ökoszisztémák fenntartható kezelése prioritás háttérében az áll, hogy az ökoszisztémák leépülésének üteme Európa szerte túllépi a természet regeneráló képességét, azaz a környezeti erőforrásokat – hangsúlyosan beleértve a vízkészleteket – a fenntartható egyensúlyt meghaladó módon használjuk. Ezen cél elérésének egyik eszköze lehet, hogy a szennyvizek csak megfelelő hatékonyságú kezelés után kerüljenek befogadóba, és mindehhez minél kevesebb vegyszert, energiát használjanak fel. Tanulmányunk ehhez kapcsolódik, melyben az Északmagyarországi Regionális Vízművek ZRt. kezelésében lévő Ózd Városi Szennyvíztisztító Telep intenzifikálási eredményeit hasonlítottuk össze a régi technológia tisztítási eredményeivel.

Kulcsszavak: szennyvíztisztítás, vízminőség, Cyclator technológia

Abstract: The new European planning period, which starts in 2014, the Horizont 2020 program, aims the protection of water resources. In Europe we identified, that the degradation of ecosystems is greater, than the nature's recovery ability, and we use the water resources in an unsustainable way. To protect our water resources, we have to clean the waste water properly, and we have to use less reagent, and energy. Our study connect to this aim. We investigate the waste water plant of Ózd city, which managed by the Északmagyarországi Regionális Vízművek ZRt. We compared the technology of the old – time, and the new waste water plant.

Keywords: waste water treatment, water quality, Cyclator technology

1. BEVEZETÉS

A 2014-ben induló új európai tervezési időszak, a Horizont 2020 program prioritásai közül többen is megjelenik a vízkészletek védelme. A természeti erőforrások és ökoszisztémák fenntartható kezelése prioritás háttérében az áll, hogy az ökoszisztémák leépülésének üteme Európa szerte túllépi a természet regeneráló képességét, azaz a környezeti erőforrásokat – hangsúlyosan beleértve a vízkészleteket – a fenntartható egyensúlyt meghaladó módon használjuk [1]. A vízkészletek védelmének egyik eszköze lehet, hogy a kibocsájtó oldaláról csökkentjük a befogadóba kerülő szennyezőanyagokat. Ehhez kapcsolódik tanulmányunk is, melyben az Északmagyarországi Regionális Vízművek ZRt. kezelésében lévő Ózd Városi Szennyvíztisztító Telep intenzifikálási eredményeit vizsgáljuk. A tanulmányban először bemutatjuk a szennyvíztisztító telep régi állapotát, majd bemutatásra kerül az új, korszerűbb technológia. Az új üzem elmúlt fél éves üzemelési tapasztalatait összehasonlítjuk a régi adatokkal, majd megvizsgáljuk milyen lehetőségek jöhetnek számításba, annak érdekében, hogy a fenntartási költségeiket csökkenteni lehessen.

2. AZ ÓZD VÁROSI SZENNYVÍZTISZTÍTÓ TELEP BEMUTATÁSA

A szennyvíztisztító telep első kiépítési ütemének kiviteli terveit 1960-ban készítette el a Mélyépítési Tervező Vállalat. A telep kivitelezése 1962-1966 között zajlott, próbaüzemeltetésére 1967-68 között került sor. A telep I. ütemének tervezett hidraulikai kapacitása $3.500 \text{ m}^3/\text{nap}$, szerves anyag eltávolítási kapacitása 18.000 LEÉ volt. Már az első ütemben a szennyvíztisztítási technológia mellett megvalósult egy anaerob iszaprohasztó, és a biogáz hasznosítása. A próbaüzem alatt világossá vált, hogy a telep további bővítésére lesz szükség. A II. ütem kiviteli tervei 1969-ben lettek készen, a kivitelezés 1972-ben fejeződött be. A II. fokozatot $5300 \text{ m}^3/\text{nap}$ hidraulikai és 30.000 LEÉ szerves anyag eltávolítási kapacitásra tervezték. A város gyors növekedése, valamint az Ózdi Kohászati Üzemek jelentősen megnövekedett szennyvíz kibocsátása szükségessé tette a telep további fejlesztését. A III. ütem 1979-es megvalósulásával $8.500 \text{ m}^3/\text{nap}$ hidraulikai, és 56.500 LEÉ terhelésre épült ki a telep. A fejlesztés folytatódott, és a IV. ütemmel nyerte el a telep jelenlegi kiépítési kapacitását, mely $11.850 \text{ m}^3/\text{nap}$ hidraulikai és 67.000 LEÉ szerves anyag eltávolítási kapacitást jelentett 1985-re. A IV. ütem végleges befejezése után a telep teljes technológiáját számítógép (VM-990) irányította [2]. A rendszerváltás utáni évek, évtizedek drasztikus vízfogyasztás visszaesést hoztak, melynek következtében az átlagos szennyvízhozam $3000\text{-}3200 \text{ m}^3/\text{d}$ -re csökkent. Az alulterhelés elkerülésére műtárgysorokat állítottak le. A csökkenő gazdasági lehetőségek a karbantartás színvonalának jelentős visszaesését eredményezték, a telep egyre rosszabb műszaki állapotba került. A rendszerváltás utáni években két nagyobb fejlesztés zajlott le a telepen, melyek nem jártak kapacitásváltozással. Az egyik rotoros levegőztető medencét átépítették mélylevegőztető rendszerűvé, és az iszapvonal korszerűsítése is megvalósult egy szűrőszalagos iszapprés beépítésével [3].

A telepre a 2014-es adatok alapján átlagosan $3770 \text{ m}^3/\text{d}$ tisztítandó szennyvíz érkezik. Ennek a mennyiségnek egy része a csatornahálózaton keresztül egy 60/90-es tojás szelvényű főgyűjtőn érkezik gravitációsan, másik része a szippantós autók segítségével jut be a telepre. A csatornahálózat nagymértékű infiltrációval rendelkezik, valamint a csapadékelvezetők is a csatornahálózatra csatlakoznak, ezáltal a bejövő szennyvíz mennyisége akár meg is duplázódhat.

A régi szennyvíztisztító telep mellett 2015-ben kialakításra került az új technológiai sor. Próbaüzeme 2015. szeptember végével zárult. Párhuzamosan 2015 májusáig működtek együtt, majd 2015 májusától a régi telep kizárása szeptemberig zajlott.

A jelenlegi telep kizárólag kommunális szennyvizet tisztít, ami túlnyomórészt gravitációs úton érkezik be, emellett jelentős (átlagosan $66 \text{ m}^3/\text{nap}$, maximálisan $104 \text{ m}^3/\text{nap}$) a tengelyen beszállított szennyvíz mennyisége is.

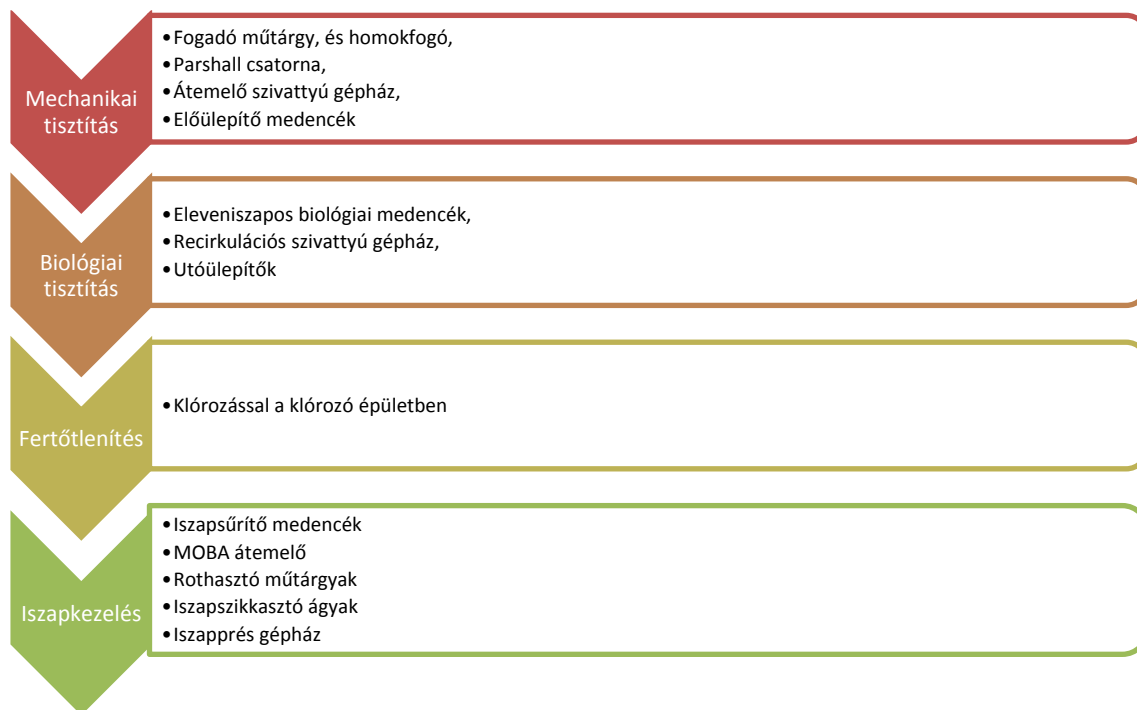
3. A RÉGI ÉS AZ ÚJ TELEP MŰTÁRGYAI

A régi és az új technológiai sor kialakítás közötti szembevetendő különbség a szennyezőanyag eltávolításra szolgáló biológiai reaktorban figyelhetünk meg, melyet az alábbiakban mutatunk be (1., 2. ábra).

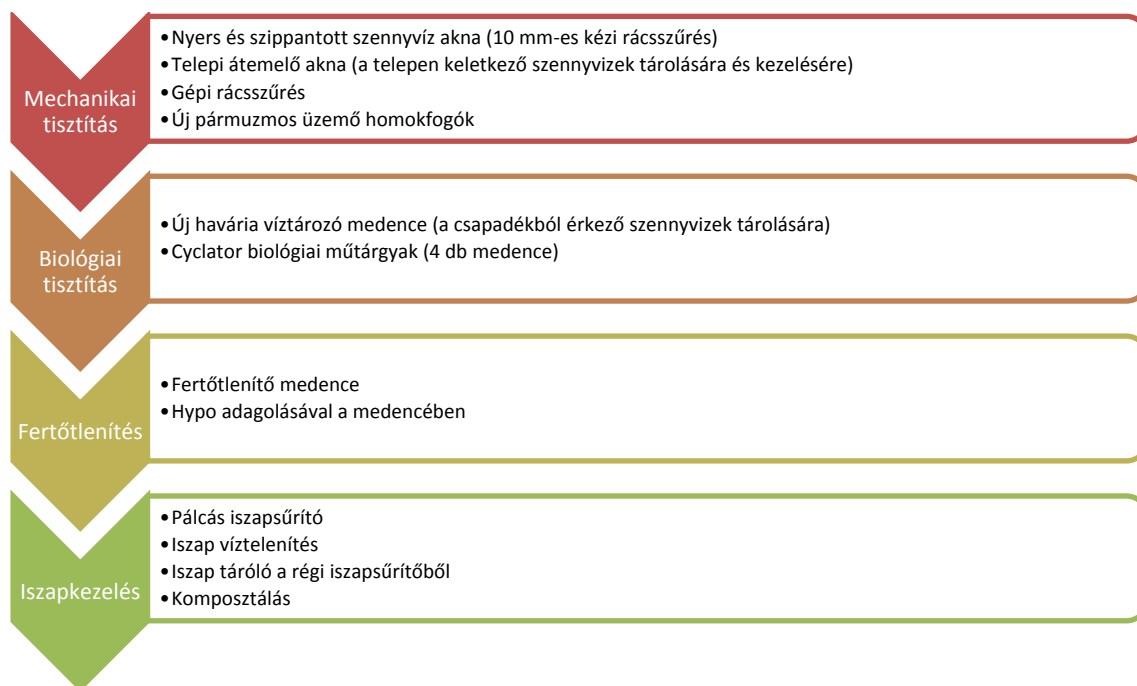
A korszerűsítés utáni technológiai folyamat a következő:

A beérkező nyers szennyvíz a nyersvíz fogadó aknába érkezik, majd egy gépi ráccsal a nagyméretű szilárd szennyeződések leválasztása történik. A gépi rács után a szennyvíz levegőztetett homokfogókra kerül, mely segítségével leválasztásra kerülnek az apróbb szemcseméretű szilárd szennyezők, valamint a felúszó zsír-, illetve olajszármazékok. A mechanikailag tisztított szennyvíz a Cyclator technológiára való egyenletes szétosztását

osztómű segítségével oldják meg, ahol a beépített zsilipek állításával az egyes sorok kiszakaszolhatóak.



1. ábra. A régi szennyvíztelep működésének sematikus ábrája



2. ábra. Az új technológiai folyamat sematikus ábrája

A Cyclator technológia az átfolyásos eleveniszapos technológiát szakaszos üzemben valósítja meg. A négy párhuzamos medence összes hasznos térfogata 12 000 m³ (egy medencerész hasznos térfogata 3 000 m³).

A műtárgyakat egy merülő fal két részre osztja:

Előtisztító zóna: mely a nyers szennyvíz befolyásánál kialakított kis tartózkodási idejű zóna.

Fő reaktor zóna: mely a medence fennmaradó részét képezi.

A medencékben, programozott idő szerint levegőztetési, keverési, ülepitési és dekantálási fázisok követik egymást egy adott cikluson belül. A medenceterekben a különböző levegőztetési és keverési fázisokat úgy programozzuk, hogy az egyes fázisok a medenceterekben egymástól eltolva jelenjenek meg. Egy fázison belül elsődlegesen a nitrifikációs folyamatok lejátszódásához szükséges oxigén mennyiségének a bevétele történik, amelyet az víz - iszap elegy ülepitése követ [4]. Az ülepitést követően történik meg a biológiailag tisztított szennyvíz dekantálása és elvétele, ezzel zárul a ciklus. A dekantálás ideje alatt egy medencerészből a töltési térfogatnak megfelelő mennyiségű tisztított szennyvizet és a befolyó szennyvízből adódó folyamatos ráfolyás mennyiségét vesszük el. A folyamatos hozzáfolyás miatt nincs szükség nyers szennyvíz kiegyenlítő medencére. Így a mennyiségi kiegyenlítés, a biológiai oxidáció, a nitrifikáció, denitrifikáció, foszfor kibocsátás és foszfor felvétel, az utóülepités és az aerob iszapstabilizáció egy medencében hajtható végre. A ciklus hossza 4,8 óra, mely ötször ismétlődik naponta.

Az oxigén bevitel levegőztető elemek segítségével történik, melyeket épületben elhelyezett légfűvők szolgálnak ki. A levegőztető rendszer a medence teljes alapterületét lefedi. Az energia-megtakarításhoz az oldott oxigén mérése szükséges. Beállított érték alapján (0,5 – 2 mg/l) a frekvenciaváltók a fűvők légszállítását automatikusan szabályozzák. A tervezett fűvők közül 4 db üzemi és 1 db meleg tartalék.

A szennyvíztisztítás során keletkező iszap kezelése rendkívül fontos tényező környezetterhelés szempontjából. A régi technológiában iszaprohasztók kerültek kialakításra, és a rohasztó műtárgyakban keletkező biogázt hasznosítani kívánták. Azonban a régi technológiánál ez nem működött jó határfokkal, és ezen okból az iszaprohasztókat nem alkalmazták. Az iszap ily módon préselésre került, majd onnan hulladéklerakóba szállították. Az új technológiánál környezettudatosabb megoldás született, a komposztálók kialakításával. A technológiából kikerülő fölös iszap, egy pálcás iszapsűrítőre kerül, majd onnan jut az iszapprésekre. Az víztelenítés után körülbelül 20% szárazanyag tartalmú iszap keletkezik, mely a csigás kihordó segítségével a komposztáló manipulációs terébe kerül.

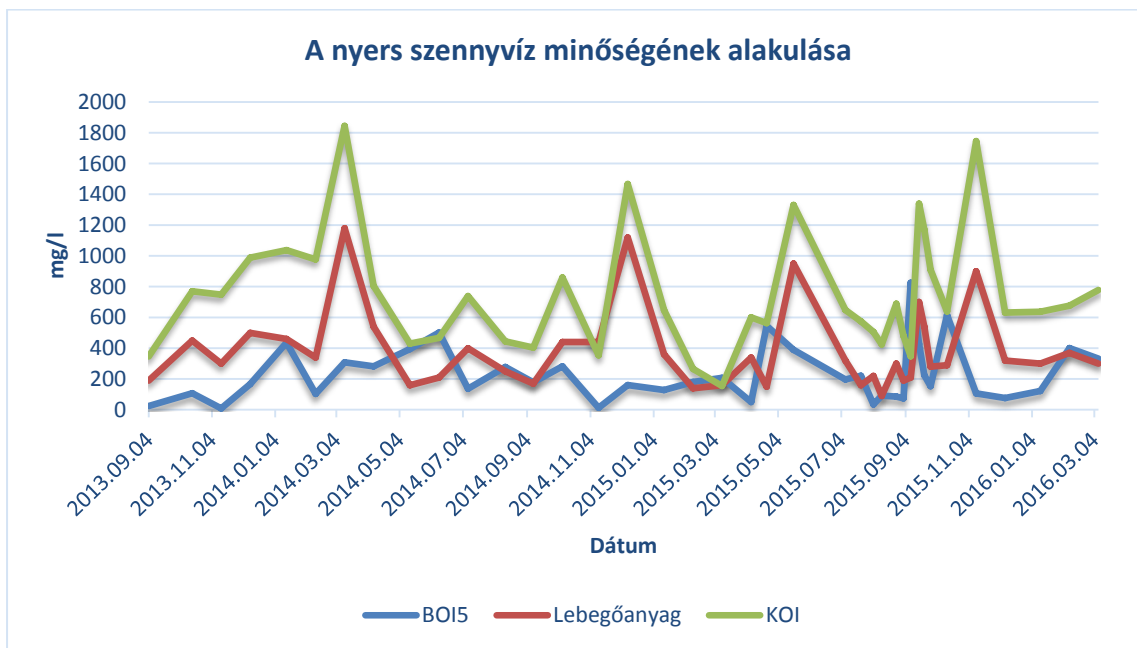
4. VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK

A szennyvíztisztító telep környezetre, illetve felszíni-felszín alatti vizekre gyakorolt hatását több, a telepre vonatkozó adatokból vizsgáltuk meg. Ilyen adatok a tisztított víz vízminőségi paraméterek értékei, valamint a telep villamosenergia-felhasználási adatai. Az ÉRV ZRt. 2013. szeptember 1-től üzemelteti a telepet, ezért vizsgálatunk erre az időszakra vonatkozik. Feldolgoztuk a bejövő nyers szennyvíz, és a tisztított szennyvíz minőségére vonatkozó adatokat. Az adatokból különböző komponensekre vonatkoztatva tisztítási határfokot számoltunk, és ezen adatokat összevetettük a régi és az új technológia vonatkozásában. Vizsgálatunk kiterjedt az energiafelhasználásra is. Fontos tényező ugyanis, hogy adott befektetett energiával milyen eredményeket érünk el, és azokra milyen megbízhatósággal számíthatunk. Az energiafelhasználás csökkentésére javaslatokat tettünk, melyek elősegíthetik a telep energiatakarékos, környezettudatos működését.

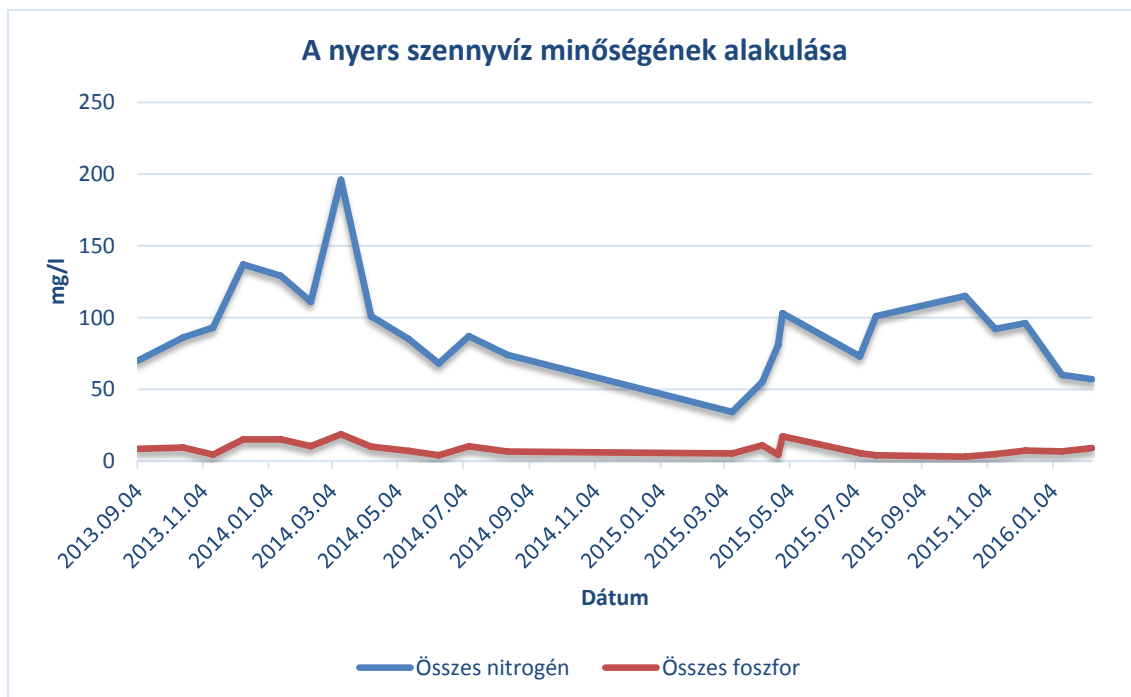
A következőkben ismertetjük a régi, és az új technológia összehasonlítását, a következő vízminőségi adatok vonatkozásában: KOI, BOI₅, pH, ammónium, lebegőanyag, összes foszfor, összes szerves nitrogén. Ezen kívül kitérünk még a keletkezett iszap, rácsszemét, és a homokfogóból származó hulladékok mennyiségére, és kezelésére is.

4.1. Vízhinőségi adatok feldolgozása

Szennyvíztisztító telepeink elsődleges célja, hogy a szennyezőanyagokat minél jobb hatásfokkal távolítsák el a szennyvízből. Ezen eredményeket laborvizsgálatokkal támasztjuk alá. A laborvizsgálati eredményeket az ÉRV ZRt-től kaptuk, melyek a nyers, és a tisztított szennyvízre vonatkoztak. Ezen adatok eredményeit az alábbiakban mutatjuk be.



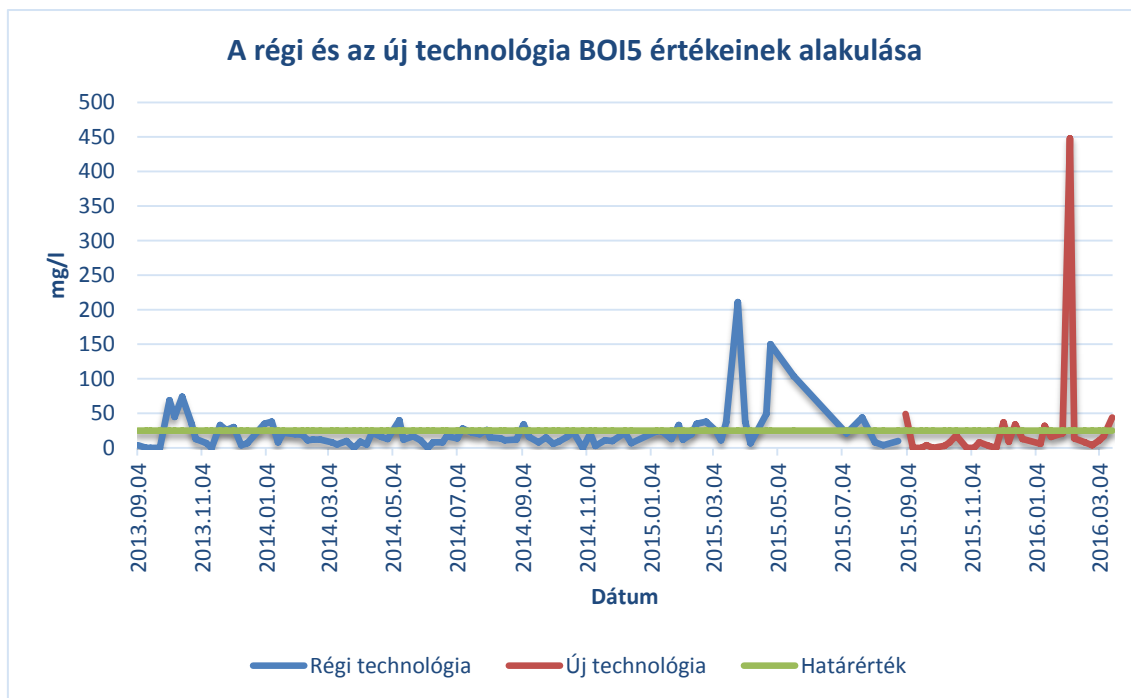
3. ábra. A nyers szennyvíz minőségi paramétereinek változása



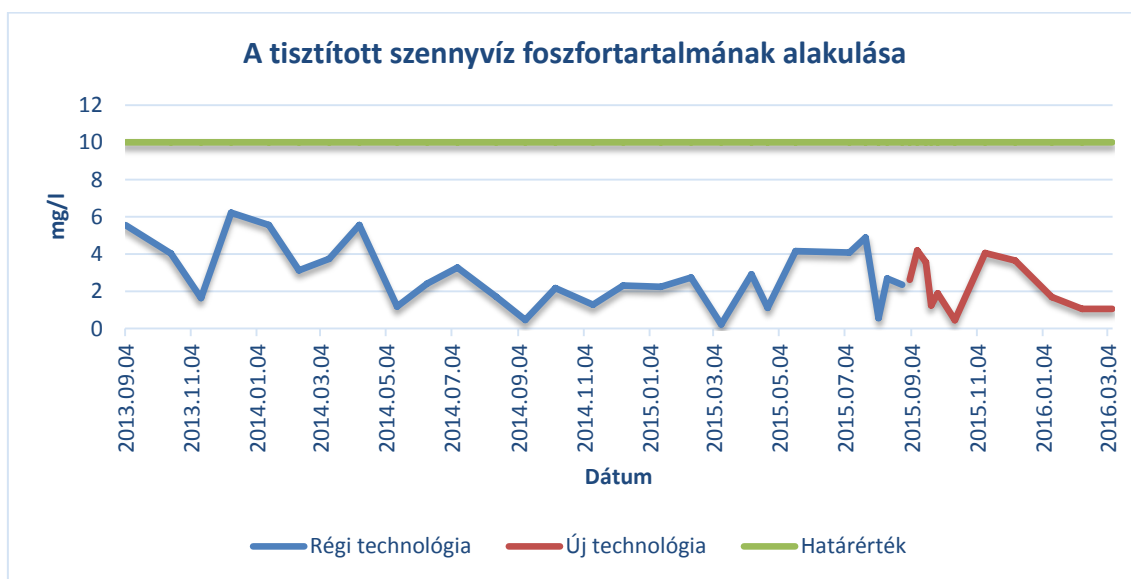
4. ábra. A nyers szennyvíz vízminőségi paramétereinek változása

A 3., 4. ábrán láthatóak a nyers szennyvíz minőségi paraméterei. A foszfor esetében nem láthatóak nagymértékű minőségi ingadozások, ellenben a nitrogén, KOI, BOI₅, és lebegőanyag esetében pedig jelentős ingadozásokat látunk. Ezen ingadozásoknak fő oka a lakossági szokásokban, illetve a csatornahálózat állapotában keresendő.

Az 5. ábrán láthatjuk a BOI₅ értékek alakulását. A régi technológiánál két, míg az új technológiánál egy kiugróan magas értéket láthatunk. Törvényi előírás szerint heti BOI₅ mérés kötelező. Az új technológia kiugró pontjánál valószínűleg nagy volt a telep szervesanyag-terhelése. Ebben az időpontban valószínűleg a KOI, és a lebegőanyag érték is magasabb volt azonban abban az időpontban csak a BOI₅ érték vizsgálata történt.



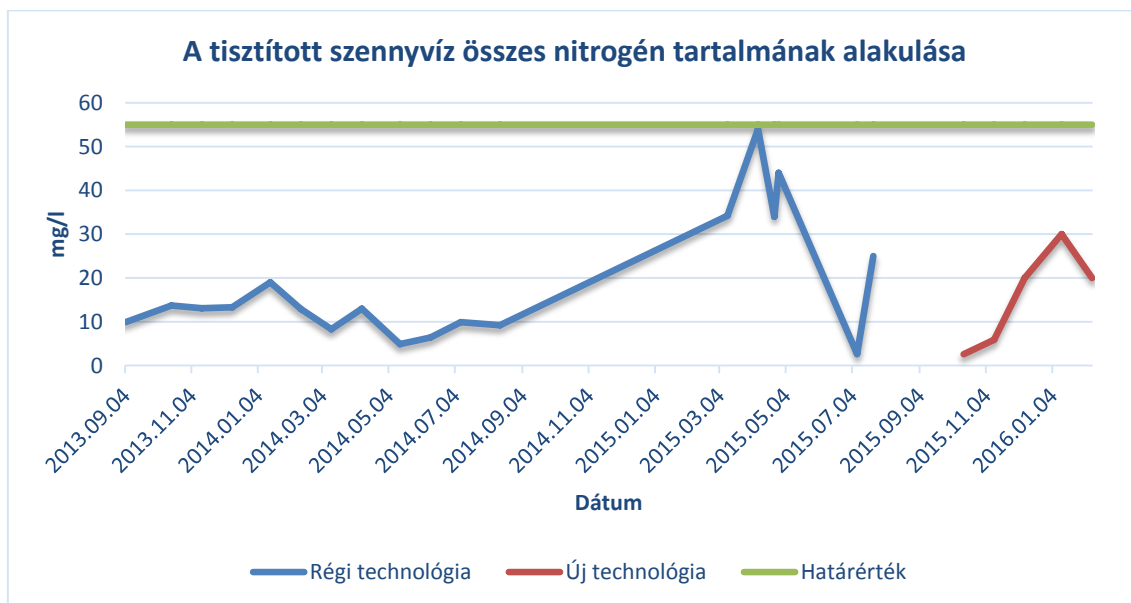
5. ábra. A tisztított szennyvíz BOI₅ értékeinek alakulása



6. ábra. A tisztított szennyvíz foszfortartalmának alakulása

Az eutrofizációt okozó két fő komponens, a nitrogén és a foszfor. Ezen anyagok szennyvízből való eltávolítása nagy fontossággal bír annak érdekében, hogy élővizeinket ne terheljük a szükségesnél nagyobb mértékben az eutrofizációt kiváltó két komponenssel.

A nitrogén és a foszforeltávolítást vizsgálva láthatjuk, hogy a telep határérték alatt tudta tartani a tisztított szennyvíz foszfortartalmát (6. és 7. ábra). Az új technológia biztosítja a foszfor biológiai úton történő eltávolítását, ezért nem volt szükség vegyszeres kicsapatásra, a foszfortartalom eltávolítására.



7. ábra. A tisztított szennyvíz foszfortartalmának alakulása

A vízminőségi paraméterek alapján tisztítási hatásfokot számoltunk, és összehasonlítottuk a régi, és az új technológia vonatkozásában. A tisztítási hatásfokot az ÉRV ZRt. üzemeltetésének kezdetétől számoltuk, és a mérési eredményekből származtattuk. A vizsgált időszakra átlagos hatásfok értékek kerültek megállapításra. Az értékek nem mutattak szignifikáns eltéréseket, azonban ezen adatok mögött egy üzemeltetési szempont is áll. Az üzemeltetés szempontjából elmondható, hogy ezen értékek az új technológiánál sokkal nagyobb megbízhatósággal állnak rendelkezésre. A régi technológiánál rendkívül nagy volt az emberi tényező hatása. A határértékeket rendkívül nagy energia befektetéssel tartották, és emiatt kiszámíthatatlan volt a technológia. Az új technológia ezzel szemben sokkal megbízhatóbb, és a nap 24 órájában tudja tartani a törvényileg megállapított határértékeket.

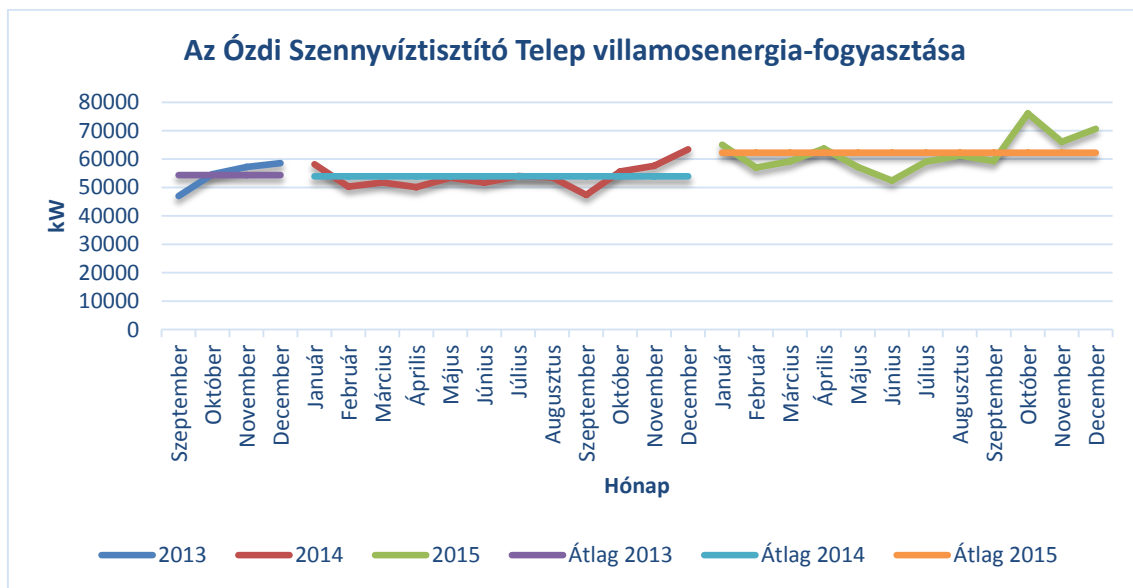
5. ENERGIAFELHASZNÁLÁS

Vizsgálatunk során figyelembe vettük az adott eredmények energiahatékonyságát is. A szennyvíztisztító telep villamosenergia-felhasználási adatait a 8. ábra mutatja. Láthatjuk, hogy a 2014. év végétől, valamint a 2015 évben megugrott a villamosenergia-felhasználás. Ennek oka az új technológiának az építése, valamint a komposztáló levegőztető rendszerének beindítása.

A telepen a villamosenergia-felhasználás mérése egy mérőóráról történik. Az eredmények feldolgozása során nem tudtuk külön választani az új technológia kiépítésekor felhasznált villamosenergia-mennyiséget, valamint a komposztáló működések a levegőztető rendszer által felhasznált villamos energiát. Ezek figyelembevételével megállapíthatjuk, hogy jelentős

energiafelhasználási többlet nem történt a szennyvíztisztító technológián. Figyelembe kell vennünk azt is, hogy a technológia elektronikusan vezérelt, és teljesen automata. Az energiafelhasználás kismértékű növekedése mellett megállapíthatjuk a következőket:

- A fölös iszap préselése megoldott, a meghibásodási problémák nagymértékben elkerülhetők a két iszapprés üzemelésével.
- A préselt iszap hulladéklerakóba történő elhelyezése helyett, annak komposztálása megoldott, mellyel a környezeti terhelés csökken.
- Az új technológia megépítésével, és a technológia automatizálásával a kibocsátási határértékek nagy biztonsággal tarthatók.
- A kibocsátási határértékek biztosabb tartásával az üzem költséghatékonyabban tud működni, ezáltal megtakarítást jelent az üzemeltetőnek is.



8. ábra. Az Ózdi Vírosi Szennyvíztisztító Telep villamosenergia - felhasználásának változása

Ezen előnyöket látva megállapíthatjuk, hogy a beruházás a fenntartható fejlődés szem előtt tartásával valósult meg. A telepen keletkező hulladékokat a hulladékgazdálkodási prioritási lista figyelembe vételével kezelik. Ennek eredményeképpen egy hosszútávon gazdaságosan, környezetet kímélően fenntartható szennyvíztelepről beszélhetünk, mely a kor elvárásainak megfelel.

6. TECHNOLÓGIAI JAVASLATOK

A szennyvíztisztító technológia korszerűsítésével, a környezeti terhelés csökkent. Mind a tisztítási hatásfok, mind pedig az iszapkezelés korszerűsödött, mellyel környezetünk védelmét jobb hatásfokkal, és megbízhatóbban tudjuk ellátni. Véleményünk szerint a szennyvíztelep energiaellátásának korszerűsítése egy következő lépcső lenne, mely megvalósíthatná azt, hogy a telep még költséghatékonyabban, és a fenntartható fejlődés szem előtt tartásával működjön.

A mai környezetvédelmi elvárásoknak megfelelően javasolunk egy korszerű biogáz-hasznosító műtárgy kivitelezését. A szennyvíztelep méreteiből, illetve a szennyvíz mennyiségéből következően a megfelelő iszapmennyiség rendelkezésre állna rothasztó számára. A rothasztó, és egy generátor megépítésével a telep energiafüggettsége nagymértékben

csökkenne. Az esetleges villamosenergia-többletet villamos hálózatba való betáplálással lehetne felhasználni.

Az iszapkezelés vonatkozásában a javaslatunk a jelenleg üzemelő alsó levegőztetési eljárás helyett egy átforgatásos eljárást javasolnánk. Ezzel ki lehetne iktatni a levegőztető ventilátorok energiafelhasználását, és el lehetne kerülni a prizmákban esetlegesen kialakuló anaerob tereket, amelyek a komposzt minőségét hátrányosan befolyásolhatják. Így biztosítható a megfelelő minőségű komposztálás.

Következő javaslatunk a szennyvízhálózat korszerűsítésére irányul. A nagymértékű infiltráció csökkenthető lenne a vezetékek korszerűsítésével, így a telepre háruló nagy terhelések csökkenthetőek lennének, ezáltal még megbízhatóbbá téve a telepet. Ezen javaslatok eredményeképpen természetesen a környezeti terhelés csökkentése mellett egy rendkívül költséghatékony szennyvíztelep állna rendelkezésre, mely mind az ÉRV ZRt., mind pedig a lakosság érdekeit szolgálja.

ÖSSZEFOGLALÁS

Vizsgálatunk témája Északmagyarországi Regionális Vízművek ZRt. kezelésében álló Ózdi Szennyvíztisztító Telep volt. Összehasonlítottuk a régi és az újonnan kiépített technológiát. Ismertettük a technológiai folyamatokat, a tisztított víz laborvizsgálati eredményeit, és ezeket összehasonlítottuk a régi, és az új telep vonatkozásában. A laboreredmények vizsgálatakor megállapítottuk, hogy az új technológia tisztítási hatásfoka, ha nem is nagymértékben, de növekedett. A keletkező szennyvíziszap kezelése nagymértékben korszerűsödött a komposztáló üzembe helyezésével, ezáltal csökkentve a környezeti terhelést.

Az energiafelhasználást vizsgálva megállapítottuk, hogy kismértékű energiafelhasználási növekedés történt, ami egyrészt a komposztáló telep alsó levegőztetési technológiájának, másrészt pedig a telep teljes automatizálásának köszönhető.

Mindezek mellett megállapítottuk, hogy az új telep megbízhatósági foka sokkal nagyobb a régi telepnél, a határértékek sokkal biztosabban tarthatóak.

Végezetül javaslatokat tettünk a telep energiahatékonyságának növelése érdekében. Ezen javaslatok kiterjedtek a biogáz felhasználásra, a komposztáló telep levegőztetésének változtatására, valamint a szennyvízhálózat korszerűsítésére.

Mindezen ismeretek alapján úgy gondoljuk, hogy az Ózdi Szennyvíztisztító Telep jó példa lehet a többi település, és üzemeltető számára. Olyan technológiai megoldások születtek, melyek nagymértékben hozzájárulnak ahhoz, hogy környezetünket óvjuk, és a fenntartható fejlődés elvét megvalósítsuk.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **SZUCS P; MADARASZ T.:** *Hydrogeology in the Carpathian basin – how to proceed?* *European Geologist*, No. 35, May 2013, ISSN: 1028-267X, pp. 17-20
- [2] **KEVITERV PLUSZ KFT.** (2010): *Szennyvízelvezetés és tisztítás Ózd városban és Farkaslyuk községben* (Tenderterv összefoglaló műszaki leírás)
- [3] **KOVÁCS MIHÁLY, LOSTORFER REZSŐNÉ** (1987): *Tiszta vizet a pohárba*. B-A-Z megyei vízművek vállalat monográfiája Vízügyi Dokumentációs Szolgáltató Leányvállalat, Budapest.
- [4] **MIHÁLY TIBOR** (2015): *Az ózdi szennyvíztisztító telep fejlesztésének alapadat-szolgáltatása, a megvalósuló tervek ellenőrzése*. Szakdolgozat, Eötvös József Főiskola, pp. 1-40.

A KARBANTARTÁSI SZOLGÁLTATÁSOK HELYZETE A MEZŐGAZDASÁGBAN

THE STATE OF MAINTENANCE SERVICES IN AGRICULTURE

OLÁH Béla¹, VERMES Pál²

¹főiskolai tanársegéd, olahb@szolf.hu

¹Szolnoki Főiskola, Műszaki, Agrár és Gazdaságelemzési Tanszék, 5000 Szolnok, Tiszaligeti sétány 14.

²professzor emeritus, vermes.pal@gmail.com

²Szolnoki Főiskola, Műszaki, Agrár és Gazdaságelemzési Tanszék, 5000 Szolnok, Tiszaligeti sétány 14.

Kivonat: Napjainkban a karbantartás egyre nagyobb fontosságú, ennek ellenére igen kevés az információ a hazai karbantartási szolgáltatások helyzetéről kiváltképp a mezőgazdaságban. A szerzők kérdőíves felmérést végeztek Magyarország keleti térségében működő kis- és közepes méretű mezőgazdasági vállalkozások körében. A munka e felmérés egy részéről, a karbantartási szolgáltatások igénybevételének, kínálatának vizsgálatáról számol be, és megállapításait összeveti a Tessedik Sámuel Főiskola Mezőgazdasági Főiskolai Kar (Mezőtúr) Karbantartás Tanszékének munkatársai által készített korábbi felmérések eredményeivel.

Kulcsszavak: üzemfenntartás-karbantartás, szolgáltatások, mezőgazdaság, kis- és közepes méretű vállalkozások, felmérés

Abstract: Maintenance is gaining more and more importance nowadays; in spite of this fact it is regrettable that sufficient information is hardly available on the state of the domestic maintenance services particularly in agriculture. The authors carried out the survey by means of a questionnaire within the sphere of the small- and medium-scale agricultural companies operating in the eastern region of Hungary. The research gives an account of this survey and the experiences of its evaluation, especially of the utilization and supply of the maintenance services as well as compares these assessments with results of earlier projects carried out by colleagues of the Department of Maintenance at the Agricultural College Faculty of Tessedik Sámuel College in Mezőtúr.

Keywords: maintenance, services, agriculture, small- and medium-scale companies, survey

1. BEVEZETÉS: A SZOLGÁLTATÁSOKRÓL ÁLTALÁBAN

A gépek, berendezések meghibásodásai zavarokat, állásidőket, nem ritkán hatalmas veszteségeket okoznak [3, 24]. A rendelkezésreállítás követelménye a karbantartás és a karbantartási szolgáltatások fejlesztését is igényli [23].

Szolgáltató szervezetek üzleti célból gyakran jelentkeznek alapvetően szakmai hirdetésekben különféle ajánlatokkal a vállalkozások karbantartása számára (például: gépelemek, alkatrészek, gépek, műszerek, ragasztás, fém- és műanyag-felvitel, stb.) Ugyanakkor a karbantartási szolgáltatások üzemi helyzetéről alig jelenik meg hazai közlemény. Különösen igaz ez a mezőgazdasági üzemekre, ezért a szerzők ezt kívánták megvizsgálni Magyarország keleti térségében, elsősorban az Alföldön.

1.1. Fogalmakról

A **szolgáltatási szektor**, (**tercier** vagy harmadlagos szektor) egyike a fejlett gazdaság három legfontosabb gazdasági ágazatának. A megnevezés jól kifejezi, hogy nem valamilyen egységes rendező elv szerinti kategóriáról van itt szó, hanem ezen tevékenységek maradékellví kezeléséről.

A szolgáltatások kutatása jelentősen elmaradt a termelési területekhez kapcsolódó tudományos és gyakorlati eredményektől. Ebben nagy szerepet játszott az is, hogy a mai napig nincs általánosan elfogadott, egységes definíciója [1].

A szakirodalomban **számos meghatározás** létezik, csak néhányat említünk:

- "Szolgáltatás minden olyan cselekvés vagy teljesítmény, amelyet az egyik fél felajánlhat a másinak, és ami lényegében nem tárgyasult és nem eredményez tulajdonjogot semmi fölött. Előállítása vagy kapcsolódik fizikai termékhez, vagy nem." [8]
- "A szolgáltatás valakinek vagy valaminek a körülményeiben (működési-, illetve létfeltételeiben) történő változásként tekinthető, amelyet egy személy vagy gazdasági szervezet előzetes megállapodás alapján, fizetség ellenében hoz létre." [4]
- "Szolgáltatásnak nevezünk minden olyan tevékenységet, amelyet más vállalat, intézmény, szervezet végez az üzem számára, illetve megfordítva, az üzem végez valamilyen ellenértékért másoknak." [6]
- "Szolgáltatások a gyűjtőneve a szükségletek kielégítésére létrejött tevékenységek megnevezésének." [1]
- Nemzetközi szabvány hazai adaptációja [11] a **szolgáltatást** valamely szervezet részéről a felhasználónak felajánlott **funkciók összességé**ként határozza meg.
- "Szolgáltatás olyan tevékenység eredménye, amely a szükségleteket jellemzően a fogyasztóval kialakított közvetlen kapcsolat keretében elégíti ki; általában nem ölt anyagi-tárgyi formát, hanem a gazdasági egységek, objektumok, személyek állapotának hasznos megváltoztatásában, illetve megőrzésében nyilvánul meg." [16]

A szolgáltatások definíciós nehézségéből következően **osztályozásuk** sem kiforrott, nincs a szakirodalomban egységesen elfogadott alapja. Sokféle csoportosítás létezik: a tevékenység tartalma, illetve szervezettsége szerint; anyagi–nem anyagi; személyzet-orientált vagy gépesített; szellemi vagy manuális; személyi vagy dologi; rutinszerű vagy kreativitást igénylő; egyedi vagy tömegszerű; a Hilke-féle funkcionális vagy intézményes szolgáltatások a tiszta tárgyasult terméktől a tiszta szolgáltatásokig [10].

A termelési **szolgáltatások elméleti vizsgálata** során [9] levont következtetései: a szervezeten belüli műszaki magról egyes önálló funkciók a külső burokbba kerülnek. A burok szűk keresztmetszeteinek oldásához szükséges befektetések a mag hatékonyabb működése révén gyorsan megtérülnek. Növekedésnél, a szakosodás fokozásával mégsem a külső burkot célszerű növelni, hanem egyes funkciókat a környezetnek lehet átadni. Ez azt jelenti, hogy a cég a magra (a termelésre) koncentrálhat és a termelési szolgáltatásokat a piacról szerezheti be. Ez a megoldás még a fejlett országok gyakorlatában sem volt általános.

Egyfajta gyakorlati megközelítésben és bizonyos elhatárolás érdekében önkényesen a **szolgáltatások csoportjai** a következők lehetnek:

- **Termékekhez kötődő** (járulékos, kiegészítő, stb.) szolgáltatások alapvetően a komplex vevőszolgálati tevékenység körébe tartoznak, amelyeket közvetlenül vagy közvetve a termelő nyújt a vevőjének. Szakirodalma, gyakorlati megoldásai vannak, például: [5, 21, 22].
- **Termékelőállítás**hoz (termeléshez, szolgáltatáshoz) tartozó szolgáltatások a széles értelemben használt technológiai folyamatok támogatására szolgálnak. Cikkünk témája főként, de nem kizárólag ide tartozik, hiszen egy belső szolgáltató szervezet, a karbantartás aktív és passzív szolgáltató tevékenységének vizsgálatát, helyzetének megítélését céloztuk.
- Tevékenységek kiszervezése (**outsourcing**) néhány évtizede a termelés-szervezés kiemelt jelentőségű eszközévé vált. E fogalomnak szűkebb és tágabb értelmezése ismert. Ehelyütt csak azt rögzítjük, hogy ezen olyan tevékenység kiszervezését értjük, amelyet

korábban a termelő cég maga végzett, egy nagyobb tevékenység jelentős részét érinti, jellemzője a magas hozzáadott érték, a tartós, folyamatos (nem egyszeri) ügylet [17]. Látható, hogy az előző csoporttól az elhatárolás nem kellően egyértelmű.

A karbantartás mint szolgáltatás jellegű tevékenység három megoldási módja:

- saját (belső) erőforrással végezhető karbantartási feladatok;
- külső (idegen) karbantartó szolgáltatás igénybevétele;
- szolgáltatás nyújtható más üzem részére, ha azt a karbantartási erőforrások, meglévő kapacitások (időszakosan vagy rendszeresen) lehetővé teszik.

Ez utóbbi megoldás természetesen gazdaságilag kedvező, hiszen

- elősegíti a kapacitások kihasználását;
- javítja a karbantartás hatékonyságát;
- hasznosítható kapcsolatrendszert működtet;
- hozzájárulhat a karbantartás fejlesztéséhez [26, 19, 20].

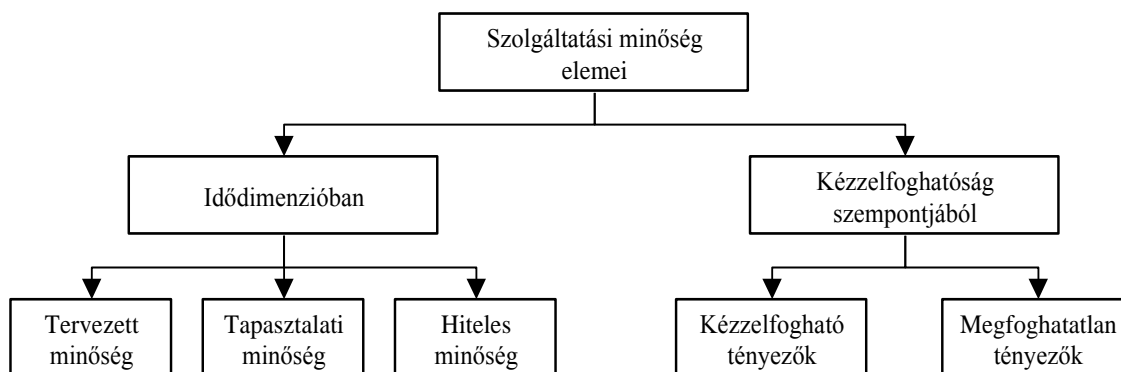
Egy öt európai országra 1989-ben készített felmérés szerint például Németországban a külső karbantartás részaránya mindössze 9% volt, de ennek 55%-át a vevőszolgálati és szervizhálozatok teljesítették [15]. A karbantartási kiadásokon belül a külső szolgáltatások részaránya később már 30%, ez három év alatt 95%-os növekedést jelentett [2].

1.2. A szolgáltatás minősége

A funkciók más megközelítését indokolja, hogy az MSZ IEC 50(191):1992 szabvány [11] szerint a **szolgáltatás minősége** nem más, mint azon képességek együttes hatása, amely a szolgáltatás felhasználójának **megelégedettségi mértékét** meghatározza.

A **szolgáltatási minőség elemeit** – felhasználva Páles György gondolatait [14] – az **1. ábra** mutatja.

A vevők még a vásárlás előtt elképzelik az ún. **tervezett minőséget**. A **tapasztalati minőség** a vásárlás utáni kiértékelés információi alapján áll elő. A **hiteles minőség** a kínálat általában hiteltérdemlő voltát jelenti. **Kézzelfoghatóak** azok a tényezők, amelyeket a felek közvetlenül láthatnak (például maga a termék vagy a személyzet megjelenése). Igen fontosak a nem látható, **megfoghatatlan tényezők**, ilyenek például: a megbízhatóság, a bizalom.



1. ábra. Szolgáltatási minőség-elemek [22]

A szolgáltatások iránti **igények** és azok **teljesülése** tekintetében a szakirodalom 4-5 féle eltérést („rés”-t) tárgyal [10]. Egyszerűsítve rögzíthetjük, hogy a megrendelő „fejében” kialakult kép a ténylegessel nem mindenben egyezik: a ténylegesen igényelt és nyújtott szolgáltatás eltérésénél – a **tényleges résnél** – nagyobb, esetleg kisebb is lehet az igényelt és a kapott szolgáltatásról a vevőben kialakult kép közötti ún. **észlelt rés**. A kedvezőtlen irányú eltérés korrekt kezelése szükséges [22].

Témánk szempontjából tekintsünk olyan külső szolgáltatásokat, amelyeknek jelentős fizikai tartalmuk van. A **szolgáltatási teljesítmény** szempontjából **élenjáró** (el nem várt szolgáltatásokat is kínáló), **kulcsszerepben levő** (rugalmas, indokolt, de korábban ki nem elégített igényeket teljesítő) és **alapszintű** (átlagosan elvárható igényeket jól kielégítő) szolgáltatásokat lehet megkülönböztetni [7]. Az általuk **nyújtott szolgáltatás (NYSz)** szintjei: alapszolgáltatás (NYSz_a), kulcs-szolgáltatás (NYSz_k), élenjáró szolgáltatás (NYSz_é). Erőteljes egyszerűsítéssel három **elvárt szolgáltatás (ESz)** szintet különböztessünk meg, amelyeket az átlagos (ESz_á), az igényes (ESz_i) és az extra igényű vevő (ESz_e) személyesít meg mint a szolgáltatás megrendelője.

Ha az igény- és szolgáltatási szinteket kölcsönösen megfeleltetjük egymásnak, akkor az előbbi jelölésekkel a **2. ábrán** kijelölhetők a vevő-elégedettségre jellemző mezők.

Elvárt szolgáltatások	Nyújtott szolgáltatások			
	NYSz _a	NYSz _k	NYSz _é	
ESz _á				<div style="display: flex; flex-direction: column; gap: 10px;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin-right: 5px;"></div> elégedetlen vevő (alulkínálat) </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="background-color: #cccccc; border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin-right: 5px;"></div> elégedett vevő (megfelelő kínálat) </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="background-color: #cccccc; border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin-right: 5px; background-image: linear-gradient(to right, transparent 49%, black 49% 51%, black 51%);"></div> elégedett vevő (túlkínálat) </div> </div>
ESz _i				
ESz _e				

NYSz_a - alapszolgáltatás
 NYSz_k - kulcsszolgáltatás
 NYSz_é - élenjáró szolgáltatás

ESz_á - átlagos vevő
 ESz_i - igényes vevő
 ESz_e - extra igényű vevő

2. ábra. A vevő-elégedettség alapváltozatainak kétdimenziós modellje [21]

Elégedett az igénybevevő, ha a nyújtott szolgáltatás eléri vagy meghaladja az igényeinek (elvárásainak) megfelelőt, vagyis $NYSz \geq ESz$ [21].

A szolgáltatások minőségének értékelésére két szempont kínálkozik: **technikai szempont** (mit kap az igénybevevő), valamint **funkcionális szempont** (hogyan jut hozzá a vevő).

A probléma megoldásához nélkülözhetetlen a **vevők véleményének** gyűjtése. Ehhez megfelelő módszereket dolgoztak ki, amelyek a szolgáltatások több paraméterének értékelését célozzák [22]. Ezeknek a **módszereknek a közös jellemzői:**

- kérdőíveket használnak;
- a minőséget több tényezővel jellemzik;
- az elvárt és az érzékelt minőséget (vagy csak az utóbbit) vizsgálják;
- a válaszokat számszerűen értelmezik.

A vevőelégedettség **mérésére** alkalmas **modellek** lényege, hogy több, különböző fontos-ságú és értékelésű kritériumból egyetlen jellemző értéket képezzen. Az értékelő jellemzők igen strukturáltak és meglepően nagyszámúak lehetnek. A felmérésekben részt vevők kiválasztása és különösen a megfelelő visszaküldési arány biztosítása külön gond.

1.3. A Központi Statisztikai Hivatal (KSH) szolgáltatási rendszere

A **szolgáltatás** KSH definícióját **részletesebben** kifejtve: a statisztikai számbavétel szempontjából szolgáltatásnak minősül az olyan, társadalmilag szervezett gazdasági tevékenység hasznos, végső eredménye (termék vagy szolgáltatás), amely irányulhat a személyek, közösségek, a társadalom egésze, a gazdasági szervezetek, információk, objektumok (tárgyak, folyamatok, rendszerek) egyes jellemzőinek, így pl. helyzetük, állapotuk; műszaki, művészeti, kulturális színvonaluk; információállapotuk stb. hasznos megváltoztatására, kiegészítésére, helyreállítására, megőrzésére, védelmére, képviselésére, szervezésére, irányítására, fejlesztésére, új ismeretek megszerzésére, a káros hatások megelőzésére, elhárítására, a kockázatok vállalására stb. [16].

A szolgáltatás végzése (termelése) és igénybevétele (fogyasztása) időben részben vagy teljesen egybeesik. A szolgáltatótevékenység hasznos eredményei igen sokrétűek lehetnek, témánk szempontjából kiemelendő: tárgyak, létesítmények, objektumok javítása, karbantartása, felújítása, tervezése.

A **rendszer** elveit és a részletes leírását a **Termékek és Szolgáltatások Osztályozási rendszere** (TESZOR) tartalmazza, amely az Európai Unió megfelelő, többször módosított osztályozásán alapul. A hatszintű TESZOR'15 a termékeket és szolgáltatásokat az ágazati eredetük alapján osztályozza, struktúrája a TEÁOR'08-ra épül [18].

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A 2014/2015-ös tanévben több mint 40 üzemet magába foglaló, a lehetőségek keretein belül személyes interjú keretében kitöltött **kérdőíves helyszíni felmérésre** került sor a szakmai gyakorlatukat töltő mezőgazdasági és élelmiszeripari gépészmérnök, illetve műszaki menedzser gépüzemfenntartó szakirányos hallgatók bevonásával. A kérdések a cég adataira; a karbantartás egészére és szolgáltatási helyzetére, a gépjavítás egyes területeire és a jövőbeli – szolgáltatásokkal kapcsolatos – terveire irányultak.

A dolgozat célkitűzésének megvalósítása érdekében kiértékeljük a fenntartás helyzetének megítélésére készített kérdőíves felmérés [12] gépfenntartási szolgáltatásokat érintő részeit (igénybevett és nyújtott karbantartási szolgáltatások, azok tervezett fejlesztése), szembe/párhuzamba állítottuk a családi gazdaságokra vonatkozó adatokat, arányokat a társas vállalkozásokéval, és megállapításainkat összevetettük az FVM 43532. sz. K+F téma és az NKA-K-2/2002. számú kutatási téma keretében végzett – lényegében ugyanolyan kérdőíven alapuló – korábbi kutatások [25, 26, 3, 24] eredményeivel is.

3. KARBANTARTÁSI SZOLGÁLTATÁSOK VIZSGÁLATA

3.1. A válaszoló cégek néhány jellemzője

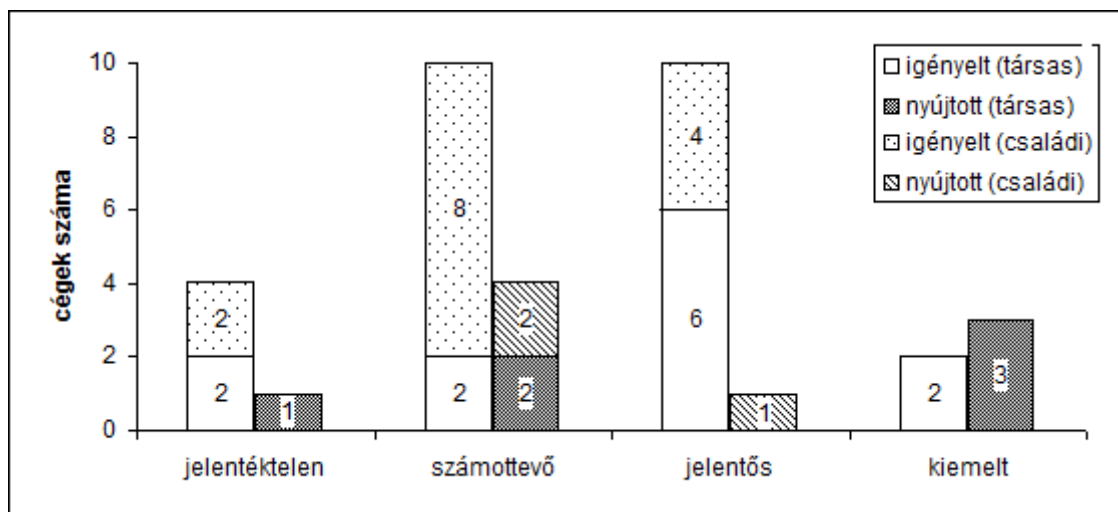
A 2014/2015-ös tanévben mezőgazdasági működési területű egyéni és társas vállalkozások körében személyes interjú során elvégzett kérdőíves felmérés feldolgozásával a karbantartási szolgáltatások helyzetéről is információkat kaptunk.

Jelen kiértékelésbe 36 mezőgazdasági vállalkozás szerepelt, melyek mindegyike kivétel nélkül a keleti országrészben működik [12]. A gazdaságok 25%-a **őstermelő** (9 db), 30,6%-a **családi** (11 db), 44,4%-a pedig (16 db) **társas vállalkozás** – 7 Zrt., 6 Kft. és 3 szövetkezet – volt. 18 gazdaság (50%) tisztán növénytermesztéssel, 13 (36,1%) állattenyésztéssel is foglalkozik. Bevonásra került még 2 művelt terület nélküli szolgáltató és 3 több tízezer hektáron termeltető termelő üzem is ebbe a vizsgálatba. A művelt (saját+bérelt) földterület ($7 \div 9.500$ ha) átlagosan 1.077 ha. Az őstermelőknél ez az érték 28 ha ($8 \div 59$ ha), a családi gazdálkodóknál 130 ha ($7 \div 357$ ha), míg a társas vállalkozások esetén 2.883 ha. A foglalkoztatottak száma 21 (58,3%) esetben 10 fő alatti, az egyéni gazdaságok kivétel nélkül mind ilyenek.

3.2. Az igényelt és a nyújtott szolgáltatások vizsgálata

A kérdőívet kitöltők csaknem háromnegyede, 26 (72,2%) gazdaság **vesz igénybe** külső cégtől fenntartási szolgáltatásokat. Gazdálkodási forma szerint nincs lényeges különbség: az egyéni vállalkozások 70%-a (14 db), míg a társaságok 75%-a (12 db) vallott így. Ezen arányok megegyeznek a 10 évvel ezelőtti értékekkel [26, 19, 20]. Saját megítélésük szerint az általuk igénybevett szolgáltatásokat 7,7%-uk kiemeltnek, 38,5%-uk jelentősnek, 38,5%-uk számottevőnek, 15,4%-uk pedig jelentéktelennek értékelte (**3. ábra**).

Az adatszolgáltatók közül ugyanakkor csak 9 (25%) gazdaság **nyújt** gépfenntartási **szolgáltatásokat** másoknak, a társas vállalkozások 37,5%-a (6 db), míg az egyéni gazdálkodók mindössze 15%-a (3 db). Az előbbi több mint 50%-os növekedés az egy évtizeddel ezelőtti felméréshez képest, az utóbbi pedig több mint ötszöröse, hiszen korábban a családi gazdaságok csak alig 3%-a folytatott ilyen jellegű tevékenységet [26, 19, 20]. Az általuk nyújtott szolgáltatásokat 33,3%-uk kiemelten fontosnak, 11,1%-uk jelentősnek, 44,4%-uk számottevőnek és 11,1%-uk jelentéktelennek minősítette a vállalkozás egésze szempontjából (**3. ábra**).



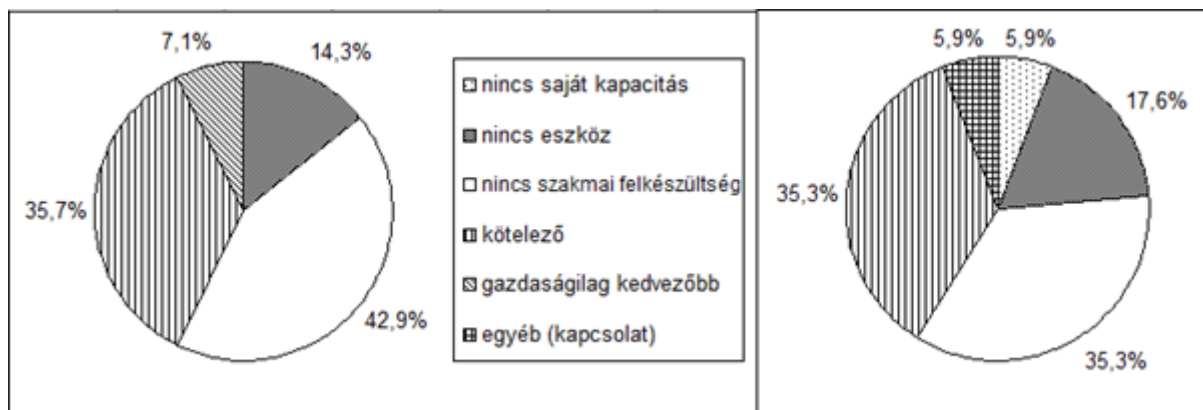
3. ábra. A jelenlegi szolgáltatások jelentősége a gazdaság egésze szempontjából

A válaszolóknál az összes foglalkoztatott 11,6%-a karbantartó és az éves karbantartási költség a teljes eszközérték 6,2%-a (a társaságoknál 4,1%-a, a magántermelőknél 9,6%-a, tehát több mint kétszerese).

Karbantartási szolgáltatást **okok szerint** a mezőgazdasági vállalkozások általában azért **vesznek igénybe**, mert kötelező (35,5%), nem elegendő a szakmai felkészültségük (38,7%),

nincs eszköz (16,2%), gazdaságosabb (3,2%), egyéb (kapcsolat) (3,2%), illetve nincs kapacitásuk (3,2%). A fent nevezett okok közül kettő aránya lényegesen eltér az egy évtizede megállapított értékektől [26, 19, 20]: a saját kapacitás hiánya 16,6%-ponttal alacsonyabb, ugyanakkor a szakmai felkészültség hiánya 16,2%-ponttal magasabb lett.

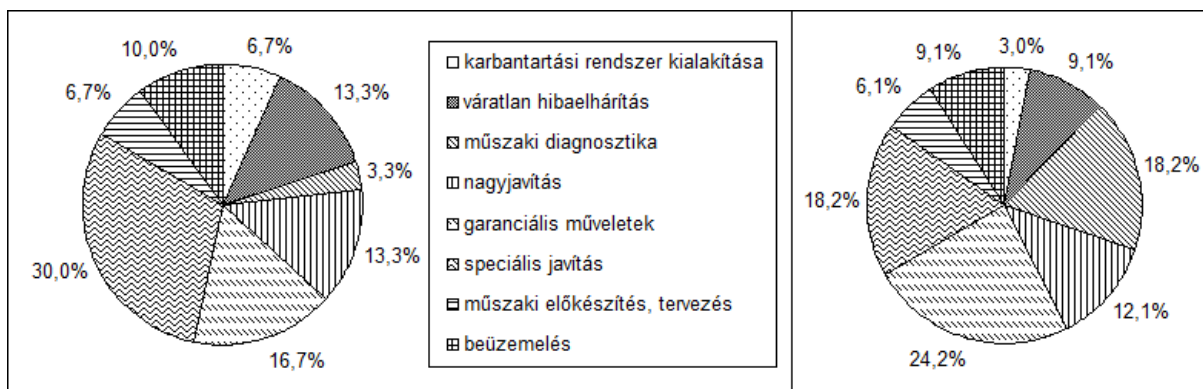
A családi gazdaságok 7,6 és 7,1%-ponttal magasabb arányban igényelnek külső szolgáltatást ismerethiány és gazdaságosság okán (ez utóbbi nem is fordult elő a társas vállalkozásoknál indoklásként), míg kapacitáshiány és egyéb okból egyáltalán nem vesznek igénybe fenn tartási szolgáltatást – szemben a társaságok 5,9-5,9%-os ilyen jellegű válaszaival (4. ábra).



4. ábra. Az igényelt szolgáltatások okainak megoszlása az egyéni (b) és a társas (j) üzemeknél

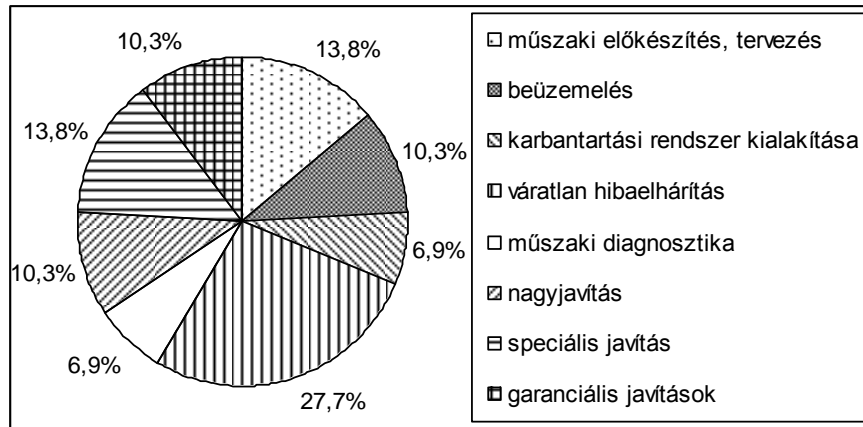
Az igényelt szolgáltatások 23,8%-a speciális javításokra, 20,6%-a garanciális műveletre, 12,7%-a nagyjavításokra, 11,1%-a műszaki diagnosztikára, ugyancsak 11,1%-a váratlan hibaelhárításra, 4,8%-a karbantartási rendszer kialakítására, 9,5%-a beüzemelésre, valamint 6,3%-a műszaki előkészítésre, tervezésre irányul. Ez utóbbi két szakterület értéke 7, illetve 6,3%-ponttal magasabb a 2004-es kutatás eredményénél [26, 19, 20], míg a váratlan hibaelhárításé 7%-ponttal alacsonyabb.

A családi vállalkozások műszaki diagnosztika területen igényelt szolgáltatásainak aránya lényegesen (közel 15%-ponttal), míg a garanciális műveleteké 7,5%-ponttal elmarad a társas üzemekétől (5. ábra), ugyanakkor a speciális javítások esetén külső szolgáltató igénybevétele aránya a kistermelőknél közel 12%-ponttal nagyobb. Az igénybevett szolgáltatások átlagosan az összes karbantartási költség 18%-át (10÷26,6%) teszik ki, ami ötödével kevesebb, mint 2002-ben [3, 24].



5. ábra. Az igénybe vett gépfenntartási szolgáltatások szakterületeinek aránya az egyéni (b) és a társas (j) üzemeknél

A kérdőívet kitöltők **25%-a** (mindössze negyede, de ez is több mint 11%-ponttal magasabb, mint tíz éve [26, 19, 20]) **nyújt** csak **szolgáltatásokat** főként a tartós partneri kapcsolat miatt (50%), illetve kijelölt szolgáltatóként (25%), és csupán 8,3-8,3%-ban gazdasági okokból, speciális szakismeret hasznosítása, illetve kapacitáskihasználás céljából. A nyújtott szolgáltatások 27,7%-a váratlan hibaelhárítás, 13,8-13,8%-a speciális javítás, valamint műszaki előkészítés, tervezés, 10,3-10,3%-a nagyjavítás, beüzemelés és garanciális javítás, 6,9-6,9%-a pedig műszaki diagnosztika és karbantartási rendszer kialakítása (**6. ábra**).



6. ábra. A mezőgazdasági üzemek által nyújtott szolgáltatások szakterületeinek megoszlása

A gépfenntartási tevékenységekbe a vállalkozások 82,9%-a bevonja a gépkezelőket is. Saját karbantartó szervezet – ami 10 éve 23% volt – napjainkban a gazdaságok 37,1%-ánál van (kivételem nélkül mind társas vállalkozás; a nagy gépparkkal rendelkező vállalatok esetében egyébként is jellemző a saját gépfenntartó üzem kiépítése [6]), amelyek átlagosan 20 főt meghaladó karbantartó létszámot foglalkoztatnak. A válaszolók 54,3%-ánál külső szolgáltató is közreműködik. A karbantartási munkákat 56,2%-ban (egy évtizede 53,6% adódott [26, 19, 20]) a **gépkezelők** végzik: ez a termelőüzemi saját gépfenntartás jellegzetes szervezési formája, amikor a gép kezelője végez el bizonyos gépjavítási tevékenységet [6]. A feladatok 17,6%-át **saját karbantartó szervezet** látja el, míg 19%-át külső eseti szolgáltatásként, 7,2%-át pedig rendszeres (szerződéses) szolgáltatásként bonyolítják.

A **géptárolás** feladatait (hasonlóan az évezred első éveivel) döntően (87%-ban) a gépkezelők végzik maguk vagy az udvarossal, karbantartókkal közösen [13]. A **korrózióvédelem**, ahogy 2004-ben [25, 26, 19, 20], úgy most is – egy gazdaság kivételével – minden üzemeltetőnél saját eszközzel és dolgozóval történik, közülük egy mezőgazdasági cég vallotta, hogy külső szolgáltatót is alkalmaz erre a feladatra.

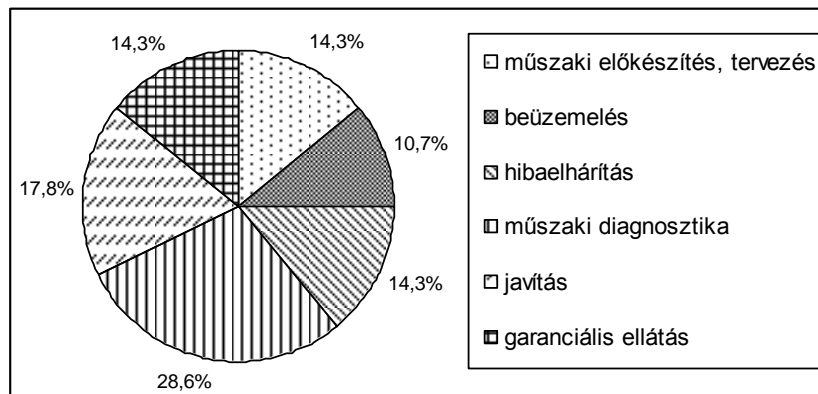
A 9 fenntartási szolgáltatásokat is nyújtó vállalkozásból 5 (55,6%) jelezte (4 társas és 1 családi), hogy bevezeti, illetve bővíti az általuk végzett külső szolgáltatások megrendelőinek elégedettség-vizsgálatát.

3.3. A cégek elképzelései a szolgáltatások bővítésére

Öt (13,9%) gazdaság (3 társas és 2 egyéni) kívánja csak a **nyújtott szolgáltatásait** növelni vagy bevezetni más cégek számára (a korábbi felmérésben 15% vallott így [25, 26, 19, 20]), 1 nem nyilatkozott, míg a többi 30 egyértelmű nemmel válaszolt, utóbbi okai: a kapacitáshiány (35%), nincs rá igény (25%), más területen bővít (25%), gazdaságtalan (10%) és a tőkehiány

(5%). A bővítés szakterületei megoszlóak: legnagyobb arányban a műszaki előkészítés, tervezés (27,3%), a beüzemelés (18,2%) és a javítás (18,2%) szerepel, a hibaelhárítás, a műszaki diagnosztika, a garanciális ellátás és a logisztikai szakterület egyformán 9,1-9,1%-ban fordul elő. A bővítés indokai között az árbevételnövelés (37,5%), a piaci részarány bővítése (25%), kapacitáshasznosítás (12,5%), többlétszolgáltatás-nyújtás (12,5%) és egyéb (segítségnyújtás) (12,5%) jelenik meg.

Tizenhárom (10 társas és 3 egyéni) vállalkozás (36,1%, ami közel kétszerese a korábbi 20%-os értéknek [25, 26, 19, 20]) válaszolta csak, hogy tervezi az **igénybevett szolgáltatásait** növelni, ugyanennyi (4 társaság és 9 családi vállalkozó) vallotta, hogy nem szeretné, míg 10 nem nyilatkozott, 62,5%-uk (a cégek 90%-a, a kistermelők 16,7%-a) pedig új ajánlatokkal is meg kíván ismerkedni. A nyilatkozók mindegyike elégedett (25%-a teljes mértékben, 75%-a többnyire) a kínált szolgáltatásokkal. Az igényelt szolgáltatás-bővülés oka 46,1%-ban a gazdasági előnyökben, 38,5%-ban saját szakmai felkészültség pótlásában, míg 15,4%-ban a kapacitáshiányban keresendő. A bővítés területei a következők: műszaki diagnosztika (28,6%), javítás (17,8%), garanciális ellátás (14,3%), hibaelhárítás (14,3%), műszaki előkészítés, tervezés (14,3%) és beüzemelés (10,7%) (**7. ábra**).



7. ábra. Az igénybevett gépfenntartási szolgáltatásbővítés szakterületeinek aránya

4. AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

Az elvégzett felmérés tapasztalataiból és értékeléséből néhány következtetés levonható:

- A karbantartási feladatokat a gazdaságok főként saját kapacitással, több mint felénél külső rendszeres vagy eseti szolgáltatással kiegészítve végzik. Ezt 10 fő alatti karbantartó létszámmal oldják meg. Nagyobb területen gazdálkodók esetében és jelentős állattartással rendelkező cégeknél nagyobb (15–20 fő) karbantartó létszámot foglalkoztatnak.
- A vizsgált gazdaságok közel háromnegyede vesz igénybe külső cégtől fenntartási szolgáltatásokat: a kötelező (garanciális) szolgáltatásokon kívül elsősorban eszköz- illetve ismerethiány okán, több mint háromnegyedük minősíti ezt számottevőnek vagy jelentősnek a gazdaság egésze szempontjából.
- Ugyanakkor gépfenntartási szolgáltatásokat mindössze a mezőgazdasági cégek negyede nyújt másoknak, elsősorban partneri kapcsolatok okán, illetve kijelölt szolgáltatóként a váratlan hibaelhárítás és speciális javítások terén. Ezt a szolgáltatást egyikük jelentéktelennek minősíti.

- Úgy tűnik, hogy mind az igénybevett, mind a nyújtott szolgáltatások terén inkább a kényszerek (előírások, hiányok) működnek, és csak kis mértékben a minőség, a gazdaságosság a motiváló tényező, nem érvényesülnek piaci szempontok [23].
- Figyelemre méltó, hogy a vizsgált társaságok több mint fele sem a nyújtott, sem az igénybevett szolgáltatását nem tervezi bővíteni.

5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A karbantartási szolgáltatások arányaira a 10-12 év alatt inkább a stagnálás, illetve a szerény mértékű emelkedés mutatható ki.

A szolgáltatások „nyílt” piacán a tudás- és/vagy eszközigenyes feladatokat rugalmasan, kiváló minőségben elvégezni képes szervezetek fognak érvényesülni. A mezőgazdasági üzemek igényelt szolgáltatásai a fogadókészség feltételeinek javulásával prognosztizálhatóan bővülni fognak.

Figyelembe kell venni, hogy az igényelt szolgáltatások között jelentős arányban a garanciális jellegű szolgáltatások is szerepelnek, amelyek jellegüknél fogva nem tartoznak az üzemek döntési kompetenciájába – szemben a garanciaidő utáni műszaki ellátással. Az előbbit külön kellene választani egy későbbi vizsgálat során.

Mennyiségi bővülés mellett a szolgáltatási minőség előtérbe helyezése várható, ez például a rendszeres minősítések, elégedettség-mérések végzését fogja általánossá tenni.

Részletesebb, megalapozottabb eredmények érdekében külön (csak a szolgáltatásokra vonatkozó) vizsgálat lefolytatására lenne szükség speciális kérdőív és alkalmas értékelési módszer segítségével, nagyobb számú válaszadó szervezettel.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **ÁRVAI J.** (szerk.): *A településfejlesztés elmélete és gyakorlata*. Hatvan, CEBA Kiadó, 1996. p. 238
- [2] **GITTLÁR F.-NÉ:** *Szakovélemények felmérése az üzemfenntartás külső szolgáltatásairól*. In: MIÜF 2007. 2. sz. Budapest, OMIKK pp. 25-30.
- [3] **GYÖRKI J., LIBOR J., VAS F., VERMES P.:** *The situation of maintenances services – beginning results of an investigation*. 8th International Scientific Symposium, Quality and Reliability of Machines, Nitra, 2003. pp. 200-203.
- [4] **HILL, T. P.:** *On goods and services*. In: Review of Income and Wealth, Vol. 23, Issue 4, 1977. pp. 315-338.
- [5] **HUSTI I.** (szerk.): *A mezőgazdasági gépesítés ökonómiája és menedzsmentje*. Budapest, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, 1999. p. 266
- [6] **JANIK J.** (szerk.): *Gépüzemfenntartás I.-II.*, Dunaújvárosi Főiskola, Főiskolai Kiadó Dunaújváros, 2009. p. 770
- [7] **KNÜTTEL, W.:** *Verzahnte Bearbeitung der Absatzmärkte durch Service und Vertrieb*. In: VDI-Berichte, 1994. 1115. sz. pp. 33-54. (Az exportértékesítés és a szerviz piaci együttműködése. In: MIÜF 1995. 2. sz. Budapest, OMIKK pp. 33-40.)
- [8] **KOTLER, PH.:** *Marketing management – elemzés, tervezés, végrehajtás és ellenőrzés*. Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1991. p. 625
- [9] **KOZMA G.:** *A termelési szolgáltatások szervezete elméleti szempontból*. In: Közgazdasági Szemle, 1985. XXXII. évf. 1. sz. pp. 43-48.
- [10] **MONORI P.:** *Marketing II.*, Széchenyi István Egyetem, Kiadó: Universitas-Győr Kht., Győr, 2004. p. 98
- [11] **MSZ IEC 50(191):1992** *Nemzetközi elektrotechnikai szótár*. 191. kötet: Megbízható-

- ság és a szolgáltatás minősége. Magyar Szabványügyi Testület, Budapest, 1992. p. 81
- [12] **OLÁH B.:** *A gépfenntartás jelenlegi helyzetének felmérése a mezőgazdaságban.* XXI. Nemzetközi Környezetvédelmi és Vidékfejlesztési Diákkonferencia. In: *Economica, A Szolnoki Főiskola Tudományos Közleményei.* VIII. új évfolyam 3. szám. Szolnok, 2015. pp. 258-265.
- [13] **OLÁH B.:** *A mezőgazdasági gépek tárolásának helyzete napjainkban.* IX. Alföldi Tudományos Tájgazdálkodási Napok. A Szolnoki Főiskola Nemzetközi Konferenciája a Magyar Tudomány Ünnepe. In: *Economica, A Szolnoki Főiskola Tudományos Közleményei* VIII. új évfolyam 4/1. szám. Szolnok, 2015. pp. 35-44.
- [14] **PÁLES GY.:** *A vevőszolgálat a termelő vállalatok piaci stratégiájában – tapasztalatok a tőkés világban és a magyar gyakorlat.* Budapest, MKK 1981. Kézirat
- [15] **RISIKEN UND CHANCEN – der europäische Dienstleistungsmarkt unter der Analyse – Lupe.** In: *Instandhaltungs-Markt,* 1991. pp. 14-15. (Az európai szolgáltató piac helyzete. In: *MIÜF* 1991. 9-10. sz. Budapest, OMIKK pp. 21-22.)
- [16] **SZJ'03:** *Szolgáltatások Jegyzéke.* KSH: Budapest, 2002. ISSN 0324-5985 és ISSN 1219-2282
- [17] **SZÚCS S., VERMES P.:** *A karbantartás kiszervezése – elvek, lehetőségek, megoldások.* In: „Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2012” Konferencia Előadásai. Elektronikus Műszaki Füzetek 11. (szerk.: Pokorádi L.), Debrecen, 2012. pp. 115-130.
- [18] **TESZOR'15:** *Termékek és Szolgáltatások Osztályozási rendszere.* KSH: Budapest, 2015. https://www.ksh.hu/osztalyozasok_teszor2-1
- [19] **VAS F., VERMES P.:** *Szerviz és gépjavítás létesítményei* (a tervezés szempontjai kis és közepes méretű mezőgazdasági üzemekben). Gépfenntartási segédlet. SZF Műszaki és Mezőgazdasági Fakultás, Mezőtúr, 2006. p. 70 (FVM 43532 sz. K+F téma keretében) Kézirat
- [20] **VAS F., VERMES P.:** *Mezőgazdasági üzemek szerviz- illetve gépjavító műhelyeinek tervezési szempontjai.* Oktatási és gyakorlati segédlet. FVM Mezőgazdasági Gépesítési Intézet, Gödöllő, 2006. p. 24 (FVM 43532 sz. K+F téma keretében) Kézirat
- [21] **VERMES P.:** *A vevőszolgálat, a fenntartás, valamint a hiba- és gyengepontelemzés komplex kölcsönhatásai.* Doktori értekezés. Gödöllő, GATE, 1997. p. 122 + mell.
- [22] **VERMES P.:** *A vevőszolgálat, a vevőelégedettség és a minőség.* In: *Szolnoki Tudományos Közlemények IV.* (Szerk.: Kádár Z., Kertész R.) Szolnok, JNSZ Múzeumok Igazgatósága és METESZ JNSZ Megyei Szervezete, 2000. pp. 146-154.
- [23] **VERMES P.:** *A karbantartási szolgáltatások piaci szempontjai.* MTA-AMB K+F Tanácskozás. Gödöllő, 2002. 3. köt. p. 152-156.
- [24] **VERMES P., GYÖRKI J., LIBOR J., VAS F.:** *A karbantartási szolgáltatások helyzete – egy felmérés kezdeti eredményei.* MTA-AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2003. pp. 248-252.
- [25] **VERMES P.** (összeáll.): *Részjelentés „A mezőgazdasági gépüzemfenntartás fejlesztése, a gépek optimális üzemen tartásának meghatározása”* című kutatási témához. Mezőtúr, TSF MFK, 2004. p. 16 + mell.
- [26] **VERMES P., VAS F.:** *A gépkarbantartás helyzete és megoldások a mezőgazdaságban.* In: „Műszaki Tudomány az Észak-Alföldi Régióban 2006” Konferencia Előadásai. MTA DAB Műszaki Szakbizottsága Elektronikus Műszaki Füzetek II. (szerk.: Pokorádi L., Kalmár F.), Debrecen, 2006. pp. 5-22.

MEZŐGAZDASÁGI MUNKAGÉPEK TALAJMŰVELŐ ELEMINEK ÉLETTARTAM JAVÍTÁSA

IMPROVEMENT OF TILLAGE ELEMENTS OF AGRICULTURAL MACHINERY

**PÁLINKÁS Sándor¹, FAZEKAS Lajos², GINDERT-KELE
Ágnes³, MOLNÁR András⁴, KONYHÁS Dávid⁵**

¹ Ph.D., adjunktus

Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.
e-mail: palinkassandor@eng.unideb.hu

² Ph.D., főiskolai tanár

Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.
e-mail: fazekas@eng.unideb.hu

³ Ph.D., egyetemi docens

Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.
e-mail: battane@eng.unideb.hu

⁴ PhD hallgató

Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Anyagszerkezzetani és Anyagtechnológiai Intézet,
Mechanikai Technológiai Intézeti Tanszék, 3515 Miskolc-Egyetemváros
e-mail: a.molnar2007@gmail.com

⁵ Gépészmérnök hallgató

Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.
e-mail: konyhas900309@gmail.com

Kivonat: A mezőgazdasági termelés hatékonyságát jelentős mértékben befolyásolja az ott használt erő- és munkagépek állapota. A kívánt terméshozam elérésében többek között komoly szerepe van a megfelelő talajállapot kialakításának és fenntartásának. A talajművelő gépek művelő elemei különösen nagy mechanikai igénybevételnek és jelentős koptató hatásnak vannak kitéve, ezért indokoltá vált a munkafelületi réteg és élettartamuk közötti összefüggés vizsgálata. A vizsgálatok célja az, hogy a régi, kopott lúdtalpkapákat nagyobb élettartamúra cserélhessük, ennek érdekében különböző hőkezelési technológiákat alkalmaztunk és meleg fémforszórászt végeztünk. Az elkészített munkadarabok a későbbiek folyamán mezőgazdasági használatba kerültek – így ezáltal eldönthető, hogy milyen hőkezelési vagy rétegfelviteli technológiát célszerű alkalmazni a gyártás során. Mivel egy kultivátoron jelentős számú lúdtalpkapa található, ezért egy jól megválasztott rétegfelviteli technológiával gyártott kapák alkalmazása jelentős mértékben csökkenti a költségeket, és a művelés során nagyobb területteljesítmény érhető el. Az eddigi vizsgálatok a Ni-ötvöztetésű keményfémekkel való utólagos (meleg) megolvasztással történő rétegfelvitel eredményességét prognosztizálják.

Kulcsszavak: meleg fémforszórás, élettartam javítás, mezőgazdasági munkagépek

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS

A hagyományos értelemben vett felrakó hegesztés [1] és a különböző fémforszórási technológiák [3] alkalmazása során új felület hozzáillesztésével a jelentős igénybevételnek kitett alkatrészek kopásból eredő méretcsökkenését, esetleg kitorését pótolni, illetve ezek felületminőségét javítani lehet. Ezzel a megoldással egyszerűsíthető a gépelemek kialakítása és gazdaságossági szempontból is jelentős megoldás, mivel nem kell cserélni az egész

munkadarabot [2]. A felrakó hegesztés során kisebb fajlagos lángerősséget használnak, a varratok nem mélyek, hanem inkább szélesek.

A mezőgazdaság különböző területein alkalmazott munkagépek esetén jelentős mértékű kopással találkozhatunk (1. ábra). Mivel a Magyarországon élő emberek jelentős hányada mezőgazdasággal foglalkozik, így fontos azon ismeretek megszerzése, amellyel költséghatékonyságot és eredményes földművelést lehet elérni. Kutatásunk jelenlegi szakaszában kísérleti célból szabadalakító kovácsolással legyártott kultivátorkapák hőkezelését és meleg fémporszórását végeztük el az élettartamuk vizsgálata céljából.



Kukoricakombájn csőtörő adapterének szárzúzó kése és tárcsája

Kombinátorokon és kultivátorokon használatos lúdtalpkapa



1. ábra: Kopott mezőgazdasági gépalkatrészek

2. KULTIVÁTOROK KAPÁNAK BEMUTATÁSA

A munkadarab a kultivátorkapa vagy másnéven lúdtalpkapa, amelyet mezőgazdasági kultivátorokra szerelve használnak. A kultivátorok (2. ábra) olyan talajművelő gépek, melyek többféle feladat elvégzésére is alkalmasak. A művelőszerszámok igen változatosak lehetnek. Lazítják, kis mértékben keverik a talajt és gyomirtást is végeznek, ezért igen fontos szerepet töltenek be a talajszerkezet megőrzésében, a növényápolás és növényvédelem munkáiban. A lúdtalp alakú kapákat a szántóföldi és a sorközművelő kultivátorokon is alkalmazhatják.

A lúdtalpkapák a lúdtalphez hasonló alakúak, a munkagépre felszerelve a csúccsal előrehaladva helyezkednek el, a vágóél a gyomok gyökereit elmetszi, a talajt megemeli és aprítja. A még felszín alatt maradt gyökér részei kifordulnak a felszínre. A lúdtalpkapák működésük közben a talajt oldalirányban szállítják.



2. ábra: Mezőgazdasági kultivátor [7]

A szántóföldi kultivátorok a szántott terület felszíni elmunkálására, vetőágy előkészítésére, laza talajon tarlóhántásra is használhatók. A gyomirtó hatás akkor jó igazán, ha a több sorban elhelyezett lúdtalp alakú kapák 40-60 mm túlfedéssel vannak elhelyezve. Munkájuk eredménye az egyenletes mélységű, porosodás és rögzítés nélküli lazítás. A szokásos munkamélység: 80-120 mm. A sorközművelő kultivátorok a nagyobb sortávolságú (kapás növények) sorközeiben végeznek gyomirtást és lazítást. Ez lehetővé teszi, hogy kevesebb gyomirtó szert használjanak, mivel csak a növényi sorok közvetlen környezetét kell vegyszerrel kezelni. A sekély művelés (20-40 mm) biztosítja a kelő gyomok gyökereinek az elvágását is.

3. A KULTIVÁTOROK KAPÁK HŐKEZELÉSE

A szabadalakító kovácsolás során kísérleti célból 10 darab próbadarabot állítottunk elő és ebből az 1. táblázat szerint 5 darabot különbözőképpen hőkezeltünk. Az elkészült hőkezelt munkadarabok a 3. ábrán láthatóak.

A hőkezelés technológiájának kidolgozásakor alapvetően kétféle hőkezelési eljárást alkalmaztunk, az edzést és a megeresztést.

Az edzés ausztenitesítésből és ezt követő gyors lehűtésből áll, amelynek célja a keménység, kopásállóság, szilárdság növelése. Az ausztenitesítés hőmérséklete és ideje, valamint a lehűtés sebessége az acélminőségtől függ. Ötvöztelen acélok edzési hőmérséklettartománya A_3+50 °C (hipoeutektoidos acélok), illetve A_1+50 °C (hipereutektoidos acélok) [4]. Az edzett martenzites szövet rideg. Ez a ridegség megeresztéssel mérsékelhető. A megeresztés hőmérsékletének növelésével az edzett anyag szilárdsága csökken, szívóssága nő. Hasonló hatása van a megeresztés időtartamának is. Kemény, kopásálló alkatrészek esetében a martenzites szerkezet megtartása a cél. Ilyen esetben csak olyan hőmérsékletre hevítjük a darabot, hogy a szerkezetváltozás ne következzen be, csak a belső feszültségek csökkenjenek.

Próba száma	Elvégzett hőkezelés
1.	normalizálás
2.	élek edzése
3.	élek nemesítése
4.	teljes felület edzése
5.	teljes felület nemesítése

1. Táblázat: Az elvégzett hőkezelések



1 2 3 4 5

3. ábra: Az elkészült hőkezelt munkadarabok

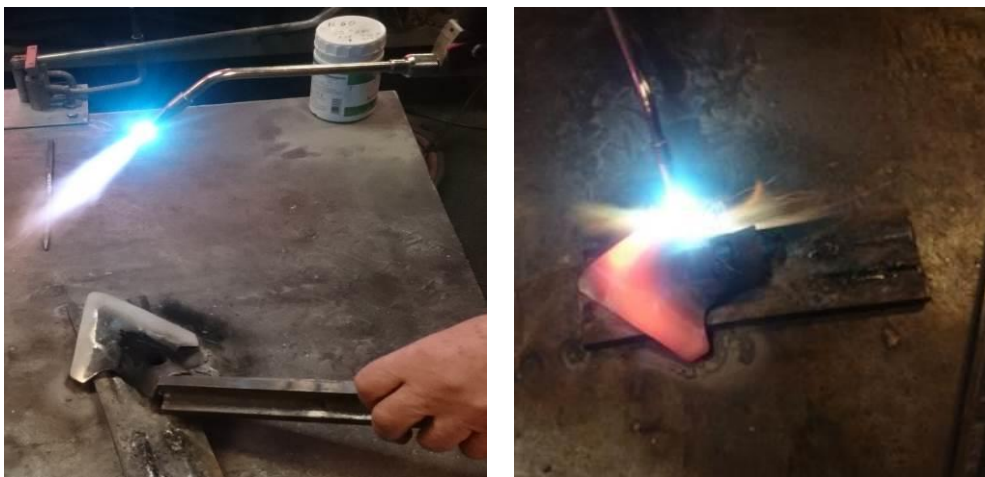
4. A KULTIVÁTOROK MELEG FÉMPORSZÓRÁSA

A kísérleti célból előre legyártatott minták közül négy darab felületére fémport vittünk fel melegen és egy darab esetében hagyományos módon felrakó hegesztést alkalmaztunk a 2. táblázat szerint. Kísérleteinket a Debreceni Egyetem Műszaki Karának Hegesztő Laboratóriumában végeztük.

Próba száma	Elvégzett rétegfelvitel
6.	hagyományos felrakó hegesztés
7.	meleg fémportszórás Deloro porral
8.	meleg fémportszórás N40 porral
9.	meleg fémportszórás N50 porral
10.	meleg fémportszórás N60 porral

2. Táblázat: Az elvégzett rétegfelvitel

A fémportszórást UTP variobond típusú meleg szórópisztollyal a 4. ábrán bemutatott módon végeztük. A meleg fémportszórás egy olyan bevonatfelviteli módszer, amelyben a kiindulóanyag folyékony vagy képlékeny állapotig való hevítése, porlasztása, bizonyos sebességre való felgyorsítása és a munkadarabra - alapfémre - lánggal történő szállításán (felszórásán) alapul.



4. ábra: Az ötvözetpor rétegfelvitele meleg fémorszórással

A lánggal végzett felszórási eljárás alkalmazása során a felszóró készülékbe (pisztoly, égő, stb.) bevezetett anyag (huzal, pálcá, por) megolvad vagy képlékennyé válik és a lángon áthaladva a munkadarab felületének ütközve összefüggő réteg alakul ki. A szóróanyag (pálcá, huzal, por, stb.) leválasztását vagy a részecskékre bontását és azok kinetikai energiájának megnövelését valamilyen gyorsító gázzal – általában sűrített levegővel – segítik elő, eszerint a hőenergia forrása a gázláng, amely oxigén-éghető gáz (acetilén, földgáz, propánbután, hidrogén, stb.) elegyének égésekor keletkezik [6].

4.1. A meleg fémorszórás folyamata

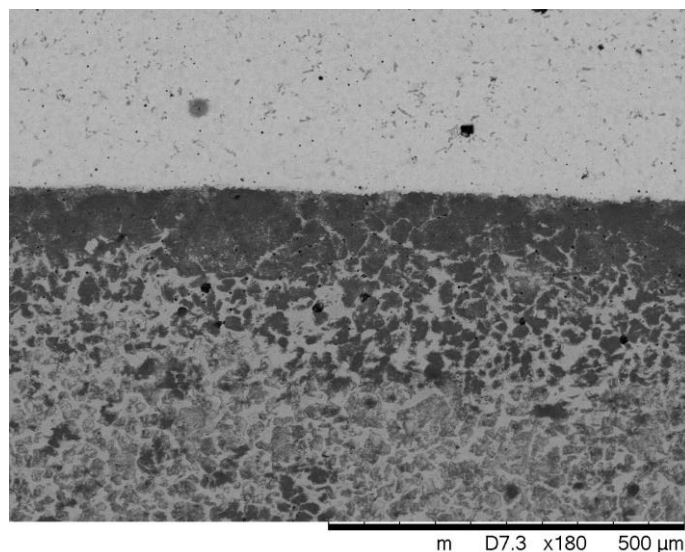
A próbadarabok előkészítése nagyon fontos, mivel bármilyen kisméretű szennyeződés már elég ahhoz, hogy a megfelelő kötés ne jöjjön létre a két anyag között. Első lépésben egy sarokcsiszolóval tüntettük el a felületen lévő idegen anyagot. Ezután a munkadarabot felmelegítettük 250-300 °C körüli hőmérsékletre. Ezt nevezik nedvesítési folyamatnak. Azért fontos az alapanyag helyes megválasztása, hogy fémorszórás során a por és a munkadarab között megfelelő minőségű kötés jöjjön létre. A fémorszórás során a munkadarabok magas hőmérsékleti tartományban vannak, ezért a megfelelő keménység érdekében fontos a hűlés jellege, esetünkben a munkadarabok szabad levegőn hűltek. Az elkészült munkadarabok az 5. ábrán láthatóak.



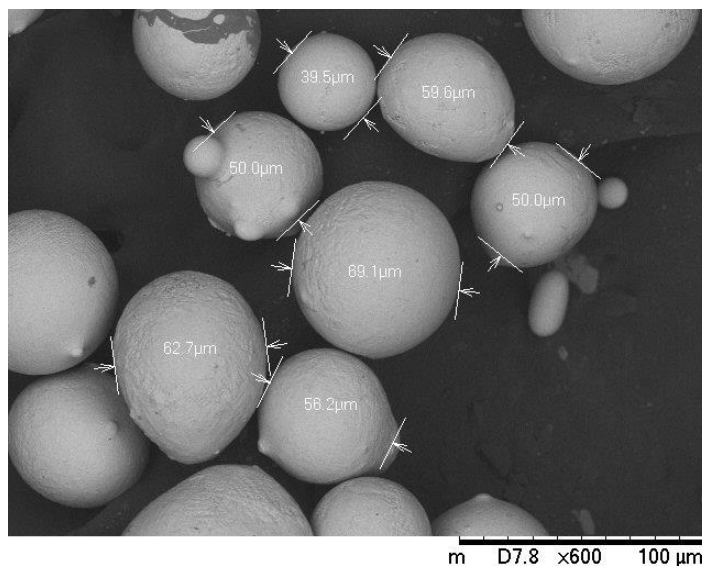
5. ábra. Az elkészült felszóró munkadarabok

4.2. A felvitt réteg vizsgálata Scanning elektronmikroszkóppal

A lúdtalpkapák alapanyaga C60-as anyagminőségű melegen hengerelt acéllemez. A meleg fémforszórás során a különböző rétegeket felvittük egy-egy a kultivátorkapa anyagával megegyező anyagminőségű acéllapra, ezáltal próbadarabokat hoztunk létre a felvitt réteg és az alapanyag között kialakult átmeneti réteg vizsgálata céljából. A próbadarabokból mintát vettünk, amelyet műgyantába ágyaztunk, majd ezt csiszoltuk, políroztuk és marattuk, ezután Scanning elektronmikroszkóp segítségével megvizsgáltuk (6. ábra), majd a felhasznált ötvözetpor szemcseátmérőjének meghatározása érdekében is készítettünk felvételt (7. ábra).



6. ábra. Az átmeneti réteg vizsgálata a 8. minta esetében, nagyítás: 180x



7. ábra. Az ötvözetpor (N40) vizsgálata, nagyítás: 2000x

5. AZ ELKÉSZÍTETT MUNKADARABOK HASZNÁLATA TALAJ-ELŐKÉSZÍTÉSI MUNKÁLATOKHOZ

A kísérleti darabokat átadtuk Illyés János hajdúszováti mezőgazdasági vállalkozónak, 200 hektár földterület talaj-előkészítése céljából, melyet a 8. ábrán látható kombinátorral végzett.



8. ábra: A lúdtalpkapákkal felszerelt munkagép

A kapák tömegét használat előtt és a 200 hektár művelése után is lemértük, az eredmények összefoglalását a 3. táblázatban mutatjuk be.

Próba száma	Elvégzett műveletek	Munkadarab tömege [g]		
		Használat előtt	Használat után	Különbség
1.	normalizálva	226,44	118,42	108,02
2.	élek edzve	232,85	163,34	69,51
3.	élek nemesítve	230,74	157,72	73,02
4.	teljes felület edzve	234,93	142,32	92,61
5.	teljes felület nemesítve	231,63	119,71	111,92
6.	felrakó hegesztés	252,68	134,78	117,9
7.	szóró hegesztés Deloro porral	247,23	153,54	93,69
8.	szóró hegesztés N40 porral	244,58	167,35	77,23
9.	szóró hegesztés N50 porral	240,25	169,06	71,19
10.	szóró hegesztés N60 porral	249,43	206,08	43,35

3. táblázat: A kultivátorkapák tömege használat előtt és után

A 9. ábrán a kísérleti darabok láthatóak kopott állapotban. Megállapítható, hogy a hőkezelték közül 2. és 3. munkadarabon következett be a legkisebb anyagvesztés, míg a meleg fémporoszórással kezelt minták közül a 10. munkadarab kopott legkevésbé. A rétegfelvitellel kezelt mintáknál az eredmény várható volt, mivel ennek a porral volt a legnagyobb keménysége (60 HRC). A hőkezelt minták esetében kapott eredmények viszont nem magyarázhatóak a tudományterület elméleti hátterével, mivel ezek a minták a vártnál nagyobb mértékű anyagvesztést szenvedtek el. Ezt az ellentmondást több tényező is okozhatta. Az egyik, hogy a kovácműhelyben végzett hőkezelés nem szabályozott körülmények között történt. A másik, hogy a munkagépen elhelyezett kultivátorkapák nem feltétlenül azonos terhelést kaptak, a kapák fedésben vannak egymáshoz képest, illetve a traktor keréknyomban dolgozó kapákat a talaj tömörödése miatt nagyobb koptatóhatás érte.



9. ábra. A kísérleti darabok használat után, hőkezelték (felső sor) és felszörtak (alsó sor)

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen cikkünkben a Debreceni Egyetem Műszaki Karának Gépészmérnöki Tanszékén végzett hosszú távú kutatómunka előkísérletét végeztük el. Korábbi munkánk során szabadalakító kovácsolással kultivátorokon alkalmazott lúdtalpkapákat hoztunk létre kísérleti célból. A lúdtalpkapák egy részét különbözőféleképpen hőkezeltük, a másik részén pedig meleg fémforszórással kopásálló réteget hoztunk létre, majd az élettartamuk vizsgálata céljából kiadtuk használatra, amelynek során valós körülmények között talaj-előkészítési munkálatokat végeztek. Jelen kísérletünk eredményeit felhasználva a kutatómunkát folytatjuk és a továbbiakban 9 db lúdtalpkapára különböző ötvözetporokat viszünk fel meleg fémforszórással, illetve 3 darabra felrakott réteget készítünk kézi ívhegesztés segítségével. Az így létrehozott munkadarabok szintén mezőgazdasági használatba kerülnek, továbbá fémtani vizsgálatokat is végzünk rajtuk. Mivel Magyarországnak rendkívül jó termőtalaja van, a mezőgazdaság meghatározó szerepet tölt be az ország gazdasági életében, ezért a termelékenység növelésére irányuló kutatásoknak – mint amilyen a miénk is – igen nagy a jelentősége.

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **EMBER M., JÁNOSSY GY., SZÍJJÁRTÓ O.:** *Mezőgazdasági gépek javítása*, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1983
- [2] **HARTMANN V., FELKER J., KALMÁR V., HORVÁTH G.:** *Mezőgazdasági gépalkatrészek felújítása*, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1986
- [3] **TÓTH E.:** *Felületi rétegek technológiája*, Műegyetemi Kiadó Budapest, 1993
- [4] **ASCHENBRENNER J.:** *Fémötvözetek tulajdonságainak megváltoztatása hőkezeléssel*, Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, Budapest, 2008
- [5] **DAVIS J. R. (Ed.):** *Handbook of Thermal Spray Technology*, ASM International, 2004.
- [6] **F. W. BACH, K. MÖHWALD, A. LAARMANN, T. WENZ:** *Modern Surface Technology*, 1st ed., WILEY-VCH Verlag, Weinheim, 2006
- [7] <http://static.mascus.com/image/product/large/ff06fb96/other-caldiz-sorkozmuvelo-kult,409ac3f8.jpg>

A PILÓTA NÉLKÜLI LÉGI JÁRMŰVEK AUTONÓMIÁJÁNAK FEJLŐDÉSE

THE DEVELOPMENT OF UNMANNED AERIAL VEHICLES' AUTONOMY

PÁNYA Nándor

Honvéd tisztjelölt

Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar,
Katonai Repülő Intézet, Fedélzeti Rendszerek Tanszék
H-5008 Szolnok, Pf. 1., Email: pnandi94@hotmail.com

Kivonat: *A pilóta nélküli repülőgépek irányítását a múltban távirányítással oldották meg, gyakorlatilag a pilóta nem a fülkéből, hanem a földről irányított. Ahhoz hogy komplexebb feladatokat is végre tudjon hajtani az UAV, bizonyos szintű autonómiára van szüksége, vagyis önálló döntéshozatalra. Ahhoz hogy a drónok önirányító képességét értékeljük, elemeznünk kell őket az OODA-Loop segítségével és besorolni őket az elért autonómia-szintjük alapján. A kezdeti robotpilóta rendszerekkel rendelkező modellektől eljutunk a fejlesztés alatt álló modern automatikus repülésszabályzó rendszerekkel rendelkező modellekig, melyek emberi beavatkozás nélkül fognak feladatokat végrehajtani.*

Kulcsszavak: UAV, drón, autonómia, automatika, OODA-Loop

Abstract: *The UAVs used to be remote controlled vehicles, which only meant the pilot was not in the cockpit, but on the ground. To be able to do more complex tasks, UAVs need a certain level of autonomy, or independent decision making ability. To evaluate this self-controlling ability, we analyze them using the OODA-Loop, and classify them according to which level of autonomy they reached. We go through the ages from the rudimental autopilot systems to the modern automatic flight control systems, which will be able to fly without human interaction.*

Keywords: UAV, drone, autonomy, automatic, OODA-Loop

1. BEVEZETÉS

A pilóta nélküli légi járművek forradalmasítják a jelenkori hadviselést. Modern hadseregek egyik kulcsfontosságú elemeivé válnak az UAV¹-k, és várhatóan a robotok képesek lesznek végrehajtani különböző feladatokat emberi beavatkozás nélkül is a jövőben. Napjainkban az emberek még fontos részei annak a zárt szabályozási rendszernek, („huroknak”) amely biztosítja ezeknek a berendezéseknek a működését. Az emberek döntenek el, hogy mikor kell a drónoknak fel- és leszállniuk, illetve, hogy milyen feladatokat végezzenek el [1, 2, 6, 7, 22, 23].

2. GÉPEK PROBLÉMAMEGOLDÁSA, A KÜLÖNBSÉG AUTONÓMIA ÉS AUTOMATIKA KÖZÖTT

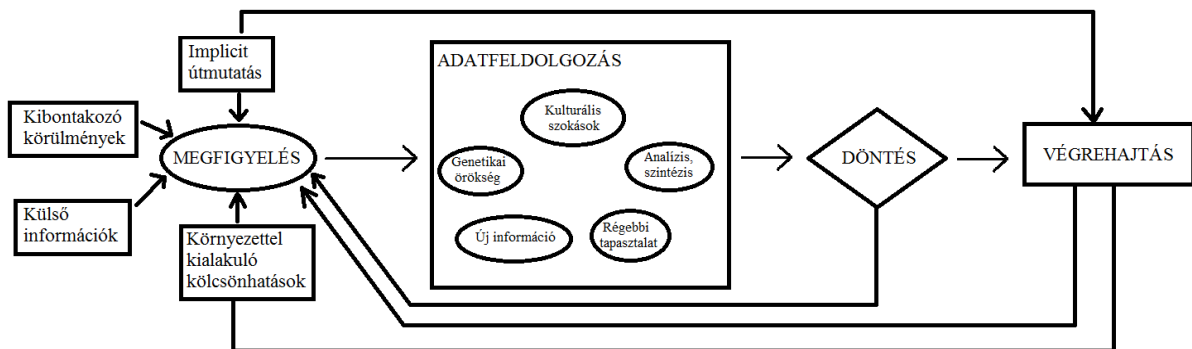
2.1 A gépek és a „hurok”

Hogy megértsük az automatika és az autonómia közti különbséget, nézzük az OODA-Loopot. John Boyd szerint, aki megalkotta ezt a rendszert, a küzdelemben az győz aki képes gyorsabban és pontosabb meghoznia döntéseit, kikölkentve az ellenfelét a saját rendszeréből.

¹ Unmanned Aerial Vehicle – Pilóta nélküli repülőgép

Boyd szerint a döntéshozatal négy részre osztható fel: megfigyelés, feldolgozás, döntés és cselekvés [20]. Az OODA Loop (1. ábra) teljesen szétszedi ezt a négy részt, miközben a való életben ezek adattovábbító és visszacsatoló csatornákkal össze vannak kötve, szerves részei egymásnak, de az autonómia megértéséhez tökéletes eszköz [1, 2].

Egy gép problémamegoldása jóval bonyolultabb, mint az emberé. Először is szüksége van egy adott szenzorrendszerre, ami felméri az akadályt, az ahhoz tartozó adatfeldolgozó rendszerre, ami képes a bejövő információkat feldolgozni, megbecsülni a magasságot, sűrűséget, stb. A szenzorika és adatfeldolgozás kritikus pontja lehet a huroknak, mivel ez a későbbi döntéshozatalra kihat, ha hibás információkat gyűjtött be, vagy az adatokat rosszul kezelte, pontatlan, lassú döntés születhet. Az adatfeldolgozásnak gyorsnak kell lennie, mert a dinamikusán változó a bejövő információk túlterhelhetik a rendszert.



1. ábra. A Boyd féle OODA Loop²

Ezután jön csak a döntéshozatal. Jelenleg egy gép csak a bele programozott sémák, és a programozói által elképzelt akadályokra tud reagálni, de kezdetleges gépek, például egyszerűen akadály esetén megálltak, és emberi beavatkozást igényeltek a hiba elhárítására. A cselekvés csupán a rendszer felszerelésétől függ, ha a gép rendelkezik szárnyakkal, a fent említett sziklát egyszerűen átrepüli, ha teherbíró karokkal van felszerelve, eltolhatja, akár fegyverzetével megsemmisítheti. Minél többet tud a rendszer önállóan végrehajtani, annál kevesebb emberi beavatkozásra van szüksége és felmerül a kérdés, hogy mi az a pont ahonnan autonómnak [1, 2, 18].

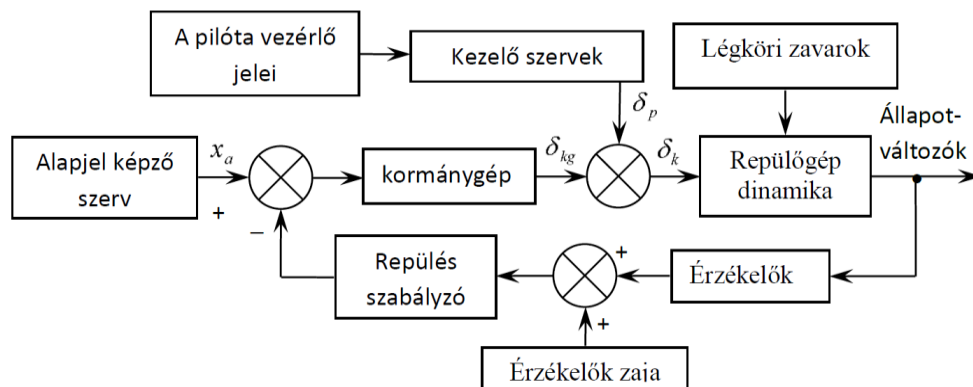
3. AZ AUTOMATIKUS REPÜLÉSSZABÁLYZÓ RENDSZER MŰKÖDÉSE

Mielőtt megvizsgálánk a különbséget az automatika és az autonómia között, nézzük meg hogyan is néz ki egy UAV-ba épített repülésszabályzó rendszer. Napjainkban a repülőeszközök irányítását, szabályozását automatikus szabályozó MIMO (Multi input, Multi output) rendszerek végzik. A repülőgép-vezetés automatizálásakor a repülőgép térbeli mozgását leíró jellemzők/paraméterek meghatározása és időbeli változásának megismerése alapvető. A repülő eszközök stabilizálását biztosító vezérlési törvények meghatározása (a kormánylap-kitérítés és az eszköz elmozdulása közti kapcsolat), továbbá a kormánysszervek megadott pontosságú és gyorsaságú kitérítésének létrehozása a vezérlési törvények szerint kiemelt feladat. Napjaink robotpilótái a stabilitás növelésén túl képesek előre programozott útvonalrepülésre, önálló manőverek végrehajtására, navigálásra, automatikus fel-, leszállásra,

² szerkesztette a szerző (MS WORD) https://en.wikipedia.org/wiki/OODA_loop#/media/File:OODA.Boyd.svg (2016.02.17)

a meghatározott, ismert külső zavarok hatásainak csökkentésére (aktív repülésszabályozásra) [3, 11, 12, 14, 15, 21, 23]. Szemléltetésnek a 2. ábra bemutatja a rendszer felépítését.

A mérőeszközök, mint például a bedöntés, bólintás és szögsebesség mérőadók, magasság-, állásszögadók biztosítják a rendszer működését, amelyek a pillanatnyi bejövő adatokat alakítják át elektromos impulzussá, és továbbítják a részegységekhez. A repülő eszköz mozgásának térbeli változása (eltekintve a külső és belső zavaroktól, zajoktól) a kezelő személy utasítása, vagy a repülést szabályozó rendszertől érkező jelek kezdeményezhetik. Ha automatikus repülést terveznek az adott változókat, mint a repülési magasság, sebesség, vagy irány előre kiszámítják és beprogramozzák, hogy a felmerülő külső hatásokra bekövetkező változásokat a repülésszabályozó rendszer tudja kompenzálni.



2. ábra. Az automatikus repülésszabályozó rendszer blokkvázlata³

„Az eltérés elve alapján működő, a 2. ábra szerinti értéktartó robotpilóta rendszerben az alapjel képző létrehozza a stabilizálni kívánt alapjellel arányos jelet. A robotpilóta érzékelői mérik a repülőgép pillanatnyi helyzetének megfelelő repülési paramétereket.

Robotpilótákkal szemben támasztott általános követelmények az alábbiak:

- a repülőgép kormányozhatóságának és előre megadott stabilitásának biztosítása az x, y, és a z tengely körül;
- a zavaró hatásokkal szembeni érzéketlenség;
- speciális feladatok biztosítása:
 - az automatikus le-, és felszállás;
 - repülési sebesség stabilizálása;
 - repülési magasság stabilizálása;
 - süllyedés, emelkedés végrehajtása;
 - műszer szerinti sebesség és „M” szám automatikus stabilizálása;
 - a repülőgép bármely helyzetből vízszintes repülési helyzetbe történő visszaállítása;
- üzembiztos, pontos működés az előre megadott hőmérsékleti, magassági és relatív nedvesség tartományon belül;
- minimális energia felhasználással működjön;
- minél kisebb súllyal és méretekkal rendelkezzen.”⁴ [4, 5, 6, 8, 9, 10, 13]

³ Dr. Szegedi Péter: Repülésszabályozó rendszerek szabályozóinak számítógépes analízise és szintézise, (PhD értekezés) Zrínyi Miklós nemzeti védelmi Egyetem, Katonai Műszaki Doktori Iskola, Budapest, 2005, 3.1. ábra, 54. o.

⁴ Szegedi Péter: Rendszerek szabályozóinak számítógépes analízise és szintézise, (PhD értekezés) Zrínyi Miklós nemzeti védelmi Egyetem, Katonai Műszaki Doktori Iskola, Budapest, 2005. 54-55. o.

3.1 Az autonómia és automatika közti különbség

Felmérhető egy gép autonómiája az OODA-Loop különböző szakaszain végrehajtott teljesítménye alapján: hogyan méri fel a környezetét, dolgozza fel az adatokat, mennyire pontos és gyors döntést hoz, és ez alapján hogyan cselekszik. Ugyan mind az automatika és az autonómia azt jelenti, hogy a gép „képes egy folyamatot végrehajtani emberi beavatkozás nélkül” a különbség lényeges. Önálló döntéshozatalra és feladat végrehajtásra nem alkalmasak automata rendszerek, míg autonóm entitások képesek saját céljaiknak megfelelően alkalmazkodni, cselekedni és tanulni. Az automatika „csak pótol egy rutin feladatot” (mint pl. a mosógép vagy a futószalagi robotkar), egy autonóm rendszer képes adott helyzetben gyorsabban és pontosabban dolgozni, mint egy ember (pl. hajó-fedélzeti légvédelmi rakétarendszer). Egy teljesen autonóm rendszer független a vezérléstől és rendelkeznie kell az alábbi tulajdonságokkal:

- **automatika** - képesség külső beavatkozás nélküli munkavégzésre;
- **döntéshozó képesség** - vagyis képesség saját céljai végrehajtása;
- **tanulás** - tapasztalatot levonni a múlt cselekvéseiből, majd ezt felhasználni [1, 2, 21].

4. AZ AUTONÓMIA SZINTJEI

Az autonómia nem olyan, mint egy kapcsoló, hogy vagy van, vagy nincs, inkább különböző szintekkel (gyakran fél-autonómia) jellemezhető a teljesen automatikus és teljesen autonóm között. Ahogy nő az autonómia szintje úgy nő a rendszer teljesítőképessége különböző területeken, mint például: (1) milyen szinten méri fel a környezetét és (2) a begyűjtött információk alapján hogyan képes kiértékelni a helyzetet, (3) a begyűjtött információk alapján milyen lehetséges akciókat talál, (4) a felmerülő lehetőségek közül ki tudja-e választani a legjobbat; milyen szinten tudja végrehajtani a feladatot.

Néhány példa:

- **Teljesen kézi vezérelt** – a feladat minden részét az ember hajtja végre.
- **Végrehajtás támogató** – a rendszer feladatokat hajt végre az ember helyett, mint például a repülés támogató rendszerek, vagy az okos fegyverek, de az ember dönt.
- **Helyzet felismerést támogató** – különböző forrásokból érkező adatokat feldolgozza és a feladat szempontjából érdekes információkat a kezelőnek átadja.
- **Döntés támogató** – a rendszer lehetőségeket értékeli, majd felajánlja a legjobbat, amit a kezelő vagy elfogad, vagy nem.
- **Felügyelt irányítás** – a rendszer önállóan gyűjt információkat, dönt és végrehajt, de az ember bármikor beavatkozhat.
- **Teljesen autonóm** – teljesen önálló működés, amelybe az ember nem avatkozhat be, pl.: veszélyes magasság érzékelő és jelző rendszer.

Thomas Sheridan 10 lépcsőfokos besorolása az 1. szinten lévő automatikustól a 10. szinten lévő teljesen autonómig sorolja be a robotokat. A 2-5. szinteken a döntéshozatalt az ember végzi, míg a 6-9. szinteken a gép meghozza a döntést és változó mennyiségű vétőjogot és információt ad az embernek.

A Sheridan féle felosztás (1. táblázat) nem foglalkozik azzal, hogy egy drón képes más és más teljesítményt nyújtani az OODA Loop különböző részein, ezeket egyszerűen átlagolja. Pl.: egy gép önállóan felméri környezetét, de szüksége van emberi beavatkozásra döntéshozásnál.

A Légi Erő Kutató Intézete (AFRL – Air Force Research Lab) elkészítette saját 11 lépcsős beosztását, amibe már ezt a jelentős tény számításba vették.

Szint	Leírás
1	A gép nem segít, az ember csinál mindent.
2	A gép több lehetőséget ajánl fel.
3	A gép egy leszűkített listát ajánl fel.
4	A gép egy lehetőséget javasol.
5	A gép cselekszik, ha az ember jóváhagyja.
6	Az automatikus végrehajtás előtt ad vétójogot az embernek.
7	Cselekvés után mindenképpen tájékoztatja az embert.
8	Cselekvés után, ha az ember kéri, kap tájékoztatást.
9	Cselekvés után, ha a gép úgy gondolja, tájékoztatja az embert.
10	A gép mindent önállóan csinál, az ember teljes kihagyása.

1. táblázat. Sheridan féle autonómia szintek⁵ [1]

Az AFRL beosztásban azt is figyelembe vették, hogy vannak olyan helyzetek, ahol egy kezelő több járművet kezel egyszerre, így a többgépes rendszerek autonómiáját is figyelembe veszi.

Szint	Leírás
0	Távírányított jármű
1	Előre eltervezett küldetés végrehajtása
2	Változtatható küldetés végrehajtása
3	Határozott válasz a valós idejű hibákra/eseményekre
4	Hibára/eseményre alkalmazkodó
5	Több jármű valós idejű koordinációja
6	Több jármű valós idejű együttműködése
7	Harctér ismerete
8	A harctér egyéni megismerése
9	A harctér rajban való megismerése
10	Teljes autonómia

2. táblázat. Az autonómia 11 szintje az AFRL szerint⁶ [1]

Az AFRL besorolásából látható, hogy egy rendszer autonómia szintjét az OODA Loop különböző részein elért teljesítménye alapján jól lehet jellemezni. Pl.: egy gép eléri a 10.

⁵ szerkesztette a szerző (MS WORD)

⁶ szerkesztette a szerző (MS WORD)

szintet a megfigyelésben, és az 5. szintet döntéshozásban, vagyis el tudja kerülni az ütközéseket, de komolyabb gondok megoldására akkor is kell a kezelő beavatkozása.

Az USA harci drónjai mutatnak autonóm és automatikus tulajdonságokat is, elsősorban automata rendszerek. A Global Hawk felderítő repülőgép képes fel-, és leszállni közvetlen emberi beavatkozás nélkül. Azonban hiányzik pl. az a képessége, hogy önállóan irányítsa a kameráit.

A Predator és a Reaper három repülési móddal rendelkeznek, amelyeket a kezelő választ ki: manuális repülés (távírányítás), fél-autonóm megfigyelt repülés, és előre beprogramozott repülés. A jelenleg alkalmazott pilóta nélküli repülő rendszerek esetén, a fejlettségüktől függetlenül az ember állítja be az eszközök autonómiájának a szintjét [1, 2, 16, 17, 18, 19].

5. DRÓN HADVISELÉS: MÚLT, JELEN, JÖVŐ

5.1 A múlt pilóta nélküli repülőeszközei

Az első igazán sikeres katonai UAV-nak az öbölháborúban bevetett **Pioneer**-t tekinthetjük, amely felderítő, megfigyelő feladatokat hajtott végre. A kezdetleges technológia korlátot szabott az irányíthatóságnak. Ez az a képesség, amitől egy UAV több lesz, mint egy kilőtt lövedék.

A lézercélzó és a cirkáló rakéta felfedezése, talán ez a 20. század egyik legjelentősebb fejlődése a pilóta nélküli technológiában. A lézer-irányított bombákat nem egy ember irányítja, hanem a kezelő „megvilágítja” lézerrel a célpontot, és a bomba a lézercélzó berendezésével a célra fordul. A cirkáló rakéták képesek a célba önállóan eljutni fedélzeti rendszereik segítségével. A **Tomahawkok** célpontjait indítás előtt meg kell határozni és indítás után már nem lehet módosítani. Csak feltérképezett terület fölött jó időben volt képes repülni, akadályokat egyáltalán nem tudott leküzdeni.

Az öbölháború Pioneerje távirányított eszköz volt, ha a kommunikációs kapcsolat megszakadt az irányító és a drón között egyszerűen lezuhantak. A még korábbi modelleket lövészetre céltárgyként, vagy irányított rakétaként ellenséges célpontok megsemmisítésére használták. A 20. század vége felé kezdtek megjelenni azok a modellek, amik már autonóm rendszerrel rendelkeztek, de ez igazán csak a 21. században bontakozik ki [1, 2, 21].

5.2 Napjaink drónjai

2001. szeptember 11-től terjedt igazán el a katonai drónok használata. Míg a múltban kommunikációs és navigációs problémákkal küszködtek, napjaink új technológiai egyre hatékonyabbá teszik a drónokat. A 8 méter hosszú és 500 kilogramm súlyú **Predator** 24 órát is eltölthet a levegőben és 3 kilométer távolságból is le tud olvasni egy rendszámtáblát, meg tudja figyelni az alatta lévő területet bármilyen időjárásban. A **Reaper** kétszer olyan gyorsan és kétszer olyan magasra tud repülni több, mint 1,5 tonna hasznos teherrel, mint elődje a Predator. Ez a drón viszont nem tud egy terület felett járőrözni és a repülési időtartama 18 óra, ami két 450 kilós külső üzemanyag tartállyal kiegészítve 42 órára növelhető. A Predator és a Reaper is fejlett szenzorikával, fegyverzettel rendelkezik, de nem többek távirányítású repülőgépeknél.

A fegyvertelen felderítő drónok közé tartozik a nagy magasságú, nagy hatótávolságú **Global Hawk**, amely 28 órát képes eltölteni 20 km-es magasságban. Gombnyomásra képes fel és leszállni, közben önállóan útvonalat repül és felderít, üzemeltetése erőforrás igényes [21].

5.3 A jövő drónjai

Az autonómiával kapcsolatos kutatásokban a negyedik és az afeletti szintű drónok fejlesztése folyik. A stratégiák pedig azon dolgoznak, hogy hogyan, milyen feladatok

ellátására vonják be az UAV-kat. Az Amerikai Haditengerészet UCLASS (pilóta nélküli anyahajóról indítható felderítő csapásmérő) pályázatán két prototípus fejlesztése folyik. A **Phantom Ray** és az **X-47B** akár fél-autonóm képes anyahajón fel- leszállni, levegő-föld támadásokat végrehajtani és légi-utántölteni.

A görög, olasz, spanyol, svájci és svéd összefogásban Franciaország vezetésével épül a **nEUROn**, mely csupán technológia demonstráció, hogy ismereteket szerezzenek arról, hogy a jövő autonóm lopakodói mikre lesznek képesek. A drón autonómiája olyan magas szintű lesz, hogy képes lesz önálló levegő-föld támadást végrehajtani, és képes lesz irányított kötelék repülést végrehajtani, akár egy Gripen platformjáról is lehet őket vezérelni.

A 2014 óta tesztelésben lévő folyékony hidrogén meghajtású Phantom Eye képes teljesen autonóm módon repülni (autonóm módon felszállni, repülni és leszállni). A következő generációs Reaperek (Avenger) várhatóan felismerik és kategorizálják az embereket és az emberi készítésű tárgyakat, felismerve a legkisebb változásokat is, pl.: lábnyomok [21].

A jövő drónjai felül múlják majd az embereket is sok szempontból. Gyorsabb, pontosabb megfigyelést, adatfeldolgozást, döntést és cselekvést fognak tudni végrehajtani. Az emberek az irányító pozícióból átkerülhetnek megfigyelőkké, akik csak szükség esetén avatkoznak be.

Besorolás az AFRL táblázatba

Szint	Példa	AFRL Leírás	ALFUS Leírás
0	Pioneer	Távirányított jármű	Autonómia teljes hiánya
1	Tomahawk rakéta, Predator, Reaper	Előre eltervezett küldetés végrehajtása	Magas szintű ember-gép együttműködés
2	Global Hawk	Változtatható küldetés végrehajtása	Alacsony szintű taktikai feladatvégrehajtás
3	Phantom Eye	Határozott válasz a valós idejű hibákra/eseményekre	Egyszerű környezethez való alkalmazkodás
4	Phantom Ray, X-47B	Hibára/eseményre alkalmazkodó	Közepes szintű ember-gép együttműködés
5+	nEUROn	Több jármű valós idejű koordinációja	Közepes szintű taktikai feladat-végrehajtás Összetett környezethez való alkalmazkodás

3. táblázat. A felsorolt példák táblázatban⁷

Az 1980-as évek előtt a drónokat távirányítású légi járművekként kezelték, semmilyen autonómiával nem rendelkeztek, annyi különbség volt a vadászrepülőgépektől, hogy pilótáik egy földi állomáson voltak elhelyezve. A cirkáló rakéták megjelenésével, mint például a Tomahawk, felfedezték a lehetőséget az eszközök előre beprogramozására, így egyszerűbb feladatokat már önállóan képesek voltak végrehajtani. Az első jelentős autonómiával rendelkező drónnak a Predatort tekinthetjük, sok harcszintéren bizonyította a fejlettségét.

A Global Hawk felderítő drón az U2-es felderítő repülő munkáját vette át, gyakorlatilag ugyanazt a feladatot hajtja végre, csak fedélzeti pilóta nélkül. A jövőben pl.: a Phantom Eye és az Avenger is feltételezhetően magasabb szintű autonómiát fog elérni, de ezek is távol maradnak még a teljes autonómiától, mivel csak az olyan eseményekre lesznek képesek reagálni (és lehet, hogy nem is egyből) amit előtte beléjük programoztak [1, 2, 17, 18, 23, 24].

⁷ Készítette a szerző

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A drón technológia rohamos fejlődése az elmúlt években, napjainkban és a jövőben is folytatódni látszik. A fejlesztések érthető okokból szigorúan titkosak. A kutatási tendenciákból megállapíthatók, hogy ezek a drónok nagyobb autonómiával rendelkezhetnek, mint amit jelenleg mutatnak.

Benne van az ember a hurokban vagy sem? Ez a kérdés túl sarkalatosan ábrázolja az autonómiát. Mi döntjük el, mikor van szükség emberi beavatkozásra és mikor hagyjuk a drónt önállóan cselekedni. Csak a technológia szab határt, mikor és milyen mértékben veszik át az autonóm drónok a veszélyes és/vagy megterhelő katonai feladatokat.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **MARRA W. C., MCNEIL S. K.:** *Understanding “the loop”: Regulating the Next Generation of War Machines*, (online) url: http://www.harvardjplpp.com/wpcontent/uploads/2013/05/36_3_1139_Marra_McNeil.pdf (2016.02.17)
- [2] **SINGER P. W.:** *Wired for War: The Robotics Revolution and Conflict in the Twenty First Century* 110 (2009)
- [3] **ÓVÁRI GY., KOVÁCS J., SZEGEDI P.:** *Preliminary Design of Controller for the Lateral Motion of an Unmanned Aerial Vehicle*, Proceedings of the 10th International Conference: Transport Means 2006. Kaunas, Litvánia, 2006. pp. 328-331.
- [4] **SZEGEDI P.:** *Repülésszabályozó rendszerek szabályozóinak számítógépes analízise és szintézise*, (PhD értekezés) Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Katonai Műszaki Doktori Iskola, Budapest, 2005
- [5] **SZEGEDI P.:** *A pilóta nélküli repüléshez kapcsolódva...: Tanulmány a pilóta nélküli légijárművek működésével és üzemeltetésével kapcsolatban*. (Békési Bertold, Szegedi Péter szerk.) Szerzői kiadás, Szolnok, 2016. 80 p. (ISBN: 978-963-12-5224-8), (online), url: https://ludita.uni-nke.hu/repozitorium/bitstream/handle/11410/10148/Tanulmany_Szegedi_P%C3%A9ter.pdf?sequence=2&isAllowed=y (2016.04.01)
- [6] **BÉKÉSI B., SZEGEDI P.:** *Gondolatok a jövőbeni fegyverek alkalmazási lehetőségeiről*, XIV. Természet-, Műszaki- és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia, Nyugat-magyarországi Egyetem, Szombathely, 2015. pp. 183-188. (ISBN: 978-963-359-053-9)
- [7] **BÉKÉSI B., SZEGEDI P.:** *Napjainkban fejlesztett fegyverrendszerek megjelenése a jövő hadszínterein, tudás alkalmazás és fejlesztés szempontjából*, *Repüléstudományi Közlemények*, Szolnok, 2015/3: pp. 105-116. (online) url: http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015_3/2015-3-08-0223_Bekesi_B-Szegedi_P.pdf (2016.02.17)
- [8] **SZEGEDI P., BÉKÉSI B.:** *Sensors on Board of the Unmanned Aerial Vehicles*, Proceedings of 19th International Scientific Conference Transport Means 2015., Kaunas, Litvánia, 2015. pp. 219-222.
- [9] **KOLLÁTH G., SZEGEDI P.:** *A pilóta nélküli repülőeszközökön alkalmazott szenzorok*, *Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban*, Debrecen, 2015. pp. 331-338. (ISBN: 978-963-7064-32-6)
- [10] **SZEGEDI P., BÉKÉSI B.:** *Az UAV-on alkalmazható szenzorok*, XIV. Természet-, Műszaki- és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia, Nyugat-magyarországi Egyetem, Szombathely, 2015. pp. 175-182. (ISBN: 978-963-359-053-9)

- [11] **SZABOLCSI R., SZEGEDI P.:** *Robustness Stability and Robust Performance of the Automatic Flight Control Systems*, Academic and Applied Research in Military Science 1: (2) pp. 253-269. (2002).
- [12] **BÉKÉSI B., SZEGEDI P.:** *Preliminary Design of Controller of Longitudinal Motion of the Unmanned Aerial Vehicle Using LQR Design Method*, Proceedings of the 10th International Conference: Transport Means 2006, Kaunas, Litvánia, 2006. pp. 324-327.
- [13] **BLAKELOCK, J. H.:** *Automatic Control of Aircrafts and Missiles*, John Wiley & Sons, New York, 1965.
- [14] **BÉKÉSI B., SZEGEDI P.:** *Analysis of the Basic Signal Tracking Possibilities of an Altitude Stabilizing System*, Proceedings of the 12th International Conference, Transport Means 2008. Kaunas, Litvánia, 2008. pp. 103-106.
- [15] **SZABOLCSI R., SZEGEDI P.:** *Pilóta nélküli repülőgép számítógépes analízise*, Szolnoki Tudomány napi Konferencia METESZ, Szolnok 2002. november 6., Szolnoki Tudományos Közlemények VI.: (CD-ROM)
- [16] *Human-Robot Interaction. A Research Portal for the HRI Community*, (online) url: <http://humanrobotinteraction.org/autonomy/> (2016.02.17)
- [17] **HUI-MIN HUANG:** *Autonomy Levels for Unmanned Systems (ALFUS)*, (online) url: <http://www.nist.gov/el/isd/ks/upload/ALFUS-BG.pdf> (2016.02.17)
- [18] **R. W. PROUD, J. J. HART, R. B. MROZINSKI:** *Methods for Determining the Level of Autonomy to Design into a Human Spaceflight Vehicle: A Function Specific Approach*, (online) url: <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20100017272.pdf> (2016.02.17)
- [19] **KORONVÁRY P.:** *Az amerikai „military leadership” elmélet rendszertana* (PhD értekezés) Zrínyi Miklós nemzetvédelmi Egyetem, Hadtudományi Doktori Iskola, Budapest, 2008. 35. és 95. o.
- [20] **SZEGEDI P.:** *Szojka–III pilóta nélküli repülőgép repülésszabályozójának tervezése LQR módszerrel*, Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2005/1. pp. 87-102.
- [21] **PÁNYA N.:** *A pilóta nélküli légi járművek vizsgálata autonómia szempontjából* Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2016/1. pp. 81-94
- [22] **BÉKÉSI B., WÜHRL T.:** *Redundancy for micro uavs – control and energy system redundancy*. In: Jiří Stodola, Jiří Šťastný, David Vališ (szerk.) *Deterioration, Dependability, Diagnostics 2012*. Brno, University of Defence, 2012. pp. 123-130. (ISBN: 978-80-7231-886-5)
- [23] **BÉKÉSI B., PAPP I.:** *UAV future development*. In: Jiří Stodola, Jiří Šťastný, David Vališ, Vlastimil Neumann (szerk.), *Deterioration, Dependability, Diagnostics 2013*. Brno: Univerzita Obrany, 2013. pp. 63-76. (ISBN:978-80-7231-939-8)
- [24] **BÉKÉSI B.:** *Az UAV-k jövőbeni fejlesztési irányai*, XII. Természet-, Műszaki és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia, Nyugat-magyarországi Egyetem, Természettudományi és Műszaki Kar Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, 2013. pp. 101–113.

KARBANTARTÁSI FOLYAMATOK SZIMULÁCIÓS ELEMZÉSI MÓDSZEREI

SIMULATION-BASED METHODS OF MAINTENANCE PROCESSES' ANALYSIS

POKORÁDI László

egyetemi tanár
Óbudai Egyetem
pokoradi.laszlo@bgk.uni-obuda.hu

Kivonat: Egy üzemeltetési rendszer irányításának hatékonyságát az egységnyi üzemidőre eső karbantartási költség, kiszolgálási munkaigény, vagy a rendelkezésre állás alapján minősíthetjük. A tanulmány az üzemeltetési folyamatok Markov-modelljére épülő szimulációs elemzési módszereit írja le. Az elemzések eredményei alapján egyrészt a karbantartási rendszer hatékonyságának növeléséhez szükséges döntések hozhatóak, a technikai rendszer konstrukciós fejlesztési feladatainak meghatározása, másrészt az elvárt szintű üzemképesség fenntartásához szükséges tartalékberendezések, a tervezési időszak alatt várható javítások számának meghatározása érdekében, különböző mértékű elvárt üzemeltetési biztonság esetén.

Kulcsszavak: karbantartás; Markov-folyamatok; érzékenységtanulmány; Monte-Carlo szimuláció

Abstract: The efficiency of maintenance system management can be classified through maintenance cost and work expenditure of unit time, or availability. The paper shows analysis methods of maintenance processes based on their Markov-model. The results of analysis can be used on the one hand to make decision to improve maintenance management efficiency by reconstruction of technical system, on the other hand for estimating the availability, Required Number for Spare Part and for assessing the Numbers of Failures depending on required uncertainty, in other words maintenance safety.

Keywords: maintenance; Markov-processes; sensitivity analysis; Monte-Carlo Simulation

1. BEVEZETÉS

Üzemeltetés a technikai eszközök használatának, különböző szintű kiszolgálásának és javításának összetett folyamata, melynek során az üzembentartók (alkalmazó) használják (üzemben tartják), tárolják, az üzembentartás keretében kiszolgálják, karbantartják, javítják a technikai eszközöket [17]. Egy technikai eszköz üzemeltetése az eszközzel, vagy annak valamely rendszerével, berendezésével a gyártása és a kiselejtezése között történtek összessége [15]. Ez a valós, fizikai folyamat matematikai szempontból egy folytonos idejű, diszkrét állapotterű markovi- vagy fél-markovi folyamatként (azaz láncként) modellezhető [17].

A technikai rendszerek üzemeltetése során a meghibásodási, valamint javítási idők bizonytalan paraméterek. Ezen időket a **meghibásodások közti átlagidő**vel (MTBF – Mean Time Between Failures), illetve az **átlagos javítási idő**vel (MTTR – Mean Time to Repair) jellemezzük. Ha a meghibásodott berendezések javításához kapcsolódó egyéb, logisztikai (például a berendezés a javító bázisra, majd az üzemeltetési helyre történő szállítása) feladatok – a meghibásodások közti idővel összemérhető nagyságú – időt vesz igénybe, a javításokat az üzemeltetők szempontjából az úgynevezett **átlagos megfordulási idő**vel (MRTT – Mean Repair Turnaround Time) idővel célszerű jellemeznünk. A fenti átlagos paraméterek nem jellemzik azt a bizonytalanságot, melyet csak az egyes meghibásodási, javítási vagy megfordulási idők valószínűségi eloszlásaival tudunk leírni.

Az üzemeltetés elmélet kapcsolatban kiterjedt irodalommal találkozhatunk. Ushakov [19] szerint a **rendelkezésre állás** (availability) az eszköz azon jellemzője, hogy feladatait ellátni

képes, ha az szükséges, illetve a **javítás** (repair) az eszköz egy működőképes állapotának helyreállítását jelenti.

Pokorádi a beállt, más megfogalmazásban stacioner, üzemeltetési folyamat sztochasztikus matematikai modelljének felállítási és alkalmazási módszereit mutatta be [14]. A leírt eljárás legfőbb előnye a könnyű algoritmizálhatóság, mely a munka legfőbb célja volt.

Beállt üzemeltetési folyamaton olyan folyamatot értünk, ahol a különféle állapotváltási – főleg a meghibásodási – valószínűségek időben nem (vagy csak elhanyagolható mértékben) változnak. Ilyen üzemeltetési folyamatot tapasztalhatunk a bejáratási és a kiöregedési szakaszok között, ha nem lép fel jelentős változás az üzemeltetési körülményekben [17].

Az üzemeltetési folyamatok valószínűségi modellezéséhez szükséges matematikai alapismeretek – többek közt – Bharucha-Reid [3], Karlin és Taylor [8], Wentzel és Ovcsarov [20], Ushakov [19], Guizani és szerzőtársai [5], Rohács és Simon [17], valamint Pokorádi [13] könyveiben olvashatóak.

A matematikai modell felhasználásával meghatározható, hogy mennyire érzékenyek a vizsgált rendszer kimenő jellemzői az úgynevezett független jellemzők változásaira.

Egy általános, $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ $f : \mathfrak{R}^n \rightarrow \mathfrak{R}$ alakú függvény i -edik független változó szerinti érzékenységi együtthatóját analitikusan a

$$K_{x_i} = K_i = \frac{\partial f(x_1; x_2; \dots x_n)}{\partial x_i} \frac{x_i}{f(x_1; x_2; \dots x_n)} = \frac{\partial y}{\partial x_i} \frac{x_i}{y} \quad (1)$$

differenciálhányadossal határozhatjuk meg [13]. Ha az (1) egyenlet felhasználásával nem tudjuk elvégezni, a differenciálhányadosokat

$$K_{x_i} = K_i = \frac{\Delta y}{\Delta x_i} = \frac{y(x_{i0} + \Delta x_i) - y_0}{y_0} \quad (2)$$

differencia hányadosokká módosítjuk, ahol a 0 indexek a névleges értékeket jelölik [16]. A kiindulásként felvett és meghatározott értékeket névleges értéként kezelve a független változókat módosítjuk, majd a kapott eredmények alapján – a (2) egyenlet felhasználásával – határozzuk meg a vizsgált rendszer adott független változó szembeni relatív érzékenységét.

Monte-Carlo eljárásokon sztochasztikus szimulációs módszerek összességét értjük. Lényege az, hogy az egyes bizonytalan gerjesztésekhez rendelt valószínűség-eloszlás alapján véletlenszerűen választunk ki értékeket, amelyeket a szimulációs vizsgálat egy-egy kísérletében használunk fel [2].

Ezt a módszert alkalmazzák a modellezett események lehetséges kimeneteleinek és azok valószínűségeinek szimulációjára, amikor a rendszert gerjesztő vagy belső paraméterei bizonytalanok. A Monte-Carlo Szimuláció elméleti alapjai Dagpuran [4], Kalos és Whitlock [7], Newmann és Barkema [10], valamint Rubinstein [18] könyveiből sajátítható el. Ispas és Lungu többdimenziós Monte Carlo módszert dolgozott ki és írt le a [6] publikációjukban.

Az egyik előnye, hogy nincs szükség a sokszor igen bonyolult analitikus módszerekkel történő modellmegoldásra, hanem „csupán” véletlen számok generálásával válaszolhatók meg a feltett kérdések. A mintavételezést sokszor elvégezve a kapott eredményeket meghatározhatjuk, valamint megbecsülhetjük a várható rendszerválaszok valószínűségi eloszlásait [11].

A bemenő jellemzők értékeit a tapasztalatok, vagy a mérési eredmények statisztikai kiértékeléseinek alapján generáljuk. A véletlenszám-generálás alapja gyakorlatilag az egyenletes eloszlás. A különböző ismert, gyakran használt eloszlásokból származó véletlen számok hatékony generálásának komoly irodalma van [9].

A modellt a kiinduló adatokkal lefuttatjuk, majd a mintavételezést kellően sokszor elvégezve a kapott eredményeket – a vizsgálati cél alapján –, például statisztikai szempontból kiértékeljük. Meghatározhatjuk a várható rendszerválaszok valószínűségi eloszlásait, vagy azok lehetséges minimum, illetve maximum értékeiket.

A Monte-Carlo szimuláció nagy hátránya, hogy a pontos elemzés elvégzéséhez, a statisztikai sokaság elérése érdekében sokszor kell lefuttatni a szimulációt [1].

A tanulmány célja – a fentiekben ismertetett tudományos munkákra támaszkodva – beállt üzemeltetési folyamat stacioner Markov-modelljére épülő szimulációs érzékenységi, valamint Monte-Carlo szimulációs elemzési eljárásainak bemutatása.

A dolgozat az alábbi fejezetekből áll: A 2. fejezet a beállt üzemeltetési folyamatok sztochasztikus modelljének felállítását mutatja be röviden. A 3. fejezetben a szimulációs érzékenységelemzés módszere, valamint az eredményekből levonható következtetések ismerhető meg egy esettanulmányon keresztül. A 4. fejezetben, egy másik esettanulmányt bemutatva, üzemeltetési rendszer Monte-Carlo szimulációs vizsgálatát, valamint a kapott eredmények szakmai kiértékelését találjuk meg. Végezetül az 5. fejezet összegzi a tanulmány elkészítésekor szerzett tapasztalatokat.

2. ÜZEMELTETÉSI FOLYAMT MARKOV-MODELLJE

Beállt üzemeltetési folyamaton olyan folyamatot értünk, ahol a különféle állapotváltási – meghibásodási, javítási – valószínűségek időben nem, vagy csak elhanyagolható mértékben változnak. Ilyen üzemeltetési folyamatot tapasztalhatunk a bejáratási és a kiöregedési szakaszok között, ha nem lép fel jelentős változás az üzemeltetési körülményekben [12]. Ekkor a

$$P_{ij}^{n,n+1} = P(\eta(\tau_{n+1}) = X_j | \eta(\tau_n) = X_i) \quad (3)$$

feltételes valószínűséget átmeneti valószínűségnek nevezzük [20].

A fenti $P_{ij}^{n,n+1}$ jelölés azt is mutatja, hogy az átmeneti valószínűség nem csak az i -edik kezdeti és a j -edik végállapot, hanem a τ_n idő függvénye is. Ezt a valószínűséget – az egyszerűség érdekében – a továbbiakban a

$$P_{ij}^{n,n+1} = P_{ij}(\tau_n) = P_{ij}(\tau) \quad (4)$$

módon jelöljük.

Véges – N számú – állapot esetén a $P_{ij}(\tau_n)$ átmeneti valószínűségeket a

$$\mathbf{P}(\tau)_{N \times N} = [P_{ij}(\tau)] \quad (5)$$

mátrixba rendezhetjük, amit az $\eta(\tau)$ folyamat Markov-mátrixának vagy átmenet-valószínűség mátrixnak nevezzük [14].

Ha a fenti egylépéses átmenet-valószínűségek függetlenek az időtől, akkor a leírt Markov folyamat stacionárius, Ebben az esetben felírható, hogy

$$P_{ij}^{n,n+1} = P_{ij} \quad , \quad (6)$$

illetve

$$\mathbf{P}(t)_{N \times N} = \mathbf{P}_{N \times N} = [P_{ij}] . \quad (7)$$

Feltételezzük, hogy az állapotok élesen elhatárolódnak egymástól és az átváltások gyakorlatilag zérus idő alatt mennek végbe. Ekkor az állapotváltozások jellemzésére azok átmenet-valószínűségeit használjuk. A P_{ij} átmeneti valószínűség

$$\beta_{ij} = \lim_{\Delta \tau \rightarrow 0} \frac{P_{ij}(\Delta \tau)}{\Delta \tau} . \quad (8)$$

határértékét az átmeneti valószínűség sűrűségének nevezzük.

Természetesen, a (8) egyenlettel meghatározott átmenet-valószínűség sűrűségek egy

$$\mathbf{B}_{N \times N}(\tau) = [\beta_{ij}(\tau)] \quad (9)$$

az átmenet-valószínűség sűrűségmátrixba rendezhetőek.

Az üzemeltetési folyamat egy másik jellemzője az i -edik állapotban való tartózkodások valószínűsége, relatív gyakorisága:

$$P_i(\Delta \tau) \cong \frac{n_i(\Delta \tau)}{\sum_{j=1}^N n_j(\Delta \tau)} , \quad (10)$$

ahol:

$n_i(\Delta \tau)$ – a $\Delta \tau$ idő alatti i -edik állapotba való lépések száma.

Ezeket a valószínűségeket az állapotokban való tartózkodás valószínűségek \mathbf{p} vektorába tudjuk rendezni.

Az üzemeltetés tárgyának üzemeltetési állapotokba való tartózkodását jellemezheti még az állapotokban eltöltött átlagidők \mathbf{t} vektora is.

Stacioner Markov folyamat esetén – felhasználva az \mathbf{E} egységmátrix tulajdonságát, felírható a

$$\mathbf{p}(\tau + \Delta \tau) = \mathbf{B}^T(\tau) \mathbf{p}(\tau) = \mathbf{E} \mathbf{p}(\tau) \quad (11)$$

egyenlet, amit átrendezhetjük az alábbi alakra:

$$[\mathbf{B}^T - \mathbf{E}] \mathbf{p} = \mathbf{M} \mathbf{p} = \mathbf{0} . \quad (12)$$

A fenti lineáris egyenletrendszer numerikus megoldása esetén problémaként jelentkezik, hogy az alkalmazott algoritmus könnyen az

$$\mathbf{p} = \mathbf{0}$$

triviális megoldás adják meg. Mivel célunk egy könnyen algoritmizálható eljárás kidolgozása, az N ismeretlenes (12) egyenletet $N+1$ ismeretlenesre alakítottuk át. A \mathbf{p} vektor $N+1$ -edik elemének azt a biztos eseményvalószínűségét tekintjük, amikor az üzemeltetés tárgya a fenti N állapot valamelyikében tartózkodik. Ekkor az $N+1$ -edik egyenlet a

$$p_{N+1} = \sum_{i=1}^N P_i \equiv 1 \quad . \quad (13)$$

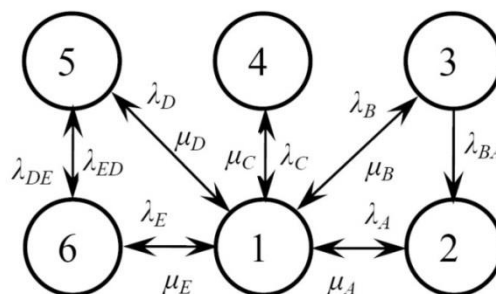
Valamint a (12) egyenlet mindegyik sorához adjunk hozzá az $N+1$ -edik (biztos) esemény valószínűségét. Így a megoldandó egyenletrendszer – kiegészítve a (13) egyenlettel – az alábbi mátrixalakot veszi fel:

$$\begin{bmatrix} & & & 1 \\ & \mathbf{M} & & \vdots \\ & & & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ \vdots \\ P_N \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad . \quad (14)$$

Ez a lineáris egyenletrendszer bármely ismert numerikus módszerrel kapott eredménye a (12) egyenlet triviálistól eltérő megoldása lesz.

3. SZIMULÁCIÓS ÉRZÉKENYSÉG-ELEMZÉS (1. ESETTANULMÁNY)

Egy gyártósor egyik berendezésének üzemeltetése során négy (A ; B ; D ; E) fő típusú meghibásodást tapasztaltak, melyek a leállások körülbelül 94 %-át okozzák. A többi, nem szignifikáns meghibásodások javítását a C típusú meghibásodás javításaként kezeljük. A B típusú hiba javítása közben gyakran feltárták a szerelők, hogy az A típusú hiba fellépése is hamarosan bekövetkezhet. Hasonló (de „oda-vissza”) jelenségeket tapasztaltak a D és az E típusú meghibásodások javítása során is. Ekkor, megelőzési céllal, a másik típusú hibát kiváltó részegység javítását is elvégezték a karbantartók. A meghibásodások és a javításaik statisztikai főbb adatait az 1. táblázat tartalmazza.



1. ábra. A folyamat gráf modellje

- 1 – rendeltetészerű használat; 2 – A típusú meghibásodás javítása;
- 3 – B típusú meghibásodás javítása; 4 – C típusú meghibásodás javítása;
- 5 – D típusú meghibásodás javítása; 6 – E típusú meghibásodás javítása

Az 1. ábrán látható, súlyozott, irányított, üzemeltetési gráf alapján a Kolmogorov-féle differenciál-egyenletrendszer az alábbi módon adható meg:

$$\begin{aligned}
 \frac{dP_1}{d\tau} &= m_{11}P_1 + m_{12}P_2 + m_{13}P_3 + m_{14}P_4 + m_{15}P_5 + m_{16}P_6 \\
 \frac{dP_2}{d\tau} &= m_{21}P_1 + m_{22}P_2 + m_{23}P_3 \\
 \frac{dP_3}{d\tau} &= m_{31}P_1 + m_{33}P_3 \\
 \frac{dP_4}{d\tau} &= m_{41}P_1 + m_{44}P_4 \\
 \frac{dP_5}{d\tau} &= m_{51}P_1 + m_{55}P_5 + m_{56}P_6 \\
 \frac{dP_6}{d\tau} &= m_{61}P_1 + m_{65}P_5 + m_{66}P_6
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

ahol:

m_{ij} – (általánosan jelölt) állapotváltási intenzitás, melyeket a 2. táblázat tartalmazza.

Meghibásodás	A	B	C	D	E
Meghibásodások közti átlag idő MTTF [óra]	1316.3	892.8	1339.4	1410.1	1396.4
Meghibásodási ráta λ [óra ⁻¹]	$7.597 \cdot 10^{-4}$	$1.1201 \cdot 10^{-3}$	$7.466 \cdot 10^{-4}$	$7.0917 \cdot 10^{-4}$	$7.1613 \cdot 10^{-4}$
Javítási átlagidő MTTR [óra]	7.08	9.63	2.14	8.21	7.62
Javítási ráta μ [óra ⁻¹]	0.14124	0.10384	0.46729	0.1218	0.13123
Átl. javítási költség rc_i [€]	150.2	115.4	98.7	210.8	352.4
Átlagos munkaigény rw_i [munkaóra]	14.16	14.45	5.35	24.63	17.5
λ_{ij} [óra ⁻¹]	–	0.427	–	0.613	0.524

1. táblázat. Statisztikai elemzés főbb adatai

$m_{11} = -(\lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \lambda_D + \lambda_E)$	$m_{12} = \mu_A$
$m_{13} = \mu_B$	$m_{14} = \mu_C$
$m_{15} = \mu_D$	$m_{16} = \mu_E$
$m_{21} = \lambda_A$	$m_{22} = -\mu_A$
$m_{23} = \lambda_{BA}$	$m_{31} = \lambda_B$
$m_{33} = -(\mu_B + \lambda_{BA})$	$m_{41} = \lambda_C$
$m_{44} = -\mu_C$	$m_{51} = \lambda_D$
$m_{55} = -(\mu_D + \lambda_{DE})$	$m_{56} = \lambda_{ED}$
$m_{61} = \lambda_E$	$m_{65} = \lambda_{DE}$
$m_{66} = -(\mu_E + \lambda_{ED})$	

2. táblázat. Állapotváltási sűrűségek

A (15) lineáris egyenletrendszer \mathbf{M} együtthatómátrixa:

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} & m_{15} & m_{16} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & 0 & 0 & 0 \\ m_{31} & 0 & m_{33} & 0 & 0 & 0 \\ m_{41} & 0 & 0 & m_{44} & 0 & 0 \\ m_{51} & 0 & 0 & 0 & m_{55} & m_{56} \\ m_{61} & 0 & 0 & 0 & m_{65} & m_{66} \end{bmatrix}, \quad (16)$$

\mathbf{p} – az állapotokban való tartózkodások valószínűségvektora:

$$\mathbf{p}^T = [P_1 \ P_2 \ P_3 \ P_4 \ P_5 \ P_6] \quad . \quad (17)$$

A fenti egyenletrendszer 1. táblázat értékeinek felhasználásával történő megoldása az alábbi állapotokban való tartózkodási valószínűségeket jelenti:

$$\begin{aligned} P_1 &= 9.7399 \cdot 10^{-1}; & P_2 &= 1.1452 \cdot 10^{-2}; & P_3 &= 2.0551 \cdot 10^{-3}; \\ P_4 &= 1.5562 \cdot 10^{-3}; & P_5 &= 5.1048 \cdot 10^{-3}; & P_6 &= 5.8403 \cdot 10^{-3}. \end{aligned}$$

A fenti eredmény alapján ki tudjuk jelenteni, hogy a gyártósori berendezés 97,4 %-os készenlétét tudunk biztosítani a jelenlegi karbantartási rendszerrel. Mivel ismertek a javítási költségek, illetve a javítási munkaigények, így prognosztizálhatjuk, egy adott T vizsgálati idő alatti RC_Σ javítási költséget, illetve WE_Σ munkaigényt. Ez az alábbi összefüggések segítségével oldható meg:

$$RC_\Sigma = T \sum_{i=2}^6 \frac{rc_i P_i}{\tau_i}, \quad (18)$$

illetve

$$WE_\Sigma = T \sum_{i=2}^6 \frac{we_i P_i}{\tau_i}, \quad (19)$$

ahol:

rc_i – i -edik javítás költsége;
 we_i – i -edik javítás munkaigénye.

Vizsgálatunk során 10.000 órával számolva a javítási költség várható értéke: 7405,1 Euro, illetve a munkaigény várható értéke: 586,05 munkaóra.

Elsőként a meghibásodásig eltelt átlagidőket módosítottuk, azt szimulálva, hogy az adott meghibásodást okozó rendszerelem megbízhatóságának növelését. A szimulációkkal kapott eredmények összehasonlításával meghatározhatjuk, mely elem vagy részegység megbízhatóságának javításával érhetjük el a teljes rendszer megbízhatóságának, rendelkezésre állásának legnagyobb mértékű növelését, a javítási költségének, illetve munkaigényének csökkentését. A meghibásodásig eltelt átlagidők 1 %-os csökkentésének hatását – %-ban kifejezve – a be-

rendezés rendelkezésre állásának változásait szemlélteti a 2. ábra. A 3. és 4. ábrák pedig a javítási költség, valamint a javítási munkaigény érzékenységét ábrázolja.

Fontos felhívni arra a figyelmet, hogy az ábrázolt paraméterek abszolút értékeit kell vizsgálnunk az érzékenység mértékének megállapításakor. Ezt követően célszerű meghatározni a változás matematikai, majd az úgynevezett szakmai előjelét. Az ábrákon a δ az adott paraméter relatív változását jelenti %-ban kifejezve.

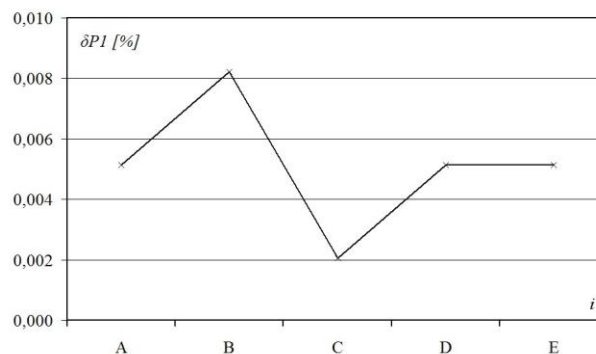
A következő elemzés során 1%-al csökkentettük a javítási átlagidőket, így szimuláljuk azt, hogy – például a javítási technológia korszerűsítésével, vagy jobb munkaszervezéssel – azok hatékonyabbá válását. A kapott eredmények alapján meg tudjuk mondani, mely karbantartási, javítási technológia korszerűsítése eredményezi leghatásosabban a rendelkezésre állás javulását, a javítási költség, vagy munkaigény csökkenését. Az 5. ábrán szemléltethetjük az üzemeltetett rendszer üzemképességi valószínűségének javítási idővel szembeni érzékenységét. A 6. és 7. ábrák grafikonjai pedig a javítási költség, illetve munkaigény relatív változásait mutatja meg, a javítási idők 1%-os csökkenése esetén.

A grafikonok jól szemléltetik a vízszintes tengelyen elhelyezett, adott függő változó vizsgált független változóval szembeni érzékenységének mértéke (%-ban kifejezve), valamint előjele, azaz, hogy az a jellemző csökkenni vagy növekedni fog a szimulált esetben.

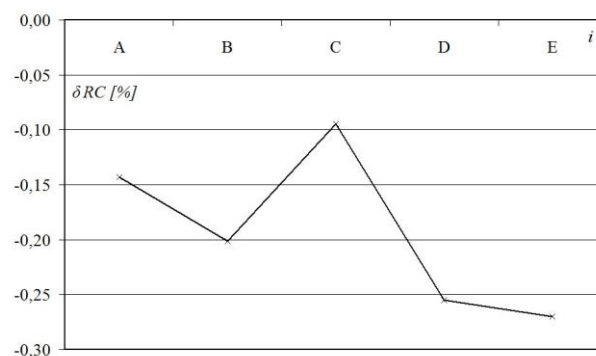
3.1. A vizsgált rendszerrel kapcsolatos következtetések

Az elvégzett elemzések alapján az alábbi következtetések vonhatóak le a vizsgált rendszerrel kapcsolatban:

1.a: A berendezés rendelkezésre állása a **B** típusú meghibásodásig eltelt átlagidőre a legérzékenyebb (2. ábra).

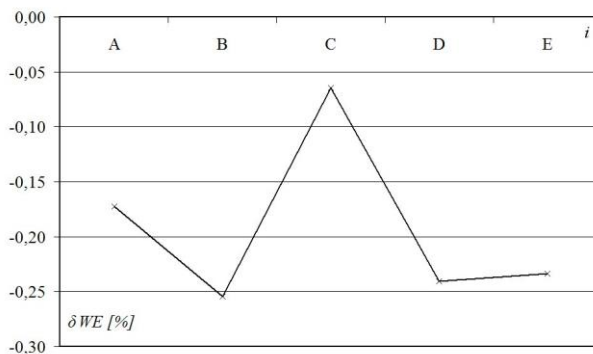


2. ábra. Rendelkezésre állás érzékenységdiagramja az MTTF-ek függvényében



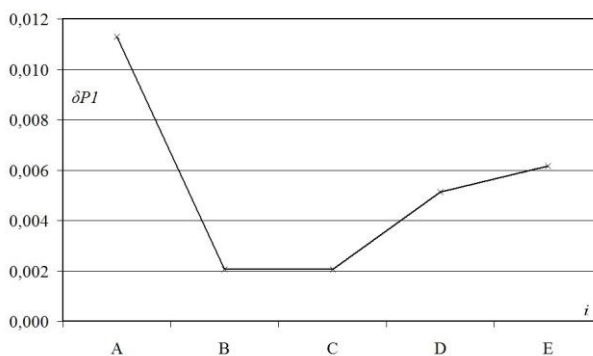
3. ábra. Javítási költség érzékenységdiagramja az MTTF-ek függvényében

- 1.b:** A rendszer javítási költsége az **E** típusú meghibásodásig eltelt átlagidőre a legérzékenyebb (3. ábra).
1.c: A rendszer javítási munkaigénye a **B** típusú meghibásodásig eltelt átlagidőre a legérzékenyebb (4. ábra).



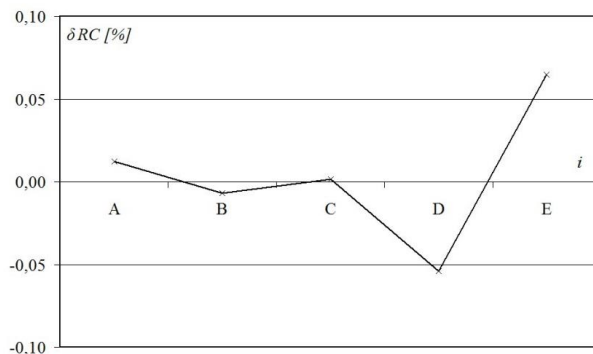
4. ábra. Javítási munkaigény érzékenységi diagramja az MTTF-ek függvényében

- 1.d:** A berendezés rendelkezésre állása az **A** típusú meghibásodás javítási átlagidejére a legérzékenyebb (5. ábra).



5. ábra. Rendelkezésre állás érzékenységdiagramja az MTTR-ek függvényében

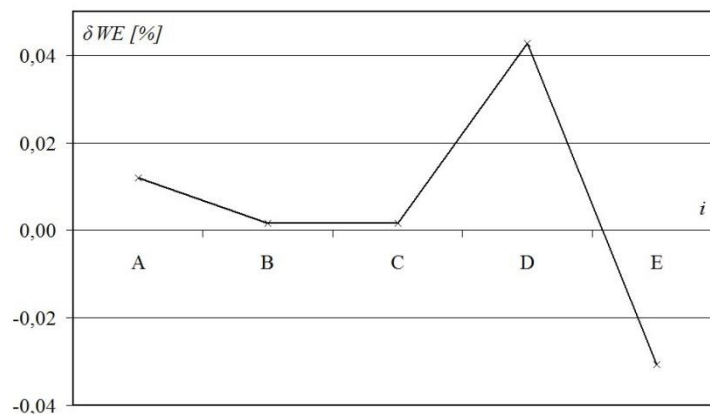
- 1.e:** A rendszer javítási költsége az **E** típusú meghibásodás javítási átlagidejére a legérzékenyebb, de „negatív irányban” (6. ábra).



6. ábra. Javítási költség érzékenységdiagramja az MTTR-ek függvényében

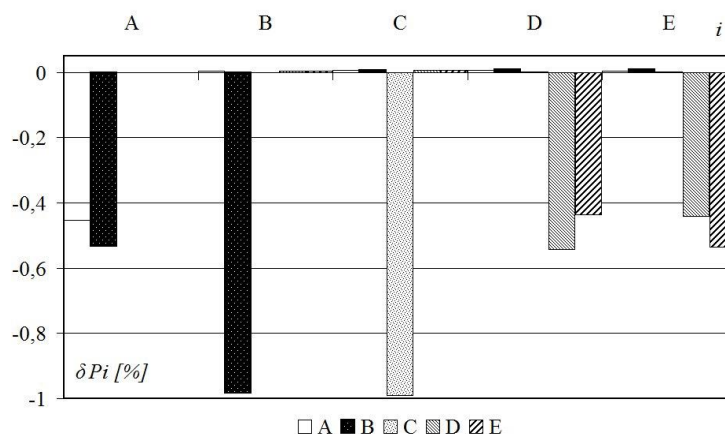
1.f: A rendszer javítási munkaigénye a **D** típusú meghibásodás javítási átlagidejére a legérzékenyebb, de „negatív irányban” (7. ábra).

Az 1.e és 1.f paradox következtetés annak folyamánya, hogy bármely, a rendszer megbízhatóságát növelő lépés megváltoztatja a különböző meghibásodások javításának arányát. A **D** és az **E** típusú meghibásodások során nagy valószínűséggel szükségessé válik a másik részegység meghibásodás megelőző javítása is. Mint az a 8. és 9. ábrákon látható, a **D** és az **E** meghibásodások bekövetkezései és javításuk jelentős keresztthatást gyakorolnak egymásra. A két meghibásodás javítási költsége és munkaigénye jelentős mértékű – lásd 1. táblázat. Ráadásul „fordított”. A **D** meghibásodás igényli a leghosszabb javítási időt és a nagyobb munkaigényt, míg az **E** típusú hibához köthető a legnagyobb javítási költség.

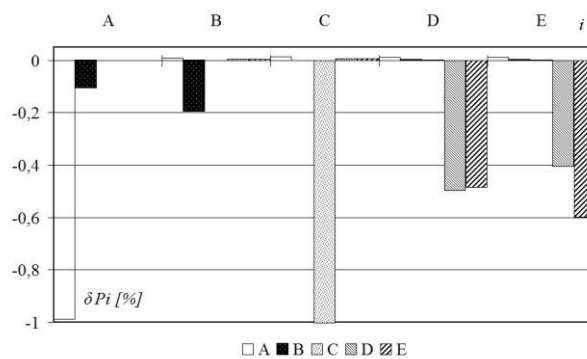


7. ábra. Javítási munkaigény érzékenységi diagramja az MTTR-ek függvényében

1.g: A javítási költség számottevő csökkentését csak a **D** típusú meghibásodás átlagidejének csökkentésével tudjuk elérni (6. ábra).



8. ábra. Az állapotokban való tartózkodások érzékenységi diagramja az MTTF-ek függvényében



9. ábra. Az állapotokban való tartózkodások érzékenységdiagramja az MTTR-ek függvényében

1.h: A javítási munkaigény csökkentését csak az **E** típusú meghibásodás átlagidejének csökkentésével tudjuk elérni (7. ábra).

3.2. A kidolgozott módszerrel kapcsolatos következtetések

Az elvégzett modellalkotás és elemzések, valamint a fentiekben levont konklúziók alapján az alábbi következtetések vonhatóak le a kidolgozott módszerrel kapcsolatban:

2.a: Helyes döntésnek bizonyult a modellalkotás során, hogy a nem szignifikáns mértékű meghibásodásokat egy (**C**) üzemeltetési állapotnak tekintettük.

A 2 – 7. ábrák grafikonjain látható, a **C** típusú meghibásodással szemben bírnak a legkisebb érzékenységgel a rendszer kimenő paraméterei. Ezzel egy időben a 8. és 9. ábrák oszlopdiagramjai egyértelműen szemléltetik, hogy a **C** meghibásodás **MTTF** és **MTTR** paramétereinek változása gyakorlatilag nincsenek hatással a többi javítási állapotban való tartózkodások valószínűségeire.

2.b: A kidolgozott eljárás alkalmas a beállt üzemeltetési folyamatok szimulációs érzékenységvizsgálatának elvégzésére.

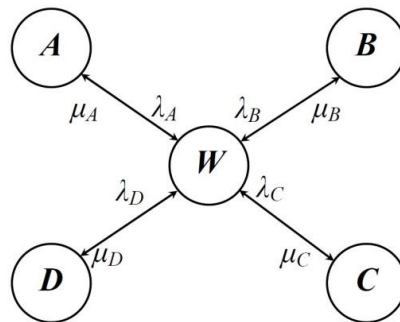
A szimulációs vizsgálat eredményei rámutatnak arra, hogy a rendszerben komplex jellegű egymásra-hatások, kölcsönös függőségek találhatóak. Könnyen lehetséges, hogy ezek kapcsolatok egy „lineáris elemzéssel”, egyszerű szemrevételezéssel rejtve maradnak, és így nem megfelelő döntések születnek.

2.c: A bemutatott eljárás továbbfejleszhető.

Például a termelési nyereség ismeretében nem csak a rendelkezésre állás, hanem a várható bevétel változása, érzékenysége is meghatározható. Ebben az esetben egy üzemeltetési költség-bevétel érzékenységelemzés is elvégezhető.

4. MONTE-CARLO SZIMULÁCIÓS ELEMZÉS (2. ESETTANULMÁNY)

Egy hálózati rendszeren belül alkalmazott berendezés üzemeltetése során négy (**A**; **B**; **C**; **D**) eltérő típusú meghibásodást tapasztaltak. A berendezés javításának sajátossága, hogy a **C** típusú meghibásodás kivételével jelentős méretű – mintegy másfél hónapos – logisztikai időigényt is jelentenek.



10. ábra. A folyamat gráf modellje

W – rendelkezésre állás; **A** – **A** típusú meghibásodás javítása;
B – **B** típusú meghibásodás javítása; **C** – **C** típusú meghibásodás javítása;
D – **D** típusú meghibásodás javítása

Mivel a vizsgálatokat alapvetően a végfelhasználó szempontjából végeztük el, így a javításhoz kapcsolódó történő szállításokat is a javításokhoz kötjük. Így a javítások időigényeit az úgynevezett átlagos megfordulási idővel jellemezzük.

A meghibásodási és a javítási időket a 3. táblázat tartalmazza. A folyamatot a 10. ábrán látható súlyozott élű, irányított gráffal szemléltetjük, ahol az élek súlyát az állapotváltási valószínűség sűrűségek (meghibásodási, illetve megfordulási ráták) adják meg.

Meghibásodás	A	B	C	D
Meghibásodások közti átlagidő <i>MTBF</i> [óra]	183627	162059	152800	179789
Meghibásodási ráta λ [óra ⁻¹]	$5.446 \cdot 10^{-6}$	$6.171 \cdot 10^{-6}$	$6.545 \cdot 10^{-6}$	$5.562 \cdot 10^{-6}$
Megfordulási átlagidő <i>MRTT</i> [óra]	1080.8	1081.1	167.13	1079.8
Megfordulási ráta μ [óra ⁻¹]	$9.252 \cdot 10^{-4}$	$9.250 \cdot 10^{-4}$	$5.983 \cdot 10^{-3}$	$9.261 \cdot 10^{-4}$

3. táblázat. Statisztikai elemzés főbb (névleges) adatai

A folyamat Kolmogorov-féle differenciál-egyenletrendszer az alábbi módon adható meg:

$$\begin{aligned}
 \frac{dP_W}{d\tau} &= -(\lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \lambda_D)P_W + \mu_A P_A + \mu_B P_B + \mu_C P_C + \mu_D P_D \\
 \frac{dP_A}{d\tau} &= \lambda_A P_W - \mu_A P_A \\
 \frac{dP_B}{d\tau} &= \lambda_B P_W - \mu_B P_B \\
 \frac{dP_C}{d\tau} &= \lambda_C P_W - \mu_C P_C \\
 \frac{dP_D}{d\tau} &= \lambda_D P_W - \mu_D P_D
 \end{aligned} \quad (20)$$

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} -(\lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \lambda_D) & \mu_A & \mu_B & \mu_C & \mu_D \\ \lambda_A & -\mu_A & 0 & 0 & 0 \\ \lambda_B & 0 & -\mu_B & 0 & 0 \\ \lambda_C & 0 & 0 & -\mu_C & 0 \\ \lambda_D & 0 & 0 & 0 & -\mu_D \end{bmatrix}. \quad (21)$$

Meghibásodás	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
Minták száma	23	24	25	21
Meghibásodások közti átlagidő MTTF [óra]	183663	162129	152848	179820
Min. meghibásodási idő [óra]	179709	159714	149470	173679
Max. meghibásodási idő [óra]	187468	167897	155381	183656
Meghibásodási idők szórása [óra]	2035	1873	1618	2247
Megfordulási átlagidő MTTR [óra]	1092,2	1081,8	161,86	1084,3
Min. megfordulási idő [óra]	1062	1036,7	117,16	1043
Max. megfordulási idő [óra]	1136,5	1142,9	196,94	1126,9
Megfordulási idők szórása [óra]	19,4	25,1	22,43	25,5

4. táblázat. Mérési adatok statisztikai elemzésének eredményei

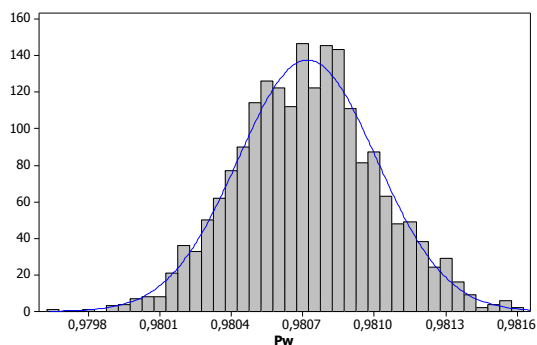
A 3. táblázat értékeinek felhasználásával a vizsgált üzemeltetési folyamat modelljének megoldási eredményei

$$P_W = 9.8072 \cdot 10^{-1}; \quad P_A = 5.7724 \cdot 10^{-3}; \quad P_B = 6.5424 \cdot 10^{-3}; \\ P_C = 1.0727 \cdot 10^{-3}; \quad P_D = 5.8901 \cdot 10^{-3}.$$

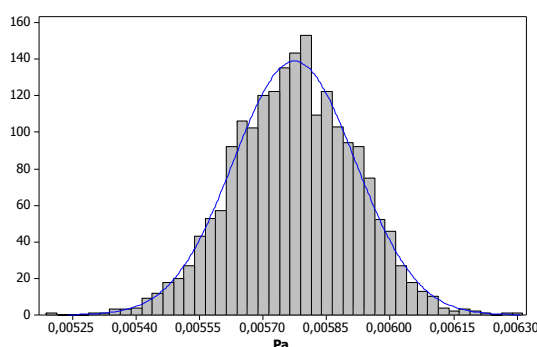
A Monte-Carlo szimuláció elvégzéséhez a rendelkezésre álló meghibásodási és megfordulási adatok statisztikai feldolgozását végeztük el. A statisztikai elemzések adatait a 4. táblázat, a szimuláció kiindulási adatainak statisztikai jellemzőit az 5. táblázat tartalmazza.

Meghibásodás	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
Meghibásodások közti átlagidő MTTF [óra]	183627	162059	152800	179789
Min. meghibásodási idő [óra]	176800	156460	147786	172643
Max. meghibásodási idő [óra]	190305	168287	157968	186602
Meghibásodási idők szórása [óra]	2033	1881	1659	2198
Megfordulási átlagidő MTTR [óra]	1080.8	1081.1	167.13	1079.8
Min. megfordulási idő [óra]	964.2	990	73.1	994.5
Max. megfordulási idő [óra]	1161.2	1160.1	239.06	1164.6
Megfordulási idők szórása [óra]	23.9	23.7	23.16	24.3

5. táblázat. Kiinduló szimulációs adatok statisztikai elemzésének eredményei



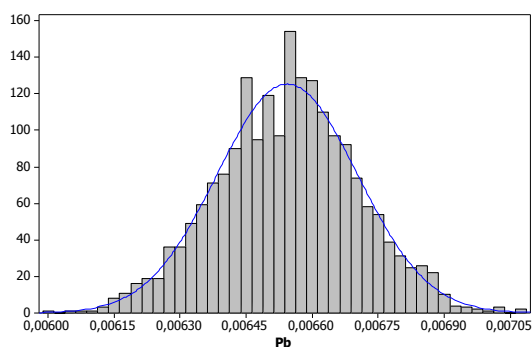
11. ábra. Az üzemképességi valószínűségek hisztogramja



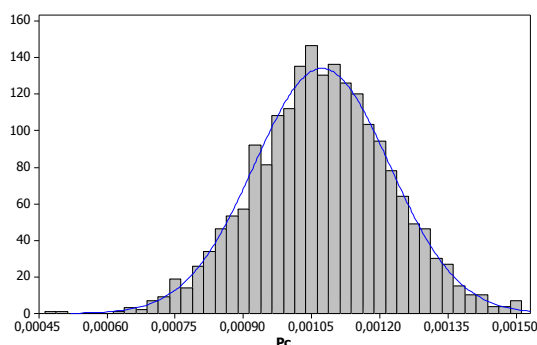
12. ábra. Az A típusú meghibásodási valószínűségek hisztogramja

A korábbi Monte-Carlo szimulációknál szerzett tapasztalatok alapján felvett 2000-es gerjesztés szám már statisztikailag elegendő adatot szolgáltat, így korrekt szakmai következtetéseket vonhatunk le a kapott futtatási eredményekből. Az eredmények a 11. – 15. ábrákon, illetve az 6. táblázatban láthatóak.

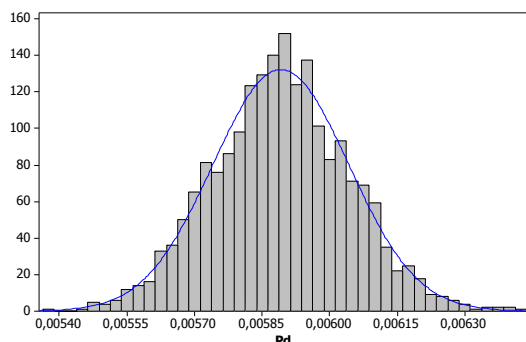
Az elvégzett normalitásvizsgálatok alapján kijelenthető, hogy mindegyik állapotban tartózkodási valószínűség jó közelítéssel normál eloszlással bírnak.



13. ábra. A B típusú meghibásodási valószínűségek hisztogramja



14. ábra. A C típusú meghibásodási valószínűségek hisztogramja



15. ábra. A D típusú meghibásodási valószínűségek hisztogramja

Állapot		<i>W</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
Átlag	m_i	$9.81 \cdot 10^{-1}$	$5.77 \cdot 10^{-3}$	$6.54 \cdot 10^{-3}$	$1.07 \cdot 10^{-3}$	$5.89 \cdot 10^{-3}$
Minimum		$2.91 \cdot 10^{-4}$	$1.44 \cdot 10^{-4}$	$1.59 \cdot 10^{-4}$	$1.49 \cdot 10^{-4}$	$1.51 \cdot 10^{-4}$
Maximum		$9.80 \cdot 10^{-1}$	$5.19 \cdot 10^{-3}$	$6.00 \cdot 10^{-3}$	$4.70 \cdot 10^{-4}$	$5.39 \cdot 10^{-3}$
Szórás	s_i	$9.82 \cdot 10^{-1}$	$6.30 \cdot 10^{-3}$	$7.07 \cdot 10^{-3}$	$1.51 \cdot 10^{-3}$	$6.41 \cdot 10^{-3}$

6. táblázat. Állapotokban valórtartózkodási valószínűségek statisztikai elemzésének eredményei

4.1. A szükséges tartalékberendezések számának meghatározása

Vizsgálatunkat alapvetően az üzemeltető szempontjából végeztük el. Így számunkra a legfontosabb kérdés a tartalékberendezések szükséges számának ismerete. Az N_{RNS} szükséges tartalékberendezés szám meghatározását a berendezés P_w rendelkezésre-állási valószínűség ismeretében tudjuk elvégezni az alábbi egyenlet segítségével:

$$N_{RNS} = \left\lceil \left(\frac{1}{P_w} - 1 \right) N \right\rceil, \quad (22)$$

ahol:

N – a rendszerben működő berendezések száma ($N = 5000$).

A névleges (várható) értékekhez tartozó modelleredmény ($P_W = 0.98072$) alapján a szükséges tartalékberendezések számának várható értéke 5000 darab működő berendezés esetén 96. Mivel ez a várható érték, annak valószínűsége, hogy ennél több berendezés hibásodik meg egy időben 0,5 (50%), ami az üzemeltetők számára elfogadhatatlan pontosságú becslés.

Becslési kockázat R	Rendelkezésre-állási valószínűség P_{RNS}	Szükséges tartalékberendezés szám N_{RNS}
10 %	0,9803	101
5 %	0,9802	101
2 %	0,9801	102
1 %	0,9800	102
0,5 %	0,9800	103
0,2 %	0,9799	103
0,01 %	0,9798	103

7. táblázat. szükséges tartalékberendezés szám a becslési kockázat függvényében

Ezért a szimulációs eredmények valószínűségi eloszlásai alapján meg kell határoznunk, mely P_{RNS} érték esetén lesz az üzemeltető által elfogadható R kockázati valószínűségnél kisebb a P_W rendelkezésre-állás bekövetkezési valószínűsége. Például, 90 % üzemeltetési biztonság esetén:

$$P_{RNS} = m_W - 1.29s_W \quad . \quad (23)$$

Ennek ismeretében határoztuk meg a különböző becslési kockázati értékekhez tartozó szükséges tartalékberendezés számot. Ezen eredményeket tartalmazza a 7. táblázat.

4.4. A meghibásodások számának meghatározása

A bekövetkező meghibásodások (javítási állapotban való tartózkodások) N_{Fi} száma az:

$$N_{Fi} = \left\lceil \frac{T \cdot P_i}{MRTT_i} N \right\rceil \quad (24)$$

egyenlettel adható meg, ahol:

T – a vizsgálati idő hossza (esetünkben: 1 naptári év, azaz 8760 óra).

A meghibásodások számainak esetében is a szükséges tartalékberendezés szám meghatározásánál leírt problémával találkozunk. A névleges értékre kapott eredmények alapján a csak 50 % megbízhatóságú várható értékeket kapjuk. Ezért, ekkor is meg kell keresnünk mely P_{iE} érték esetén lesz az üzemeltető által elfogadható R kockázati valószínűségnél nagyobb az i -edik meghibásodás bekövetkezési valószínűsége. Például, 10 %-os becslési kockázat esetén:

$$P_{iE} = m_i + 1.29s_i \quad . \quad (25)$$

Ennek ismeretében határozhatjuk meg a különböző becslési kockázati értékekhez tartozó

szükséges tartalékberendezés számot. Ezen eredményeket tartalmazza a 8. táblázat.

A táblázat eredményei alapján megfelelő megbízhatósággal (becslési kockázattal) tervezhető a vizsgált eszközpark adott – esetünkben 1 éves – időszakra vonatkoztatott javítási költsége, adott esetben munka-, anyagigénye, illetve logisztikai, szállítási költsége.

i	P_{iE}	N_{Fi}
A	$5,959 \cdot 10^{-3}$	241
B	$6,748 \cdot 10^{-3}$	273
C	$1,265 \cdot 10^{-3}$	329
D	$6,086 \cdot 10^{-3}$	246

8. táblázat. A meghibásodások száma 10 %-os becslési kockázat esetén

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány rövid elméleti leíráson túl, két esettanulmányon keresztül mutatta be az üzemeltetési folyamatok Markov-modelljére épülő szimulációs elemzéseket, valamint az eredményeikből levonható szakmai következtetéseket.

A javasolt szimulációs érzékenység-elemzési eljárás alkalmas a karbantartási rendszer hatékonyságának növeléséhez szükséges döntések támogatására. Továbbá felhasználható a technikai rendszer konstrukciójának az üzemeltetése szempontjából történő javítási feladatainak meghatározására.

A Monte-Carlo szimuláció eredményei alapján kijelenthető, hogy kidolgozott elemzési eljárás alkalmas a karbantartási rendszer hatékonyságának biztosításához, növeléséhez szükséges döntések támogatására. A szimulációs eredmények felhasználhatóak:

- ↪ egy technikai rendszer üzemeltetéséhez szükséges tartalékberendezések;
- ↪ a vizsgálati, tervezési időszak alatt fellépő javítások

számának – megfelelő becslési kockázattal, azaz üzemeltetési megbízhatósággal történő – meghatározására.

A Szerző célja az üzemeltetési, karbantartási menedzsment döntéshozatalát támogató matematikai modellezésen alapuló rendszerelemzési eljárások kidolgozása.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BERA J., POKORÁDI L.,** *Monte-Carlo Szimuláció alkalmazása a légi közlekedés környezeti hatásainak elemzésére*, Innováció és fenntartható felszíni közlekedés, IFFK 2014. Konferencia, Budapest (2014.08.25-2014.08.27), pp. 246-250. (e-dok.) url: <http://kitt.uni-obuda.hu/mmaws/2014/pages/program/papers/39.pdf> (2015.12.20)
- [2] **BERA J., POKORÁDI L.,** *Monte-Carlo Simulation of Helicopter Noise*, Acta Polytechnica Hungarica, Budapest 2015/2, pp. 21-32.
- [3] **BHARUCHA-REID, A.T.,** *Elements of the Theory of Markov Processes and Their Applications*, McGraw-Hill, New York, 1960.
- [4] **DAGPUNAR, J.S.,** *Simulation and Monte Carlo: With applications in finance and MCMC*, Chichester, John Wiley & Sons Ltd, 2007.
- [5] **GUIZANI, M., RAYES, A., KHAN, B., AL-FUQAHA, A.,** *Network Modeling and Simulation, A Practical Respective*, Chichester, John Wiley & Sons Ltd, 2010.
- [6] **ISPAS, C., LUNGU, I.B.,** *Project risk assessment regarding industrial robots*

- implementation in production systems*, U.P.B. Sci. Bull., Series D, 2010/2, pp. 97-106.
- [7] **KALOS, M.H., WHITLOCK, P.A.**, *Monte Carlo Methods. Second Edition*, Weinheim, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2008.
- [8] **KARLIN, S., TAYLOR H.M.**, *Sztochasztikus folyamatok*, Gondolat, Budapest, 1985., pp. 537.
- [9] **KEHL D.**, *Monte-Carlo-módszerek a statisztikában*, Statisztikai Szemle, 2012/ 6. pp. 522 – 543.
- [10] **NEWMAN, M.E.J., BARKEMA, G.T.**, *Monte-Carlo Methods in Statistical Physics*, New York, Oxford University Press Inc., 1999.
- [11] **PENGFEL, W., ZHENZHOU, L., XIUKAI, Y.**, Monte Carlo simulation for moment-independent sensitivity analysis, in *Reliability Engineering and System Safety*, 2013/110, pp.60-67.
- [12] **POKORÁDI, L.**, *Markovian Modeling Wartime Operation of Military Aircraft*, International Aerospace Congress 1997, Sydney, Australia, Volume 2, p. 537–549.
- [13] **POKORÁDI, L.**, *Rendszerek és folyamatok modellezése*, Campus Kiadó, Debrecen, 2008.
- [14] **POKORÁDI, L.**, *Availability Assessment Based on Stochastic Maintenance Process Modeling*, Debreceni Műszaki Közlemények 2013/1, pp 37-46. (e-dok.) url: http://www.eng.unideb.hu/userdir/dmk/docs/20131/13_1_04.pdf (2015.12.20)
- [15] **POKORÁDI, L.**, *Üzemeltetési folyamat gráfmodellezése*, Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2014/2, pp. pp. 224-231.
- [16] **Pokorádi, L.**, *Karbantartási folyamat Monte-Carlo szimulációs elemzése*, Repüléstudományi Szemelvények 2016. pp. 37-56.
- [17] **ROHÁCS J., SIMON I.**, *Repülőgépek üzemeltetési zsebkönyve*. Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1989.
- [18] **RUBINSTEIN, R.Y.**, *Simulation and the Monte-Carlo Method*, New York, John Wiley & Sons; 1981.
- [19] **USHAKOV I.A.**, *Handbook of Reliability Engineering*, John Wiley & Sons Inc., New York, 1994.
- [20] **WENTZEL E., OVCSAROV L.**, *Applied Problems in Probability Theory*, Mir Publisher, Moscow, 1986.

MATEMATIKAI MODELL FLUIDIZÁCIÓS SZÁRÍTÓ MÉRETEZÉSÉHEZ

APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELS USING VOLUMETRIC TRANSFER COEFFICIENTS IN FLUIDIZED BED DRYERS

POÓS Tibor¹, SZABÓ Viktor², VARJU Evelin³

¹adjunktus, ²PhD hallgató, ³MSc hallgató

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék

¹poos@mail.bme.hu, ²szabo.viktor@mail.bme.hu, ³varjuevelin93@gmail.com

Kivonat: Az ipar számos területén alkalmaznak fluidizációs szárító berendezéseket szemcsés anyagok nedvességtartalmának csökkentése érdekében. A szárítás művelete során egyidejű hő- és anyagátadás jön létre a szemcsék és a szárítógáz között. A szárítás egy meglehetősen energiaigényes művelet, ezért törekedni kell a befektetett energia csökkentésére. Munkánk során az egyidejű hő- és anyagátadás tanulmányozására matematikai modellt dolgoztunk ki fluidizációs szárítóra. A modell bemenő paraméterei a szárítási jellemzőkön és geometrián kívül a szemcsék és a gáz között felírható térfogati hőátadási tényező. A térfogati hőátadási tényező függvény előállítására és az egyidejű hő- és anyagátadás jelenségének tanulmányozására egy félüzemi fluidizációs szárító mérőállomást alakítottunk ki. Munkánk célja egy eddiginél pontosabb méretezési módszer kidolgozása fluidizációs szárításra a térfogati hőátadási tényező alkalmazásával.

Kulcsszavak: fluidizációs szárító, egyidejű hő- és anyagátadás, térfogati hőátadási tényező, matematikai modell

Abstract: Fluidized bed dryers are often used in several industrial processes to dry wet granular solids with high moisture contents. During the drying process, simultaneous heat- and mass transfer occurs between the material and drying gas. Drying is an extremely energy intensive process, therefore the invested energy should be mitigated during planning the operation, granting optimal geometric and operational parameters of the device. During the planning, sufficiently accurate thermal models provide an opportunity to increase the effectiveness of dryers. The purpose of our work is to develop mathematical model to investigate the influence of operating parameters describing the simultaneous heat- and mass transfer in a fluidized bed dryer. The input parameters of the model are the volumetric transfer coefficients between the drying gas and the granules, due the uncertain heat- and mass transfer surface. A pilot plant fluidized bed dryer device is developed to determine the volumetric transfer coefficients and to study the heat- and mass transfer phenomena during the drying processes. The goal of our work is to model the fluidized bed drying process more accurately using volumetric transfer coefficients.

Keywords: fluidized bed dryer, heat- and mass transfer, volumetric transfer coefficient, mathematical model

1. BEVEZETÉS

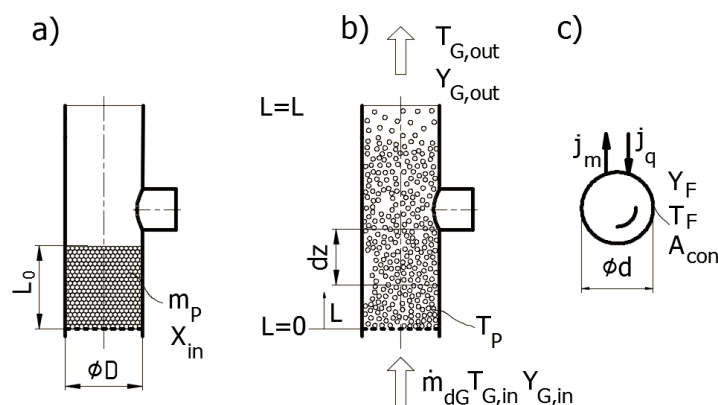
Fluidizációs szárítókat az ipar számos területén – kiemelve a vegyipart, élelmiszeripart, gyógyszeripart, illetve mezőgazdaságot – alkalmaznak szemcsés anyagok gyors és hatékony szárítására [1]. Számos szakirodalmi forrás foglalkozik fluidizációs szárítás matematikai modellezésével [2]. A modellek segítségével leírható a száradó anyag hőmérsékletének és nedvességtartalmának, valamint a szárítógáz hőmérsékletének és abszolút nedvességtartalmának változása az idő függvényében, illetve a szárító hossza mentén. A modellek felhasználásával a szárító fő paraméterei meghatározhatók mérések elvégzése nélkül. A művelet során létrejövő hő- és anyagátadási tulajdonságok ismerete elengedhetetlen megfelelően pontos hőtani modellek leírására [3]. A modellek bemenő paraméterei a szárítási jellemzőkön és geometriai méreteken kívül a hőátadási tényező függvények. A hőátadási tényező függvények kritériális egyenletek, melyek meghatározása mérési úton történik. Szemcsés halmazok hő- és anyagátadási tulajdonságainak vizsgálata során nagy bizonytalanságot rejt a szemcsék és a gáz közötti érintkezési felület számszerűsítése. Térfogati hőátadási tényező és módosított dimenziótlan számok alkalmazásával

kiküszöbölhető az említett bizonytalanság, így pontosabb hőtani modelleket lehet felhasználni a műveleti méretezéshez [4].

2. MATEMATIKAI MODELL

Méréseinket egy saját fejlesztésű fluidizációs szárító mérőállomáson végeztük el, mely alkalmas szakaszos és folyamatos üzemű szárítási műveletek végrehajtására. A mérőállomáson vizsgáltuk a fluidizáció jelenségét, szemcsés anyag szárításakor létrejövő egyidejű hő- és anyagátadást. A méréseink során meghatároztuk a térfogati hőátadási tényező értékeit. Korábbi munkáink során bemutattuk magát a berendezést, a mérési módszert és mérési eredményeket [5]. Méréseinkhez különböző típusú mezőgazdasági szemestermékeket használtunk fel.

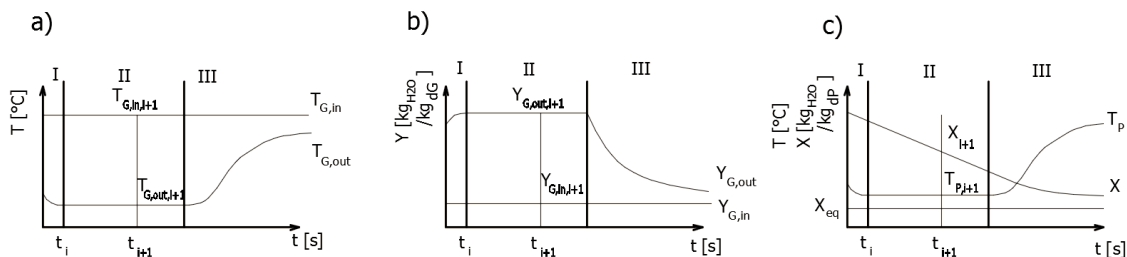
Matematikai modellt dolgoztunk ki szakaszos üzemű fluidizációs szárításra. A szárítóttest vázlatát az 1. ábrán látható, feltüntetve a gáz- és anyagáramokat, a gáz és anyag fő anyagtulajdonságait, valamint a szemcsék elhelyezkedését a berendezésben a művelet során. Az 1/a. ábra az anyaghalmozék elhelyezkedését mutatja a szárítóban a beadagolás után. A nyugvó ágymagasságot (L_0) egy a berendezésben elhelyezett mérőszalag segítségével mérjük. Az anyagnak ismert a tömege (m_p) és száraz anyagra vonatkoztatott nedvességtartalma (X_{in}). Az 1/b. ábra alapján a szárítótérbe történő beadagolás után a szárítógáz belép a szárítótérbe egy szemcséfogó rácson keresztül, melynek ismert a tömegárama (\dot{m}_{dG}), hőmérséklete ($T_{G,in}$), és abszolút nedvességtartalma ($Y_{G,in}$). A művelet során mérhető a szárítótér elhagyó levegő hőmérséklete ($T_{G,out}$), és abszolút nedvességtartalma ($Y_{G,out}$). A szárítóban lévő szemcsék felületi hőmérsékletét (T_p) egy infrahőmérővel regisztráljuk. A dinamikus ágymagasság értéke L . Konvekciós szárítás során együttes hő- és anyagátadás jön létre a szemcsék és a szárítógáz között (1/c. ábra). A szárítás állandó száradási sebességű tartományán a szemcsék körüli légréteg nedvességben telített, melyet telítési abszolút nedvességtartalommal lehet jellemezni (Y_F), a szemcsék felületének hőmérséklete közelítőleg megegyezik a nedves hőmérő hőmérséklettel.



1. ábra. A szárítóttest vázlatát. a; A nyugvó ágymagasság vázlatát. b; A mozgó ágymagasság vázlatát. c; Szemcsék körüli konvektív hő- és anyagáram vázlatát

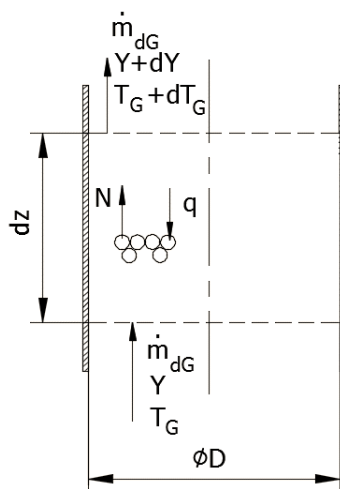
A fluidizált szemcsék szárítási görbéi a 2. ábrán láthatók. A 2/a. ábrán a szárítóba be- és kilépő levegő hőmérsékletének változása, a 2/b. ábrán a be- és kilépő levegő abszolút nedvességtartalma, a 2/c. ábrán pedig az anyag hőmérsékletének és nedvességtartalmának változása látható az idő függvényében. A szárítás kezdeti szakasza (I) a teljes szárítási időhöz képest elhanyagolható, mely addig tart, amíg az anyag felületi hőmérséklete állandósul. Az

állandó száradási sebesség tartományán (II) a szemcsék felülete folyamatosan nedves, hőmérséklete közel megegyezik a nedves hőmérő hőmérsékletével. A szárítógáz nedvességtartalma telítettnek tekinthető. A csökkenő száradási sebesség tartományán (III) a szemcsék felületén száraz foltok jelennek meg, az anyag pórusaiban, kapillárisaiban kötött nedvesség kerül kihajtásra. A szemcsék nedvességtartalma csökken, és tart az egyensúlyi nedvességtartalomig, a felületi hőmérséklete pedig tart a szárítógáz belépő hőmérsékletéig. A szárítógáz abszolút nedvességtartalma folyamatosan csökken, mert a gáz egyre kevesebb nedvességet tud magával ragadni az anyagból [6].



2. ábra. Szárítási görbék. a; $T_{G,in} = f(t)$, $T_{G,out} = f(t)$,
b; $Y_{G,in} = f(t)$, $Y_{G,out} = f(t)$, c; $T_p = f(t)$, $X = f(t)$

A szárítótest elemi részében a szemcsék és a szárítógáz között lejátszódó hő- és anyagátadási folyamat, valamint a szárítógáz áramlásának iránya a 3. ábrán látható.



3. ábra. Hő- és anyagátadási viszonyok szemléltetése, valamint a gáz áramlási irányának bemutatása a szárító keresztmetszetében

A modellalkotás során az alábbi feltételeket fogalmaztuk meg:

- az anyagon belüli hőmérséklet- és nedvességtartalom a szárító hossza mentén, adott időpillanatban állandó;
- koncentrált paraméterű leírás, azaz $T_F \approx T_P$;
- a száradó anyag homogén szerkezetű és geometriai tulajdonságai közel állandók a szárítás során (nem zsugorodik, nincs alakváltozás);
- hőveszteség és hősugárzás elhanyagolható;
- a szárítás során nem játszódik le kémiai reakció.

A fluidizált szárítást jellemző egyenletek a következőkben láthatóak. A szárítógáz abszolút nedvességtartalmának változását a szárítási idő függvényében az alábbi összefüggéssel fejezzük ki:

$$\frac{dY}{dt} = \frac{\alpha a}{c_G \rho_G} (Y_F - Y). \quad (1)$$

A száradó anyag nedvességtartalmának változását az idő függvényében:

$$\frac{dX}{dt} = -\frac{\dot{m}_{dG}}{m_{dP}} dY. \quad (2)$$

A szárítógáz hőmérsékletének változása elemi időközönként:

$$\frac{dT_G}{dt} = -\frac{c_v}{c_G} (T_G - T_P) \frac{dY}{dt} - \frac{\alpha a}{\rho_G c_G} \Delta T_{G-P}. \quad (3)$$

Az anyag hőmérsékletének változása elemi időközönként pedig:

$$\frac{dT_P}{dt} = \frac{\alpha a}{m_{dP} c_P} A_d L_0 \Delta T_{G-P} + \frac{r_F}{c_P} \frac{dX}{dt}. \quad (4)$$

3. MATEMATIKAI MODELL ALKALMAZÁSA

Fluidizációs szárítás leírására alkalmas matematikai modell bemenő paramétereként szükség van a szárítógáz és anyag között értelmezett térfogati hőátadási tényezőre (αa). Korábbi méréseinket és átdolgozott szakirodalmi forrásokat felhasználva módosított $Nu' = f(Re)$ függvénykapcsolatot hoztunk létre fluidizációs szárítás esetére:

$$Nu' = 6,4 \cdot 10^{-3} \cdot Re^{1,15}. \quad (5)$$

A Reynolds- és a módosított Nusselt-szám az alábbi összefüggésekkel számítható:

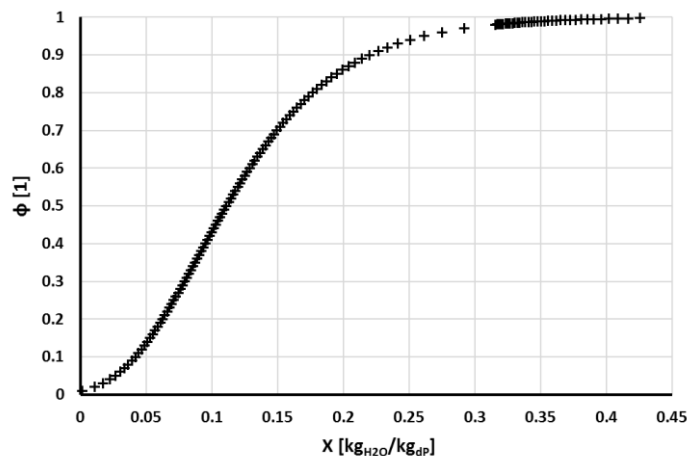
$$Re = \frac{v_G d}{\nu_G}; \quad Nu' = \frac{\alpha a \cdot d^2}{\lambda_G}. \quad (6)$$

A modell alkalmazását egyik mérésünk eredményein keresztül mutatjuk be. A modell bemenő paraméterei az 1. táblázatban láthatók. A modell segítségével kiszámítható a szárítógáz hőmérsékletének és abszolút nedvességtartalmának eloszlása a szárító hossza mentén (z), és az idő függvényében (t), továbbá a száradó anyag hőmérsékletének és nedvességtartalmának eloszlása az idő függvényében (t).

Jelölés	Megnevezés	Értékek	Mértékegység
d_D	Szárító átmérője	0,1	m
\dot{m}_{dG}	Gáz tömegáram	0,027	kg/s
$m_{dP,in}$	Kezdeti száraz tömeg	0,665	kg
$T_{G,in}$	Gáz belépő hőmérséklete	70	°C
$T_{P,in}$	Anyag belépő hőmérséklete	10	°C
X_{in}	Anyag belépő nedvességtartalma	0,58	kg _{H2O} /kg _{dP}
Y_{in}	Gáz belépő nedvességtartalma	0,0063	kg _{H2O} /kg _{dG}
d	Anyag átmérője	0,034	m
L_0	Nyugvó ágymagasság	0,16	m
Δz	Elemi hosszlépték	0,05	m
Δt	Elemi időlépték	0,01	s

1. táblázat. A modell bemenő paraméterei

Példánkban cirok szárítását végeztük el. Az állandó száradási sebesség tartományán ($X > X_{kritikus}$), az anyag felületének körzetében a szárítógáz telítettnek tekinthető. A nedvességtartalom további csökkenésével ($X < X_{kritikus}$), a szárítógáz relatív nedvességtartalma már nem tekinthető telítettnek ($\varphi < 1$). A szárítógáz relatív nedvességtartalma az anyag nedvességtartalmának függvényében a szorpciós izotermából határozható meg [7]. Az anyagra jellemző adszorpciós-deszorpciós izoterma mérési úton határozható meg [8]. A cirok deszorpciós izotermája a 4. ábrán látható, mely 30 °C és 70 °C között érvényes.



4. ábra. Cirok deszorpciós izotermája [8]

A szárítógáz abszolút nedvességtartalma az anyag felületének közelében az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$Y_F = \frac{M_{H_2O}}{M_{dG}} \frac{\varphi P_{v,sat}}{P_0 - \varphi P_{v,sat}} \quad (7)$$

A (1) és (3) egyenlettel a szárítógáz abszolút nedvességtartalma és hőmérséklete számítható, a (2) és (4) összefüggéssel pedig az anyag nedvességtartalma és hőmérséklete az idő függvényében. A modell kezdeti értékei $t=0$ időpillanatban:

$$X = X_{in}; \quad Y_G = Y_{G,in}; \quad T_G = T_{G,in}; \quad T_P = T_{P,in}.$$

Elemi Δt időközönként:

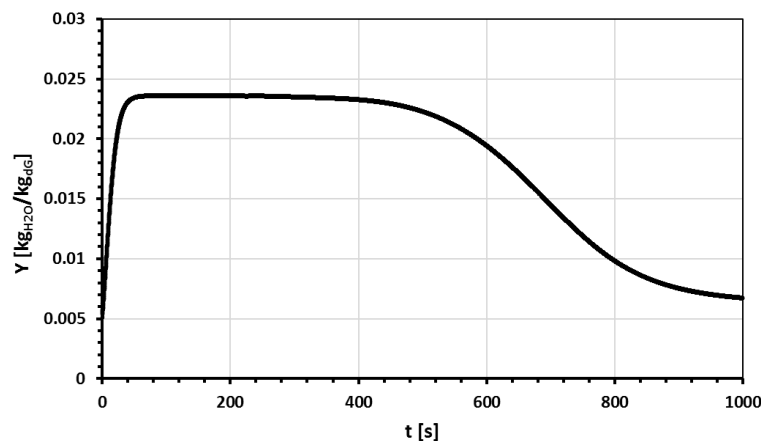
$$\Delta X = \frac{dX}{dt} \Delta t; \quad \Delta Y_G = \frac{dY_G}{dt} \Delta t; \quad \Delta T_G = \frac{dT_G}{dt} \Delta t; \quad \Delta T_P = \frac{dT_P}{dt} \Delta t.$$

Az anyag nedvességtartalmának és hőmérsékletének és a szárítógáz hőmérsékletének és abszolút nedvességtartalmának változása az idő függvényében az elemi időközönként kiszámolt értékek hozzáadásával számítható:

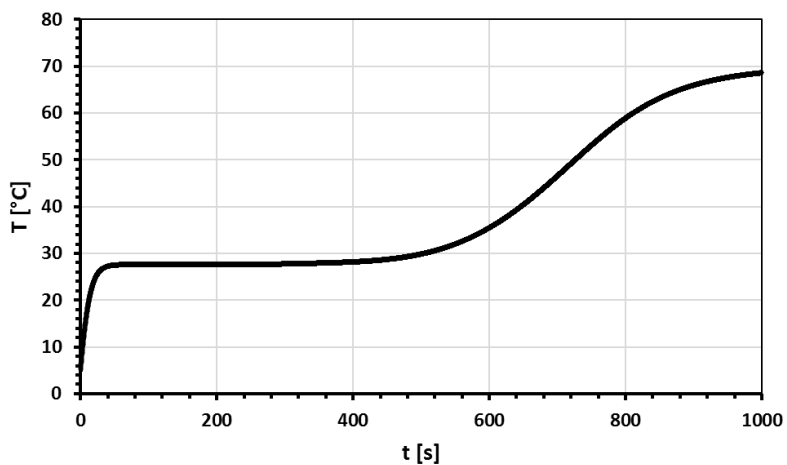
$$X = X_{in} + \Delta X; \quad Y_G = Y_{G,in} + \Delta Y_G; \quad T_G = T_{G,in} + \Delta T_G; \quad T_P = T_{P,in} + \Delta T_P.$$

4. MATEMATIKAI MODELL ALKALMAZÁSA

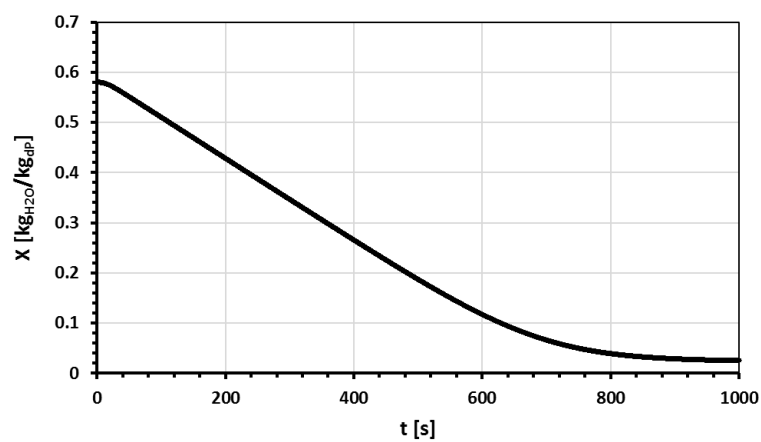
A számítás lépéseit elemi $\Delta t=0,01$ s lépésközönként megismételve a szárítási görbék előállíthatók, amivel a szárításhoz szükséges idő megállapítható. A szárítási folyamata addig tart, amíg az anyag eléri az adott műveletben kívánt végső nedvességtartalmat. A modell számításai alapján kapott szárítási görbék az 5-8. ábrán láthatók, az 1. táblázatban bemutatott bemenő paramétereket felhasználva. A térfogati hőátadási tényező az (5) összefüggésből lett meghatározva.



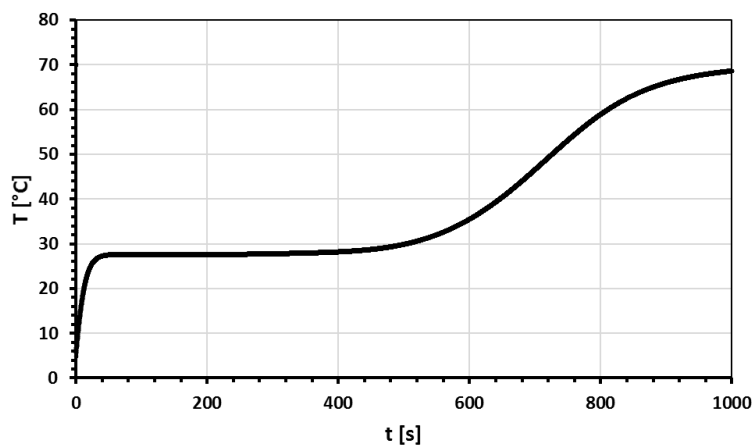
5. ábra. A szárítógáz abszolút nedvességtartalma az idő függvényében



6. ábra. A szárítógáz hőmérséklete az idő függvényében



7. ábra. Az anyag nedvességtartalma az idő függvényében



8. ábra. Az anyag hőmérséklete az idő függvényében

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk során létrehoztuk a fluidizációs szárítás leírására szolgáló matematikai modellt, mely alkalmas a szárítási idő meghatározására. A modell egyik bemenő paramétere a térfogati hőátadási tényező, mely számítására szolgáló kritériális egyenletet szintén meghatároztuk mérési úton. A modell alkalmas a szárítógáz hőmérsékletének és abszolút nedvességtartalmának, továbbá a száradó anyag hőmérsékletének és nedvességtartalmának kiszámítására az idő függvényében. Munkánk célja egy eddiginél pontosabb módszer kifejlesztése fluidizációs szárítók méretezésére térfogati hőátadási tényező felhasználásával. További kutatásunk során a létrehozott matematikai modell validálását elvégezzük a szárítás állandó és csökkenő száradási sebességű tartományán.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönet a Richter Gedeon Talentum Alapítványnak (1103 Budapest, Gyömrői út 19-21.) és az Országos Tudományos Kutatási Alapprogramnak (OTKA-116326) a munkában nyújtott anyagi támogatásért.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **MUJUMDAR, A. S.:** *Heat Transfer in Fluidized Beds – An Overview*, Special Topic in ME6204 Convective Heat Transfer, ME Department, NUS, 2010.
- [2] **YANG, W. C.:** *Handbook of fluidization and fluid-particle systems*, Siemens Westinghouse Power Corporation, New York: Marcel Dekker, 2003.
- [3] **KASSAI, M., SIMONSON, C. J.:** *Performance investigation of liquid-to-air membrane energy exchanger under low solution/air heat capacity rates ratio conditions*, Building Services Engineering Research & Technology, Vol. 36 n. 5, p. 535-545. 2015.
- [4] **ALVAREZ P. I., SHENE C.:** *Experimental determination of volumetric heat transfer coefficient in a rotary dryer*, Drying Technology, Vol. 12 n. 7, p. 1605-1627. 1994.
- [5] **ÖRVÖS, M., SZABÓ, V., POÓS, T.:** *Volumetric heat transfer coefficient for modelling the fluidized bed dryers*, 5th European Drying Conference, p. 296-303. 2015.
- [6] **TREYBAL, R. E.:** *Mass-transfer operations*, 3rd ed. New York: McGraw-Hill Company, 1981.
- [7] **POÓS, T., ÖRVÖS, M.:** *Heat- and mass transfer in agitated co- or countercurrent, conductive-convective heated drum dryer*, Drying Technology, Vol. 30 n. 3 p. 1457-1468. 2012.
- [8] **AVIARA, N. A., AJIBOLA, O. O., AREGBESOLA, O. A., ADEDEJI, M. A.:** *Moisture sorption isotherms of sorghum malt at 40 and 50 °C*, Journal of Stored Product Research, Vol. 42 n. 3 p. 290-301. 2006.

NEMESFÉMTARTALMÚ SZÉN NANOCSŐ ALAPÚ KATALIZÁTOROK FEJLESZTÉSE ÉS VIZSGÁLATA KATALITIKUS HIDROGÉNEZÉSI REAKCIÓKBAN

SYNTHESIS OF NOBLE METAL-CONTENT CARBON NANOTUBES- BASED CATALYSTS AND EXAMINATION OF CATALYTIC HYDROGENATION REACTION

**SIKORA Emőke¹, KISS Adrienn², HUTKAINÉ Göndör Zsuzsanna³, PEKKER
Péter⁴, KRISTÁLY Ferenc⁵, VANYOREK László⁶**

^{1,2} hallgató, ³ mérnöktanár, ^{4,5} tudományos munkatárs, ⁶ adjunktus

^{1,2,3,6} Kémiai Intézet, Miskolci Egyetem, 3515 Miskolc-Egyetemváros

⁴ Miskolci Egyetem Ásványtani és Földtani Intézet 3515 Miskolc-Egyetemváros

⁵ MTA-ME Anyagtudományi Kutatócsoport 3515 Miskolc-Egyetemváros

¹ emoke.sikora@gmail.com, ² adrienn9624@gmail.com, ³ fkmhut@uni-miskolc.hu,

⁴ pekkerpeter@gmail.com, ⁵ askkf@uni-miskolc.hu, ⁶ kemvanyi@uni-miskolc.hu

Kivonat: Kutatócsoportunkkal többfalú szén nanocsöveket (MWCNT) állítottunk elő 2,5 m/m% Fe, illetve 2,5 m/m% Co –tartalmú, MgO-hordozós katalizátor segítségével, széntartalmú vegyületek gőzfázisú katalitikus bontásával (Catalytic Chemical Vapor Deposition-CCVD). A keletkezett szén nanocsövek tisztítását tömény sósavas oldással végeztük. Az előállított nanocsöveket nemesfém tartalmú katalizátorok előállításához használtuk fel, melyekből öt típust készítettünk: Pt/MWCNT, Pd/MWCNT, Rh/MWCNT, Ru/MWCNT, Ir/MWCNT. Mindegyik katalizátor 5 m/m% nemesfém tartalmazott a szén nanocső hordozón. Az előállított katalizátorokat megvizsgáltuk HRTEM illetve XRD segítségével is. Katalitikus aktivitásukat oktadec-1-én hidrogénezési reakciójában teszteltük, melyet FTIR segítségével követtünk nyomon. A legjobb eredményeket a Pd/MWCNT és a Rh/MWCNT esetében kaptuk.

Kulcsszavak: többfalú szén nanocső, nanocső szintézis, katalizátor, hidrogénezés

Abstract: MWCNTs were prepared from acetylene on MgO-supported 2,5 wt% Fe and 2,5 wt% Co catalyst by catalytic chemical vapor deposition method (CCVD). The removal of the remained catalyst was carried out with concentrated hydrochloric acid. The purity was checked by thermogravimetry (TG). The synthesized MWCNTs were used to prepare five type of catalysts: Pt/MWCNT, Pd/MWCNT, Rh/MWCNT, Ru/MWCNT, Ir/MWCNT. Each type contained 5 wt% of noble metals. The prepared catalyst's were characterized by HRTEM and XRD. The catalytic activity of the Pd/MWCNT, Pt/MWCNT, Ru/MWCNT samples were examined in the hydrogenation of octadec-1-ene. The process was monitored by using FTIR. The best results were obtained by Pd/MWCNT and Rh/MWCNT.

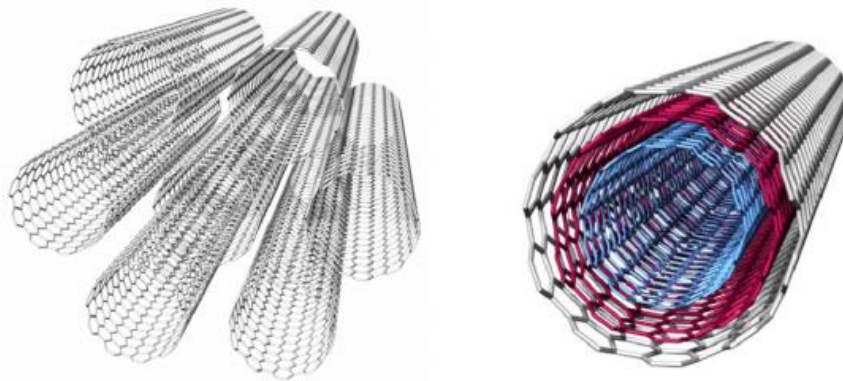
Keywords: multi-walled carbon nanotube, synthesis of nanotubes, catalyst, hydrogenation

1. BEVEZETÉS

A szén nanocsövek felfedezése 1991-ben történt, amikor egy japán kutató, Sumio Iijima fullerénekkal végzett kísérletei során hosszú, csőszerű alakzatban rendeződött szén atomokból felépülő objektumokat talált [1]. Ezeket nevezzük ma nanocsöveknek, (carbon nanotubes) továbbiakban CNTs. Felfedezésük óta számos kutatót foglalkoztatnak a CNTs különleges tulajdonságai és felhasználhatóságuk, rengeteg publikáció és cikk jelenik meg a mai napig újabb és újabb eredményekkel a témában.

A nanocsövek olyan szénszerkezetek, melyek 6-szögekből álló grafítlapok feltekeredésével jönnek létre, így lesz hengeres a szerkezetük. Alapvetően szerkezeti szempontból 2 félet

különböztetünk meg: egyfalú (SWCNT- single-walled carbon nanotubes), illetve többfalú (MWCNT - multi-walled carbon nanotubes) nanocsöveket (1. ábra). A kettő különbségét a nevük is tükrözi. Míg az egyfalú csövek 1 grafitlap feltekeredésével jönnek létre, addig a többfalú nanocsövek esetében több lap feltekeredése hoz létre koncentrikus hengereket.



1. ábra. Egy- és többfalú nanocsövek szerkezete [2]

A nanocsövek nem csak különleges szerkezettel, hanem különleges fizikai, kémiai és mechanikai tulajdonságokkal is rendelkeznek. Jó elektromos vezetőképességüket például az elektronikában lehetne kamatoztatni [3,4]. Kivételes szakítószilárdságuk [5] és kicsi sűrűségük [6-9] a kompozit anyagok világában is nagy jövőt jósul számukra, mivel könnyű, de nagy teherbírású anyagok készíthetők alkalmazásukkal. Nano méretükből adódóan nagy fajlagos felülettel rendelkeznek, amely pl. a katalízis területén [10,11] is innovatív anyaggá teszi őket.

A katalízisben kihasználható további előnyeik közé tartozik, hogy nem rendelkeznek mikropórusos szerkezettel, amely gátolná a reaktáns molekulák aktív centrum irányába történő diffúzióját, amely a katalitikus folyamatok sebesség meghatározó lépése. Fizikai és kémiai módszerekkel funkcionális csoportok alakíthatóak ki felületükön, melyek segítségével megköthető katalitikusan aktív fémek ionjai, valamint módosíthatóvá válik a nanocsövek poláris-apoláris jellege is.

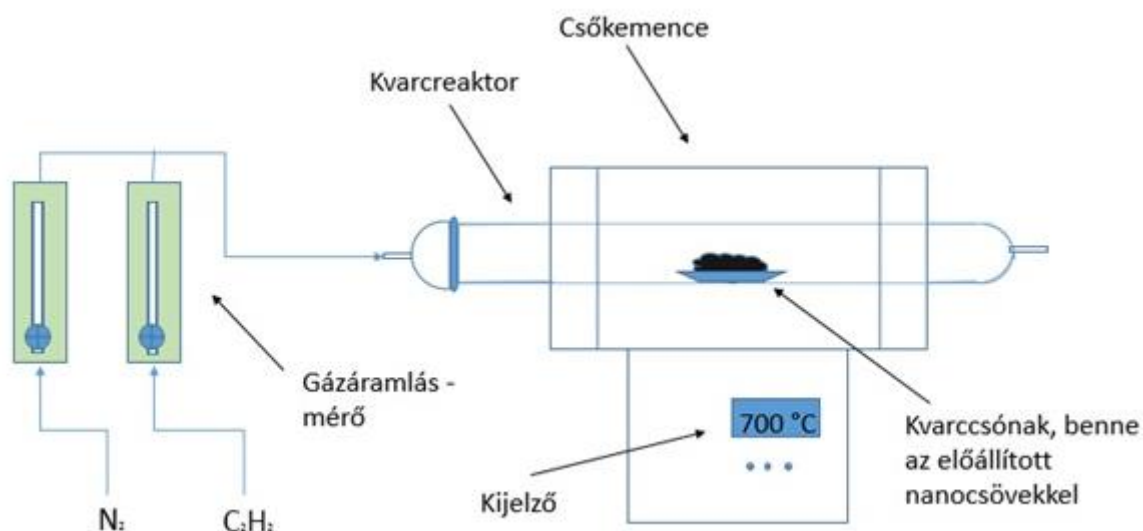
2. CÉLKITŰZÉS

Célunk olyan nanoszerkezetű, újgenerációs katalizátorok előállítására volt, amelyek sikerrel alkalmazhatók többek között a gyógyszeripar és a finomvegyipar területén is. Napjainkban széleskörben alkalmazott, aktív szén alapú katalizátorhordozók egyik hátránya az, hogy ezen anyagok esetében a megfelelő nagyságú fajlagos felület elérése a pórusszerkezetük által lehetséges. A mikropórusok jelenléte azonban lassítja az anyagtranszportot, emiatt a reaktáns molekulák aktív centrum (fém nanorészecskék) irányába történő diffúziója lassabban történik meg, és ennek eredményeként csökken a reakciósebesség. A szén nanocsövek esetében a viszonylag nagy fajlagos felület a nano mérettartomány által biztosított, és a mikropórusok hiánya miatt kiküszöbölhető az a diffúziógátlás, amely a konvencionális szénhordozós katalizátorok esetében, különösen folyadékfázisú reakciók során megfigyelhető.

3. KÍSÉRLETI RÉSZ

3.1. Többfalú szén nanocsövek előállítása, tisztítása

A többfalú szén nanocsöveket CCVD szintézissel állítottunk elő. Az általunk használt reaktor vázlatát a 2. ábrán látható. A folyamat során szénforrásként acetilént, inert közegként, valamint vivőgázként nitrogént alkalmaztunk. A szintézist 700 °C-os hőmérsékleten, MgO hordozós, 2,5 m/m% vasat, valamint 2,5 m/m% kobaltot tartalmazó katalizátor segítségével hajtottuk végre, amiből szintézisenként 0,5 g-ot használtunk fel. A vivőgáz áramlási sebessége 50 ml/perc, az acetilén beadagolási sebessége 40 ml/perc és a szintézis ideje 20 perc volt. Az eljárást a szükséges szén nanocső mennyiség előállításának érdekében többször megismételtük.



2. ábra. Szintézishez használt berendezés vázlat

Az eljárás során a katalizátor fémes, valamint oxidformává alakult át, így a keletkezett szén nanocsövek szennyezőket is tartalmaztak. Ezeket tömény sósavval történő feltárással távolítottuk el, mely során az elegyet hat órán keresztül forraltuk állandó kevertetés mellett. Vákuumszűrővel választottuk el a nanocsöveket a sósavas fázistól, majd desztillált vízzel mostuk, ismét szűrtük, és szárítószekrényben egy éjszakán át szárítottuk. A tisztítás hatékonyságát termogravimetriai (TG) vizsgálatokkal ellenőriztük (4. fejezet).

3.2. Szén nanocső alapú nemesfém tartalmú katalizátorok előállítása

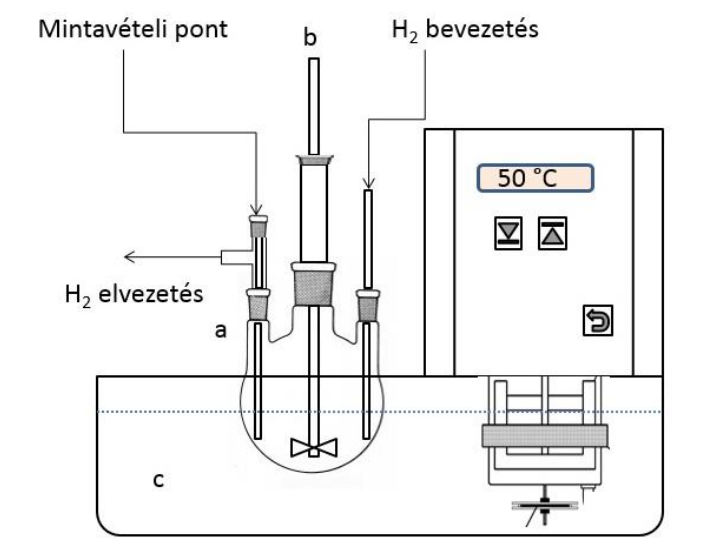
A megtisztított szén nanocsöveket hidrogénező katalizátorok készítésére használtuk fel. Öt típust állítottunk elő: Ir/MWCNT, Pd/MWCNT, Pt/MWCNT, Rh/MWCNT, Ru/MWCNT. Mindegyik katalizátor 5 m/m% nemesfém tartalmú az MWCNT-hordozón.

Az előállítási folyamatot a Pd/MWCNT példáján szemléltetem. Etanolos közegben (patosolv) felfuszpendáltam 0,95 g szén nanocsövet, ultrahangos fürdő segítségével, majd ehhez hozzáadtam a számított mennyiségű palládium acetát etanolos oldatát, ezt követően 10 percig homogenizáltuk az elegyet. Az így elkészített szuszpenziót vákuumbepárlón szárazra pároltuk és szárítószekrényben 105 °C-on tömegállandóságig szárítottuk. Ezt követően 400 °C-on, 20 percen keresztül nitrogén atmoszférában hőkezeltük (kalcináltuk), majd a nitrogén közeget hidrogén gázzá váltottuk, és 30 percen át redukáltuk a terméket. E folyamat során a

Pd-ionok Pd nanorészecskékké alakultak át. Valamennyi katalizátor előállításánál a fent ismertetett eljárást alkalmaztuk.

3.3. Szén nanocső alapú nemesfém tartalmú katalizátorok tesztelése

A nanocsőhordozós nemesfém tartalmú katalizátorokat oktadec-1-én hidrogénezési reakciójában teszteltük a 3. ábrán látható hidrogénező reaktorban. A hidrogénezési reakciót oktanolos fázisban hajtottuk végre, ezért elkészítettük az oktadecén $0,2625 \text{ mol/dm}^3$ koncentrációjú oldatát. Ebből 50 cm^3 -t 30 mg nanocső hordozós katalizátorhoz öntöttünk egy főzőpohárban. Az elegyet ultrahangos fürdőben 10 percen keresztül szuszpendáltattuk, majd a szuszpenziót a hidrogénező reaktorba öntöttük és állandó kevertetés mellett $50 \text{ }^\circ\text{C}$ -ra termosztáltuk a rendszert.



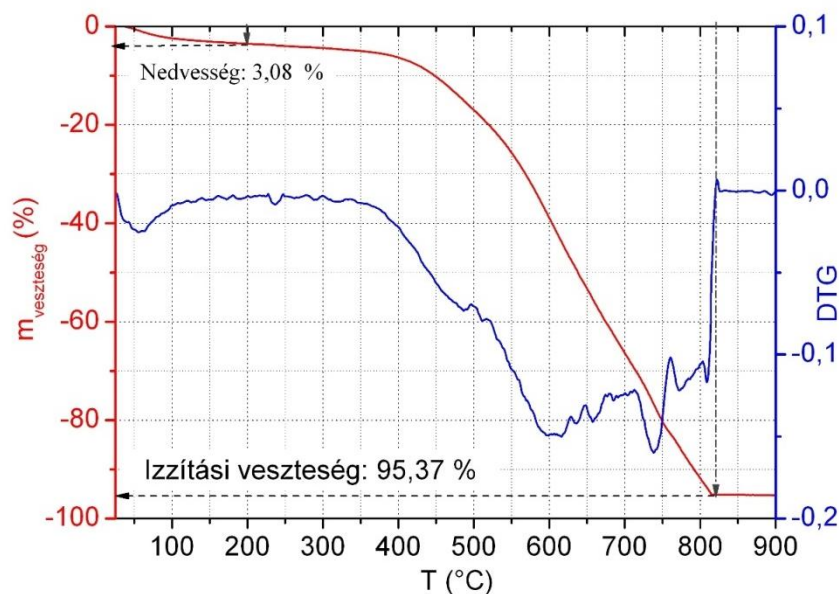
3. ábra. A hidrogénezéshez használt berendezés vázlata:
a) Hidrogénező lombik, b) Keverőmű, c) Termosztát

A hőmérséklet ellenőrzését követően vakmintát vettünk, aminek felvettük az infravörös spektrumát. Ezt tekintettük a kiindulási állapotnak, ebből határoztuk meg az oktadecén kezdeti koncentrációját. Ezt követően a hidrogénáram megindításától számított 5 perc elteltével mintát vettünk. További 5 percenkénti mintavételezést alkalmaztunk 30 perc hidrogénezési idő elteltéig, majd következő mintákat 40, 60, 80, 120 perc hidrogénezési idő elteltével vettünk. Valamennyi minta infravörös spektrumát KBr ablakkal ellátott folyadékcellával vettük fel. Az oktadecén átalakulását a $\text{C}=\text{C}$ kettős kötés vegyértékrezgéséhez tartozó abszorpciós sáv területének vizsgálatával követtük nyomon.

4. EREDMÉNYEK

4.1. A nanocsövek tisztaságának ellenőrzése

A szén nanocsövek szintetizálási eljárásukból eredően szennyezőket is tartalmaznak, melyek eltávolítására tömény sósavas oldást alkalmaztunk. A tisztítás eredményét termogravimetriai vizsgálattal ellenőriztük (4. ábra).



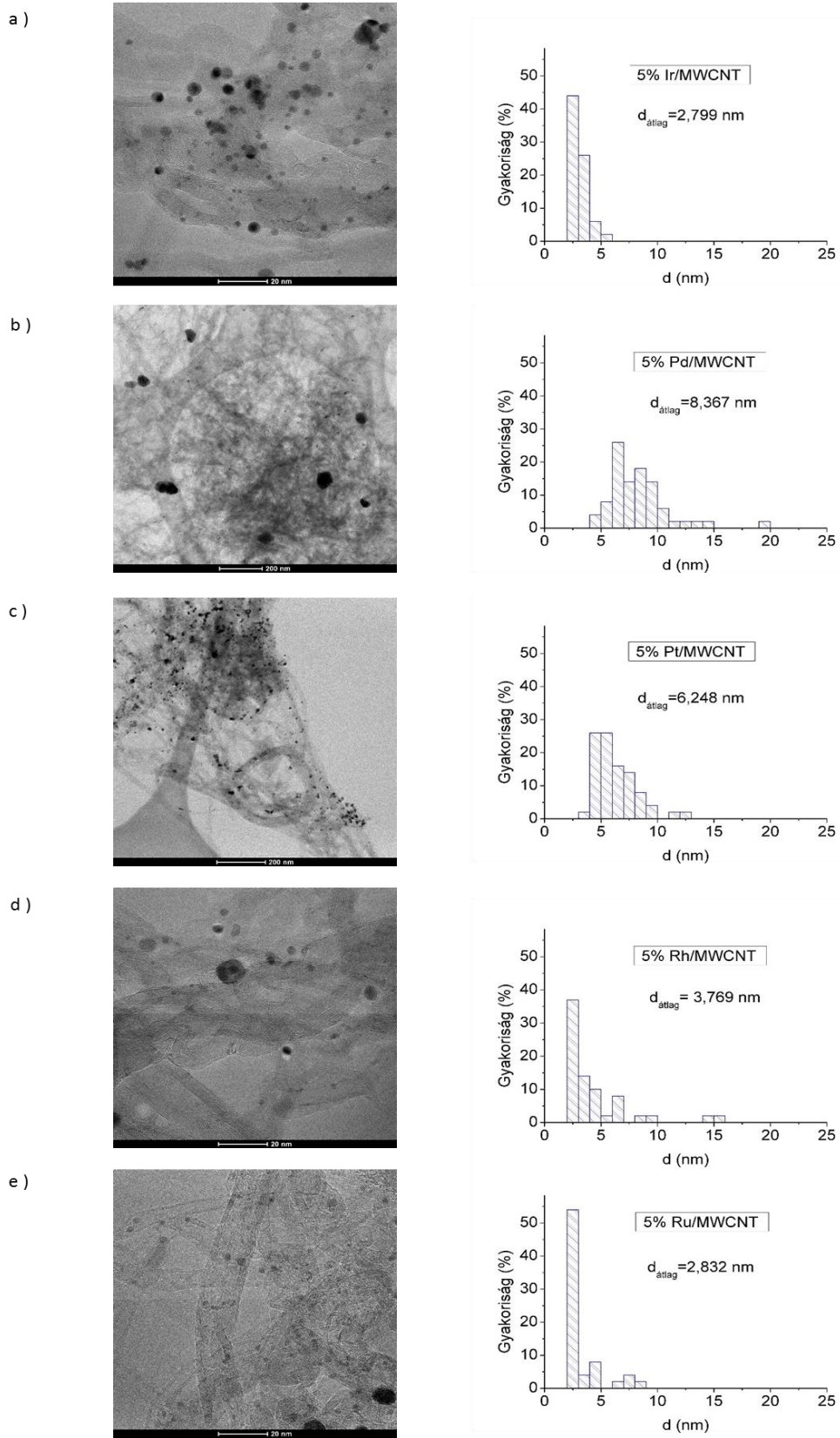
4. ábra. A szén nanocső minta TG és DTG görbéi

A mérési eredmények alapján a minta izzítási vesztesége 95,37 m/m % volt, amit korrigáltunk a minta 3,08 m/m%-os nedvességtartalmával, így széntartalma, azaz tisztasága 92,29 %-os lett. A TG görbén látható 430 °C előtti csekély tömegcsökkenés a megkötött víz elpárolgása miatt lépett fel. Az ezután bekövetkező látványos tömegvesztés, (körülbelül 430 °C-tól 820 °C-ig) a szén oxidációjának köszönhető. 820 °C feletti izzítási maradékot a szennyezők alkotják, amit a tisztítás során nem sikerült eltávolítanunk, mivel ezek, azok a fém részecskék, amelyek rendszerint a szintézis során bezáródnak a nanocsövek belsejébe, ahol a sósav számára nem hozzáférhetőek.

4.2. Katalizátorok vizsgálata nagyfelbontású elektronmikroszkópiával

A HRTEM felvételek és a segítségükkel elkészített méreteloszlási diagramok az 5. ábrán láthatóak. A kiértékelés során az alábbi eredményekre jutottunk:

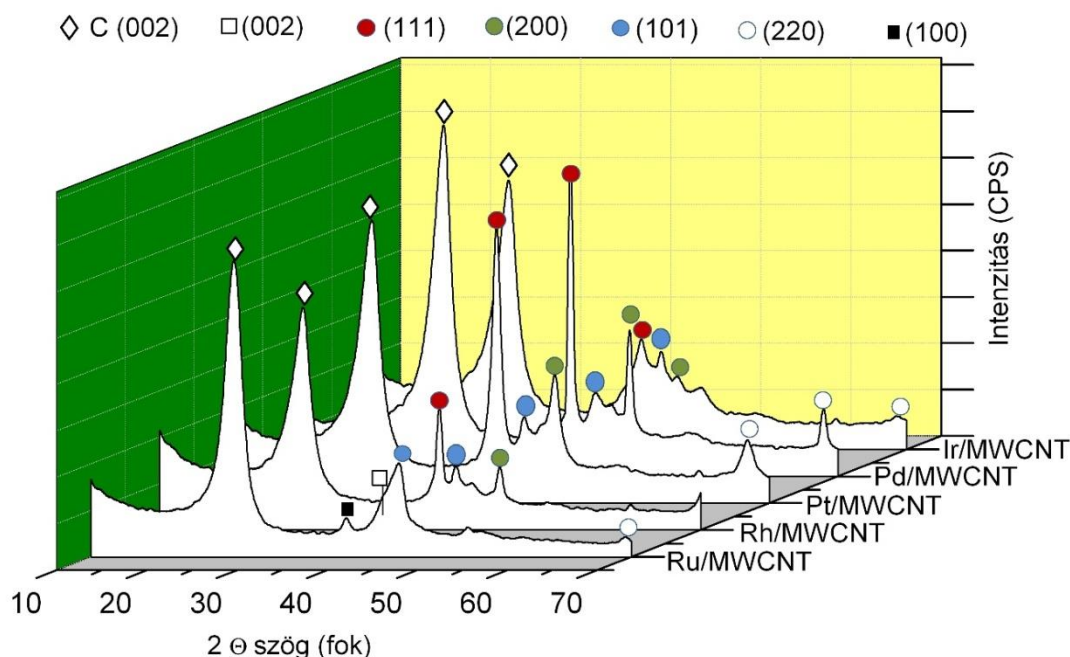
Az Ir tartalmú MWCNT hordozós katalizátorminta esetében az átlagos fémrészecske átmérő ($d_{\text{átlag}}$) 2,8 nm lett. A Pd/MWCNT katalizátor esetében nagyobb szórás mutatkozott, ebben a mintában találtuk a legnagyobb átmérővel rendelkező részecskéket $d_{\text{átlag}} = 8,4$ nm értékkel. Az Pt-tartalmú katalizátor esetében az átlagos fémrészecske átmérő 6,2 nm, míg a Rh/MWCNT esetén 3,8 nm lett. Az ruténiumot tartalmazó mintában található részecskék átmérői mutatták a legkisebb szórást, amelyeknek körülbelül 54%-a 2,5 nm átmérővel rendelkezett, az átlag 2,8 nm volt.



5. ábra. A katalizátorokról készült HRTEM felvételek és a hozzájuk tartozó méreteloszlások: a) Ir/MWCNT, b) Pd/MWCNT, c) Pt/MWCNT, d) Rh/MWCNT, d) Ru/MWCNT

4.3. A fém nanorészecskék jellemzése röntgendiffrakciós (XRD) vizsgálattal

A módszer a csövek kristályszerkezetéről nyújt információkat. Ez azért lényeges, mert segítségével bizonyítható, hogy a szén nanocsövek felületén található katalitikusan aktív fázist elemi állapotban lévő fémrészecskék alkotják. Az XRD vizsgálat alapján bizonyítottuk, hogy valamennyi átmeneti fém elemi állapotban van jelen az adott katalizátorban. A vizsgálatok eredményei a 6. ábrán láthatóak.

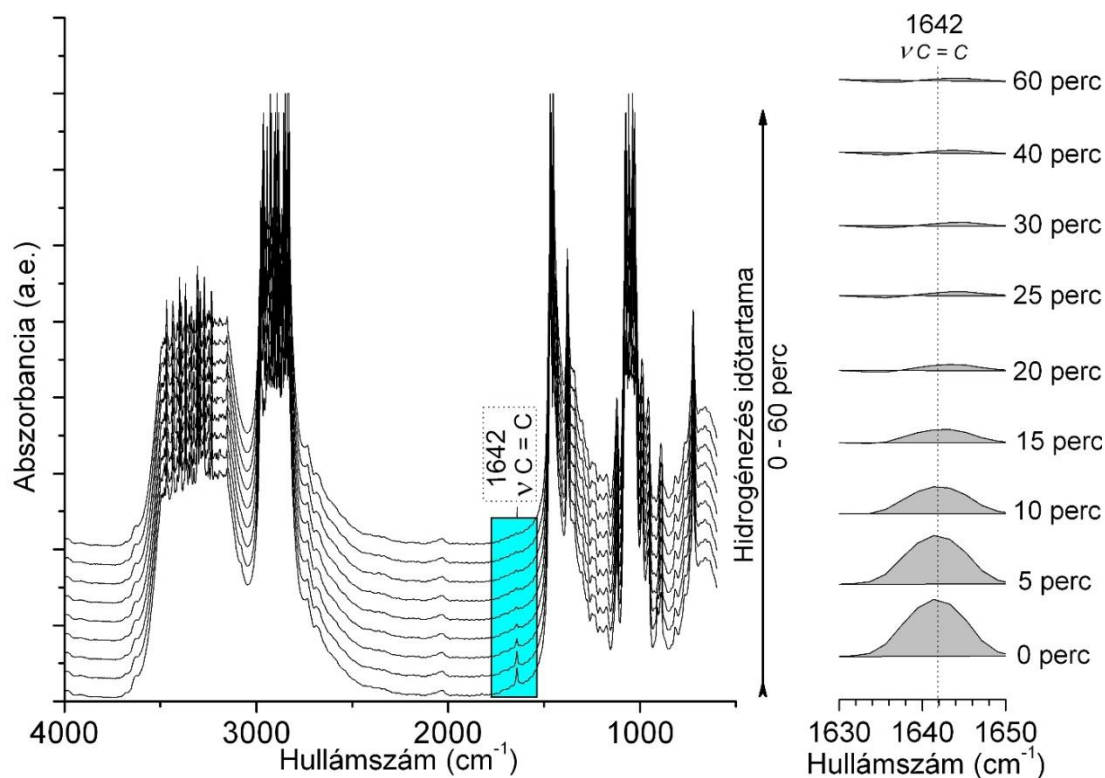


6. ábra. Röntgendiffrakciós vizsgálat eredménye

A nemesfém tartalmú szén nanocsőhordozós katalizátorok röntgen diffrakciós felvételén változó intenzitással megjelennek reflexiók 41, 44 valamint 47 2θ szögeknél, melyek a ródium, irídium, platina és palládium nanorészecskék (111), (101), (200) miller indexű kristálysíkjaik reflexiói. A ruténium esetében található (100) elrendeződésű kristálysík is. A szén nanocsöveknek köszönhetően megjelenik a turbosztratikus grafit (002) miller indexű síkra jellemző reflexió is körülbelül 26 2θ értéknél valamennyi katalizátor minta esetében.

4.4. A hidrogénezési reakció követése infravörös spektroszkópiával (FTIR)

A hidrogénezési reakció előrehaladását a meghatározott időközönként vett oktanol-oktadecén minták FTIR vizsgálatával követtük nyomon (7. ábra).

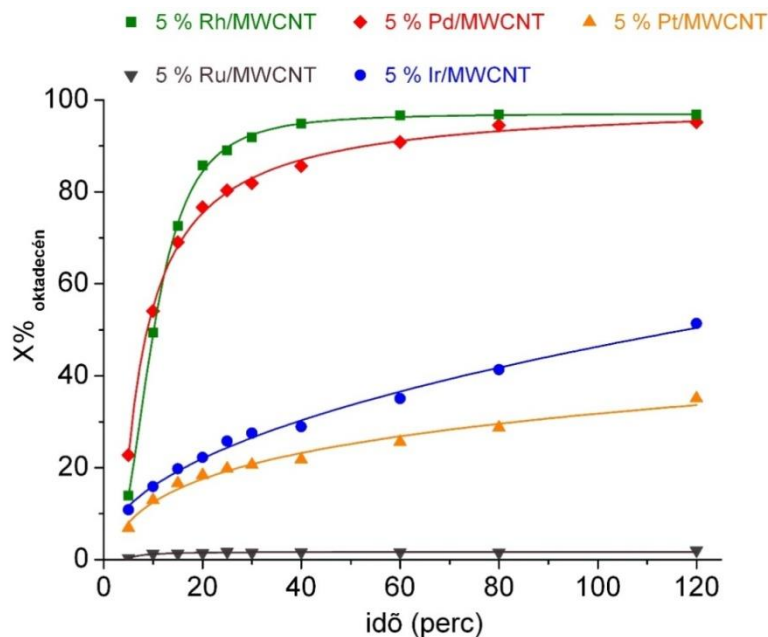


7. ábra. Oktanol-oktadecén elegy IR spektruma és a kettős kötés telítődésének folyamata Rh-tartalmú katalizátor alkalmazása során

Az oktadecén átalakulását a C=C kettőskötés vegyértékrezgéséhez tartozó abszorpciós sáv területének vizsgálatával követtük nyomon. Ez jól követhető a $\nu_{(C=C)}$ 1610-1690 $1/\text{cm}$ hullámszám tartományban található vegyértékrezgés sávjának eltűnésével. A sáv alatti terület csökkenése arányos az oktadecén telítődésével, vagyis az oktadecén koncentrációjának csökkenésével. Minden sáv esetén kiintegráltuk a sáv alatti területet, majd kiszámítottuk az az adott időhöz tartozó oktadecén koncentrációt, amely alapján meghatározhattuk az olefin konverzió értékét az hidrogénezési idő függvényében.

4.5. Oktadec-1-én konverziója a hidrogénezés során

Az oktadec-1-én hidrogénezése során az ötféle katalizátor közül a ródium, valamint a palládium tartalmú MWCNT hordozós katalizátorok bizonyultak a leghatékonyabbnak, mint a konverziós diagramon is jól látszik (8. ábra). A ruténium tartalmú katalizátor minta az 50 °C-on történő hidrogénezési reakcióban nem mutatott katalitikus aktivitást. Az irídium és a platina tartalmú katalizátorok aktivitása is alulmaradt a ródium, valamint palládium tartalmú katalizátorok aktivitásával szemben.



8. ábra. Konverziós diagram oktadec-1-én hidrogénezési folyamatában különbözőkatalizátorokon vizsgálva

5. KONKLÚZIÓ

A kutatócsoportunk által elkészített MWCNT alapú nemesfém katalizátor közül a Pd és Rh tartalmú katalizátorok megfelelnek az elvárásainknak, ugyanis magas katalitikus aktivitást mutattak a hidrogénezési reakciók során, ellentétben az Ir és Pt, de különösen a Ru-tartalmú katalizátorokkal. A katalitikus aktivitásbeli jelentős eltérés okára sem a HRTEM, sem a röntgen diffrakciós vizsgálat eredményei alapján nem lehet egyértelmű magyarázatot találni. A HRTEM vizsgálat során nem figyeltünk meg a katalizátorok felületén szén réteget, amely csökkenthetné azok katalitikus aktivitását. A kevésbé hatékony katalizátorok esetében további vizsgálatokat, fejlesztéseket tervezünk végezni.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **IJIMA, S.:** *Helical microtubules of graphitic carbon* Nature 354, 56 (1991).
- [2] **HASPEL H.:** *Szén nanocső alapú gázszensorok vizsgálata*, Diplomamunka, Szegedi Tudományegyetem, 2007 p. 7., Témavezetők: Dr. Gingl Zoltán, Dr. Heszler Péter
- [3] **KÓNYA Z., BIRÓ L., HERNÁDI K., JÁNOS J. B., KIRICSI I.:** *Szén nanocsövek előállítása, tulajdonságai és alkalmazási lehetőségei*, A kémia újabb eredményei (2001).
- [4] **ZHU, Y.Q. SEKINE, T. KOBAYASHI, T. TAKAZAWA, E. TERRONES, M. TERRONES, H.:** Chem. Phys. Lett. 287, 689 (1998).
- [5] **KÜRTI J.:** *Szén nanocsövek*, Fizikai Szemle, 106, (2007/3).
- [6] **X.L. XIE, Y.W. MAI, X.P. ZHOU,** Mater. Sci. Eng. R 49, 89, (2005).
- [7] **J.N. COLEMAN, U. KHAN, W.J. BLAU, Y.K. GUN'KO,** Carbon 44, 1624, (2006).

- [8] **S. MIRERSHADI, S.Z. MORTAZAVI, A. REYHANI, N. MONIRI, A.J. NOVINROOZ,:** Synthesis and Reactivity in Inorganic Metal-organic and Nano-metal Chemistry 39, 204, (2009).
- [9] **W. BAUHOFFER, J.Z. KOVACS:** Composite Sci. Technol. 69,1486, (2009)
- [10] **S. FARZADA, A. RASHIDIB, A. HAGHTALABC, M. A. MANDEGARID:** Fuel, 132, 27-35, (2014).
- [11] **J. GARCIA, H,T. GOMES, PH. SERP, PH. KALCK, J. L. FIGUEIREDO, J.L. FARIA:** Carbon, 44, 2384-2391 (2006).

AZ AKUSZTIKUS HISZTERÉZIS VIZSGÁLATA LABORATÓRIUMBAN MÉRT P ÉS S HULLÁMSEBESSÉG ADATOK ALAPJÁN

INVESTIGATION OF ACOUSTIC HYSTERESIS BASED ON P AND S WAVE VELOCITY DATA MEASURED IN LABORATORY

SOMOGYINÉ Molnár Judit¹, KISS Anett²

¹tudományos munkatárs, egyetemi adjunktus

¹MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport; Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai-Elektronikai Intézeti
Tanszék

¹gfmj@uni-miskolc.hu

²tudományos segédmunkatárs

²Miskolci Egyetem, Geofizikai Intézeti Tanszék

²gfka@uni-miskolc.hu

Kivonat: Az akusztikus hullámterjedés jellemzői (sebesség, jósági tényező) a kőzetek fontos mechanikai tulajdonságairól hordoznak információt, ezért a kőzetparaméterek laboratóriumi és in-situ vizsgálatában ezek meghatározása gyakori feladat. Laboratóriumi mérési adatok megfelelő értelmezéséhez - a szakirodalomban fellelhető regressziós formulákon túllépve - olyan kvantitatív modellt fejlesztettünk ki, amely fizikai magyarázatot is ad a nyomásfüggés jelenségére. A modell alapja, hogy a nyomás növekedésével a pórusok térfogata csökken, így növekvő hullámsebesség mérhető a kőzetmintán, valamint a nyomás csökkentésével a pórusok újra kinyílnak, így a sebesség csökkenése következik be. Tehát lehetővé válik az akusztikus hiszterézis leírására alkalmas kőzetfizikai modell felállítása. A gyakorlatban való alkalmazhatóságának igazolása céljából a kőzetfizikai modellt a Geofizika Tanszék akusztikus mérőberendezésével nyomás alatt, kőzetmintákon mért P és S hullámsebesség adatokon teszteltük.

Kulcsszavak: akusztikus hiszterézis, kőzetnyomás, hullámsebességek, kőzetfizikai modell

Abstract: Characteristics of acoustic wave propagation (velocity, quality factor) contain information about important mechanical properties of rocks therefore their determination is a common task in laboratory and in-situ investigations of petrophysical parameters. We developed a quantitative model - exceeding the regression formulas in literature - which gives physical explanation for the phenomenon of pressure dependence in order to a proper evaluation of laboratory measured data. The base of the model is that pore volume decreases with increasing pressure thus increasing velocity can be measured, as well as with decreasing pressure the pores open again so the velocity decreases. Ergo it becomes possible to develop a petrophysical model which describes the acoustic hysteresis. To confirm the applicability of the model it was applied to P and S wave velocity data measured on rock samples under varying pressure by the automatic acoustic test system of the Department of Geophysics.

Keywords: acoustic hysteresis, rock pressure, wave velocities, petrophysical model

1. BEVEZETÉS

A Föld belső szerkezetéről, fizikai állapotáról főként szeizmikus adatok révén nyerünk információt. A szeizmikus adatok értelmezésénél jelentős szerepet játszik egy adott fizikai környezetben (nyomásállapot) lévő kőzetmintán laboratóriumban mért szeizmikus/akusztikus tulajdonságok extrapolálása, ezért is fontos az akusztikus hullámsebesség nyomásfüggésének laboratóriumban történő tanulmányozása. A kutatók a kőzetekben terjedő akusztikus hullámok (longitudinális - P, transzverzális - S) nyomás alatti sebességét több évtizede tanulmányozzák. Közismert, hogy a kőzetekben terjedő akusztikus hullám sebessége a nyomás nemlineáris függvénye és a kőzetek kvázisztatikus rugalmas tulajdonságai ún. akusztikus hiszterézist mutatnak (a kőzetet a mechanikai felterhelés, ill. a leterhelés során

eltérő hullámterjedési sebesség jellemzi). A hiszterézis jelenségének megismerése lényeges pl. a rezervoármechanika (a szénhidrogén-kitermelés során a tárolók mechanikai tulajdonságainak megértése) és az építőmérnöki mérések (az út alapjának vibrációs tömörítésének folyamata, valamint hidak ívszerkezetének süllyedésének vizsgálata) gyakorlatában [1].

Az akusztikus hiszterézis laboratóriumban történő vizsgálata gyakori feladat [2, 3]. A hiszterézis jelensége a mikrorepedések irreverzibilis záródásával [4], a pórustérfogat irreverzibilis csökkenésével [5], valamint a kőzetben lévő kötőanyagok nemlineáris viselkedésével magyarázható [6, 7]. A mikrorepedések irreverzibilis záródásának elképzelése szerint a felterhelés során a kőzetben - adott nyomáson - bezáródott mikrorepedések nem nyílnak ki újra maradéktalanul a leterhelési szakaszban ugyanazon kőzetnyomáson. Birch elgondolása [5] alapján a magas nyomásértékek mellett a felterhelés során záródott pórusok a leterhelési ciklusban kis nyomásértékeknél már nem veszik fel eredeti alakjukat és méretüket. A harmadik magyarázat szerint mikrorepedések és szemcsék környezetében képlékeny ásványok (például klorit, szericit vagy szerpentinit) ágyazódhatnak be, ami megváltoztatja a kőzet rugalmas tulajdonságait. A kőzetben lévő szemcsék ugyanis tökéletesen rugalmas testként viselkednek, míg a szemcsék közti kötőanyagok gyakran nemlineárisan rugalmas tulajdonságot mutatnak.

A nyomás-sebesség kapcsolat exponenciális függvénnyel jellemezhető legjobban [8, 9]. Számos empirikus modell létezik hullámsebességek nyomásfüggésének jellemzésére, azonban ezek rendszerint egy alkalmasan választott formula paramétereinek matematikai regressziós eljárás alapján meghatározását adják, fizikai magyarázattal nem szolgálnak a nyomás-sebesség kapcsolatára [9, 10]. Laboratóriumi mérési adatok megfelelő értelmezéséhez olyan kvantitatív modell megalkotására van szükség, amely fizikai magyarázatot is ad a jelenségre.

2. NYOMÁSFÜGGŐ SEBESSÉG MODELL A FELTERHELÉSI SZAKASZ LEÍRÁSÁRA

Birch [6] kvalitatív elgondolása szerint a terheletlen állapotból indulva a nyomás növekedésének hatására a kőzetmintában először a nagy pórusok záródnak be, majd a nyomás további növelésével a kisebb pórusok lassúbb összenyomódási folyamata játszódik le a kőzetben, míg az összes pórus be nem zárul. Ezért definiáljuk a fajlagos pórustérfogatot (V). Első modelltörvényként kijelentjük, hogy ha a kőzetben $d\sigma$ (infinitesimalis) feszültség növekedést hozunk létre, akkor a V -ben bekövetkező változás (a bezáruló dV pórustérfogat) fordítottan arányos a feszültség növekménnyel és V aktuális értékével.

$$dV = -\lambda_v V d\sigma, \quad (1)$$

ahol:

λ_v – egy, az anyagra jellemző új kőzetfizikai paraméter.

A differenciálegyenletet megoldva

$$V = V_0 e^{-\lambda_v \sigma}, \quad (2)$$

ahol:

V_0 – a nyitott pórusok fajlagos térfogata feszültségmentes állapotban ($\sigma = 0$).

Ezáltal előállt a pórustérfogat-nyomás kapcsolata. Birch [5] elmélete alapján a nyomás növekedésével a pórusok térfogata csökken, így növekvő terjedési sebesség mérhető a kőzetmintán. Ezt a folyamatot három szakaszra oszthatjuk. A terheletlen állapotból indulva nyomás hatására a nagy pórusok bezáródnak, így a terjedési sebesség nemlineárisan és meredeken nőni kezd. A második szakaszban a kisebb pórusok lassúbb összenyomódási folyamata miatt a görbe meredeksége mérséklődik, majd a minta tönkremenetele miatt a mérhető sebesség csökkenni kezd. A mechanizmus alapján az akusztikus hullám terjedési sebességének nyomásfüggését a porózus kőzet pórusainak összenyomódása, végső soron záródása hozza létre. (A tönkremeneteli szakasszal a kőzetfizikai modellben nem foglalkozunk.). Feltételezzük tehát, hogy a longitudinális terjedési sebességben bekövetkező $d\alpha$ elemi megváltozás és a dV fajlagos pórustérfogatban bekövetkező változás között fordított arányosság áll fenn:

$$d\alpha = -\kappa_p dV, \quad (3)$$

ahol:

κ_p – arányossági tényező.

A modellegyenlet levezetéséhez egyesítve a (1)-(3) egyenleteket a

$$d\alpha = \kappa_p \lambda_v V_0 e^{-\lambda_v \sigma} d\sigma \quad (4)$$

kifejezés adódik. Az egyenletet megoldva

$$\alpha = K - \kappa_p V_0 e^{-\lambda_v \sigma}, \quad (5)$$

ahol:

K – ismeretlen integrációs állandó.

Feszültségmentes állapotban a kőzetben terjedő rugalmas hullám sebességét jelölje α_0 . Az (5) egyenlet alapján ekkor meghatározható a K integrációs konstans. A $\Delta\alpha_0 = \kappa_p V_0$ jelölést bevezetve az (5) egyenlet a

$$\alpha = \alpha_0 + \Delta\alpha_0 (1 - e^{-\lambda_v \sigma}) \quad (6)$$

alakot ölti, ahol $\Delta\alpha_0$ új kőzetfizikai paraméter. A fentiekben ismertetett fajlagos pórustérfogat változáson alapuló kőzetfizikai modell (egy tengelyű terhelés esetén) a kőzetek széles körére érvényes a reverzibilis tartományban a felterhelési szakaszon. A modell keretében a terjedési sebesség a terhelésmentes állapottól (α_0) a nagy kőzetnyomással jellemzett állapotig (α_{max}) változhat, ahol az összes pórus zárva van. Felírva a $\alpha_{max} - \alpha_0 = \Delta\alpha_0$ összefüggést, belátható, hogy a $\Delta\alpha_0$ paraméter a Ji et al. [11] által definiált sebességeséssel azonos. Azaz a $\Delta\alpha_0$

paramétert tekinthetjük a kőzetben, terheletlen állapotban lévő pórusterfogat által okozott sebességesedésnek. λ_v pedig a sebességesedés logaritmikus nyomásérzékenysége [12].

Mivel a modell alapja a pórusterfogat változása, mely nem függ a terhelés irányától, így a levezetés további részleteinek mellőzésével a longitudinális sebesség nyomásfüggésére felállított kőzetmodellt a transzverzális hullám (β) esetében is értelmezzük

$$\beta = \beta_0 + \Delta\beta_0 (1 - e^{-\lambda_v \sigma}), \quad (7)$$

ahol:

λ_v – egy közös kőzetfizikai paraméter.

3. NYOMÁSFÜGGŐ SEBESSÉG MODELL A LETERHELÉSI SZAKASZ LEÍRÁSÁRA

Már említettük, hogy a kőzetnyomás csökkenésével a terjedési sebesség csökken, ami modell feltételként azzal magyarázható, hogy a felterhelési szakaszon zárult pórusok újra kinyílnak. Mivel az adott nyomáson a leterhelési szakaszon mért akusztikus terjedési sebesség nagyobb, mint a felterhelési szakaszon ugyanezen nyomásnál kapott sebesség, a modellfeltétel kiegészíthető azzal, hogy a felterheléskor zárult pórusok (ugyanazon nyomáson) leterheléskor nem nyílnak ki maradéktalanul. Ezáltal az előző fejezetben bemutatott kőzetfizikai modellt kiterjesztve a leterhelési szakaszra, a hiszterézis jelensége egzaktul leírhatóvá válik.

A leterhelési szakasz jellemzéséhez vezessük be a zárt fajlagos pórusterfogatot (v), amely előáll a kőzetben nyomásmentes állapotában lévő nyitott pórusok V_0 számának és adott nyomásérték melletti nyitott pórusterfogat V számának a különbségeként: $v = V_0 - V$. A kőzetfizikai modell alapfeltételezése, hogy a zárt pórusterfogatban bekövetkező változás (dv) egyenesen arányos a zárt pórusterfogattal (v) és az alkalmazott $d\sigma$ nyomáscsökkenéssel

$$dv = \lambda'_v v d\sigma, \quad (8)$$

ahol:

λ'_v – egy új, a már bevezetett λ_v paramétertől különböző (de fizikai jelentésében a leterhelési szakaszon megegyező) anyagjellemző kőzetfizikai paraméter.

A fenti differenciál egyenletet megoldva

$$v = v_m e^{-\lambda'_v (\sigma_m - \sigma)}, \quad (9)$$

ahol:

v_m – a zárt pórusterfogat az alkalmazott (a felterhelési szakaszon elért) σ_m maximális nyomáson.

Az elemi sebesség változást a nyitott pórusterfogat változásával összekapcsoló (3) egyenletet a leterhelési szakaszra változatlan formában érvényesnek tekintjük, hiszen a

sebességváltozás szempontjából csak pórusterfogat változása lényeges, függetlenül attól, hogy milyen okból történt a változás. A (8) és (9) egyenletek együttes megoldásával a $dV = -dv$ formula felhasználása mellett

$$\alpha = \alpha_m - \kappa_p v_m \left(1 - e^{-\lambda'_v(\sigma_m - \sigma)}\right) \quad (10)$$

adódik, ahol α_m az alkalmazott σ_m maximális nyomás mellett mérhető sebesség. A modell lényeges kritériuma, hogy a leterhelési szakasz a felterhelés során alkalmazott maximális nyomástól indul. A $\Delta\alpha_m = \kappa_p v_m$ jelölést alkalmazva megkapjuk a leterhelési szakaszra érvényes, a longitudinális hullámsebesség nyomásfüggését leíró modellegyenletet

$$\alpha = \alpha_m - \Delta\alpha_m \left(1 - e^{-\lambda'_v(\sigma_m - \sigma)}\right). \quad (11)$$

A fenti egyenlet elvi összefüggést szolgáltat a terjedési sebesség és a közetnyomás kapcsolatára a leterhelési szakaszon. Látható, hogy a (11) egyenlet maximális nyomásértéknél (σ_m) a mérhető terjedési sebességet (α_m) adja, míg $\sigma = 0$ esetén a $\alpha(0) = \alpha_1$ jelölést alkalmazva

$$\alpha_1 = \alpha_m - \kappa_p v_m \left(1 - e^{-\lambda'_v\sigma_m}\right) \quad (12)$$

adódik. Bevezetve a

$$\Delta\alpha_1 = -\Delta\alpha_m e^{-\lambda'_v\sigma_m} \quad (13)$$

formulát, a (11) egyenlet formálisan a felterhelési szakaszt leíró (6) modellegyenlethez hasonló összefüggésre vezet

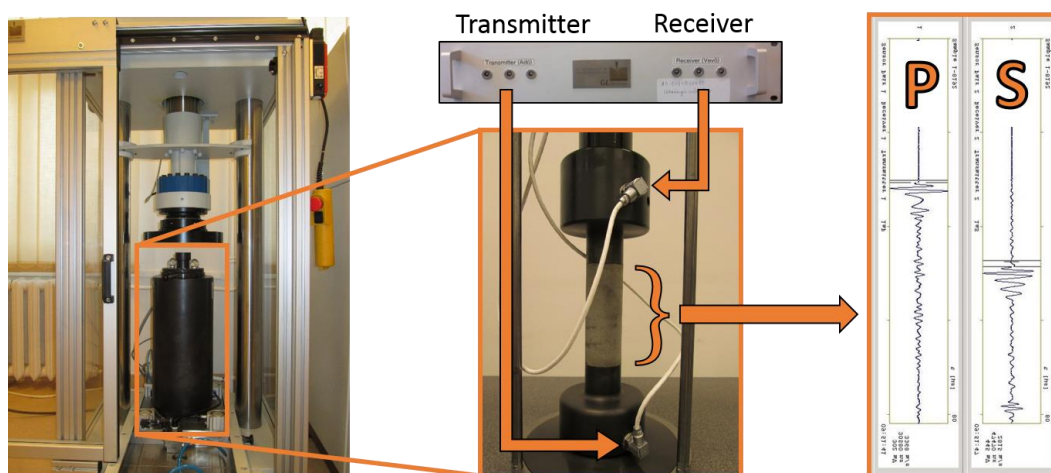
$$\alpha = \alpha_1 + \Delta\alpha_1 \left(1 - e^{-\lambda'_v\sigma}\right). \quad (14)$$

Megállapítható tehát, hogy mind fel-, mind leterhelési szakasz esetében azonos kvalitatív elgondolásból kiindulva hasonló modellegyenletre jutunk [12]. A felterhelési szakaszhoz hasonlóan a (14) egyenlet érvényesnek tekinthető transzverzális hullámsebességre is

$$\beta = \beta_1 + \Delta\beta_1 \left(1 - e^{-\lambda'_v\sigma}\right). \quad (15)$$

4. AZ AKUSZTIKUS HISZTERÉZIS BEMUTATÁSA LABORATÓRIUMBAN MÉRT HULLÁMSEBESSÉG ADATOK ALAPJÁN

Az akusztikus hullámok terjedési sebességének mérése a Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszékének közetfizikai laboratóriumában található számítógép-vezérelt mérőberendezéssel történt. Az akusztikus hullám terjedési sebességét az impulzus átviteli módszerrel mértük [13]. Az akusztikus mérőrendszert az 1. ábra mutatja be.



1. ábra. Akusztikus mérőrendszer

Az akusztikus mérőfejek (adó és vevő) piezoelektromos kristályt tartalmaznak. Az akusztikus mérőegység impulzus generátora 500 ns időtartamú feszültség impulzust ad a piezoelektromos adó kristályra, amely akusztikus hullámot indít a mintában. Az impulzus generátor a mérőrendszer szinkronizálására (triggerelésére) alkalmas jelet is kibocsát, amely a mérőműszer vezérlésére (indítására) szolgál. A vevő kristály a beérkező akusztikus jelet elektromos impulzussá alakítja és szoftverrel detektáljuk a hullámok beérkezési idejét. A mérések során a jel/zaj viszony növelése érdekében 256-szoros összegzést alkalmaztunk, amely 256 egymást követő mérés futó átlagolását jelenti. Ezzel a módszerrel lényegesen csökkenthetőek a megjelenített hullámképben a külső zajok amplitúdói, és ennek következtében az első beérkezések pontosabban meghatározhatóak.

A kőzetminták mechanikai terhelését a Geofizikai Tanszékén lévő triaxiális nyomásfokozó berendezéssel (2. ábra) végeztük, a hozzá kapcsolódó DION7 vezérlő szoftver segítségével.



2. ábra. Triaxiális nyomás alatti akusztikus mérőrendszer részei: (1): egytengelyű nyomásfokozó, (2): mérőcella, (3): palástnyomás-fokozó, (4): akusztikus mérőműszer

A berendezés két fő részből áll: egy terhelőkeret, valamint egy palástnyomás-fokozó egység. Az egytengelyű terhelőkerettel maximum 300 kN terhelést tudunk létrehozni, míg a hidraulikus palástnyomás-fokozóval legfeljebb 80 MPa nyomás állítható elő. A terhelés a nyomólapon át, majd a mérőcellán, végső soron az adó és vevő fejekén keresztül adódik át a kőzetmintára. (A nyomólap szoftveres vezérlésének minimális sebessége 0,1 $\mu\text{m/s}$, ezáltal a kívánt nyomás nagyon pontosan beállítható.) A mérőcellát a palástnyomás-fokozóval olajjal lehet elárasztani, ekkor a mintát minden esetben egy gumihenger zárja el az olajtól.

A bemutatott nyomásfokozó berendezéssel a kőzetmintákon egytengelyű terhelés alatt longitudinális és transzverzális terjedési sebességeket mértünk fel- és leterhelés során. A méréseknél lineáris függvény szerinti kis sebességű (0,1 kN/s) terhelést választottunk. A kőzetminták törési szilárdságai ismertek voltak, melyeket a mérés során nem közelítettünk meg, hogy újabb repedéseket ne hozzunk létre a kőzetmintákban.

A mérések során megállapítottuk, hogy a fel- és leterhelési adatok között szignifikáns eltérés mutatkozik, mely jelenség az akusztikus hiszterézis. Amint az előző fejezetekben is említettük ennek magyarázataként Birch elméletét fogadjuk el. A felterhelési szakaszban bezárult pórusok a terhelés csökkentésével (a leterhelési szakaszban) nem nyílnak meg maradéktalanul, egy bizonyos irreverzibilitás mindig jelen van. Ennek következtében a leterhelési szakasz végén $\sigma=0$ nyomásnál kevesebb a nyitott pórus, mint azonos nyomásnál a felterhelési szakaszban, azaz a terjedési sebesség nagyobb. A kőzetfizikai modellekben ezt az irreverzibilitást a két különböző λ_v és λ'_v paraméter fejezi ki.

5. A KIFEJLESZTETT KÖZETFIZIKAI MODELL ALKALMAZÁSA A GYAKORLATBAN

A fentiekben bevezetett kőzetfizikai modellek megteremtik annak a lehetőségét, hogy a kőzet (P hullám: $\alpha_0, \Delta\alpha_0, \lambda_v, \alpha_1, \Delta\alpha_1, \lambda'_v$, S hullám: $\beta_0, \Delta\beta_0, \lambda_v, \beta_1, \Delta\beta_1, \lambda'_v$) paramétereinek ismeretében a (6)-(7) és (14)-(15) egyenletek segítségével tetszőleges nyomásnál meg tudjuk határozni a terjedési sebesség értékeket külön fel- és leterhelési szakasz esetén. A geofizikai inverzió terminológiájával fogalmazva ezek az egyenletek a direkt feladat megoldását jelentik. A kőzetfizikai modellekben szereplő modellparamétereket laboratóriumi mérési adatok alapján együttes inverziós eljárásokkal határoztuk meg [14]. Mivel az adatrendszer kismértékű zajt tartalmaztak és az inverz probléma jelentősen túlhatározott, a paraméterek meghatározására a legkisebb négyzetek módszerét alkalmaztuk. A cikkben két saját mérési, valamint 2 irodalmi [15] adatsor inverziós feldolgozását mutatjuk be. A minták jellemzőit az 1. táblázat tartalmazza.

Minta	Leírás
A	Finom, közép szemcsés homokkő
B	Finom szemcsés homokkő
F410	Oligocén Fontainebleau homokkő
A11	Oligocén Fontainebleau homokkő

1. táblázat. A vizsgált kőzetminták leírása

Az inverziós adatfeldolgozás eredményét a 2. táblázat mutatja.

Minta	P hullám							
	Felterhelés			Leterhelés			D (%)	S
	α_0 (km/s)	$\Delta\alpha_0$ (km/s)	λ_v (1/MPa)	α_1 (km/s)	$\Delta\alpha_1$ (km/s)	λ'_v (1/MPa)		
A	3,56	1,06	0,0212	3,56	0,94	0,0401	0,39	0,59
B	4,69	0,37	0,0404	4,72	0,29	0,1927	0,12	0,55
F410	3,58	1,46	0,1200	4,36	0,72	0,1500	1,14	0,46
A11	3,26	1,93	0,0840	3,63	1,54	0,1480	5,50	0,45
	S hullám							
	Felterhelés			Leterhelés			D (%)	S
	β_0 (km/s)	$\Delta\beta_0$ (km/s)	λ_v (1/MPa)	β_1 (km/s)	$\Delta\beta_1$ (km/s)	λ'_v (1/MPa)		
A	2,29	0,51	0,0212	2,31	0,46	0,0395	0,26	0,50
B	2,71	0,17	0,0456	2,72	0,16	0,1944	0,10	0,59
F410	2,22	0,99	0,1200	2,73	0,49	0,1300	1,07	0,44
A11	2,17	1,25	0,091	2,48	0,95	0,136	6,6	0,47

2. táblázat. Fel- és leterhelésnél mért hullámsebesség adatok együttes inverziós feldolgozása során meghatározott modellparaméterek, relatív adattérbeli távolságok (D) és átlagkorreláció értékek (S).

Az inverziós eljárás megbízhatóságának jellemzése érdekében relatív adattérbeli távolságot (D) számoltunk az alábbi formula alapján

$$D = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \left(\frac{d_k^{(m)} - d_k^{(sz)}}{d_k^{(sz)}} \right)^2} \cdot 100 [\%], \quad (16)$$

ahol:

$d_k^{(m)}$ – a k-adik nyomásérték mellett a fel- és leterhelési szakaszban mért terjedési sebesség

$d_k^{(sz)}$ – a k-adik nyomásérték mellett a fel- és leterhelési szakaszban számított terjedési sebesség

N – a mérési adatok száma.

Az átlagkorrelációkat is meghatároztuk

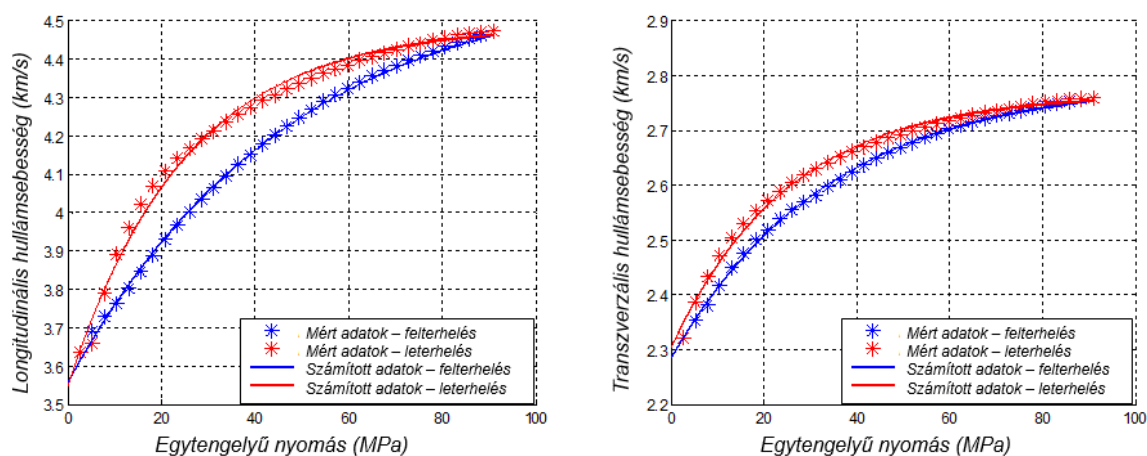
$$S = \sqrt{\frac{1}{M(M-1)} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M (corr(\bar{m}_{ij}) - \delta_{ij})^2}, \quad (17)$$

ahol:

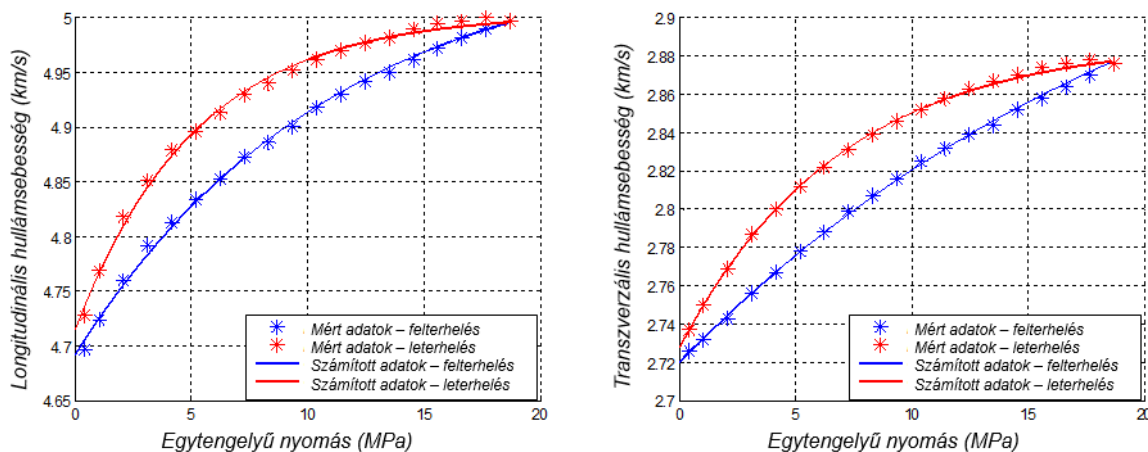
- δ – a Kronecker-delta szimbólum ($i = j$ esetén 1, egyébként 0)
- $corr(m)$ – a korrelációs mátrix
- M – a modellparaméterek száma.

Az egyes mintákra vonatkozó értékeiket szintén a 2. táblázat tartalmazza. Látható, hogy a minták esetében számított illeszkedési hibák 1% körüliek, valamint az átlagkorrelációk 0,6 alattiak voltak, amely szerint a modellparaméterek közepes korrelációs kapcsolatban vannak egymással. Az inverziós paraméterbecslés pontosságát a bemutatott eredmények alátámasztják.

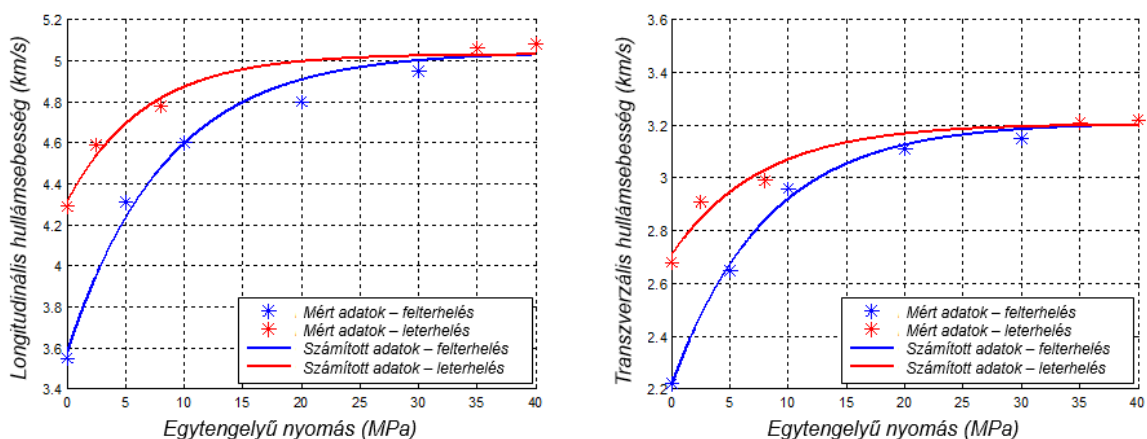
A modellparaméterekkel meghatározhatók a fel- és leterhelés esetén érvényes sebesség-nyomás függvények (folytonos vonal), melyek a mérési adatok mellett (szimbólumok) a 3-6. ábrákon láthatóak.



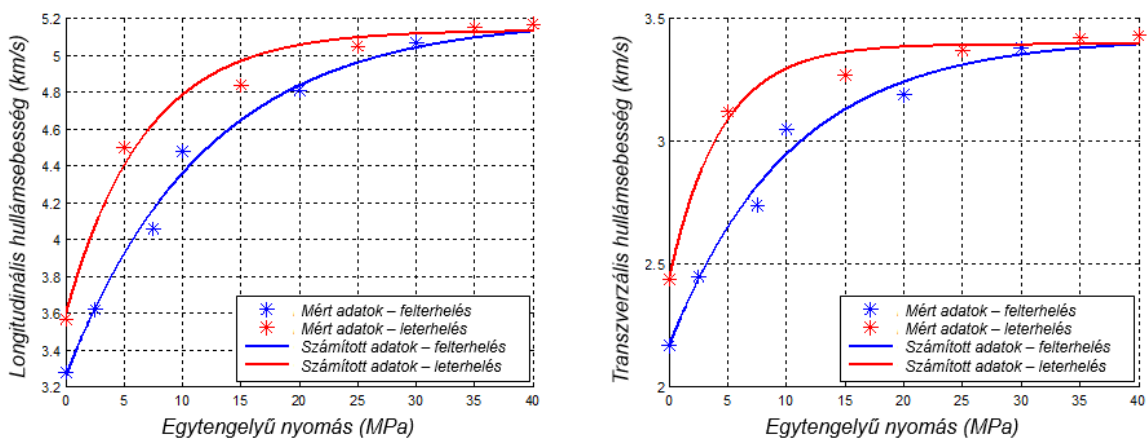
3. ábra. Az A jelű kőzetminta fel- és leterhelésénél mért, valamint inverzióval számított sebesség-nyomás függvénye



4. ábra. A B jelű kőzetminta fel- és leterhelésénél mért, valamint inverzióval számított sebesség-nyomás függvénye



5. ábra. Az F410 jelű kőzetminta fel- és leterhelésénél mért, valamint inverzióval számított sebesség-nyomás függvénye



6. ábra. Az A11 jelű kőzetminta fel- és leterhelésénél mért, valamint inverzióval számított sebesség-nyomás függvénye

Láthatjuk, hogy a számított adatok kiválóan illeszkednek a mért adatokhoz, ami alapján elmondható, hogy a modellegyenletek jól jellemzik a fel- és leterhelési szakaszt, így az akusztikus hiszterézis fizikai magyarázatára bevezetett kőzefizikai modell helyes. Kutatásaink során számos kőzetminta esetében hasonlóan jó egyezést kaptunk.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben olyan kőzefizikai modellt mutattunk be, amely megadja a kőzetnyomás és a longitudinális/transzverzális hullám terjedési sebességének kapcsolatát mind a fel- és leterhelési szakasz esetén, azaz sikeresen írja le és egyben magyarázatot ad az akusztikus hiszterézisre is. A felterhelési szakaszban a terjedési sebességek a nyomás növekedésével nőnek. A növekedés üteme kis nyomásértékeknél nagy, azonban nagy nyomásértékek esetén a növekedés üteme csökken, mivel egyre kevesebb a nyitott pórus. A felterhelési szakaszban bezárult pórusok a terhelés csökkentésével, a leterhelési szakaszban nem nyílnak meg maradéktalanul, egy bizonyos irreverzibilitás mindig jelen van. E fizikai elvből kiindulva állítottuk fel a jelenséget leíró differenciálegyenleteket, melyek megoldásával könnyen

értelmezhető formulákat vezettünk le. Az akusztikus hiszterézist a bevezetett modellegyenletekben a két különböző λ_V paraméter fejezi ki.

A kőzetfizikai modelleket számos kőzetmintán végzett mérések adatain alkalmaztuk. A modellegyenletekben szereplő modellparamétereket együttes inverziós eljárással határoztuk meg. A paraméterek ismeretében a kőzetfizikai modell alapján számított adatokat a mérési adatokkal összevetve jó egyezést találtunk, ami azt bizonyítja, hogy a kőzetfizikai modellegyenletek jól jellemzik a fel/leterhelési szakaszt, azaz az akusztikus hiszterézist. A modell gyakorlatban való alkalmazhatóságát az inverziós eljárás során számított illeszkedési hibák alacsony értékei is alátámasztják.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást a K 109441számú OTKA projekt támogatta.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **RUDENKO, O. V., ROBSMAN, V. A.:** *Nonlinear process in media with an acoustic hysteresis and the problems of dynamic interaction between piles and earth foundation.* Acoustic Physics, 2004, 50/6, 725-731.
- [2] **JONES, L. A., WANG, H. F.:** *Ultrasonic velocities in Cretaceous shales from the Williston basin.* Geophysics, 1981, 46, 288-297.
- [3] **JI, S. C., WANG, Q., XIA, B.:** *Handbook of Seismic Properties of Minerals, Rocks, Ores,* Polytechnic International Press, Montreal, Canada, 2002.
- [4] **WALSH, J. B., BRACE, W. F.:** *A fracture criterion for brittle anisotropic rock.* Journal of Geophysics Research, 1964, 69, 3449-3456.
- [5] **BIRCH, F.:** *The velocity of compression waves in rocks to 10 kilobars, Part 1.* Journal of Geophysics Research, 1960, 65, 1083-1102.
- [6] **HILL, R.:** *Elastic properties of reinforced solids: Some theoretical principles.* Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 1963, 11, 357-372.
- [7] **HASHIN, Z., SHTRIKMAN, S.:** *A variation approach to the theory of the elastic behaviour of multiphase materials.* Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 1963, 11, 127-140.
- [8] **WANG, Q., JI, S. C., SALISBURY, M. H., PAN, M. B., XIA, B., XU, Z. Q.:** *Pressure dependence and anisotropy of P-wave velocities in ultrahigh-pressure metamorphic rocks from the Dabie-Sulu orogenic belt (China): Implications for seismic properties of subducted slabs and origin of mantle reflections.* Tectonophysics, 2005, 398, 67-99.
- [9] **SINGH, R., RAI, C., SONDERGELD, C.:** *Pressure dependence of elastic wave velocities in sandstones.* SEG Annual Meeting, New Orleans, 2006.
- [10] **WEPFER W. W., CHRISTENSEN, N. I.:** *A seismic velocity-confining pressure relation, with applications.* International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 1991, 28, 451-456.
- [11] **JI, S., WANG, Q., MARCOTTE, D., SALISBURY, M. H., XU, Z.:** *P wave velocities, anisotropy and hysteresis in ultrahigh-pressure metamorphic rocks as a function of confining pressure.* Journal of Geophysical Research, 2007, 112, B09204.
- [12] **DOBRÓKA, M., SOMOGYINÉ MOLNÁR, J., KISS, A.:** *Kőzetfeszültségek és hatásuk a hullámterjedés jellemzőire - nyomásfüggő kőzetfizikai modellek.* Milagrossa Kft., Miskolc, 2014.

- [13] **TOKSÖZ, M. N., JOHNSTON, D. H., TIMUR, A.:** *Attenuation of seismic waves in dry and saturated rocks: I. Laboratory measurements.* Geophysics, 1979, 44/4, 681-690.
- [14] **MENKE, W.:** *Geophysical data analysis – Discrete inverse theory.* Academic Press, Inc. London Ltd, 1984.
- [15] **GOMEZ, C. T, DVORKIN, J., VANORIO, T.:** *Laboratory measurements of porosity, permeability, resistivity, and velocity on Fontainebleau sandstones.* Geophysics, 2010, 75, E191-E204.

EGYSZERESEN ÁTLAPOLT, RAGASZTOTT, HÚZOTT KAPCSOLATOK NYÍRÓFESZÜLTSGÉNEK ELEMZÉSE

SHEAR STRESS ANALYSIS IN ADHESIVE BONDED SINGLE LAP JOINTS

SUHAJ Anett¹, VADÁSZNÉ Bognár Gabriella²

¹gépészmérnökhallgató, anettsuhaj@gmail.com

¹Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar

²D.Sc., egyetemi tanár, v.bognar.gabriella@uni-miskolc.hu

²Gép- és Terméktervezési Intézet, Miskolci Egyetem

Kivonat: A dolgozatban a mérnöki gyakorlatban gyakran alkalmazott egyszeresen átlapolt ragasztott kötéseket vizsgálunk. A ragasztott kötések vizsgálatát mérésekkel és véges elemes analízissel végezzük el. A kísérleteink során az átlapolás nagyságát 10 mm-től 30 mm-ig változtattuk. A mintadarabok anyaga EN 10025 szerkezeti acél. A ragasztott kötések TEROSON EP 5055 epoxy ragasztó anyaggal elemeztük. Az előkészített mintákat szakító vizsgálatnak vetettük alá MTS 810.23 univerzális, elektro- hidraulikus anyagvizsgáló rendszerrel.

Kulcsszavak: egyszeres átlapolás, ragasztó, kötések, nyírófeszültség

Abstract: In this paper single lap adhesively bonded joints are investigated as a frequently applied adhesive joint design in engineering practice. Experimental tests and finite element modeling of single lap adhesive bonded joints are performed. During the numerical and experimental investigations the overlap length has been changed in the range from 10 to 30 mm. The experimental specimens have been made of structural steel EN 10025 as adherend material. The bonded joints have been realized using an epoxy adhesive TEROSON EP 5055. Such prepared joints have been stretched up to the break in the jaws of the tensile testing machine MTS 810.23.

Keywords: single lap joint, adhesive, bonds, shear stress

1. BEVEZETÉS

A hegesztés, a forrasztás és a szegecselés stb. mellett ipari kötési eljárásként elfogadottá vált, a ragasztás. A ragasztott kötések azonos, vagy különböző anyagok, fémek és nemfémek kötésére használjuk.

A ragasztott kötések tervezésekor a következő irányvonalakat kell szem előtt tartanunk [1]:

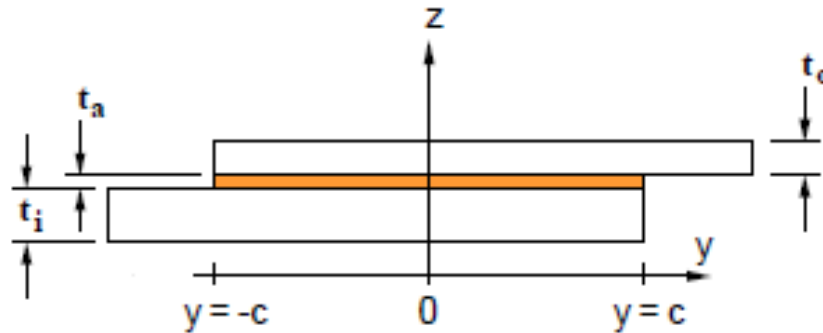
- A ragasztási felületet a lehető legnagyobbra kell növelni.
- A járulékos igénybevételeket meg kell szüntetni.
- Az ütő és lefejtő igénybevételeket a lehető legkisebbre kell csökkenteni.
- A feszültségeloszlást lehetőleg egyenletesre kell beállítani.

A nyíró igénybevételű kötés elején és a végén feszültségcsúcs keletkezik, mely egyben a károsodás kezdeti helye is. A ragasztott kötéseknel törekedni kell a minél nagyobb ragasztási felületre. Irányelv, hogy a kötési hossz a vékonyabbik lemez vastagságának legfeljebb 10-20 szorososa legyen. A dolgozatban a lemezvastagság és az átlapolás nagyságának hatását vizsgáljuk a ragasztott kötésekben ébredő nyírófeszültségre.

2. A LEMEZVASTAGSÁG HATÁSA A RAGASZTOTT KÖTÉSRE

A lemezvastagság hatását kívánjuk elemezni az egyszerűen átlapolt, ragasztott kötésekben.

Azonos anyagú, különböző vastagságú EN 10025 szerkezeti acéllemezeket ragasztottunk össze TEROSON EP 5055 ragasztóanyaggal.



1. ábra. Egyszerűen átlapolt ragasztott kötés geometriája

Az acéllemezek vastagsága (t_o a felső, t_i az alsó lap vastagsága):

- $t_o=t_i=1$ [mm]
- $t_o=t_i=2$ [mm]
- $t_o=t_i=4$ [mm]

Méréseink elvégzéséhez különböző anyagú, 30x150x2 mm nagyságú lemezeket használtunk. Az átlapolás mérete minden esetben 30x20 mm volt. A mérés során 15 db egyszerűen átlapolt ragasztott kötetet vizsgáltunk meg, mindegyik lemezvastagságból 5-5 darabot.

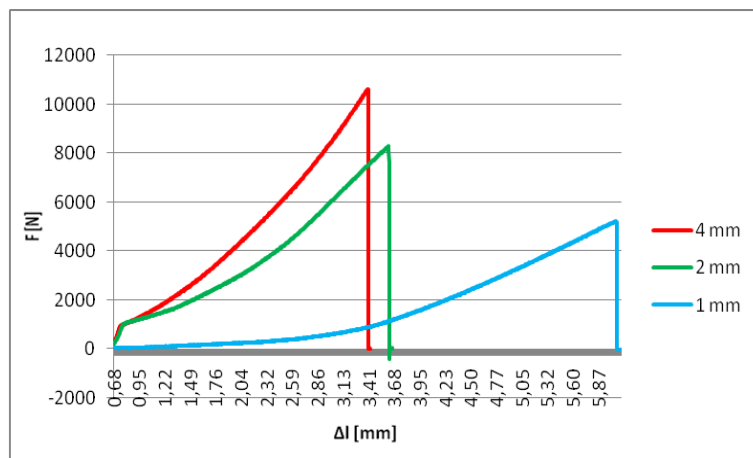
A ragasztott kötések a lemezek vastagságától függően különbözőképpen szakadtak el. Az egyik esetben a két anyag érintkezési felületén ható adhéziós erő, a másik esetben a ragasztóanyag molekulái között ható kohéziós erő bizonyult kisebbnek.

Az alábbi táblázat a mérés során rögzített maximális terheléseket és nyúlásokat mutatja a különböző mintadarabokra.

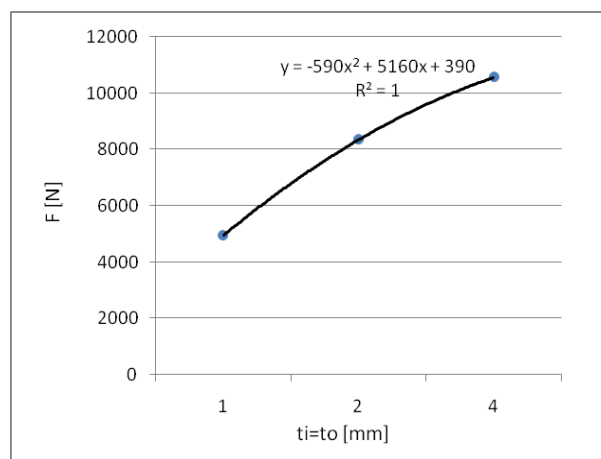
Lemezvastagság [mm]	Terhelés F [kN]					Nyúlás Δl [mm]				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	5,29	4,38	5,21	6,23	4,4	4,05	5,72	6,05	2,65	2,14
2	8,28	7,88	8,17	8,51	8,83	2,96	3,82	2,88	3	3,49
4	11,45	11,32	10,62	8,85	10,15	2,85	1,87	2,74	2,45	3,3

1. táblázat. TEROSON EP 5055 ragasztóanyag mérési adatai EN 10025 szerkezeti acéllemezek között

A mérések során kigyűjtött adatok alapján a következő ábrán a ragasztóanyag terhelés-nyúlás diagramja figyelhető meg különböző vastagságú szerkezeti acéllemezek között:



2. ábra. TEROSON EP 5055 ragasztóanyag terhelés-nyúlás diagramjai szerkezeti acéllemezek között



3. ábra. A lemezvastagság hatása a maximális terhelésre

3. AZ ÁTLAPOLÁS VASTAGSÁGÁNAK HATÁSA A RAGASZTOTT KÖTÉSRE

Ebben a fejezetben az átlapolás méretének hatását vizsgáljuk az egyszeresen átlapolt kötésekre. Különböző méretű kötések vizsgálunk különböző anyagú lemezek között. Az átlapolás mérete 30x10, 30x15, 30x20 és 30x25 mm, a lemezek anyaga horganyozott acél, alumínium, illetve rozsdamentes acél. A ragasztáshoz minden esetben a TEROSON EP 5055 ragasztóanyagot alkalmazunk.

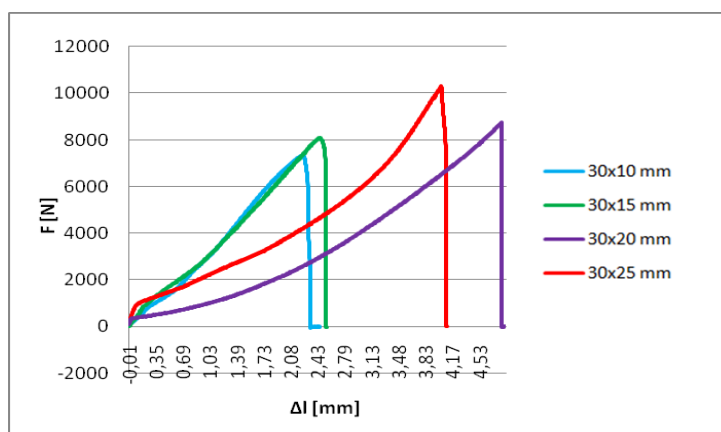
Táblázatokba foglaltuk a mérés során rögzített maximális terheléseket és nyúlásokat a különböző mintadarabokra.

Példaként az alábbi táblázat a TEROSON EP 5055 ragasztóanyag mérési adatait rögzíti, horganyozott acéllemezek között.

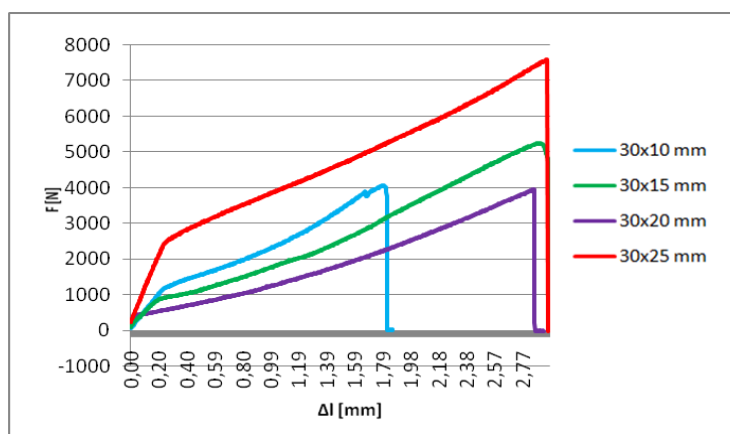
Átlapolás vastagság [mm]	Terhelés F [kN]					Nyúlás Δl [mm]				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
10	7,19	8,6	7,36	6,3	8,72	2,44	2,44	2,24	2,46	2,55
15	7,33	8,08	8,99	8,49	-	1,99	2,46	2,91	3,59	-
20	8,75	8,05	9,08	8,57	9,31	4,82	4,7	4,96	5,09	5,69
25	9,55	9,93	8,53	10,3	12,43	4,02	4,32	3,94	4,04	3,39

2. táblázat. TEROSON EP 5055 ragasztóanyag mérési adatai EN 10143 horganyozott acéllemezek között

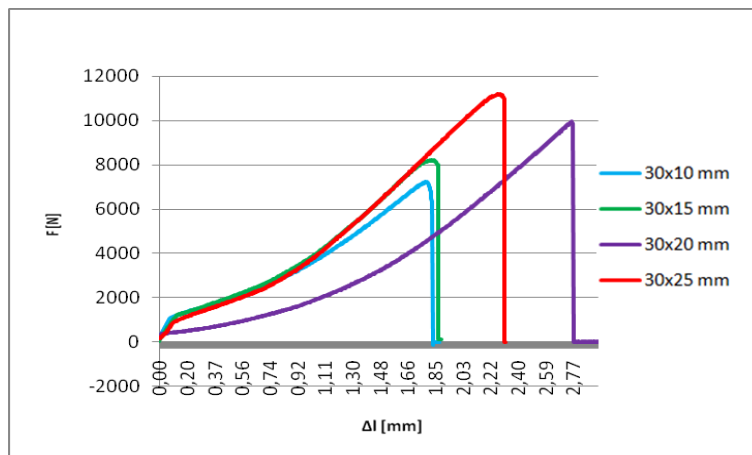
A mérések során kigyűjtött adatok alapján a következő ábrákon a ragasztóanyag terhelés-nyúlás diagramjai figyelhetők meg különböző méretű átlapolásokkal, különböző anyagú fémlemezek között:



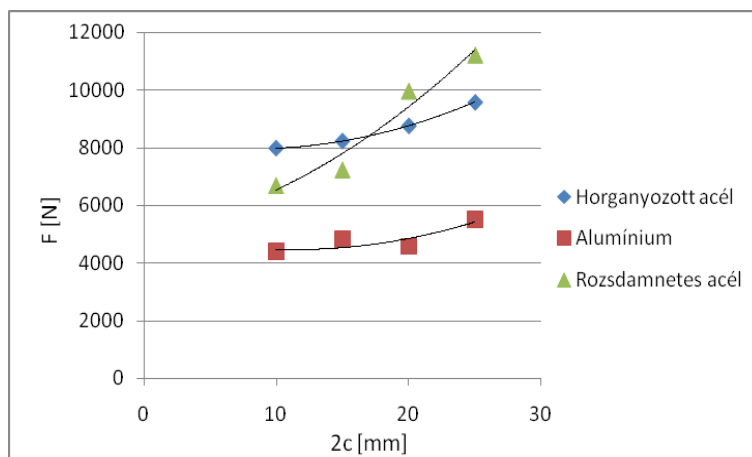
4. ábra. TEROSON EP 5055 ragasztóanyag terhelés-nyúlás diagramjai horganyozott acéllemezek között, különböző méretű átlapolások használatával



5. ábra. TEROSON EP 5055 ragasztóanyag terhelés-nyúlás diagramjai alumínium lemezek között, különböző méretű átlapolások használatával



6. ábra. TEROSON EP 5055 ragasztóanyag terhelés-nyúlás diagramjai rozsdamentes acéllemezek között, különböző méretű átlapolások használatával



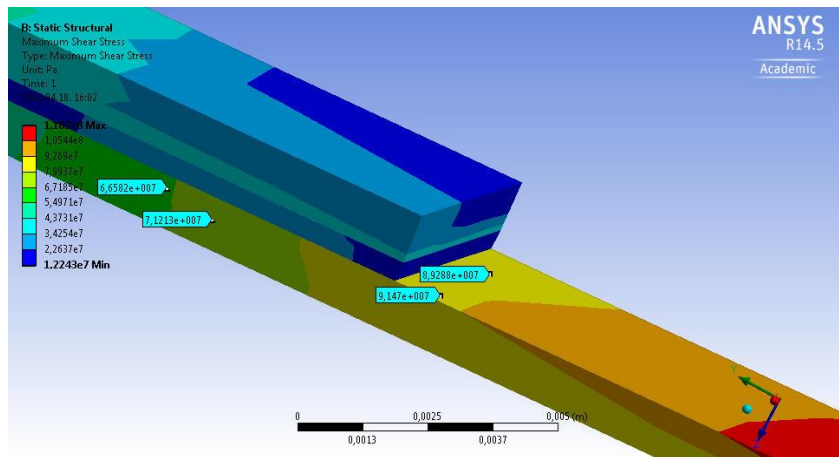
7. ábra. Az átlapolás méretének hatása a maximális terhelésre

4. A RAGASZTOTT KÖTÉSBEN ÉBREDŐ NYÍRÓFESZÜLTSG MEGHATÁROZÁSA VÉGESELEM MÓDSZERREL

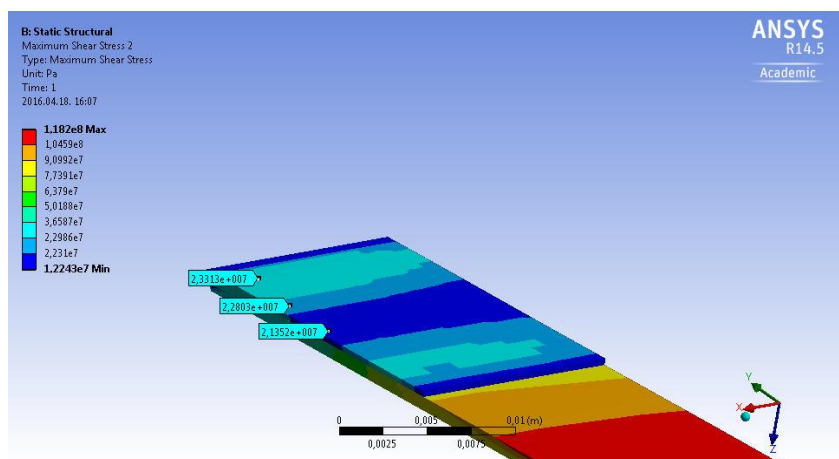
A végeelemes szimuláció során hosszirányú tengely menti szimulációt végzünk, ugyanazokkal a peremfeltételekkel, mint amelyeket a méréseink során alkalmaztunk. EN 10025 szerkezeti acél és TEROSON EP 5055 ragasztóanyag esetén vizsgáljuk az egyszeresen átlapolt ragasztott kötések nyíró igénybevételre.

A ragasztott kötések modellezéséhez ANSYS (R14.5) verziójú programot használtunk. A vizsgálat elvégzésekor megadjuk a méréseink során kapott maximális terhelést, továbbá megadjuk a szükséges geometriai adatokat. A vizsgálat során behálózuk a lemezeket és a ragasztóanyag területét. A ragasztóanyagban a háló sűrűségét célszerű elvégezni a pontosabb eredmények elérésének érdekében. A modell egyik végén lekötjük a szabadságfokokat, a másik végén 5576 N erővel húzzuk.

A 8. és 9. ábra szemlélteti a nyírófeszültség eloszlását a ragasztott lemezben, valamint a ragasztóanyagban.



8. ábra. Nyírófeszültség eloszlása az acéllemezben, az átlapolás mentén



9. ábra. Nyírófeszültség eloszlása a ragasztóanyagban

5. KÖVETKEZTETÉSEK

A 2. ábra alapján megállapíthatjuk, hogy a legkisebb terhelést az 1mm vastagságú lemez, a legnagyobb terhelést pedig a 4 mm vastagságú lemez bírja ki. Azonban a maximális terhelés növekedése nem lineárisan arányos a lemez vastagságával.

Az 3. ábrából látható, hogy a lemezvastagság növelése a maximális erő nagyságának a növekedését eredményezi.

Az 4-6. ábrák alapján megállapíthatjuk, hogy minden esetben a legkisebb terhelést a 30x10 mm méretű átlapolt kötés, a legnagyobb terhelést a 30x25 mm méretű átlapolt kötés bírja ki. Azonban a maximális terhelés növekedése nem lineárisan arányos a ragasztott kötés átlapolásának a méretével.

A 7. ábra a maximális terhelés nagyságának változását mutatja különböző átlapolási méretek esetén, három különböző anyagra vonatkozóan. Az átlapolás méretének növelése a

terhelő erő százalékosan legnagyobb növekedését szerkezeti acélnál kaptuk.

A végeelemes analízis elvégzése során az acéllemezben ébredő nyírófeszültség eloszlása folyamatosan növekvő tendenciát mutat az átlapolás mentén (8. ábra), a ragasztóanyagban pedig a ragasztott kötésekre jellemző tipikus U alakú eloszlás jelentkezik (9. ábra).

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] *Loctite Worldwide Design Handbook*, Henkel Company, 1998.
- [2] **HYONNY KIM, KEITH KEDWARD**: *Stress Analysis of In-Plane, Shear-Loaded Adhesively Bonded Composite Joints and Assemblies*, U.S. Department of Transportation, April 2001.
- [3] **A.M.G. PINTO, A.G.MAGALHAES, R.D.S.G. CAMPILJO, M.F.S.F. DE MOURA, AND A.P.M. BAPTISTA**: *Single-Lap Joints of Similar and Dissimilar Adherends Bonded with an Acrylic Adhesive*
(<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00218460902880313#.VwashfmLRQI>)
(letöltés ideje: 2016.04.05)
- [4] **M. LUCIC, A. STOTOIV, J. KOPAC**: *Investigation of aluminium single lap adhesively bonded joints*, Contemporary Achievements, December 2005.
- [5] **A. .N. TYIHONOV, A. A. SZAMORSZKIJ**: *A Matematikai Fizika Differenciálegyenletei*, Akadémiai kiadó, Budapest 1956.

KLASSZIKUS PROGRAMOZÁSI TECHNOLÓGIÁK WEBES KÖRNYEZETBEN

CLASSICAL PROGRAMING TECHNOLOGIES ON THE WEB

SZABÓ Martin¹, NEHÉZ Károly²

¹doktorandusz, Miskolci Egyetem, Informatikai Intézet, szmartinsz@hotmail.com

²Ph.D., egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Informatikai Intézet, nehez@ait.iit.uni-miskolc.hu

Kivonat: Az utóbbi években a mobil és a webes technológiák fejlődésének következtében egyre nagyobb igény mutatkozik a JavaScript technológiák iránt szerver és kliens oldalon egyaránt. Természetesen más eszközök is rendelkezésre állnak a felhasználói igények kielégítésére, de a webes világban a JavaScript egyszerűsége és portolhatósága a hagyományos webes és mobilos szoftverek fejlesztését is messzemenően kielégítik. A modern webes keretrendszerek közvetlenül nem támogatják a klasszikus C/C++ technológiákat. Ez a probléma azonban áthidalható különböző segédszoftverek segítségével. A legtöbb nyíltan hozzáférhető kutatási projekt eredményeit a bonyolult telepítés, és használat miatt ritkán veszik igénybe. Ezzel szembe megy az Emscripten technológia, amely a C/C++ szoftvereket először LLVM gépi kódra, majd JavaScript kódra alakítja. Használatával a C/C++ programozók sincsenek kizárva a web fejlesztés és a mobil programozás világából. Az előadás az Emscripten technológia elméletével, gyakorlati felhasználásával és a benne rejlő további lehetőségekkel foglalkozik. Az új felhasználók számára a technológia elsajátításának érdekében az írásos anyagban rendelkezésre bocsátjuk a forráskódokat is.

Kulcsszavak: C/C++, JavaScript, LLVM, Emscripten, webes technológiák

Abstract: In recent years, due to mobile and web technology development, there is a growing demand for JavaScript technologies in both server and client side. Of course, other tools are also available for users, but in the web world, JavaScript – thanks to its simplicity and wide range portability – is one of the best ways to develop applications for traditional web and also for mobile environment. The modern web application frameworks generally do not directly support developing modern C/C++ technologies. However, this problem can be solved by various utility software. Including the Emscripten compiler, which translates C/C++ codes into LLVM bit code, and afterwards into JavaScript code. With this technology the C/C++ programmers are not excluded from the world of web and mobile development. Most of the open-source research projects are rarely take into account due to the complexity of installation, and use. This article describes the theory, the practical use and the inherent potential deals of the Emscripten technology. To promote better understanding for the new users of the technology, our source code is available upon request.

Keywords: C/C++, JavaScript, LLVM, Emscripten, Web Technology

1. BEVEZETÉS

A mobil és web technológia fejlődése egyre inkább kizárja a C/C++ programozókat a webes és mobilos szoftverek piacáról. Ennek oka, hogy a felhasználók a mobil eszközökön, tableteken, illetve a böngészőkben futtatható alkalmazásokat részesítik előnyben, mivel ezek a vékony kliens szoftverek szinte bárhol rendelkezésre állnak. Megkötést csak az állandó internet hozzáférés jelenthet.

A JavaScript nyelven írt alkalmazások könnyebben vihetők át (portolhatóak) különböző platformok között, könnyen karbantarthatóak és gyorsabban fejlesztők és ezzel a költségeket is csökkenteni lehet. Különböző optimalizációs eljárások segítségével a szoftverek teljesítmény növelése mellett, az erőforrásigényük csökkenthető. Ezzel szemben a magas szintű, hardver közeli C/C++ programozási nyelv nehezebben portolható különböző platformok között, illetve minden esetben újrafordítást is igényel. Azonban a jelenlegi gyakorlat azt mutatja, hogy az összetett, és hardver erőforrás igényes feladatok (például videójáték-motor fejlesztése) esetén mégis ajánlott ezeket a technológiákat választani.

Az aktuális tanulmányok [1] statisztikái alapján a programozók többsége továbbra is jobban kedveli az említett C/C++ -t, mint a JavaScriptet. Továbbá, több, a mai napig használatban lévő komplex szoftverrendszer is C/C++ nyelven íródott. Ezek az alkalmazások folyamatos karbantartáson, és frissítéseken esnek át, így feladatukat továbbra is jól el tudják látni. Felmerül tehát a kérdés, hogy hogyan lehetne ezeket a jól bevált rendszereket web-en, illetve mobil eszközökön is használni. A hagyományos elgondolás szerint újra kellene írni az alkalmazásokat, viszont ezt a problémát más megközelítéssel oldja meg az Emscripten technológia.

Az Emscripten használatával C/C++ programozási nyelven írt alkalmazások fordíthatóak le JavaScriptre, úgy, hogy a fordítási folyamat közben keletkező köztes kód az LLVM [6] segítségével optimalizálható. Ez által egy kevésbé erőforrás igényes, viszont teljesítményében kiemelkedő JavaScript forrás állhat elő. Az eredeti kóddal ellentétben, az ilyen módon megvalósított alkalmazás már mobil eszközökön és böngészőből is futtatható. Ebből következik, hogy az újrafordított kód automatikusan rendelkezik a JS technológia előnyeivel.

Jelen cikk négy részre osztható fel. Az első rész tartalmazza a technológia megértéséhez, és használatához elengedhetetlen elméleti háttér leírását, beleértve a JavaScript rövid ismertetőjét, előnyeit és hátrányait. Bemutatjuk az Emscripten szerves részét alkotó LLVM fordító keretrendszer felépítését és működését. A cikk második része a technológia elméletét írja le, illetve a használatához szükséges útmutatásokat ad. A harmadik rész egy egyszerű grafikai alkalmazáson keresztül mutatja be az eszköz használatát, és működését. Tartalmazza a keretrendszer megszorításait, és egyéb, a sikeres (vagy megfelelő) végeredmény eléréséhez szükséges teendőket. A cikk utolsó része az Emscripten használata során szerzett tapasztalataink leírását, az általunk készített konzolos grafikai alkalmazást, illetve egy JavaScriptre alakított, böngészőben futtatható szoftver által szolgáltatott benchmark értékeket tartalmazza.

2. EMÉLETI HÁTTÉR

Az Emscripten technológia használatához elengedhetlenül szükséges a C/C++ nyelv ismerete mivel a keretrendszer bemenetén megjelenő programkód értelmezése nélkül a fordító használata problémás lehet (főként nagyszámú, és méretű forrás fájlok esetén). Erről a 4. fejezetben bővebben írunk. Bár az Emscripten által előállított JavaScript kód nem igényel további fejlesztői munkát, ezért feltétlenül szükségesnek érezzük, hogy cikkünkben röviden bemutassuk a scriptnyelvet és ismertessük előnyeit, illetve hátrányait.

A JavaScript [2] egy objektumorientált, prototípus alapú scriptnyelv, melyet főként weboldalakon használnak: vagy a html fájl szerves részeként, vagy külön egy js kiterjesztésű állományban. Az 1990-es években kezdett el elterjedni, és azóta is szerves részét képezi a legtöbb weboldalnak HTML-el, illetve CSS-el párosítva. Más programozási nyelvek is futtathatóak a weben, például a Java és a Flash, viszont ezekben az esetekben a kiegészítők nincsenek integrálva a böngésző alkalmazásokba, manuálisan kell telepíteni őket, illetve nem platform függetlenek, például iOS eszközökön általában nem futtathatóak. Ezek miatt jelenleg a JavaScript lett a legelterjedtebb a webes alkalmazásban. Legnagyobb előnyét az jelenti, hogy az ezen a nyelven készített alkalmazások desktop és mobil böngészőkben egyaránt futtathatóak. További előnyei közé tartozik, hogy kliens oldalon fut, viszonylag könnyű a fejlesztése, gyors, és nem igényel újrafordítást. Hátrányai közé sorolható, hogy a biztonságra sokkal nagyobb hangsúlyt kell fektetni. Bár szabványosították, de a különböző motorok (layout engine) továbbra is eltérő módon értelmezhetik, ami működésbeli inkonzisztenciához vezet. Bár a C/C++ alapú alkalmazásokhoz mérten lényegesen kisebb teljesítményt szolgáltat, de az Emscripten technológia által alkalmazott LLVM keretrendszer optimáló eljárásainak köszönhetően az elvesztett teljesítmény nagy része visszanyerhető.

Az Emscripten a C/C++ nyelven írt szoftverek JavaScriptre való átalakítása előtt lefordítja LLVM gépi kódra. Ennek az eljárásnak köszönhetően a bemeneten lévő kód optimalizálható és

végeredményként egy kvázi optimális kód áll elő, amely már a böngészőből is futtatható. Az Emscripten működéséhez tehát elengedhetetlen az LLVM technológia alkalmazása, így a teljesebb körű bemutatása végett jelen cikkünk ennek az elméleti hátterét is tartalmazza.

Természetesen léteznek más, egy adott programozási nyelv weben való futtatását célzó alkalmazások is. A fontosabbak közé tartozik például a Google Web Toolkit [3], ami a Java nyelven írt szoftvereket fordítja JavaScript nyelvre, továbbá ezt a célt szolgálják még a Pyjamas (Python - JavaScript), SCM2JS [4] (Scheme - JavaScript), és AFAX [5] (F# - JavaScript) keretrendszerek is.

2.1 Low Level Virtual Machine (LLVM)

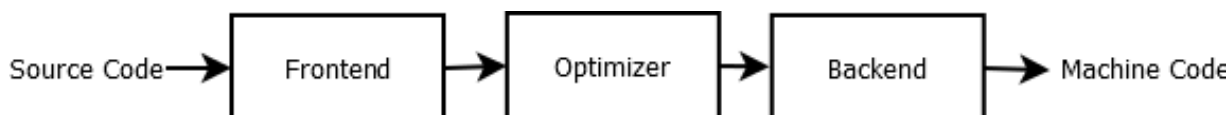
Az Emscripten keretrendszer a kimeneten megjelenő JavaScript programkód optimalizálásához LLVM-et használ [6]. Az LLVM fordító-keretrendszer arra lett tervezve, hogy tetszőleges programozási nyelveket fordítási, linkelési, futási, és holt időben optimalizáljon. Egy robosztus, nyílt forráskódú alkalmazás, amely a jól ismert GCC-vel a fordítási sebesség, és a generált kód teljesítményét illetően versenyképes, ennek következtében széles körben használható, akadémiai és ipari szinten is. [7]

Az LLVM kód reprezentációja absztrakt RISC-szerű csökkentett utasításkészlettel írja le a programot, de magasabb szintű információkat is szolgáltat a hatékonyabb elemzés (analízis) érdekében. Beleértve a típus adatokat, explicit vezérlési-folyam gráfokat, és explicit adatfolyam reprezentációkat. Támogatja a nyelv-független utasítás készletet és a típus rendszereket. Az utasításokat SSA (Static Single Assignment) formában tárolja, ami segít leegyszerűsíteni a változók közötti függőségek elemzését. [8]

Az LLVM kódreprezentációja a következő újszerű tulajdonságokkal rendelkezik [7]:

- Alacsonyszintű, nyelv-független típus rendszer, a magas szintű nyelvek adat típusainak és műveleteinek transzformálására az optimalizáció minden szakaszában. A típus rendszere részét képezik a szofisztikált (de nyelv-független) technikák által használt típus információk, mint például pointer analízis algoritmusai, függőség elemzés és adat transzformációk. Más megfogalmazásban: egyszerű, nyelv független típus-rendszer, amely megszünteti az általában, a magas szintű programozási nyelvek implementációjánál használt primitíveket.
- Utasítás készlet a típus konverziók, és alacsonyszintű cím aritmetikák elvégzéséhez, úgy, hogy közben megőrzi a típus információkat.
- Két alacsonyszintű kivétel-kezelő utasítás (setjmp/longjmp) a nyelv-specifikus kivételek implementálására.

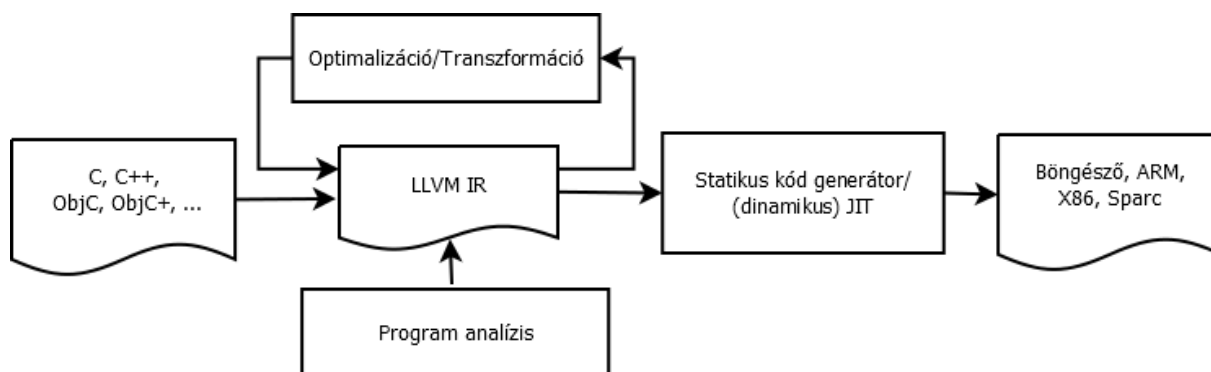
Az LLVM reprezentáció nyelv-függetlenségének oka, hogy alacsonyszintű utasítás készletet és memória modellt használ, amelyek alig nyújtanak többet, mint a szabványos assembly nyelvek, és a típus rendszere támogatja, hogy típus információval lássuk el a kódot. Továbbá nem rendelkezik különleges futási idejű követelményekkel. [7]



1. ábra. Az LLVM működésének egyszerűsített modellje

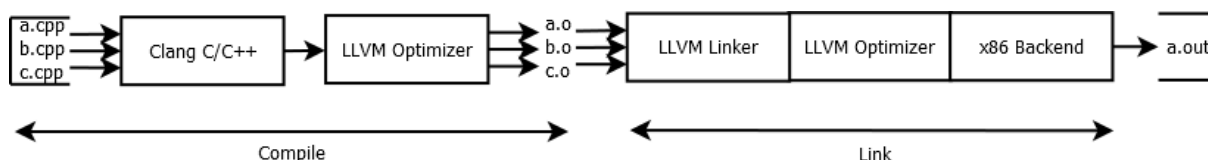
A fordító keretrendszer egyszerűsített működése a következő módon írható le. A bemeneten (front-end) megjelenő tetszőleges programozási nyelv az LLVM gépi kódra való fordítást, és

optimalizálást követően a kimenetre (back-end) beállított architektúra gépi kódjára fordul le (1. ábra).



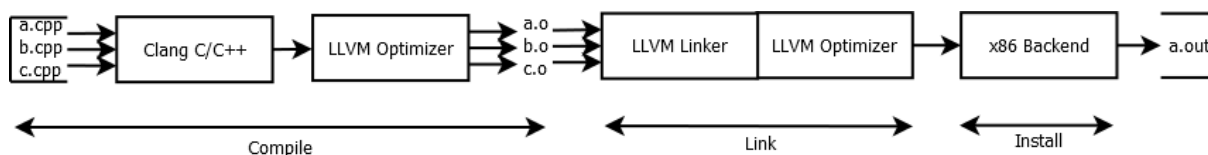
2. ábra Az LLVM működésének részletesebb modellje

Az LLVM alapú fordító lehetővé teszi a magas szintű programozási nyelven létrehozott forrásokat LLVM IR nyelvre fordítását (2. ábra). Az IR (Intermediate Representation), egy az assembly-hez hasonló alacsony szintű program nyelv, amely lehetővé teszi az optimalizálást, a programkód fordítását, és statikus elemzést. Az eredményként kapott kód különböző rendszereken futtatható, beleértve például az X86/64, ARM architektúrákat. A technológia lehetővé teszi a statikus fordítást (ahogy az a GCC esetében megszokott), de támogatja a dinamikus JIT (Just-in-Time) fordítást is. A projekt leginkább a C/C++ front-endek számára jött létre, de több más programozási nyelv lefordítására is képes, például Haskell, Scheme, Scala, Objective C stb. [6]



3. ábra LLVM LTO

A legtöbb modern fordító környezet támogatja a linkelési időben történő optimalizálást (LTO). Az LTO hátránya, hogy csak egy fordítandó egységet lát egyidejűleg (például egy .c állományt a headerjeivel együtt), és ezért nem képes egy nagyobb kontextus optimalizálására. Az LLVM fordítók, mint a Clang a `-flto` és `-o4` parancsokkal támogatják ezt a fajta optimalizációt. Ezek a beállítások jelzik a fordítónak, hogy az LLVM bitkódból .o fájt állítson elő a natív objektum fájl helyett, és linkelési időben történjen a kód generálás, ahogy azt a 3. ábra is mutatja. A linker érzékeli, hogy a .o állományok nem natív objektum fájlok, hanem LLVM bitkódot tartalmaznak, ezért beolvas minden bitkód fájlt a memóriába, összelinkeli őket, és a teljes kódon hajtja végre az LLVM optimalizációs folyamatait. Mivel az optimalizáló egység már a teljes struktúrát átlátja, ezért hatékonyabban el tudja végezni a feladatát [9].

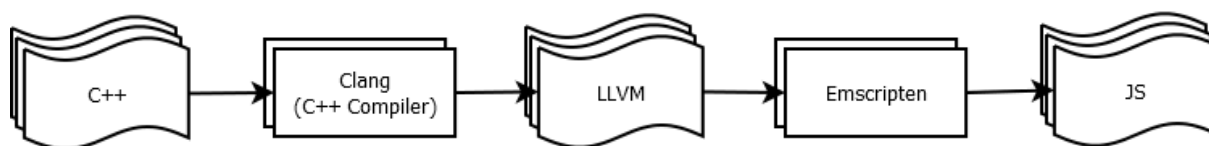


4. ábra LLVM ITO

A telepítési időben történő optimalizálás a cél architektúra speciális tulajdonságait is figyelembe tudja venni a végső kód létrehozásakor (pl. MMX, SSE). A módszer előnye, hogy az optimalizáló egység minden esetben ismerni fogja azon eszköz specifikációit, amelyre az alkalmazást telepítik, így kiaknázhatóak az architekturális előnyök [9].

3. EMSCRIPTEN KONCEPCIÓ

A C/C++ nyelven írt alkalmazások általában „könnyebbé teszik a számítógép életét”, így az magasabb teljesítményt érhet el. Ezzel szemben a JavaScript nyelv teljesítmény veszteséssel mellett viszont a programozók életét teszi könnyebbé. Amennyiben egy adott szoftver esetén a nagyon magas teljesítmény elérése elengedhetetlen (például videójáték-motorok, elosztott rendszerek, stb.) a C/C++ nyelv alkalmazása elkerülhetetlen. Azonban vannak olyan szoftverek, amelyeknek megírása a jól képzett, és jól együttműködő fejlesztő csapatok számára is rengeteg időbe kerül. Természetesen nem várható el, hogy ugyanazt az alkalmazást több különböző platformra is szolgáltatassák a technológia rohamos fejlődésének következtében kialakult rövid határidők miatt. Ezt a problémát hivatott megoldani az Emscripten technológia, amellyel a C/C++ forráskód minimális módosításával (Emscripten specifikus metódusok stb. hozzáadása, lásd 4. fejezet) állítja elő ugyanazon termék webes és mobil változatát. A keretrendszer az LLVM fordító segítségével a fent említett teljesítmény csökkentést is kiküszöböli különböző optimalizáló eljárások segítségével. A végeredményként kapott szoftver működése teljesen megegyezik az eredeti alkalmazásával, viszont a webes környezet miatt a rendelkezésre állása, az optimalizáció miatt a teljesítménye nagyobb az eredeti alkalmazásénál.



5. ábra Emscripten fordítási koncepció

Az Emscripten keretrendszer JavaScript nyelven íródott és MIT licenz (nyílt forráskódú) alatt letölthető a következő linkről: <http://www.emscripten.org>. A fordító úgy lett megtervezve, hogy az eredeti magas szintű programozási nyelvről LLVM bitkódra való fordítás során keletkező strukturális változásokat kijavítva állítja elő a JavaScript kódot (5. ábra). A következőkben részletezzük, hogy az Emscripten hogyan oldja meg az LLVM - JavaScript fordítást, illetve bemutatjuk a reloader algoritmust, amely segítségével a technológia képes magas szintű loop struktúrát létrehozni alacsony szintű branching data-ból.

Az Emscripten használatához kétféle módszer áll a felhasználók rendelkezésére: az első lehetőség, hogy előfordítással (statikus), a másik, hogy futás idejű fordítással (dinamikus) fordítunk le egy olyan programozási nyelvet LLVM-re, amelyhez már létezik front-end. Ezt követően fordítjuk a kapott kódot Javascriptre az Emscripten segítségével. Ez a megoldás akkor hasznos, ha a nyelv futási ideje olyan programnyelven lett megírva, amelyhez az LLVM-nek létezik front-end-je, de magának a nyelvnek nem. Például jelenleg a Python nem rendelkezik front-end-del, de lehetséges lefordítani a CPython (a Python szabványos, C nyelvű implementációja) JavaScriptre, és így futtatni a Python kódot. Jelenleg az LLVM-nek több front-endje is rendelkezésre áll. Például a mi esetünkben is használt C/C++ programozási nyelven, illetve más új, feltörekvő nyelveken írt alkalmazásokon is alkalmazható a technológia. [11]

3.1 Optimalizálási eljárás

Több (leginkább a nagy, de esetenként a kisebb méretű) alkalmazás kódja, a szoftver fejlődésének előrehaladtával túlságosan összetetté válhat, így szinte elkerülhetetlenek a hibák, a végtermék teljesítménye pedig messze elmaradhat az elvárttól. A legáltalánosabb probléma, hogy a készülő szoftver kódjának optimalizálására nem fektetnek elég hangsúlyt, illetve a különböző függőségeit (dinamikus könyvtárak) nem tisztázzák, mivel azon a platformon, amire tervezték ezek nem jelentettek megkötéseket. Amennyiben az alkalmazást más hardvereken szeretnék futtatni, már nem feltétlenül tudják biztosítani a megfelelő teljesítményt, vagy a portolásuk problémákba ütközik.

Az Emscripten használata önmagában nem biztosít optimalizációt a megfelelő kapcsolók használata nélkül. A keretrendszer alapértelmezett beállítások mellett optimalizáció nélkül állítja elő a JavaScript kódot (például a szükségesnél több változó deklarációt tartalmaz). Például minden változót egy tömbben tárol, és a végrehajtás folyamatát switch-in-loop-ként valósítja meg, normál JavaScript loopok és if-ek helyett. A magas teljesítmény eléréséhez a technológia a C/C++ kódot, a JavaScriptre való fordítás előtt, az LLVM fordító keretrendszer segítségével optimalizálja, majd az így kapott js kódot Closure Compilerrel optimalizálja tovább. Ezek az eljárások törlik a nem használt változókat, kiszűrik a soha le nem futó kódokat, illetve megszüntetik a metódus hívásokat az által, hogy a függvények kódját illesztik be a meghívás helyére. A felsoroltakon kívül az Emscripten rendelkezik még két fontos optimalizáló módszerrel:

- **Variable nativization:** a veremben lévő változókat natív JavaScript változókká konvertálja. Az Emscripten az optimalizáláskor a lehető legtöbb változóra megpróbálja megvalósítani ez a folyamatot. Ez alól kivételt képeznek azok a változók, amelyek az adott függvényen kívül voltak használva, például máshol voltak tárolva, vagy át lettek adva egy másik metódusnak.
- **Relooping:** újra alkotja a magas szintű loop és if struktúrákat az alacsony szintű LLVM assembly kódból.

3.2 Relooper algoritmus működése

A Relooper az Emscripten legösszetettebb modulja. Feladata, hogy a címkével ellátott kódrészletek halmazokból (LLVM kód) magas szintű JavaScript folyamat struktúrákat (loop, if), Emscripten kód blokkokat alkosson [11]. A JavaScript motorok a kód gyors futtatására lettek tervezve, ezért ennek megfelelően kell előállítani a kód szerkezetét is. A Relooper algoritmus lépéseinek bemutatásához szükséges az Emscripten három különböző blokkjának definiálása. Ezek a következők [11]:

1. **Simple:** egyetlen belső (*internal*) címkét tartalmaz, illetve egy hivatkozást a következő blokkra (*Next*), amelybe a belső címke ágazik.
2. **Loop:** a loopot reprezentáló, két belső al-blokkból (*Inner* blokk, amely a loop-on belül, illetve *Next* blokk, amely a loop-on kívül helyezkedik el) álló blokk.
3. **Multiple:** egybe csatlakozó elágazásokat reprezentáló blokk, amely szintén két al-blokkból épül fel, a *Handled*, illetve a *Next* blokkból.

A Relooper algoritmus által végrehajtott lépések a következők [11]:

1. Megkapja a belépési pontot, és a címkék halmazát. A cél, hogy az összes címkéből előállítson egy blokkot.
2. Kiszámolja, hogy a végrehajtás egy lehetséges útvonalát követve egy adott címkéből kiindulva mely címkék érhetőek el.

3. Ha egy belépési pont van, amelybe nem tud visszatérni, akkor készít egy *Simple* blokkot, ahol a belépési pont a belső címke lesz, és a *Next* blokk fogja tartalmazni az összes többi címkét. A *Next* blokk belépési pontjai azok a pontok lesznek, amelyekbe a belső címke el tud ágazni.

4. Ha vissza tud térni az összes belépési pontba, készít egy *Loop* blokkot, amelynek az *Inner* blokkja az összes olyan címkét tartalmazza, amelyek el tudják érni a belépési pontok egyikét, a *Next* blokkja pedig az összes többi címkét.

5. Ha több, mint egy belépési pont van, akkor készít egy *Multiple* blokkot. Minden belépési ponthoz megkeresi az összes olyan címkét, amelyek nem érhetőek el más pontokból.

6. Ha nem képes *Multiple* blokk elkészítésére, akkor egy *Loop* blokk jön létre a fent leírtak alapján.

4. EMSCRIPTEN ALKALMAZÁSA

A technológia használatának első lépése az alkalmazás telepítése, amelyhez a szükséges telepítő a következő linken érhető el: <http://www.emscripten.org>. Ugyanezen a hivatkozáson számos segítő példa áll rendelkezésre. Az ezekhez tartozó forráskódok a telepítés után az Emscripten almappáiban megtalálhatóak. A keretrendszer Windows, Linux, és iOS rendszereken is elérhető, és minden esetben parancssoros környezetben működik. A hivatalos weboldalon részletes leírás található a technológia használatáról, azonban az általunk írt C/C++ grafikus alkalmazás példáján keresztül jelen cikk összetettebb példát mutat be. A leírás nem teljes körű, csak az általunk használt funkciókat tartalmazza. A bemutató alkalmazás a következő linken érhető el: <http://goo.gl/YmV2EA>

4.1 Kódolási folyamat

A grafikus elemeket nem tartalmazó forráskódok általában nem igényelnek beavatkozást a használat előtt. Azonban a legtöbb grafikus alkalmazás kódját fel kell készíteni az eltérő környezetekre (például ha a kód tartalmaz valamilyen végtelen ciklust (gameloop)). Ez az alkalmazás fejlesztőjének a feladata. A kód-transzformációs eljárás így is alkalmazható, azonban a JavaScript kód nem fog megfelelően futni a böngészőkben. Egy grafikus program esetén térbeli testek mozgatásának illúziója az objektum végtelen while ciklusban való kirajzoltatásának és törlésének eredménye. A Javascript egyetlen számban fut, ezért ilyen megoldásokat nem alkalmazhatunk a kód módosítása nélkül. A probléma megoldására létrehozták az *emscripten_set_main_loop(function, int fps, int simulate_infinite_loop)* metódust. A *function* paraméter a C/C++ kódban a while ciklus törzsét alkotó kódsorokból exportált függvényt jelöli; az *fps* az egy másodperc alatt megjelenített képkockák számának felső korlátját (0: korlátlan); az utolsó paraméter a végtelen ciklus szimulálását jelöli (0: egyszer fut le, 1: végtelen ciklus). Az általunk készített alkalmazásban a következő módon használtuk a metódust.

```
#ifdef EMSCRIPTEN
#include <emscripten.h>
#endif

void loop() {

/* Térbeli testek kirajzolása, mozgatása, forgatása */
/* Particle kirajzolás */

}

int main( void ) {

/* GLFW ablakkezelő inicializálása */
/* Mátrixok, textúrák (particle) létrehozása */
/* Particle létrehozása, térbeli alakzatok létrehozása (koordináták, színek) */
```

```

#ifdef __EMSCRIPTEN__
    emscripten_set_main_loop(loop, 0, 1);
#else
do{
    loop();
}
while( glfwGetKey(window, GLFW_KEY_ESCAPE) != GLFW_PRESS &&
        glfwWindowShouldClose(window) == 0 );
#endif
}

```

A kódrészletből jól látszik, hogy a metódusok használatához szükséges az Emscripten.h könyvtár beillesztése. Az általunk is alkalmazott #ifdef által elérhető, hogy a forráskód lefordítható, és futtatható legyen C/C++, és Emscripten programként is anélkül, hogy bármilyen változtatást kellene a kódon végrehajtani. Tehát, ha C/C++ alkalmazásként szeretnénk használni, akkor az Emscripten specifikus részek nem fognak lefordulni, ellenben, ha JavaScriptté szeretnénk alakítani a forráskódot, ezek a részek is lefordulnak.

A technológia weboldalán az SDL ablakkezelő könyvtárat ajánlják a fejlesztők. Ezzel szemben mi a GLFW-t használtuk, és tapasztalataink szerint az ablakkezelés ezen lehetősége is teljes mértékben kompatibilis az Emscripten-nel. Viszont az ehhez szükséges header fájlokat nem tartalmazza a keretrendszer. Ennek a problémának a megoldása, hogy be kell másolni a megfelelő fájlokat az Emscripten include mappájába. Viszont az SDL eszközök használata esetén semmilyen teendője nincs a fejlesztőnek.

A térbeli alakzatok mozgatásához és forgatásához mátrix transzformációs műveletek elvégzésére van szükség. Az ehhez szükséges metódusokat a GLM könyvtárak tartalmazzák. Ezek a header fájlok sem képezik részét az Emscripten keretrendszernek, viszont az előzőekben leírtakkal megegyező módon telepíthetőek.

Az alkalmazás OpenGL 3.3 környezetben készült. Az objektumok kirajzolásához eredetileg a GLSL 3.3 (OpenGL Shading Language) nyelvet vettük igénybe, ami egy a C programozási nyelv szintaxisára épülő magas szintű nyelv. A legtöbb, az interneten található példaprogram is ezt verzióját alkalmazza. A keretrendszer használata során viszont rájöttünk, hogy az Emscripten kizárólag a WebGL kompatibilis GLSL ES 1.0, illetve 2.0 shader nyelvet támogatja, melyre az általunk használt GLSL 3.3 kódot nem képes automatikusan átkonvertálni. A problémát manuális kódmódosítással tudtuk megoldani. A következő táblázat a két említett shader nyelv implementálásnak különbségeit mutatja az általunk használt fragment és vertex shader példáján keresztül.

vertex shader	
GLSL 3.3	GLSL ES 1.0
<pre> #version 330 core layout(location = 0) in vec3 vertexPosition_modelspace; layout(location = 1) in vec3 vertexColor; out vec3 fragmentColor; uniform mat4 MVP; void main(){ gl_Position = MVP * vec4(vertexPosition_modelspace,1); fragmentColor = vertexColor; } </pre>	<pre> attribute vec3 vertexPosition_modelspace; attribute vec3 vertexColor; varying vec3 fragmentColor; uniform mat4 MVP; void main(){ gl_Position = MVP * vec4(vertexPosition_modelspace,1); fragmentColor = vertexColor; } </pre>

1. táblázat. Vertex shader különbségeinek bemutatása

fragment shader	
GLSL 3.3	GLSL ES 1.0
<pre>#version 330 core in vec3 fragmentColor; out vec3 color; void main() { color = fragmentColor; }</pre>	<pre>precision mediump float; varying vec3 fragmentColor; /*varying vec3 color;*/ void main() { gl_FragColor = vec4(fragmentColor, 1.0); }</pre>

2. táblázat. Fragment shader különbségeinek bemutatása

verzió különbségek összesítő táblázata			
GLSL 3.3		GLSL ES 1.0	
vertex shader	fragment shader	vertex shader	fragment shader
#version xxx core	#version xxx core	-	precision mediump float
layout(location = x)	in	attribute	varying
out	out	varying	varying
	out változó neve		gl_FragColor
	texture		texture2D

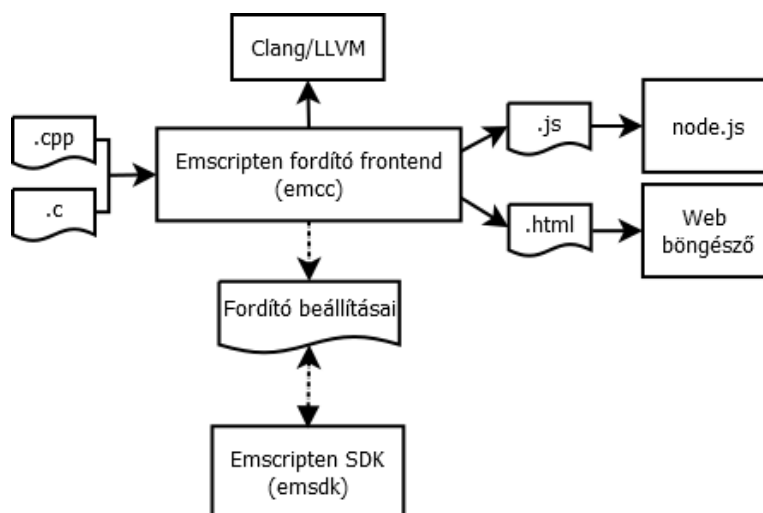
3. táblázat. Különbség összesítő táblázat

A bemutató alkalmazás lefordítása során nem találtunk további megoldandó problémákat. Azonban egy komplex videó-játék motor lefordításával is próbálkoztunk, ahol egy újabb probléma merült fel. A szoftver tartalmaz néhány régi, OpenGL 1.x specifikus metódust, amelyeket az Emscripten nem volt képes megfelelően lefordítani. Ennek a problémának a megoldására használható a `-s LEGACY_GL_EMULATION=1` kapcsoló, azonban tapasztalataink alapján bár vannak olyan függvények, amelyek így már használhatóak lesznek, továbbra is maradnak olyanok, amelyek nem. A mi esetünkben a következő OpenGL metódusokat nem tudta lefordítani az Emscripten:

- glListBase
- gluBuild2DMipmaps
- glDeleteList
- glDrawPixels
- glLightf
- glVertex2D
- glGenLists
- glEndList
- glCallLists
- glNewList

4.2 Fordítási folyamat

A fordító keretrendszer csak parancssoros környezetben használható. Nagyobb méretű projektek esetén a forrásfájlok, és a különböző betöltendő fájlok (modellek, shaderek, textúrák) nagy száma miatt célszerű makefile-t készíteni az alkalmazáshoz. Ezzel elkerülhető, hogy esetleges változások (különböző technológiák használata; forrásfájlok nevének, mennyiségének megváltozása; textúrák, shaderek, modellek számának, nevének megváltozása, stb.) esetén a – akár nagyon hosszúvá váló – parancsokat újból be kelljen gépelni a parancssorba.



6. ábra. Emscripten működésének részletesebb modellje

A fordító bemenetét az alkalmazást felépítő C/C++ fájlok alkotják, a kimenet a megadott kiterjesztés függvényében lehet. bc (vagy .o), .js, és .html. Az első az LLVM bájtkódra, a második a JavaScript kódra, a harmadik a html sablonnal kiegészített js kódra való fordítást jelöli. A html sablon használatával a nyomkövetés és a futásidejű paraméterek beállítása egyszerűbbé válik. Az ilyen módon kapott kód azonnal futtatható desktop és mobil böngészőben is egyaránt (7. ábra). Az LLVM bájtkód önmagában nem futtatható, viszont később tovább fordítható és linkelhető JavaScript, illetve HTML kódra.

Az alkalmazás lefordításához szükséges parancs öt részre osztható. Az első rész C forráskód esetén az emcc, C++ forráskód esetén az em++ parancs. Ezt követi a szoftvert felépítő forrásfájlok listája, majd az alkalmazott technológiák használatához szükséges kapcsolók. Amennyiben más fájlok is szükségesek az alkalmazás futtatáshoz (modellek, textúrák, shaderek, stb.) ezeket is jelölni kell, hogy az Emscripten előre betölthesse őket. Ebben az esetben a .html és a .js állományokon kívül még egy .data kiterjesztésű fájl is fog keletkezni, amely ezen adatokat fogja tartalmazni. A parancs utolsó része a kimenetet fogja jelölni. Az általunk használt technológiákhoz szükséges kapcsolókat és a fájlok betöltését a következő táblázat mutatja be.

-s USE_SDL=2	SDL2 ablakkezelő engedélyezése
-s USE_SDL_IMAGE=2	SDL_image engedélyezése
-s USE_Glfw=3	GLFW3 ablakkezelő engedélyezése
-s FULL_ES2=1	GLSL ES2 engedélyezése
-s LEGACY_GL_EMULATION=1	OpenGL 1.x metódusok kezelése
-s DEMANGLE_SUPPORT=1	Osztály és függvény nevek átalakítása
-std=c++11	c++11 specifikus lehetőségek (pl. lambda) kezelése
--preload-file dir/fájl_neve	fájlok betöltése (ha nincs megadva a fájl neve, a megadott mappa egész tartalma betöltődik)

4. táblázat. Különböző technológiákhoz szükséges kapcsolók [10]

Az optimalizáláshoz különböző kapcsolók állnak a felhasználó rendelkezésére. Minden kapcsoló más és más módon végzi el a szükséges műveleteket az 5. táblázat magyarázata szerint. Az általunk készített alkalmazás esetében az összes rendelkezésre álló kapcsoló által szolgáltatott eredményt kielemeztük. A tapasztalatainkat a következő fejezet tartalmazza.

-O0	Nincs optimalizálás.
-O1	Egyszerű optimalizálás. Gyors, viszont kevésbé növeli az alkalmazás teljesítményét. Megszünteti a futás idejű kivétel-kezelő feltételeket (asserts).
-O2	Megegyezik a -O1 kapcsolóval, kiegészítve JavaScript szintű optimalizációval. Az alkalmazás végeleges verziójának elkészítésénél hasznos. A fordítás lassú, viszont ez a módszer szolgáltatja a legkisebb és leggyorsabb JavaScript kódot.
-O3	Megegyezik a -O2 kapcsolóval, viszont további JavaScript szintű optimalizációt végez.
-Os	Megegyezik a -O2 kapcsolóval, viszont „extra” optimalizációt végez, amely tovább csökkenti a kód méretét és növeli a sebességét. Csak a bitkód optimalálásánál használható.
-Oz	Megegyezik a -Os kapcsolóval, viszont még tovább csökkenti a kód méretét. Szintén csak a bitkód optimalálására használható.
-s DISABLE_EXCEPTION_CATCHING=0	Kivétel kezelés engedélyezése
-s AGGRESSIVE_VARIABLE_ELIMINATION=1	Felesleges változók törlése
-s ALLOW_MEMORY_GROWTH=1	Korlátlan memória használat

5. táblázat. Optimalizálási kapcsolók [10]

Mint fentebb is írtuk a fordítási folyamat és a tesztelés megkönnyítése érdekében célszerű – főként nagyszámú állományok esetén – makefile-t készíteni a projekthez, és azzal használni az Emscripten technológiát. Így elegendő a makefile tartalmának módosítása a parancsok újbóli beírása helyett. A fájl elkészítéséhez a MinGW technológia mingw32-make.exe állományát használtuk parancssoros környezetben keresztül. Természetesen az így kapott makefile nem kompatibilis az Emscripten rendszerrel, ezért néhány változtatásra van szükség. Cikkünk bemutatja az átlakaított, Emscripten kompatibilis makefile tartalmát.

Emscripten makefile
<pre>CC=emcc SOURCES:=\$(wildcard *.cpp) LDLDFLAGS=-O2 --llvm-opts 2 OUTPUT=glcore.html F=--preload-file all: \$(SOURCES) \$(OUTPUT) \$(OUTPUT): \$(SOURCES) \$(CC) \$(SOURCES) --bind -s USE_GLFW=3 -s FULL_ES3=1 -std=c++11 \$(F) ColorFragmentShader.fragmentshader \$(F) TransformVertexShader.vertexshader \$(F) TextVertexShader.fragmentshader \$(F) TextVertexShader.vertexshader \$(F) Particle.vertexshader \$(F) Particle.fragmentshader \$(F) particle.DDS \$(F) font.DDS \$(LDLDFLAGS) -o \$(OUTPUT) clean: rm \$(OUTPUT) rm \$(OUTPUT).map</pre>

5. MÉRÉSEK ÉS TAPASZTALATOK

A keretrendszer használata során gyűjtött tapasztalataink alapján kijelenthető, hogy vannak olyan esetek, amikor a technológia használata egyszerű, és a C/C++ forráskód nem igényel külön az Emscripten használatára felkészítő kódátalakítást. Azonban léteznek olyan, főleg grafikus alkalmazások, amelyek esetében előfordulhat, hogy több helyen is meg kell változtatni az eredeti C/C++ szoftver forráskódot. Szerencsére ezek nem túl nagy változtatások, általában csak a

végtelen ciklusokkal (gameloop) összefüggő problémákat kell megoldani a 4. fejezetben leírtak alapján.

Az általunk tapasztalt problémák közé tartozik, hogy bár a grafikai szoftverek fejlesztéséhez szükséges alapvető fájlokat beépítve tartalmazza a fordító, a szolgáltatás nem teljes körű, néhány általunk használt metódus nem képezi részét a csomagnak. Ezek többnyire olyan függvények, amelyeket a régebbi verziójú OpenGL 1.1 technológiában találhatók meg. A probléma egyéni megoldása nem egyszerű feladat, az Emscripten keretrendszeren belüli programozói munkát igényel. Kutatásaink során a Regal grafikai könyvtár csomagot [14] találtuk a legmegfelelőbbnek a probléma megoldására. Ezen felül szükségesek lehetnek további olyan eszközök, amelyek használata sok esetben kikerülhetetlen, viszont a keretrendszer nem tartalmazza őket. Ide tartozik például a GLM mátrix műveleteket megvalósító könyvtár-csomag, vagy a GLFW3 ablakkezelő technológia (SDL/SDL2 helyett). Viszont, mint fentebb írtuk, ezek esetében megoldásként be kell másolni a szükséges header fájlokat az Emscripten include könyvtárába.

Problémát nem, de kisebb kényelmetlenséget okozhat, hogy az alkalmazás által használt fájlokat (modellek, stb.) előre be kell töltenie a keretrendszernek, és erről a magának a fejlesztőnek kell gondoskodnia. Erre viszont a technológia weboldalán számos megfelelő megoldás található (fájlokat tartalmazó mappa megadása, fájlok becsomagolása, stb.).

Az általunk készített 3D grafikus alkalmazást minden lehetséges optimalizálási paraméterrel fordítottuk és futtattuk. A méréseknél figyelembe vettük a processzor kihasználtságot, a memória használatot, a képalkotás sebességét (fps), a végeredményként kapott kód méretét, és a fordítási sebességet. A vizsgálatot kiterjesztettük az eredeti natív alkalmazásra is. A méréseket 1500 új részecske/képkocka esetében végeztük. Az eredményeket a következő táblázat tartalmazza.

optimalizálási szint	CPU használat [%]	memória használat [MB]	sebesség [FPS]	JavaScript kód mérete [KB]	fordítási idő [sec]
eredeti C/C++	~ 23.7	~ 84.9	~ 53	429	0.33
O0 (nincs)	~ 12.1	~ 35	~ 115	2686	5.07
O1 (js)	~ 9.4	~ 31	~ 142	2169	4.81
O2 (js)	~ 8.2	~ 26	~ 162	581	6.62
O3 (js)	~ 7.7	~ 19	~ 162	553	6.79
Os (llvm)	~ 8.1	~ 27	~ 162	546	6.80
Oz (llvm)	~ 8.0	~ 28	~ 160	549	6.83

6. táblázat. Mérési eredmények

6. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A bemutatott kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Az Emscripten technológia segítségével magas szintű programozási nyelveken (például C/C++, Python, stb.) írt alkalmazások kódjai transzformálhatóak át JavaScript kóddá, így elérhető téve az eredeti kódok weben, illetve ez által mobil eszközökön való futtatását. A fordítási folyamat közben a forráskód több különböző mértékben optimalizálható. Ez a funkció az LLVM (Low Level Virtual Machine) technológia segítségével valósul meg. A keretrendszer parancssoros és a szükséges technológiák használatához (SDL, GLFW, OpenGL 1.x metódusok,

stb.), fájlok betöltéséhez (modellek, textúrák, betűkészlet, stb.) és az optimalizálás mértékének megadásához különböző kapcsolók állnak rendelkezésre.

Az általunk készített C/C++ grafikus alkalmazás a keretrendszer használatának elsajátítása, és különböző mérések elvégzésének céljából valósult meg. A JavaScript kód WebGL környezetben, a böngészőben futtatható. Az ehhez szükséges HTML állományt is az Emscripten hozta létre. A grafikai megjelenítéshez az OpenGL 3.3, GLSL, GLFW3, és GLM eszközöket használtuk. A méréseink kiterjednek a processzor és a memória használatra, az FPS (Frame per Second) számra, a kapott kód méretére, illetve a fordítási sebességre. A vizsgálatokat az összes elérhető optimáló eljárással elvégeztük. A mintaalkalmazás forráskódja a következő linken érhető el: <http://goo.gl/YmV2EA>

Cikkünk tartalmazza a technológia elsajátításához szükséges elméleti alapokat, beleértve a JavaScript rövid, az LLVM és az Emscripten működésének részletesebb leírását. A minta alkalmazáson keresztül bemutatjuk a keretrendszer használatát a gyakorlatban, illetve a munkánk során szerzett tapasztalatainkat.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **TIOBE Index for February 2016**, URL: http://www.tiobe.com/tiobe_index?page=index
- [2] **D. Flanagan**. *JavaScript: The Definitive Guide*. O'Reilly Media, 2006.
- [3] **C. Prabhakar**. *Google Web Toolkit: GWT Java Ajax Programming*. Packt Publishing, 2007.
- [4] **F. Loitsch and M. Serrano**. **Hop Client-Side Compilation**. In *Trends in Functional Programming*, SetonHall University, Intellect Bristol, 2008.
- [5] **T. Petek and D. Syme**. *AFAX: Rich client/server web applications in F#*. Draft. Retrieved April 2011.
- [6] <http://www.llvm.org>
- [7] **C. Lattner and V. Adve**. *LLVM: A Compilation Framework for Lifelong Program Analysis & Transformation*, 2004.
- [8] **R. Cytron, J. Ferrante, B. K. Rosen, M. N. Wegman, and F. K. Zadeck**. *Efficiently computing static single assignment form and the control dependence graph*. October 1991.
- [9] **Chris Lattner**. *LLVM*, 2004.
- [10] <http://www.emscripten.org>
- [11] **Alon Zakai**. *Emscripten: An LLVM-toJava-script Compiler*, 2013
- [12] **Joel Galenson, Cindy Rubio-González, Sarah Chasins, Liang Gong**. *Research.js: Evaluating Research Tool Usability on the Web*, University of California, Berkeley, 2014
- [13] **Malek Musleh, Vijay S. Pai**. *Architectural Characterization of Client-side JavaScript Workloads & Analysis of Software Optimizations*, Purdue University, 2015
- [14] <https://github.com/p3/regal>

REPÜLŐFEDÉLZETI TERRORTÁMADÁSOK ÉS AZ UTASBIZTONSÁG ON-BOARD AIRCRAFT BOMBING AND THE SECURITY SCREENING

SZABÓ Vivien

honvéd tisztjelölt

Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar,
Katonai Repülő Intézet, Fedélzeti Rendszerek Tanszék
H-5008 Szolnok, Pf. 1., Email: vivienszabo92@gmail.com

Kivonat: A terrrorszervezetek kedvelt célpontjai az olyan közlekedési eszközök, ahol nagy számban lehetnek áldozatok. A vasútállomások, a buszpályaudvarok, a repülőterek, a repülőgépek kiemelt célpontok. A mai napig a leggyorsabb és a legmegbiztoságosabb utazási forma a repülés, így a feladatainkból adódóan mi katonák is használjuk a polgári közlekedési létesítményeket, akár a személyi állomány, akár hadfelszerelések szállításakor. Az elmúlt években számos robbantásos merénylet hajtott végre repülőgépek ellen. Az elkövetők a már ismert technikai eszközök kijátszásával, újabb és újabb módszereket, szerkezeteket, taktikákat fejlesztenek, illetve viteleznek ki, így az utasbiztonsági rendszereknek fejlődniük kell a technikailag és személyzetileg egyaránt.

Kulcsszavak: utasbiztonság, humán faktor, terrortámadás

Abstract: The favorite targets of the terror organization are all those public transport facilities where it can be a huge number of victims. Priority targets are railways stations, bus stations, airports, and aircrafts. Till nowadays the fastest and the safest travel style is the flying, and because of our missions we soldiers also use the civilian traffic buildings, even if it is about transportation of human resources or military equipment. In the past years there were a lot of bombing terror attacks. The bombers developed new methods, tactics and devices that is why the airport security system is needed to be developed from technical and human side.

Keywords: passenger security screening, human factor, terror attacks

1. BEVEZETÉS

A terrrorszervezetek támadásait gyakorta a „puha” célpontnak számító közlekedési eszközök (autóbuszok, vonatok, repülőgépek) ellen vitelezik ki. A vasútállomások, a buszpályaudvarok, a repülőterek, a repülőgépek kiemelt célpontok. Ennek ellenére a mai napig a leggyorsabb és a legbiztoságosabb utazási forma a repülés.

Az elmúlt években számos robbantásos merényletet hajtott végre repülőgépek ellen. Az elkövetők a már ismert biztonságtechnikai eszközök kijátszásával, újabb és újabb módszereket, szerkezeteket, taktikákat fejlesztenek ki. A házi készítésű, kereskedelmi forgalomban kapható háztartási vegyszerekből összekevert a kézi poggyászban az utastérbe juttatott robbanóeszköztől, a csomagtérben elhelyezett veszélyes anyagokig széles a választék.

Minden egyes merénylet bizonyítja, hogy a légi katasztrófák és a tömegszerencsétlenségek elkerülése érdekében az utasbiztonsági ellenőrzésnek lépést kell tartania (minél inkább meg kell, hogy előzze) az egyre nehezebben felderíthető terror módszerekkel és eszközökkel. A megelőzést és ellenőrzést fizikai és humán biztonsági alrendszerekre oszthatjuk fel. A repülőtéri vizsgálatok alkalmával olyan technikákat és módszereket használnak, amelyek az utasok, személyzet és repülőgép védelme érdekében felkutatja a veszélyes anyagokat.

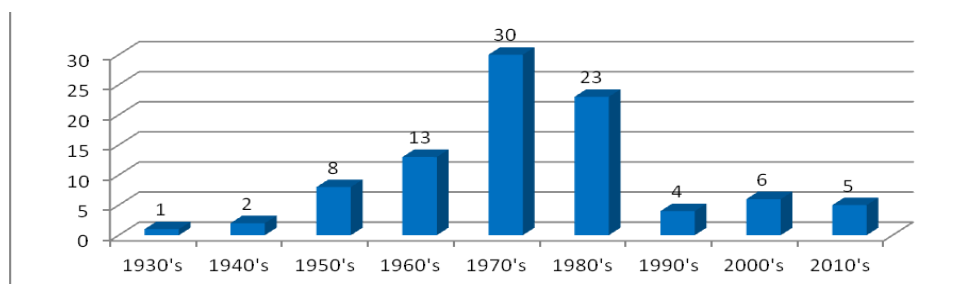
Az IED¹-ket, alapvetően két féle módon lehet feljuttatni az utasbiztonsági ellenőrzésen keresztül a repülőgépre: (1) feladott poggyászként, vagy (2) a terrorista személyesen a kézi poggyászában viszi fel a fedélzetre. A feladott poggyászokat check-in-ben elveszik az

¹ Improvised Explosive Devices – improvizált robbanóeszközök

utasoktól és a Hold Baggage Systemen keresztül vizsgálják meg. A kézipoggyászokat általában kézzel, röntgensugaras berendezéssel és robbanóanyag-felderítő eszközzel, fémérzékelő detektorokkal, folyadékvizsgáló gépekkel ellenőrzik [1, 6, 8].

2. REPÜLŐGÉP ROBBANTÁSOK ANALÍZISEI

Az analízisek során először bemutatom a robbantásos cselekmények évenkénti eloszlását. Az 1. ábrán jól látható, hogy a 30-as, 40-es, 50-es években a robbantásos terrorcselekmények világszinten elhanyagolható létszámban fordultak elő. De figyelemmel kell kísérni, hogy egyetlen egy sikeres robbantásos merénylet is életeket olthat, amelyek soha nem pótolhatóak újra.



1. ábra. Robbantásos cselekmények gyakorisága²

Egy ember halála is súlyos veszteség. A 60-as, 70-es és 80-as években hatványozottan megnőtt a robbantásos merényletek száma. A megvizsgált több mint 80 év alatt az összes repülőgép fedélzetén elkövetett robbantásos cselekmény több mint 71%-a ezalatt a 30 év alatt zajlott le. Megvizsgáltam 92 nyilvános robbantásos cselekményt, amelyek előfordultak 1933-tól napjainkig. Legalább az 56 halálos kimenetelű esetből, 2854 ember vesztette életét és legalább 124 ember megsérült. A szakemberek már a kezdetekben jelezték, hogy szükség lenne repülőtéri biztonsági rendszerre. De ezzel csak a 70-es években kezdtek el foglalkozni komolyabban, amikor rendkívül megnőtt a robbantásos merényletek száma. Jelentős csökkenések a repülőgép fedélzetén elkövetett robbantásos merényletekben csak a 90-es években kezdődtek el. A 2001. szeptember 11-i merényletek voltak az egyik legnagyobb hatással a repülőter biztonsági rendszereire. Ezen cselekmények miatt változott az utasbiztonsági ellenőrzés, amelyet szeretnék a következőkben bemutatni [2, 3].

3. A REPÜLŐTÉRI BIZTONSÁGI RENDSZER FEJLŐDÉSE

3.1. A repülésbiztonság kezdetekben

Évtizedeken keresztül a repülés igen egyszerű volt: csak megjelentünk a repülőtéren, egyenesen a kapukhoz sétáltunk, felmutattuk a jegyünket és felszálltunk a gépre. A repülőgépnél valaki elvette a táskánkat, és a csomagterbe helyezte. Nem voltak röntgengépek, csak rendőrök voltak a repülőtéren, hogy biztosítsák az utasok alapvető biztonságát. Legtöbb esetben csak megakadályozták, hogy potyautasok szálljanak fel a gépre, illetve ne történjen rablás.

A 60-as években az első jelei a szervezett légitörvényellenesség elleni terrorizmusnak a repülőgép eltérítés módszere volt. Habár az első repülőgép eltérítés 1929-ben történt, a 60-as és a 70-es években is 8–8 eltérítésre került sor. Az első nagyobb terror esemény 1976-ban történt a

² a szerző saját munkája (Ms Excel)

Cubana 455-ös járaton, ahol kényszerítették a pilótát vészhelyzeti leszállásra és egy bomba robbant a fedélzeten, megölve 48 utast és a 25 fős személyzetet [2].

3.2. A fém detektor első megjelenése

Az új fenyegetések függvényében a repülőtéri üzemeltetők hatékony módszert találtak ki, hogy visszatartsák a fegyverek, bombák és más veszélyes eszközök feljutását a fedélzetre. A megoldás egy váratlan forrásból származott. 1970-ben egy finn Outokumou nevű bányászati cég kifejlesztett egy hordozható fémdetektort. Ezeket az eszközöket először Meteor márkanéven adták el, és akik a repülőtérre mentek, ezek mellett haladtak át. A finnek eladták a technikát, de a márkanév még mindig él Rapiscan néven, ugyanez a cég áll a valamennyi teljes testskenner mögött is [2].

3.3. Röntgengépek bevezetése

Kezdetekben – 90-es években – csak a jelentősebb repülőtereken vezették be ezeket az eszközöket, mert nagyon drága volt. Az utasok abban az időben megkérdőjelezték az röntgentechnológia biztonságát, mint napjainkban a teljes test szkennereket. Az első röntgengépek nem tartalmaztak szállítószalagot, a személyzet betette a táskát a gép belsejébe és aktiválta a röntgent 3 másodpercig. Semmi sem volt nagyobb befolyással a légiközlekedés biztonságára, mint a 2001. szeptember 11-én történt események. A végzetes naphoz viszonyítva két hónap telt el, mire az Amerikai Egyesült Államokban megalapították a közlekedés biztonsági szervezetet (Transport Security Administration – TSA). Elsődleges feladata volt, hogy átvegye az Egyesült Államok repülőtéri biztonsági ellenőrzési feladatokat. Az intézkedés előtt nem állami szervezetek feladata volt, hogy ügyeljenek a biztonsági rendszerekre. A terrortámadások után megerősítették a légi járműveket, többek között a pilótafülkék ajtaját, csak belülről lehet kinyitni és lövésbiztossá tették azt [2].

3.4. Cipőket le, folyadékot csak mértékkel – újabb szabályozások

A TSA viszonylag hatékony volt az elrettentés szempontjából. Az American Airlines járatán az Atlanti-óceán felett Richard Reid brit állampolgár, megpróbálta beindítani a cipőjébe szerelt robbanószerkezetet. Szerencsére izzadt a lába és a keletkezett nedvesség alkalmatlanná tette a 300 uncia (8500 g) robbanóanyagot az inicializálásra. Valószínűleg ez a mennyiség mindenkit megölt volna a fedélzeten. Azóta vezették be a cipők levételét a repülőtereket.

2006 augusztusában a repülőtéri biztonsági tisztek letartóztattak 24 embert, akik azt tervezték, hogy folyadék alapú robbanóanyaggal felrobbantanak egy amerikai repülőgépet. A TATP alapú robbanószerkezetet ebben az időben lehetetlen volt kimutatni az akkori technológiával, így azonnal gyors megoldásként betiltották a folyadékok felvitelét a kézipoggyászból.

2009 karácsonykor a Northwest Airlines 253-as járatán egy 23 éves Umar Farouk Abdulmutallab nigériai utas vegyszereket fecskendezett be egy tasakba, amit odaszíjazott a lábához. A 80 grammnyi házi készítésű robbanóanyagot (TATP, PETN és más összetevők elegye) nem sikerült beindítania. Richard Reid is ugyanezeket a robbanóanyagokat használta a cipőjében.

Az egyik legjelentősebb terrorcselekmény 2010. október 29-én történt, amikor két lézernyomtatóba épített pokolgépet szállítottak Yemenből Egyesült Államokba. A gyors titkosszolgálati akció miatt a nyomtatókat lefoglalták mielőtt az abba beépített

robbanószerkezetek beindultak volna. A bombák olyan jól voltak elrejtve a nyomtató belsejében, hogy a rendőrségnek órákba telt megtalálni [2].

3.5. Testszkennerek bevezetése

A 2006-os robbantásos cselekmények tükrében nyilvánvalóvá vált, hogy az eszközök a fémeken és a tárgyakon kívül nem képesek mást detektálni a röntgensugarakkal. Ennek függvényében bevezették az új technológiát, a testszkennereket. Az első eszközt az amszterdami Schiphol repülőtérre telepítették, majd az Amerikai Egyesült Államokban folytatták a terjesztésüket. A 2009-es bombarobbantásos kísérlet után az Egyesült Államok felgyorsította a testszkennerek bevezetését, 81 belföldi és 18 nemzetközi repülőtéren helyezték el az új eszközöket. A bevezetéskor több panasz érkezett a személyiségi jogokra hivatkozva, ezért módosították a szoftvert az eszközökön, így azok kevesebbet mutatnak a testből, de a potenciális veszélyt kiszűrjük [2].

3.6. Biztonsági rendszer újabb intézkedései

2008-ban szabályozták a laptopokra, netbookokra, tabletekre vonatkozó szabályokat. Mind addig maradhatnak a kézi poggyászokban, míg nem akadályozzák az átvilágítást. Egészen pontosan 11 hüvelykig maradhatnak ezek az eszközök a táskákban, e fölött pedig ki kell venni a kézi poggyászokból és a tálcákra kell helyezni azokat, úgy hogy ne takarják egymást az elektronikai eszközök. 2008-ban bevezetésre került egy „utasbiztonsági ellenőrzést megkerülő eljárás”. Ennek során az utas adatait egy speciális beléptető kártyára rögzítették – amihez meg kell adni az utasnak az ujjlenyomatát is – így lehetett a beléptetési procedúrát kikerülni. A bevezetés kezdeti szakaszában költséghatékonysági okokból felülvizsgálták ezt és 2009-ben beszüntették.

Ugyanebben az évben az Egyesült Államokban újabb megoldást találtak arra, hogy az utasok, hogyan juthatnak gyorsabban keresztül a vámon és bevándorlási ellenőrzéseken. Forgalmasabb repülőtereken, mint Orlando, Newark, Denver különböző biztonsági sávokat jelöltek meg, ahol az utasok kiválaszthatják, melyik sorba állnak be, annak megfelelően mennyire ismerik a biztonsági szabályokat és mennyire gyorsan végeznek az utasbiztonsági ellenőrzéssel. Az úgynevezett „önkiválasztó” sávok színei ugyanúgy működnek, mint a sípályák nehézségét jelölő színek. A nagy családok haladjanak a zöld sávban, ahol az utasbiztonsági ellenőrök jobban odafigyelnek azokra emberekre, akik nincsenek teljesen tisztában a szabályokkal. Az alkalmi utazóknak ajánlott a kék és a rendszeres utazók számára pedig a fekete sávok használata [2].

3.7. A repülőtéri utasbiztonsági ellenőrzés jövője

Az emberi tényezők gyakran a leggyengébb pontjai a repülőtéri biztonságoknak. Izraelben ellenőrzik az utasok viselkedését, míg Amerikában ez szinte lehetetlen a nagy számok miatt. Ez azt jelenti, hogy a technológia egyre fontosabb lesz az ellenőrzések során.

Nehéz megjósolni a jövőt, anélkül, hogy túl messzire mennénk előre az időben. De egyre nagyobb lesz az esély arra, hogy a következő évtizedekben több lesz a teljes testszkennerek, több lesz a biometrikus rendszer és növelni fogják az adatbázist az utasok profiljával.

A jelenség változásának okai: Az 1. számú analízisből jól lehet látni, hogy a 60-, 70-, 80-as évekhez képest mennyivel csökkent a repülőgép fedélzetén elkövetett robbantásos merényletek száma. A következőkben szeretném bemutatni, hogy milyen biztonsági intézkedéseket hoztak ennek az eredménynek az elérése érdekében [2].

3.8. Robbanóanyagok és eszközök felderítése

A repülőtereken a kiképzett kutyákat tűzszerészek kísérik munkájuk során viszont a repülőgép típusok változatossága miatt, a repülőtéri alkalmazottak és a légitársasági személyek valószínűleg jobban fel fogják ismerni a nem odavaló eszközöket, mint a tűzszerészek. Amennyiben bombát feltételeznek a repülőgépen, meghatározott eljárás mód alapján kell azt megvizsgálni. Át kell kutatni a repülőgép külső részét, motorburkolat, kerék gondolákat, bármilyen összekötő részt a repülőgép törzs és a stabilizátorok között, a belső és külső csomagtereket, a csomagtartókat, a konyharészleget, az üléseket, a pilótafülkét és a többi részt is [2, 12].

3.9. A repülőtereken használt utasbiztonsági ellenőrző módszerek és berendezések

A poggyászoknak két fajtája létezik: a kézi- és a feladandó poggyász. Mindegyiket különböző gépek ellenőrzik. A feladott poggyászokat a check-in-ben elveszik az utasoktól, és teljesen más automatikus rendszerben ellenőrzik le őket, mint a kézipoggyászokat, hiszen a nagy táskákban lehet folyadékot szállítani. A rendszert, amelyen a check-in poggyászok mennek át Hold Baggage Systemnek (feladott poggyászellenőrző rendszer) nevezik.

A poggyászok átkutatása kézzel abban az esetben történik meg, ha az összes berendezés robbanóanyagot, robbanóanyagnyomot, vagy veszélyes anyagot talált a táskában. A feladott poggyászokat röntgensugaras, robbanóanyag-felderítő és robbanóanyagnyom-felderítő röntgengépekkel ellenőrzik.

Az alábbi műszereket használják a repülőtéri utasbiztonsági ellenőrzésen, amelyekkel az utasok is találkozhatnak:

- átvilágító berendezések (kézipoggyász);
- fémérzékelő kapuk;
- folyadékvizsgáló gépek;
- nyomfelderítő műszerek;
- kézi fémérzékelő berendezések;
- egyéb ellenőrző műszerek [2].

3.10. Átvilágító berendezések

A kézipoggyászból a nagyobb elektronikus eszközöket (pl.: laptop, tablet, iPad, fényképezőgép és minden más eszköz, amelynek sűrűsége gátolja az átvizsgáló személyt a táskák tartalmának ellenőrzésében) egy külön tálcára kell helyezni, mielőtt a csomag áthalad a vizsgáló berendezésen. A kézipoggyászokat kézzel, röntgensugaras berendezéssel és robbanóanyag-felderítő eszközzel lehet átvizsgálni. Amennyiben a monitoros védelmi ellenőr, aki a gépeket kezeli, gyanús tárgyat talál a kézi poggyászban, az ellenőrzés során manuálisan is ellenőrzi a táskát [2].

3.11. Fémérzékelő kapuk (Walk Through Detector)

Miután az utasok a feladandó poggyászaikat a check-in-ben leadták, a kézipoggyászaikat a röntgengép tálcáira helyezték, illetve levették a nagyobb fémmennyiséget tartalmazó kiegészítőket, kiürítették a zsebeiket, magassarkú, illetve bokájukat takaró cipőjüket levették, át sétálnak egy fémérzékelő kapun [2].

3.12. Folyadékvizsgáló berendezések

Folyadéknak minősülnek az italok (üdítő, frissítő, alkoholos), aeroszol, gél, paszta, krém, spray, fogkrém, zselé, leves, szirup, parfüm, méz, stb. hasonló összetételű anyagok. A tálcára helyezett folyadékokat átvilágítják röntgensugaras berendezéssel, amivel a kézi- és feladott poggyászokat is vizsgálják. Ezekbe a berendezésekbe van beépítve a robbanóanyag-, és a robbanóanyagnyom-felderítőeszköz. Kiegészítés képen alkalmazható íz- és bőr-próba. Ha a röntgengépek gyanúsnak találják a folyadékot, akkor mindenképpen le kell ellenőrizni a folyadékot az Elektromágneses folyadékkelemző (EMA) géppel [2].

3.13. Nyomfelderítő műszerek

Ezekkel az eszközökkel a fémkapun áthaladt utasok tulajdon tárgyait vizsgálják. Általánosságban nagy eszközök, amiket nem tudtak behelyezni a röntgengépbe. Ilyen például a babakocsi, a tolókocsi, sétapálca és a többi. A robbanószerkezetek felderítése és hatástalanítása mellett a kábítószer felderítésére használható korszerű eszközök alkalmazási gyakorlatának elemzése szintén fontos feladat [2].

3.14. Kézi fémérzékelő berendezések

Amennyiben az utasok a fémérzékelő kapu áthaladása után, a műszer bejelez, egy kézi fémérzékelő berendezéssel lesznek leellenőrizve.

A fent felsorolt berendezések mellett gyakran alkalmaznak egyéb csomag és szállítmány ellenőrző berendezéseket, pl.:

- postai küldemény és kis csomag ellenőrző röntgenek;
- rakomány ellenőrző röntgenek;
- konténer- és járműátvilágítók;
- repülőtéri check-in berendezések;
- hordozható röntgenberendezések;
- milliméter hullámú berendezések [1].

4. EMBERI TÉNYEZŐK A REPÜLÉSBIZTONSÁGBAN

A kezelők képzése alapvetően a meghatározott feladat teljesítésére épül. Fontos, hogy ha új biztonsági rendszer vagy technológia van bevezetve a repülőtereken, akkor jól szervezzék meg és oktassák az új tananyagot. Megtanítani és begyakoroltatni a biztonsági személyzetet, hogyan használják az eszközöket elsődleges, de közel nem elegendő. A vezetőknek figyelmet kell fordítaniuk arra is, hogy a belső motivációt, a munkavállalói lojalitást kialakítsák a dolgozóknak, hogy kialakuljon a csapatszellem.

Abban az esetben jól működik a szervezet, ha a motiváció, a tapasztalatok és azok feldolgozása, kapcsolatok, problémamegoldó és felismerő képesség egy időben van jelen. Ahhoz, hogy ezeket jól kihasználjuk, szükségünk van olyan vezetői hozzáállásra, amely a válságkezelést, a stratégiai gondolkodást, a professzionális problémamegoldást egyesíti. A menedzsment és az ehhez kapcsolódó módszerek is rohamosan fejlődtek az elmúlt évtizedekben annak érdekében, hogy a repülőtéri-irányítás lépést tartson a fejleményekkel.

A folyamattervezés napjainkban nem áll meg az előkészületekkel és a rendszeres tevékenységek operatív fejlesztésével. Ahol a klasszikus műveletek befejeződnek, ott

kezdődik a kockázattervezés és a válságkezelés (tervek, cselekvési változatok az enyhítésre, megelőzésre, előkészületekre, reagálás a lehetséges válságokra, újrafeldolgozás).

Ahhoz, hogy képesek legyünk megtenni a szükséges lépéseket a modernizálásban és javítsuk a folyamatokat, a repülőtéri-irányítás nem kerülheti el a kockázattudatos gondolkodást. Például a repülőtéri személyzet, magasan képzett szakemberek, biztonsági őrök, adminisztratív személyzet vagy akár a tisztító személyzet is jelenthet kockázatot. Egy bizonyos mértékig mindenkinek meg kell tanulnia, hogy gondolkodnak a terroristák. Nincs olyan alkalmazott technológia, amely a hagyományos szolgáltatás-orientált módon talán hatékonyan megvédené az utasokat és azok értékeit az esetleges terrortámadások ellen, hacsak nem kombináljuk össze kevesebb optimizmussal és több erőszakos gondolattal. Hol tudnának ők ártani? Hogyan tudnának ártani? A mai high-tech világban előfordulhat, hogy a terroristák low-tech megoldásokkal akarnának tömeges megfélemlítést okozni és pusztítani? Vajon ők ugyanúgy lépés tartani a gyakorlattal is, mint az elmélettel? Nekünk meg kell tanulnunk, hogy fejlesszük a technológiánkat, amely megváltoztatja az ő technikájukat.

Minél bonyolultabb egy berendezés, annál kiszolgáltatottabb lehet. Például: mit lehet tenni, ha az elektronikai vagy a vízrendszert támadják meg a repülőtereken? Hogyan tartsuk titokban azokat az eszközöket, felszereléseket, amelyek esetleg hasznosak lehetnek egy terrortámadáshoz? Ha megvannak a válságkezelő terveink, hogyan tegyük úgy titkossá, hogy közben a munkatársak hozzáférhessenek? Hogyan építsünk fel úgy egy szervezetet, hogy a munkatársaink ne adjanak ki minősített információkat arra jogosulatlan személyeknek? Hogyan tudunk minden munkatársat, utast és a többi reptéri személyzetet felkészíteni arra, hogy a terrortámadásoknak az esélye minimalizálva legyen? Mindezen kérdéseket meg kell vitatni stratégiai, szervezeti és operatív szinteken, ha szeretnénk a reptereink biztonságát növelni. A technológia elengedhetetlen, de a megfelelő emberi hozzáértés, együttműködési készség nélkül, akármilyen magas szintű gépeket is használunk, nem érjük el vele célunkat. És a legfontosabb megőrizni a repülőtereink és az ott dolgozók biztonságát és nem utolsó sorban azokat az utasokét, akik a repülőterek szolgáltatásait használják [4, 5, 7, 9, 10, 11].

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben bemutattam, hogyan változott a repülőgép fedélzetén elkövetett robbantásos cselekmények száma és ennek függvényében hogyan alakult a repülőtéri biztonsági rendszer.

Bemutattam milyen utasbiztonsági ellenőrző műszereket használnak. Azoknak működési elvét, alkalmazásának helyét. A leírtak illetve a személyes tapasztalatok alapján elmondhatom, a mai technika további fejlesztése indokolt mivel a már ismert robbanóanyag illetve robbanószerkezet detektálásra 100%-ban nem alkalmas. A tapasztalatok sajnos azt mutatják újra és újra sikeres vagy kevésbé sikeres terrorcselekmények valósulnak meg a világban, amelyek a biztonsági rendszerek hiányosságaira, hibáira mutatnak rá. Ez egy folyamatos fejlesztést jelent a biztonságtechnikai rendszerek fejlesztőinek. Ezt a tendenciát bizonyítja, hogy 2014-ben az Amerikai Közlekedési Hatóság megszabta, hogy az elektronikai berendezéseket, mint pl. laptopok és telefonok is le kell ellenőrizni bizonyos repülőtereken, mert pusztítást okozó szerkezeteket helyezhetnek el bennük.

A humán erőforrás képzésének szükségességét kell erősítenünk, amely egy komplex (technika, ember együttesen) védekezési módszer lehet megoldásként. Továbbá a biztonsági rendszerekkel kapcsolatos kutatások kitérnek az utasok pszichológiai vizsgálatára is, amely manapság még nem valósult meg, mert túl költségesnek és időigényesnek bizonyult.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **SZABÓ V.**, *A repülőtereken alkalmazott utasbiztonsági ellenőrzésen használt berendezések bemutatása*, ITDK, Szolnok, 2014.
- [2] **SZABÓ V.**, *Repülőtéri biztonság fejlődése a repülőfedélzetén elkövetett robbantásos események tükrében*, Szakdolgozat, Szolnok, 2016.
- [3] *Commercial Airline Bombing History.* (e-dok) url: <http://www.aerospaceweb.org/question/planes/q0283.shtml> (2016.04.26.)
- [4] **BÉKÉSI B., KORONVÁRY P., SZEGEDI P.:** *Terrorism and Airport Security Some Technological Possibilities to Reduce Exposure, Deterioration, Dependability*, Diagnostics International conference, University of Defence, Brno, 2015. pp. 279-288. (ISBN: 978-80-7231-431-7)
- [5] **SZEGEDI P.:** *A pilóta nélküli repüléshez kapcsolódva...: Tanulmány a pilóta nélküli légitárművek működésével és üzemeltetésével kapcsolatban.* (Békési Bertold, Szegedi Péter szerk.) Szerzői kiadás, Szolnok, 2016. 80 p. (ISBN: 978-963-12-5224-8), (online), url: https://ludita.uni-nke.hu/repozitorium/bitstream/handle/11410/10148/Tanulmany_Szegedi_P%C3%A9ter.pdf?sequence=2&isAllowed=y (2016.04.30)
- [6] **BÉKÉSI B., SZEGEDI P., SZABÓ V., TÓTH J.:** *How Terrorism Can Affect Technological Aspects of the Airport Security.* Proceedings of 19th International Scientific Conference Transport Means 2015. Kaunas, Technologija, 2015.10.22-23., pp. 112-115. (ISSN: 1822-296X)
- [7] **KORONVÁRY P., SZEGEDI P.:** *Repülőgép üzemeltető szervezetek humán erőforrásának tudásalapú fejlesztése*, Repülőműszaki üzemeltető szervezetek működésével, fejlesztésével kapcsolatban: tanulmánykötet a BSc, MSc hallgatók számára, 2016., (ISBN:978-963-12-5621-5), p. 82, url: <https://ludita.uninke.hu/repozitorium/bitstream/handle/11410/10227/Tanulm%C3%A9ny-Repm%C5%B1szaki.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (2016.05.20)
- [8] **SZEGEDI P., SZABÓ V.:** *Hogyan befolyásolja a terrorizmus a repülőterek biztonságát a technika szemszögéből?* MŰSZAKI TUDOMÁNY AZ ÉSZAK-KELET MAGYARORSZÁGI RÉGIÓBAN Konferencia, Debrecen 2015. pp. 147–156. (ISBN:978-963-7064-32-6)
- [9] **KORONVÁRY P., SZEGEDI P.:** *Tudásalkalmazás és tudásgondozás*, Hadmérnök, X. Évfolyam 2015/4, pp. 217–226. (online), url: http://www.hadmernok.hu/154_20_koronvaryl_p_szp.pdf (2016.04.30)
- [10] **BÉKÉSI B., SZEGEDI P.:** *Napjainkban fejlesztett fegyverrendszerek megjelenése a jövő hadszínterein, a tudásalkalmazás és fejlesztés szempontjából.* Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2015/3. pp. 105–116. (online), url: http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015_3/2015-3-08-0223_Bekesi_B-Szegedi_P.pdf (2016.04.30)
- [11] **KORONVÁRY P.:** *Az amerikai „military leadership” elmélet rendszertana (PhD értekezés)* Zrínyi Miklós nemzetvédelmi Egyetem, Hadtudományi Doktori Iskola, Budapest, 2008. url: <http://m.ludita.uni-nke.hu/repozitorium/bitstream/handle/11410/9661/Teljes%20sz%C3%B6veg%21?sequence=1&isAllowed=y> (2016.04.30)
- [12] **SZOKOLAI G., NÉMETH L.:** *Tűzszerészeti alapismeretek*, Tansegédlet, Budapest, Cedit Információtechnikai Kft., 1997.

SOROS GERJESZTÉSŰ EGYENÁRAMÚ MOTORRAL HAJTOTT VERSENYAUTÓ DINAMIKAI MODELLEZÉSE

DYNAMIC MODELLING OF A RACE CAR DRIVEN BY SERIES WOUND DC MOTOR

SZÁNTÓ Attila¹, SZÍKI Gusztáv Áron², HAJDU Sándor³

¹Hallgató, DE MK, szanto930922@freemail.hu

²Ph.D., főiskolai tanár, DE MK, sziki@eng.unideb.hu

³Főiskolai adjunktus, DE MK, hajdusandor@eng.unideb.hu

Kivonat: Közleményünkben egy MATLAB környezetben kifejlesztett járműdinamikai szimulációs programot ismertetünk. A program az egyenáramú soros gerjesztésű motor, a hajtás, a futómű, valamint a járműfelépítmény műszaki adataiból és egyéb paramétereiből kiszámítja a járművet jellemző dinamikai függvényeket, és közvetve alkalmas a műszaki paraméterek optimalizálására. A fenti függvények a következők: a motoron átfolyó áram, a motor által a járműnek leadott nyomaték, a jármű gyorsulása, sebessége és az általa megtett út, a talaj által a jármű kerekeire kifejtett tangenciális és normális irányú erők, a tangenciális és normál irányú tengelyterhelések, a gördülési és csapágy ellenállási nyomatékok, a légellenállási erő valamint a kerékcsúszás („slip”) a menetidő függvényében.

Kulcsszavak: járműdinamika, elektromos hajtás, versenyautó, modellezés, MATLAB szimuláció

Abstract: In the following we are presenting a vehicle dynamics simulation program developed in MATLAB environment. The program is capable of calculating the dynamics functions of a vehicle – driven by series wound DC motor – from its technical data. Moreover, it is indirectly capable of the determination of the optimal values of technical data meeting a given dynamic requirement. The program can generate the time dependence of the following quantities: the electric current flowing through the motor, the torque exerted by the motor, the acceleration, velocity and covered distance of the car, the forces exerted by the road onto the wheels of the car in normal and tangential directions, rolling and bearing resistance moments, drag and tire slip.

Keywords: vehicle dynamics, electric drive, race car, modelling, MATLAB simulation

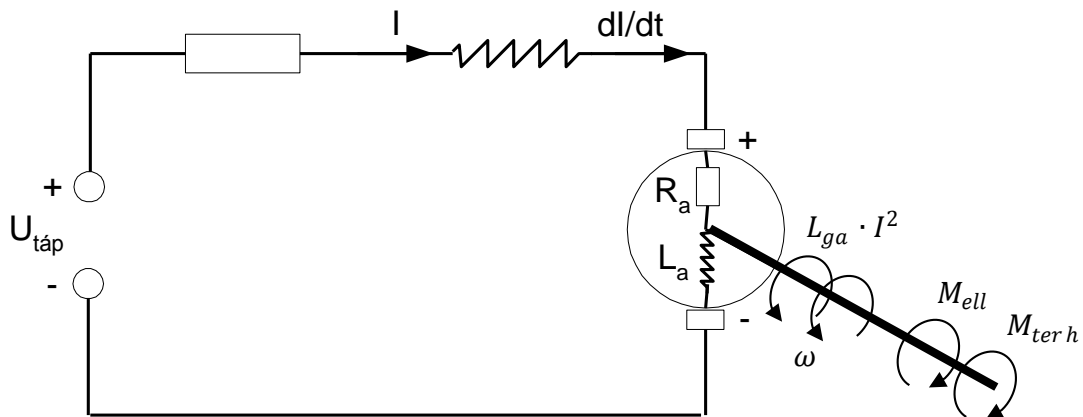
1. BEVEZETÉS

A Debreceni Egyetem Műszaki Karán készülő elektromos hajtású versenyautókhöz kifejlesztettünk egy menetdinamikai szimulációs programot [1, 2], amely a járművek műszaki paramétereiből kiszámítja azok menetdinamikai jellemzőit. A program korábbi verziója egy kísérleti úton meghatározott motorkarakterisztikát (nyomaték-fordulatszám függvényt) olvas be, és abból, valamint a jármű egyéb műszaki adataiból számítja a menetdinamikai jellemzőket.

A jelen közleményben a programon elvégzett legújabb fejlesztést ismertetjük, amely lényegében a járművekbe beépített soros gerjesztésű egyenáramú motor dinamikai modellezését jelenti. A továbbiakban ismertetésre kerülő motormodell kiváltja a kísérletileg kimért motorkarakterisztikát, alkalmazásával a motor alapvető elektromágneses jellemzőiből (induktivitásokból és ohmos ellenállásokból) kiindulva végezhetjük el a modellszámításokat, figyelembe véve a motor tengelyén fellépő mechanikai terheléseket. A terhelések részben a jármű mozgatásából adódó, részben a motor csapágyazásán fellépő ellenállási nyomatékok, amelyek függnak a motor fordulatszámától. Fontos megjegyezni, hogy az induktivitások dinamikus induktivitások, azaz függvényei a motoron átfolyó áram erősségének.

2. A VILLANYMOTOR DINAMIKAI MODELLJE

A kidolgozott motormodell non-lineáris, azaz a motort jellemző induktivitások nem konstans értékek, hanem függvényei a motoron átfolyó áram erősségének, így azzal dinamikusan változnak. Tehát induktivitás-áram karakterisztikákról is beszélhetünk. Az 1. ábra az egyenáramú soros gerjesztésű motor elektromágneses modelljét mutatja. Az ábrán feltüntettük a motor tengelyén fellépő különböző nyomatékokat.



1. ábra. A soros gerjesztésű motor elektromágneses modellje

A motort jellemző elektromágneses és dinamikai egyenletek az alábbiak [3]:

Elektromágneses egyenlet:

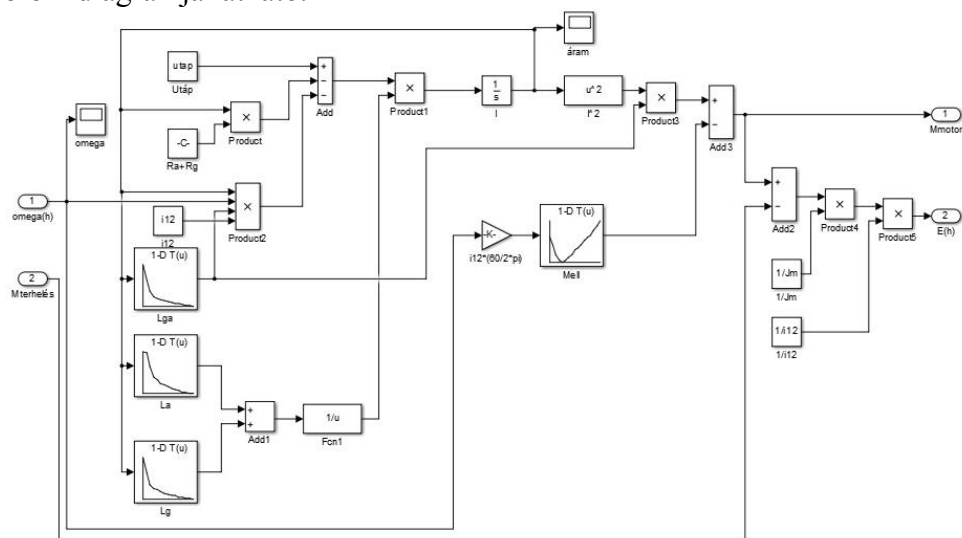
$$U_{táp} - (R_a + R_g) \cdot I - (L_a(I) + L_g(I)) \cdot \frac{dI}{dt} - L_{ga}(I) \cdot \omega \cdot I = 0 \quad (1)$$

Dinamikai egyenlet:

$$L_{ga}(I) \cdot I^2 - M_{terh}(\omega) - M_{ell}(\omega) = J_m \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (2)$$

A fenti egyenletekben az $L_a(I) = \frac{\partial \Psi_a}{\partial I}$, $L_g(I) = \frac{\partial \Psi_g}{\partial I}$ és $L_{ga}(I) = \frac{\partial \Psi_{ga}}{\partial I}$ mennyiségek az armatúra és gerjesztő tekercs öninduktivitása, valamint a két tekercs kölcsönös induktivitása, Ψ_a , Ψ_g és Ψ_{ga} pedig a hozzájuk tartozó mágneses fluxusok. Mint korábban említettük, a fenti mennyiségek mindegyike függ a motoron átfolyó áram erősségétől. Itt meg kell jegyezni, hogy a fenti karakterisztikákat a saját motorunkra még nem mértük ki, programunkba egyelőre a [3] irodalomban vizsgált soros gerjesztésű motor adatait olvastuk be. Az $M_{terh}(\omega)$ és $M_{ell}(\omega)$ mennyiségek a motort terhelő nyomatékok, amelyek függenek a motor fordulatszámától. Az előbbi a jármű mozgatásából az utóbbi a motor csapágyellenállásából adódik. A J_m mennyiség a motor forgórészének tehetetlenségi nyomatéka. Az $L_a(I)$, $L_g(I)$, $L_{ga}(I)$ és $M_{ell}(\omega)$ karakterisztikákat mérés útján kell meghatározni [3]. J_m értéke szerepelhet a motor katalógusában, vagy ki kell mérni. Az $M_{terh}(\omega)$ karakterisztikát a program számítja.

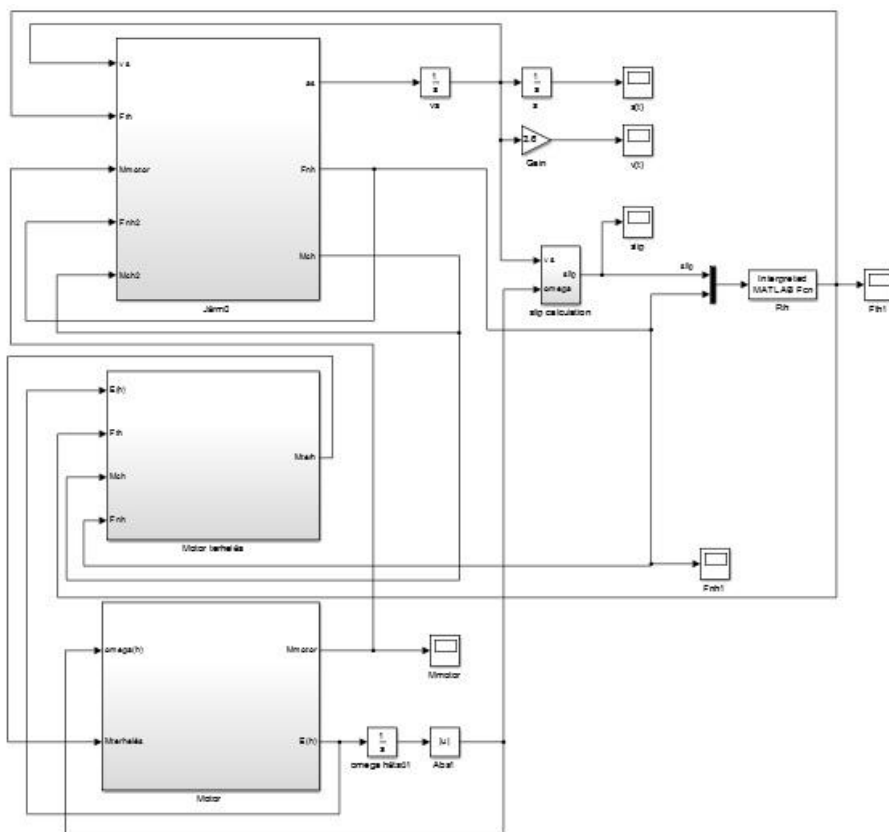
A 2. ábrán az elektromágneses és dinamikai egyenletek alapján elkészített szimulációs program blokkdiagramja látható.



2. ábra. A motormodell MATLAB programmal [4] készített blokkdiagramja

3. A JÁRMŰDINAMIKAI SZIMULÁCIÓS PROGRAM

A 2. fejezetben ismertetett „motor” blokkot beépítettük a korábbi szimulációs programunkba [1, 2]. Ehhez természetesen a régebbi programot át kellett alakítani. A 3. ábrán a jelenlegi program blokkdiagramja látható.



3. ábra. A járműdinamikai modell blokkdiagramja

A „jármű” blokk a járművet modellezi eltekintve a motortól. A „jármű” blokk részletes leírása a [2] irodalomban szerepel. A „terhelés” blokk feladata a motorterhelés (M_{terh}) kiszámítása. Mivel a motor terhelése maga a jármű, így a „terhelés” blokk a „jármű” blokk kimenő adataiból számol. A kiszámított terhelő nyomatékot végül a „motor” blokk olvassa be, együtt a hátsó kerék szögsebességével. A hátsó kerék szögsebességéből a „motor” blokk kiszámítja a motor szögsebességét, majd a szögsebesség, a terhelő nyomaték, az $L_a(I)$, $L_g(I)$, $L_{ga}(I)$, $M_{ell}(\omega)$ karakterisztikák, valamint az R_a és R_g ellenállások és tápfeszültség ($U_{TÁP}$) ismeretében a motor által a járműre kifejtett nyomatékot (M_{motor}). Végül a „motor” blokk kiszámítja a motor, majd abból a hátsó kerék szöggyorsulását. A hátsó kerék szöggyorsulásából ezt követően a szögsebesség integrálással adódik. A hátsó kerék szögsebességét a „jármű” és „motor” blokkba, az M_{motor} nyomatékot pedig a „jármű” blokkba visszacsatolva zárul a ciklus. A ciklus sokszori lefuttatásával a program előállítja a motort és járművet jellemző menetdinamikai függvényeket. A számítások elvégzéséhez a motort és járművet jellemző alábbi műszaki adatok (bemenő paraméterek) szükségesek:

- Geometriai adatok (tengelytáv, súlypont pozíció)
- Tömegek (járműtest, első és hátsó kerekek és a hozzájuk kapcsolódó forgó alkatrészek)
- Tehetetlenségi nyomatékok (motor forgórész, első és hátsó kerekek és a hozzájuk kapcsolódó forgó alkatrészek)
- Hajtást jellemző adatok (motorjellelmező karakterisztikák, áttételek és hatásfokok)
- Légellenállást jellemző paraméterek (alak tényező, homloklfelület)
- Gördülési és csapágy ellenállást jellemző paraméterek
- Pacejka varázsszámításban [2, 5, 6] szereplő paraméterek
- Egyéb (levegő sűrűség, gravitációs gyorsulás)

A fenti adatokból, mint bemenő paraméterekből a szimulációs program a következő menetdinamikai függvényeket állítja elő:

- A motoron átfolyó áram a menetidő függvényében.
- A motor által a járműnek leadott nyomaték a menetidő függvényében.
- A jármű gyorsulása, sebessége és az általa megtett út a menetidő függvényében.
- A talaj által a jármű kerekeire kifejtett tangenciális és normális irányú erők a menetidő függvényében.
- A tangenciális és normál irányú tengelyterhelések a menetidő függvényében.
- A gördülési és csapágy ellenállási nyomatékok a menetidő függvényében.
- A légellenállási erő a menetidő függvényében.
- Kerékcsúszás („slip”) a menetidő függvényében.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Az ismertetett szimulációs program – a fejlesztések jelenlegi szintjén – egyenes pályán gyorsító elektromos hajtású jármű menetdinamikai függvényeinek előállítására szolgál a járművet jellemző műszaki adatokból. A szokásos menetdinamikai függvények (gyorsulás-, sebesség- és út-idő függvény) mellett képes a talaj által a kerekekre kifejtett tangenciális és normális irányú erők, valamint tengelyterhelések időfüggésének számítására. Emellett figyelembe veszi valamennyi, a jármű mozgását befolyásoló hatást (például a motorjellelmező

karakterisztikákat, gördülési, csapágy és légellenállást, a forgó részek tehetetlenségi nyomatékait, a jármű súlypontjának helyét, valamint a kerék és talaj között fellépő súrlódási tényezőt a kerékcúszás („slip”) függvényében).

A jövőben tervezzük a program továbbfejlesztését egy teljes, kanyarokat is tartalmazó versenypályára, amely gyorsítási és fékezési szakaszokat egyaránt tartalmaz. Továbbá tervezzük a hiányzó műszaki adatok (pl.: a motort jellemző karakterisztikák) kísérleti meghatározását.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **SZIKI GUSZTÁV ÁRON, HAJDU SÁNDOR, SZÁNTÓ ATTILA:** *Vehicle Dynamics Modelling of an Electric Driven Race Car, International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering proceedings* (2015) Debrecen, Hungary.
- [2] **SZÁNTÓ ATTILA:** *Elektromos hajtású tanszéki versenyautó járműdinamikai modellezése*, TDK dolgozat (2015) Debreceni Egyetem Műszaki Kar.
- [3] **MIRALEM HADŽISELIMOVIĆ, MATIC BLAZNIK, BOJAN ŠTUMBERGER, IVAN ZAGRADIŠNIK:** *Magnetically Nonlinear Dynamic Model of a Series Wound DC Motor*, PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY (Electrical Review), ISSN 0033-2097, R. 87 NR 12b/2011
- [4] *Matlab 2014b*, The MathWorks, Inc, Natick, Massachusetts, United States.
- [5] **HANS B. PACEJKA, IGO BESSELINK:** *Tire and Vehicle Dynamics (Third edition)* – Published by Elsevier Ltd. (2012) ISBN 978-0-08-097016-5.
- [6] **DR. ILOSVAI LAJOS PROF. EMERITUS:** *Járműdinamika* (2013)

A NANOTECHNOLÓGIA LEHETSÉGES KATONAI ALKALMAZÁSAI

THE POSSIBLE MILITARY APPLICATIONS OF NANOTECHNOLOGY

SZEGEDI Péter¹, BÉKÉSI Bertold²

¹⁻²C.Sc., alezredes, egyetemi docens

Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztoképző Kar,
Katonai Repülő Intézet, Fedélzeti Rendszerek Tanszék

H-5008 Szolnok, Pf. 1., Email: szegedi.peter@uni-nke.hu; bekesi.bertold@uni-nke.hu

Kivonat: *A jelenben egy könnyen elképzelhető jövő, hogy a fegyveres konfliktusokat, háborúkat zsoldosok, és/vagy robotok vívják és nem csak nemzetállamok között törhetnek ki, hanem akár szélsőséges csoportok, terrorszervezetek, nemzetközi bűnözők stb. és államok, nemzetközi szervezetek között is.*

A világ modern hadseregeinek az egyik legszéleskörűbben alkalmazott eszközei a pilóta nélküli járművek napjainkban. Az UAV¹-k katonai sikerei a 9/11-utáni konfliktusokban alapozták meg a technológia gyors fejlődését, elterjedését, például: (1) Kína fejleszti az első szuperszonikus pilóta nélküli harci repülőgépet², amelyet közelharcra terveznek; (2) az amerikai Defense Advanced Research Projects Ügynökség (DARPA) és a Pentagon olyan eszközöket fejleszt, amelyek képesek 60 percen belül eljutni a Földön bárhová. A Falcon HTV-2 hiperszonikus pilóta nélküli repülőgép legújabb repülési sebességi vizsgálatok szerint 17 és 22 Mach-ot, azaz 17-22-szeres hangsebességet ért el.

A jelenleg folyó kutatások alapján azt prognosztizálhatjuk, hogy az autonóm rendszerek, (drónok) lesznek a jövő háborúiban a legelterjedtebben, legtöbb területen használt eszközök/rendszerek. [12]

A nanotechnológia alkalmazásával elérhető, hogy a jelenleg alkalmazott (és még nem is ismert) eszközeink (pl.: az elektronikus és számítástechnikai, mechatronikai berendezéseink, stb. – mint az előzőleg példaként említett a UCAV-k – egyre kisebbek és kisebbek legyenek, és egyre gyorsabb és gyorsabb adatfeldolgozási képesség mellett egyre kevesebb és kevesebb energiát felhasználva egyre gyorsabban, egyre nagyobb hatótávolsággal/bevetési idővel rendelkezzenek. Nem kérdés, hogy lesznek-e nano méretű eszközök, csak az, hogy milyen sorrendben és ki alkalmazza először. Az alkalmazások listája csaknem határtalan, (tarthat a hagyományos, nukleáris, biológiai, vegyi fegyverektől, a személyi felszereléseken, lőszeren, információgyűjtésen, célmegjelölésen/pusztításon stb- n át, az egészségvédelemig/monitorig és az energiátárolásig stb). A nanotechnológia jelenleg is elég fejlett ahhoz, hogy néhány potenciális katonai alkalmazása a közel jövőben megtörténjen.

Kulcsszavak: *haditechnikai újítások, nanorobotok, mesterséges intelligencia, UAV, drón,*

Abstract: *Even today it is easy to imagine a future when armed conflicts, battles or wars will be fought by human and/or non-human mercenaries: professional warriors and/or robots. Such conflicts may break out not only between nation states, but also non-territorial interest groups (e.g. radicals, terrorist groups, mafia) may easily fight so against their territorial opponents (e.g. states, alliances, international organizations) or non-territorial targets (e.g. racial, religious, cultural, political etc. groups).*

At present, unmanned aerial vehicles (UAVs) are the most widely used, most versatile tools of modern armies in the world. Their success in the conflicts after 9/11 not only have fastened their development and spreading, but also have defined the directions for future technological development. China, for example, has developed the first supersonic military drone meant for use in close combat; at the same time the Americans in DARPA and the Pentagon have been working on tools that can get to anywhere under the sun within 60 minutes. Their Falcon HTV-2 hypersonic drones in the latest published tests were able to reach a speed of 17-22 Mach.

On the basis of the directions of present research it can be predicted that autonomous systems, drones will be the most widely used, most versatile tools with the widest range of applicability.

The newest results in miniaturization and nanotechnology make it possible that today's tools – like electronic, IT or mechatronic appliances like the above-mentioned drones (whether public or not) – will be reduced in size and energy needs, made faster both in their physical movement, data management and reactions, therefore they will be easier and faster to deploy, sortie and apply even at long range. It is not a question whether such tools will exist – we should rather ask who will use them first and in which order will the others follow. The possible areas

¹ Unmanned Aerial Vehicle – Pilóta nélküli légi jármű

² UCAV – Unmanned Combat Aerial Vehicle; az Anjian - sötét kard

for application are almost infinite, including traditional tools and weaponry, NBC applications and monitoring tools, healthcare applications or power generation and supply. Modern nanotechnology can even today offer new solutions for the development of certain new military tools in the closest future.

Keywords: *innovations of military technology, nanorobots, artificial intelligence, UAV, drone*

1. BEVEZETÉS

A technológiák fejlődése, a kutatások eredményeinek felhasználása, a gépek megjelenése folyamatosan és gyökeresen változtatja meg életünket, így az általunk vívott háborúk sem tartoznak a kivételek közé. Például: a drónok nem tudnak gyorsabban repülni, mint, a hagyományos, pilóta által vezetett repülőgépek, de képesek sokkal gyorsabb manőverekre (figyelembe véve azokat az éles fordulatokat, amelyek megölnék a fedélzeten lévő pilótát) [12].

A robotok megjelenése jelen három, „négy”, vagy csak megközelítés kérdése hány dimenzióra bontott katonai, nem katonai, de hasonló céllal végzett műveletek helyszínén (pl.: városi környezetben, információs hadszíntéren, digitális harctéren, vagy akár a műveletekben résztvevő katonák testében stb.) már nem fikció, hanem megkérdőjelezhetetlen tény. A felfegyverzett, csapásmérésre és egyéb funkciókra kifejlesztett robotok ma már részét képezik, képezhetik a haderők felszerelésének, fegyverzetének. Talán egyik legfontosabb jellemzőjük a feladat-optimalizáltság.

A mesterséges intelligenciák, robotok, automatizált, akár autonóm eszközök, fegyverrendszerek megjelenését tényként kell kezelnünk a jövő háborúiban, vagyis a jelenkor biztonsági környezetével kapcsolatosan átfogó értelemben nem felejtkezhetünk meg képességeikről, alkalmazhatóságukról. A széleskörű lehetőségek körvonalai már napjainkban is láthatók, például: (1) a nano méretű (10^{-9}) eszközöktől, amelyek a katonák szervezetében, folyamatos megfigyelés alatt tartják az életfunkciókat és információkkal látják el a parancsnokokat a beosztottak hadrafoghatóságáról; (2) az automatizált hajófedélzeti körkörös védelmi fegyverrendszerekig, amelyeket teljesen automatizáltak és mindent elvégeznek a megfigyeléstől a detektáláson keresztül a megsemmisítésig. Felépítésüket tekintve akár szerves, vagy szilícium alapú összetevőkből állhatnak. A jövő, napjainkban csak megjósolható, új technológiáinak alkalmazása nem csak mérnöki feladat. Az alkalmazóknak, a törvényhozóknak is el kell fogadniuk jelenlétüket meg kell érteniük működésüket [3, 5, 6].

2. NANOROBOTOK ALKALMAZÁSÁNAK NÉHÁNY LEHETŐSÉGE

Az elmúlt évek robottechnológiai fejlesztései már megváltoztatták a katonai erők alkalmazási módját, és az alkalmazott haditechnika elválaszthatatlan részét fogják képezni a jövőben is.

A napjainkban folytatódó információs forradalomnak is köszönhetően a mesterséges intelligenciák megvalósíthatóságára irányuló kutatásokhoz szükséges számítási kapacitás rendelkezésre áll. A technológiák (a természettudományi területeken, mint pl.: villamosmérnöki, informatikai, gépészeti, mechatronikai, biológiai, kémiai stb.) fejlődés lehetővé tette az egyre kisebb tömegű és méretű, de egyre nagyobb utasítás és adat feldolgozási teljesítménnyel rendelkező számítógépek tömeges elterjedését. A nagy sebességű adatátviteli lehetősége, a pontos navigációs képesség, a kisméretű digitális szenzorok (szenzorrendszerek) alkalmazása az automatizált rendszerekben a 20. század végére elterjedtek, de nem érték el képességeik felső,- és méreteik alsó határait.

A nanotechnológia (NT) lehetőséget teremt arra, hogy a jelenleg alkalmazott elektronikus és számítástechnikai eszközeink (pl.: szenzorok, aktuátorok stb.) műszaki paramétereik javulása mellett (pl.: gyorsabb adatfeldolgozási képesség) egyre kevesebb energiát

fogyasszanak. Ezzel a technológiával képesek vagyunk analizálni és gyártani olyan struktúrákat, amelyeknek a mérete 0,1 és 100 nanométer között van. Ebben a méretben új hatások, történések lehetnek. A határvonal a fizika, a kémia és a biológia között elmosódik, például: (1) erősebb, de könnyebb anyagok; (2) „feltűnően” kis méretű számítógépek, „mérhetetlenül” megnövekedett teljesítménnyel; (3) „hatalmas” és „parányi” méretű eszközök, autonóm robotok jönnek/jöhetnek létre; (4) lehetőség van molekulák manipulálására; (5) célzott beavatkozásokat ejthetnek sejtekben; (6) kapcsolatok jönnek létre elektromos és szerves rendszerek között – akár a rendszerek egymástól mért távolságtól függetlenül is –, és így tovább a sornak csak a képzeletünk szabhat határt.

Napjainkra az ilyen irányú kutatások spektruma az elektronikától a biológiáig kiszélesedett. Bár jelenleg számos ezek közül még az alapkutatás szintjén van, de már most erőfeszítéseket tesznek annak érdekében, hogy megtalálják a kutatások katonai alkalmazhatóságát.

A szenzorok/szenzorrendszerek nanotechnológiával létrehozott anyagok egyedi tulajdonságait kihasználva, egyre kisebbé és érzékenyebbé válnak összehasonlítva a hagyományos technológiával készültekkel. Hordozható, hatékony szenzorok jól használhatók lesznek katonai műveleti területeken, mint például: nagy érzékenyséű infra-, hőérzékelő, kisméretű, könnyű gyorsulásmérő, mozgás és helyzet érzékelők, kis méretű, nagy felbontású kamerák, biokémiai szenzorok stb. Valamint az adaptív (alkalmazkodó) álcázáshoz, olyan struktúrájú anyagok előállítására, amelyekből készült felületek (1) visszaverő és elnyelő tulajdonságai okán csökkentik a radar- és az infraképet, illetve (2) a felületen megtapadó változó/változtatható színű (színezőanyag részecskék) pigment réteg csökkenti az eszköz felderíthetőségét, észlelhetőségét (lopakodó bevonatok, „okos bőr”). Nem utolsósorban az önjavító anyagok, illetve a nano-gépek, amelyek utánozzák például az emberi izom működését [2, 10, 11].

A nanotechnológia segítségével aktuátorok, autonóm rendszerek (robotok) is gyárthatók, amelyek mikroszkopikus érzékelőkkel, irányító és kommunikáció berendezésekkel vannak felszerelve. A milliméternél is jóval kisebb eszközök képesek lesznek ellátni azokat a feladatokat, amelyek ellátása eddig centiméteres, vagy még nagyobb méretekkel rendelkező eszközökkel volt lehetséges, illetve lehetetlen volt. Ilyen lehet például (1) egy nanoeszköz – méreténél fogva nehezen felderíthető módon – a cél objektum/személy közelébe lopózva információt gyűjthet, manipulálhat vagy rombolhat; (2) a jobb érzékelők, működtető egységek és számítógépes rendszerek, alacsony gyártási költséggel, lehetővé teszik a távirányítható „katonák” telepítését, akik képesek elfoglalni objektumokat, területeket a saját katonák életének kockáztatása nélkül stb. [1]

Az autonóm robotok mérete lecsökken jóval 0,1 mm alá. Ezt a csökkenést minden közegben, földön, vízben, levegőben alkalmazott rendszereknél, technikai eszközöknél (mérettől függetlenül) változásokat okozhat legyenek azok hagyományos (kerekes, merevpályás, úszó, légszavaras, sugárhajtású, merevszárnyas, forgószárnyas) vagy biometrikus eszközök (lábakat, csapkodó szárnyakat használva; tekergőzve, mint egy kígyó stb.) [2].

A rendszerek méretének csökkentését természetesen a felhasználási mód egyéb jellemzői, (frekvenciatartomány, energiatárolás, hatásfok, disszipáció stb.) továbbra is korlátozzák. A képességük az érzékelésre, a kommunikációra, a vezérelhetőségük, működési idejük, hatótávolságuk lehet, hogy csökken a zsugorodó mérettel, azonban ezeket a korlátokat kompenzálni fogja tömeges méretekben (rajokban) történő alkalmazásuk, amely során a funkciókat megosztva hálózatban fognak tevékenykedni.

Az alacsony költségű mini és mikro, nano méretű katonai robotok beleértve biológiai-technikai hibrideket több radikális változást is hozhatnak. A fejlesztések eredményeinek elterjedése, felhasználása jósolható már a nem túl távoli jövőben is [2, 9, 10]. Számos területen

(pl.: felderítés, információszerzés, célpont megsemmisítés stb.) a költséghatékony tömeggyártási lehetőségek várhatóan a „nanoeszközök” tömeges megjelenését teszik lehetővé, akár kifinomult feláldozható (eldobható, egyszer felhasználható) eszközök formájában is, mint például:

- forgalmas logisztikai, szállítási, felvonulási stb. utak közelébe nagyszámú porszemcse méretű eszközök levegőbe juttatása esetén a járművek levegőbeömlő nyílásain át megrongálhatják/harcképtelenné tehetik (mintha homokot szóránk a fogaskerekek közé) a gépjárműveket, harceszközöket;
- számos centiméter, vagy kisebb méretű lebegő képes platform a légkörbe telepítve (sűrű felhőszerű képződményt létrehozva) megzavarhatja az élőlényeket (embereket, állatokat egyaránt), károsíthatja a repülőgépeket (a sérült eszközök másodlagos kontrolálatlan károkozása is lehetséges, pl.: lezuhanás);
- robotok rovarokhoz, kis emlősökhöz hasonló módon pihenők alkalmával, parkolás/tárolás közben tönkretethetik a gépjárművek villamos/energiarendszereit („elrágják” a vezetékeket, üzemanyagcsöveket);
- szárazföldre, vagy az óceánokba telepített nagyszámú egymáshoz kapcsolódó adatsomag-alapú hálózatokként működő kisgépek akusztikai, biológiai, kémiai, és akár nukleáris felderítést/szennyezést végezhetnek;
- okos fegyverek, miniatürizált, intelligens célpont kereső robotfegyverek pusztíthatnak embert, lerombolhatnak infrastruktúrákat és szennyezhetik a környezetet (pl.: termőföld, vízkészlet, levegő);
- olyan nagy mennyiségben (néhány évtized múlva akár ön-replikációval) előállított hagyományos fegyverek, hogy tömegpusztító fegyverekké váljanak.
- más részről viszont a nanorészecskék megtisztíthatják a szennyezett környezetet [1, 9, 11].

A nanorobotok katonai és egyéb célú alkalmazási köre széles, de az alkalmazhatóságuknak/bevethetőségüknek korlátot jelent fizikai méretük. Természetesen ezek a korlátok feszegethetők, rendszerben történő alkalmazásukkal, például a szél energiájának, vagy más „szállító eszközök” (például: gránátok, rakéták, UAV-k stb.) alkalmazásával.

A könnyebb erősebb és a magas hőnek jobban ellenálló anyagok kifejlesztése lehetőséget teremt, hogy a hagyományos (jelenleg üzemelő) földi, vízi és légi járművek nagyobb sebességet, és jobb mozgékonytságot érjenek el, illetve megeremti annak a lehetőségét, hogy új típusú járművek jelenjenek meg, akár hatékonyabb motorokkal, hajtóművekkel, hatásosabb energiatárolással, például:

- a carbon-fibre nanocomposite anyagból (40%-al erősebb, és 75%-al könnyebb, mint alumínium) készült „Pirhana” hajó, amely kis üzemanyag fogyasztása biztosítja, hogy hosszú ideig legyen képes a tengeren maradni. Így egy pilóta nélküli platform áll rendelkezésre a különböző alkalmazások számára, illetve potenciálisan helyettesítené a repülőgép-hordozókat, hosszú távú felügyeleti és védelmi műveletek során;
- a Tel-Avivi Egyetem kutatói által kifejlesztett átlátszó anyag „ön-felépítő” nanogömbök, jobb tulajdonságokkal rendelkeznek, mint a rozsdamentes acél vagy a kevlar. Még a nagyüzemi termelése jelenleg nem megoldott, de a nagy ígéretnek tűnik, amely felhasználható lesz a páncélok, orvosi implantátumok készítésére, és a már meglévő kompozitok és kerámiák megerősítésére [9][10][11].

A nanotechnológia alkalmazható lesz energiatárolásban, meghajtó rendszerekben, kijelzésben/megjelenítésben, harci információs rendszerekben és logisztikai ellátásban, önjavításban, okos anyagokban, és így tovább, mint például:

- üzemanyagcellákba épített (nanorészecskékből felépülő) membránokhoz, vagy hidrogén tankokhoz, amelyek nanocsöveket, csatornákat használnak;
- a nano-napelem cellák előállítására, amelyek hatékonyabb villamosenergia-termelés biztosítanak, mint a jelenlegi rendszerek;
- kis méretű rendszerek számára olyan összehúzható apró részecskéket, molekulákat, létrehozva, amelyek maradandó alakváltozás nélkül lehetőséget teremtenek az izomszerű mozgás megvalósításának.
- másrészt felhasználható lesz a harctér menedzsment- és a stratégiai tervező rendszerekben magas fokú autonóm döntéshozatallal. Nano-szenzorokkal, vezeték nélküli kommunikációs eszközökkel és kis könnyű súlyú kijelzőkkel alkotott hálózatként,
- de akár az agyba beültetett chip implantátumként, amely segíti/irányítja a döntéshozót.
- Az önépítő robotok talán a leggyakrabban említett és túlzott koncepció, de lehet, hogy „csak” a technológia egy fejlettebb állapotát igényli. Az ön-építésen alapuló nanotechnológiával „hatalmas” mennyiségben készített hagyományos fegyverek, tömeges megjelenésük okán tömegpusztító fegyverré válhatnak [2, 9, 10].

Az NT alapú anyagok/robbanóanyagok alkalmazásával könnyebb, kisebb, nagyobb kezdősebességgel rendelkező és precízebb lövedékeket készíthetnek. Fejlett anyagok és robbanószerkezetek alkalmazása a hagyományos tüzéri eszközök lőtávolságát precizitását növelheti, miközben csökken a lőszerkezet tömege. Az NT alapú rendszerek alkalmazásával a célzás pontossága nőhet, (hasonlóan rakéták esetében is) a lövedékek átütő képességét figyelembe véve, azonban még nem tisztázott, hogy az új anyagok és struktúrák felül fogják-e múlni a wolfram, vagy a gyengített uránium lövedékek képességeit. Például: kis méretű fegyverek, lőszerkezetek, meghatározott emberek/személyek elleni rakéták, amelyek nem tartalmaznak fém elemeket megvalósíthatóvá válnak. Az automatizált vagy távirányított fegyverek mindinkább megkönnyítik a kijelölt objektum, a csataterület elfoglalását, de ezek az új fegyverek a konfliktusok elrendezésének helyszíneit a hagyományos csataterületekről új harcterekre/színhelyekre helyezhetik át, amelyek közös jellemzője a polgári lakosság túlszűfolt jelenléte. Azonban a proteomikai³ kutatások eredményeit felhasználva célpont/csoport kiválasztásra (pl.: genetikai jegyek alapján célzott támadásokat intézzenek etnikai csoportok, vagy éppen egyének ellen) alkalmas fegyverek kifejlesztésére van lehetőség.

A nanostruktúrájú anyagok felhasználásával készíthető erősebb könnyű fegyverzet, páncélzat. A könnyű súlyú erős és multifunkcionális anyagok (nano-rostok), elemi szálak felhasználásával készített ruházat hatékonyabb védelmet biztosíthat lövedékek ellen. A katonák által viselt ruházat/rendszerek a fizikai védelem mellett képesek érzékelni a viselő

³ Hudecz Ferenc: Proteomika – az új kihívás, http://www.elitmed.hu/upload/pdf/proteomika_az_uj_kihivas-2346.pdf „A proteomika meg kívánja ismerni a fehérjék szerkezetét, biológiai funkcióját és ezek térbeli és időbeli változását. Nemcsak úgy tekinti a fehérjét, mint izolált molekulát, hanem figyelembe veszi a fehérje és környezete közötti kölcsönhatást. Vizsgálódási körébe tartozik a fehérje eredetének meghatározása, rendszertani besorolása, a különböző forrásból származó, de azonos biológiai funkciót ellátó proteinek szerkezetének összehasonlítása, a fehérje jelenlétének vagy hiányának igazolása egészséges, illetve patológiai körülmények között. Célja – a korszerű kémiai analitika eszközeit felhasználva – az igen kis mennyiségben, illetve koncentrációban jelen lévő fehérjék kimutatása, azonosítása, szerkezetük meghatározása; a fehérjékkel kapcsolatos ismeretek taxonómiai, szerkezeti vagy funkcionális rendszerezése, a kísérleti adatok megerősítése (validálás), valamint az így képződő adathalmazok (adatbázisok) információ tartalmának elemzése.”

egészségi állapotát életfunkcióit és reagálhatnak tudatmódosító szerek hatásaira (pl.: mentesítve a hatásukat) stb. Ezzel szemben a „mindenütt jelenlévő” megfigyelő rendszerek által szolgáltatott adatok (információ) ellenőrzés nélküli felhasználása, okozhat olyan érzéseket, – mint pl.: az idegenek általi megfigyelés érzete – az egyén pszichológiai állapotának romlásához, stresszhez vezethet [1, 2, 9, 10, 11].

Nanorobotok alkalmazásának célja emberi szervezetbe (katonák testébe) beültetve, hogy felügyelje, monitorozza a katonák egészségügyi, és stressz állapotát, enyhítse/váltsa ki a terápiás gyógyszerek, hormonok, stb., szükségességét. Számos vizionálható koncepció már előrejelzi a beültetett rendszereket, amelyek kezdetben bio-medikális analízisre és reakciókra lesznek képesek [9]. A katonai kutatások célja, például:

- Fejlesszék a katonák orvosi ellátását, a sebesültekről való gondoskodást.
- Hozzanak létre:
 - olyan orvosi robotokat, amelyek az emberi szervezeten belül harcolnak a megbetegedések ellen, (pl.: eltávolítják, kicserélik a hibás DNS-t) kezelik a sérült személyt.
 - mesterséges vörösvérsejteket, amelyek növelik az emberi teljesítő képességet, de akár okozhatják az emberi szervezet túlmelegedését, így a biológiai összeomlását.
- Az egészségügyi drónok legyenek képesek ellenőrizni az emberi test állapotát, a sérülések okozta hatásokat.
- Az „okos” anyagok gyorsítsák meg a sebek gyógyulását, az idegekhez és az agyhoz kapcsolódva pedig csökkentsék a reakció időt.

Az emberi éberség növelése érdekében kis méretű receptor-fokozókat készíthetnek, vagy krónikus kifáradási szindrómát, gyengeséget, idegi károsodást, illetve fertőzéseket idézhetnek elő, amelyek halálhoz vezethetnek. Egy másik lehetőség elektródákat kapcsolni érzékelő szervekhez, idegekhez (pl.: motoros idegekhez), izmokhoz vagy az agykéreg állományához, például így csökkenthetik a pilóták reakció idejét stb. [1, 2].

Együtt a genetikában meglévő előre lépésekkel az NT lehetőséget nyújthat vegyi/biológiai fegyverek létrehozásához, (a különbség homályossá válhat), amelyek szelektív hatással vannak egyes gén mintákra, szerkezetekre vagy fehérjékre. A proteomikai kutatások eredményeit felhasználva megváltoztathatóvá válhat az egyén természete, személyisége, vagy alakja/felépítése, illetve a genetikai jellemzők meghatározása után és beprogramozásával irányított biológiai járványt törhet ki, amely a kiválasztott csoport megsemmisítésére lehet alkalmas. Az ilyen fegyverek egyének, etnikai csoportok, vagy állat-, növényfajták ellen egyaránt bevethető. Az elkövetkező évtizedekben a biológiai hadviselés sokkal koncentráltabb, kontroláltabb és hatásosabb lehet. A vegyi és biológiai anyagok hatékonyabban lesznek bejuttathatók, szétterjeszthetők az emberi, állati vagy növényi szervezetekbe és a sejtekbe. Az új anyagok megjelenésével elhárulnak a korábbi, jelenlegi működési nehézségek (pl.: tárolás).

A nanoméretű biológiai fegyvereket belélegezve, lenyelve vagy egyéb úton (pl.: bőrre kerülve) az emberi szervezetébe juttatva rövid és hosszú idejű hatásokat okozhatnak a harcanyaggal kapcsolatba került áldozatoknak, illetve a környezetnek. Másrésről az NT, biztosítja, hogy nagyobb érzékenységgű érzékelőkkel működő felderítő eszközöket használhassanak kémiai, biológiai harcanyagok felderítéséhez, megkötéséhez, semlegesítéséhez/mentesítéséhez, vagy akár védőfelszerelések létrehozásához. De a módszer arra is alkalmazható, hogy korlátozza, vagy megelőzze a biológiai, vegyi támadásokat,

károkozásokat a saját erőben, például védőoltások alkalmazásával, illetve, hogy a harci-, és az ellenanyagok is könnyebben juthassanak be az emberi szervezetekbe, sejtekbe [1][2].

Várhatóan nincs minőségi változás a nukleáris fegyverek vonatkozásában. A nanotechnológiával készült atomfegyverek lehet, hogy kisebb méretűek, vagy biztonságosabban tárolhatók (NT alapú tároló kapszulák, amelyek biztonságosabban zárják magukba az aktív, veszélyes anyagokat) lesznek, de a fegyver alapvető tulajdonságait nem fogják megváltoztatni (uránium, plutónium kritikus tömegének követelménye stb.) [2][9].

Az alkalmazási területek sorából „természetesen” nem maradhatnak ki az űrbeli alkalmazások sem. A műholdak és hordozóik, indító járműveik válhatnak kisebbé, és elkészítésük olcsóbbá, amelynek következtében felhasználásuk valószínűbbé válik arra, hogy:

- rajokban alkalmazva megfigyeljék a Földet (információgyűjtés), vagy műholdakat támadjanak (pl.: találka és dokkolás utáni manipulálással);
- kinetikus energiájú űrfegyverként. pl.: kis műholdak megrombolhatnak, vagy elpusztíthatnak más műholdakat közvetlen nagy sebességű ütközéssel) [1][2][10];

3. KELL, HOGY LEGYEN NEKÜNK IS ...?!

Ahogy a technológia fejlődik, a drónok gyorsan veszik át azokat a feladatokat, amelyek megoldása közvetlen emberi erővel működtetett eszközöké voltak, illetve segítenek az emberekre nézve túl nagy kockázatokkal járó feladatok elvégzésében, illetve a harcképesség fenntartásában, fejlesztésében. A közvetlen emberi felügyelettel, irányítással működő bombákat hatástalanító robotoktól a mini tengeralattjáróig, a hajófedélzetről indítható felderítő helikopterektől a nagy magasságban tevékenykedő precíziós támadásokat végrehajtó légi eszközökig felhasználásuk napjainkban már jellemző.

A nanotechnológiai fejlesztések jelenlegi helyzetéről felvillantott néhány alkalmazási lehetőség is alkalmas arra, hogy észrevegyük hova vezethet a jövőben a mérnöki kreativitás és tudás. Túl a műszaki/technológiai akadályokon felvillantanak egy sor működéssel, alkalmazással kapcsolatos kérdést is, mint például:

- Destabilizálhatják-e a katonai egyensúlyt, figyelmeztetve, netalántán ösztönözve, háborúk kitörésére? Milyen hatással lesznek a katonai stabilitásra a technológiai innovációból létrejövő fegyverkezési versenyek (kényszer a megelőző támadás, az olcsó mikro-, nanorendszerek tömeges alkalmazásának képességére, a gyors akciókra való alkalmasságra stb.)?
- Valós-e a veszély, hogy a nagy pontosságú feladat végrehajtásra tervezett és épített eszközök (precíziós⁴ fegyverek), vagy akár az NBC, tömegpusztító fegyverek⁵ is terroristák, illetve lator államok (Rogue States) kezébe kerül? (Ebbe a fenyegetésbe egyaránt beleértve, a precíz, akár egy személy ellen irányuló támadást és a tömegpusztító fegyverek széles arzenáljával végrehajtott válogatás nélküli célpontokra irányuló terror akciókat is.)
- Van-e garancia van arra, hogy a hadviselő felek, ellenfelek magukra nézve bármilyen törvényt, szabályt kötelező érvényűnek fogadjanak el?

⁴ Maj. Jack Sine: Defining the „Precision Weapon” in Effects-Based Terms, Air & Space Power Journal - Spring 2006 (online), url: <http://www.airpower.maxwell.af.mil/airchronicles/apj/apj06/spr06/sine.html> (2016.04.07)

⁵ Nuclear, Biological, Chemical – Nukleáris, Biológiai, Vegyi tömegpusztító fegyverek

- Ki, vagy mi lesz aki/ami felügyeli, szabályozza a „harctér mindennapi rutinját” a RoE⁶-t? (agresszió, erkölcsi szankciók, olcsó hódítás, ...)
- Elképzelhető-e, hogy a döntéseket a végrehajtók hozzák?
- A Nanoeszközök eltávolítják/tántorítják a háborúk megvívásától az ellenérdekelt feleket, a hadviselést kevésbé költségessé téve, vagy növelik a fegyveres konfliktusok kitörésének valószínűségét?
- stb.

Az olyan technológiák, mint például a lézer, a mikrohullám, szonikus hullámok, a mikrobiológia, a génkutatás stb. célja általánosságban az, hogy javítsák az emberek életminőségét, egészségét, de épp az ellenkezőjére is felhasználhatók. Tulajdonosaik, telepítésük, alkalmazásuk, hadrendbe állításuk nem lesz minden részletében ismert kontrolált, vagy tervezett. Jelenleg általában igaz, hogy ezek a technológiák nem hasznosíthatók máshol, mint jól felszerelt laboratóriumokban. Továbbá ezeknek a technológiáknak a használatához speciális eszközök, berendezések, és/vagy szokatlanul nagy mennyiségű elektromos energia szükséges. Az is igaz, hogy ezeknek a fejlett technológiának a fegyverre alakítása és alkalmazása megkövetel megfelelő fejlettségű ipari és tudásbeli hátteret, amely napjainkban csak korlátozottan van jelen [14].

Ennek ellenére úgy gondoljuk, hogy a katonai stabilitás csökkenését fogják előidézni az egyre kisebb és kisebb méretű fegyveres autonóm rendszerek növekvő alkalmazási lehetősége, bevetetősége. A kialakuló fegyverkezési verseny és elterjedésük okán számítani (tartani) lehet az egyre szélesedő megjelenésüktől katonai célú alkalmazásokban, akár terroristák által használtan is.

Mindezek ismeretében a „kell, hogy legyen nekünk is” elv érvényesülésével kell számolniuk a jövő katonai műveleteket tervező és azokat végrehajtó szakembereinek, függetlenül a harctér mely dimenziójáról is beszélünk (valós, vagy virtuális tér, legyen az rakétavédelmi rendszer, vagy „cyber” védelmi képesség stb.).

Fő szereplővé válik a kapcsolódó oktatás, képzés, kiképzés, amelynek szerves részévé kell válnia a katonai szolgálatnak. Nem mi döntjük el, hogy az ellenfél milyen eszközökkel, milyen stratégiával, milyen felkészültséggel, kiképzettséggel rendelkezik, de a saját rendszerünk tervezése, kiépítése, működtetése, nem utolsósorban katonáink felkészítése a hadviselés ezen formájára a saját felelősségünk. A képzések fejlesztésével olyan lehetőségeket és képességeket kell adni a döntéshozók kezébe, amellyel jól átgondolt és felelősségteljes döntéseket tudnak hozni. Legyen számukra világos, hogy a jövő nem csak egy jelenlegi probléma kezelésének a helye, hanem a tudásuk fejlesztésének lehetőségét is magába foglaló felelősség [3, 4, 7, 8, 9, 15].

4. ÖSSZEFOGLALÁS

2004 óta az amerikai haderők minden haderő-fejlesztési terve egyértelmű teszi, azon szándékát, hogy kifejleszt és alkalmaz harctéri autonóm robotokat. Ezen a tervek megvalósítása az embert, akár ki is iktathatja a döntési–végrehajtási folyamatból. Ezek a drónok szükségszerűen talán képesek lesznek autonóm döntésekre és akciókra. Feltételezhető olyan felhasználásuk is, amelyek a felderítéstől a támadásig tartalmazznak mindent emberi beavatkozás nélkül [12]. A megfelelő hitelesség, pontosság mellett fontos tulajdonsággá válhat a tanulási képességük (szoftver és hardver rendszerük fejlettsége által). Annak ellenére, hogy a technológia fejlettségük nem is éri

⁶ Rules of Engagement, a művelet-végrehajtás szabályai Varga Attila Ferenc: Robottechnológia és erőalkalmazás, Hadmérnök, VIII. évfolyam 2. sz. 2013, 54. oldal

el az emberi szintet a hiányosságai kompenzálhatók a manőverezhetőség, előreprogramozhatóság, önálló adatfeldolgozás és egyéb tulajdonságaikkal, képességeikkel.

Jövőben a háború az élet kioltására specializálódott olajozottan működő rendszerré válhat. A műveleti sebesség növekedése egyértelműen magával hozza, hogy a megtámadott erőnek csökken a reagálásra az ideje. Minden kontrolált és megfigyelt lesz, a helyzet megköveteli a gyors, pontos döntések meghozatalát és precíz, hatékony végrehajtását. A változás az autonóm háború irányába olyan okok miatt is bekövetkezhet, mint, például: (1) a gépek olcsóbbak az emberi élnél; (2) az információ feldolgozó képességük gyorsabb, kapacitásuk nagyobb; (3) a reakció idejük rövidebb; (4) nem szenvednek a környezeti hatásoktól; fáradhatatlanok; (5) monotonitás tűrésük végtelen; (6) nem éreznek félelmet; (7) stb. De ne felejtjük el, nem energia függetlenek és úgy gondoljuk, hogy jelenleg számos olyan kérdés létezik (az előzőekben leírtakon túl), amelyeknek nem csak a választát, hanem magát a kérdést sem ismerjük.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] *Nanotechnology: Future Military Environmental Health Considerations* (online), url: <http://www.millennium-project.org/millennium/nanotechnology-military.pdf> (2016. 02.06)
- [2] **JÜRGEN A.:** *Military Uses of Nanotechnology: Perspectives and Concerns* (online), url: http://wiki.phy.queensu.ca/shughes/images/5/55/Military_Nano.pdf (2016. 02.06)
- [3] **HITOSHI NASU:** „Killer robots” are a reality in future battlefields, (online), url: <http://www.abc.net.au/news/2015-10-26/nasu-'killer-robots'-are-a-reality-in-future-battlefields/6884250> (2016. 02.06)
- [4] **MERRILL B.:** *Is the Future of War Autonomous?* (online), url: <http://www.makeuseof.com/tag/future-war-autonomous/> (2016. 02.06)
- [5] **BÉKÉSI B., SZEGEDI P.:** Gondolatok a jövőbeni fegyverek alkalmazási lehetőségeiről, XIV. Természet-, Műszaki- és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia, Nyugat-magyarországi Egyetem, Szombathely, 2015. pp. 183-188. (ISBN: 978-963-359-053-9)
- [6] **BÉKÉSI B., SZEGEDI P.:** *Napjaink fegyverrendszer fejlesztési trendjei*, ECONOMICA (Szolnok) 2015 (4/2. szám) pp. 158-168.
- [7] **VARGA A. F.:** *Robottechnológia és erőalkalmazás*, Hadmérnök, VIII. évfolyam, 2. szám, 2013, (online), url: http://www.hadmernok.hu/132_06_vargaaf.pdf, (2016.04.08)
- [8] **SZENES Z.:** *Tudomány és korszerű haderő*, Magyar Tudomány, A Magyar Tudományos Akadémia folyóirata, 2015/2, 194-201. oldal, <http://www.matud.iif.hu/2015-02.pdf>, (2016.04.08)
- [9] **JÜRGEN A., MARK A. GUBRUD:** *Risks from military uses of nanotechnology - the need for technology assessment and preventive control*, (online), url: https://e3.physik.tu-dortmund.de/p&d/pubs/riskmilnt_lecce.pdf (2016.04.08)
- [10] **JÜRGEN A.:** *Nanotechnology and preventive arms control* (online), url: <http://www.bundesstiftung-friedensforschung.de/images/pdf/forschung/berichtaltmann.pdf> (2016.04.08)
- [11] *Nanotechnology in the Military* (online), url: <http://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=3028> (2016.04.08)
- [12] **RONAN DOARÉ, DIDIER DANET, JEAN-PAUL HANON AND GÉRARD DE BOISBOISSEL GENERAL EDITORS:** *Robots on The Battlefield*. Contemporary Perspectives and Implications for the Future, Kansas, 2014. (online), url: <http://usacac.army.mil/CAC2/cgsc/carl/download/csipubs/FrenchRobots.pdf>, (2016.04.08)
- [13] **HUDECZ F.:** *Proteomika – az új kihívás* (online), url: http://www.elitmed.hu/upload/pdf/proteomika_az_uj_kihivas-2346.pdf (2016.03.29)

- [14] **EDWARD D. MARTIN:** *Characteristics of the Future Battlefield and Deployment;* (online), url: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK225065/> (2016.03.29)
- [15] **MAJ. JACK SINE:** *Defining the “Precision Weapon” in Effects-Based Terms,* Air & Space Power Journal - Spring 2006 (online), url: <http://www.airpower.maxwell.af.mil/airchronicles/apj/apj06/spr06/sine.html> (2016.04.07)

VÍZREKESZTŐ RÉTEGEKBŐL TÖRTÉNŐ SZENNYEZŐANYAG VISSZAOLDÓDÁS JELENSÉGÉNEK VIZSGÁLATA DKS- PERMEABIMÉTERREL

ANALYSING THE PHENOMENA OF BACK DIFFUSION OF CONTAMINANTS FROM AQUITARD LAYERS WITH DKS PERMEABIMETER

**SZÉKELY István¹, KOLENCSIKNÉ Tóth Andrea², TÓTH Viktória³,
SZÚCS Péter⁴, MADARÁSZ Tamás⁵**

¹PhD hallgató, ² tanársegéd, ³MSc hallgató, ⁴ egyetemi tanár, ⁵ egyetemi docens

^{1,4} MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport, ^{2,3,5} Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar
Környezetgazdálkodási Intézet

szekely880411@gmail.com, koletoth.andi@gmail.com, viktoriatoh0301@gmail.com, hgszucs@uni-miskolc.hu,
hgmt@uni-miskolc.hu

Kivonat: Felszín alatti vízszennyezések kárelhárítása egyre fontosabb feladattá vált az ivóvíz készleteink védelme érdekében. Hazánkban azonban az elsődlegesen elterjedt kármentesítési módszer a „pump & treat” (szivattyúzás és tisztítás) technológia, mely során kutak segítségével távolítják el a vízvezető rétegekből a szennyezőanyagokat, majd a kitermelt víz kezelése után visszasajtolják azt. A több évtizedes felszín alatti szennyeződések során a heterogén felépítésű rendszerekben a vízrekesztő, agyagos-iszapos rétegek is telítődnek a szennyezőanyagokkal. Annak érdekében, hogy a kevésbé transzmisszív rétegből visszadiffundáló folyamat jelenségét jobban megértsük és a befolyásoló paramétereket meg tudjuk határozni, egy laboratóriumi mérésorozat került végrehajtásra a DKS- permeabiméter elnevezésű tesztcella segítségével.

Kulcsszavak: DKS-permeabiméter, rediffúzió, kármentesítés, szénhidrogén szennyeződés

Abstract: The site remediation in case of groundwater contamination has become increasingly important to protect drinking water supplies. During the decades of pollution in a heterogeneous system the clay and silt layers can be saturated by the contaminants. After a pump & treat remediation process the contaminants diffuse back from the aquitard to the clean or almost clean aquifer because of concentration gradient between the layers causing long-term contamination. To understand better the phenomena of back diffusion and to define the affecting parameters, a series of laboratory measurements were performed on a test device, called DKS-permeameter.

Keywords: DKS- permeabiméter, back diffusion, remediation, hydrocarbon contamination

1. BEVEZETÉS

Napjainkban a felszín alatti vízszennyezések kárelhárítása egyre fontosabb feladattá vált az ivóvíz készleteink védelme érdekében. Egyre több és újabb technológiát dolgoznak ki az eredményesség érdekében, de a jobb hatásfok eléréshez elengedhetetlen a földtani közeg és a szennyezőanyagok transzportfolyamatainak kellő ismerete is. Jelen tanulmányban egy eddig kevésbé kutatott, ám a szennyezett területek szanálása során gyakran előforduló jelenséggel, a rediffúzió folyamatának laboratóriumi, illetve szoftveres szimulációjának vizsgálatával foglalkoztunk.

A szénhidrogénnel szennyezett területek megtisztítására hazánkban legelterjedtebb műszaki beavatkozás a „pump & treat” technológia, amely során szivattyúzással távolítják el a vízvezető rétegekből a szennyezőanyagokat, majd a megtisztított vizet visszasajtolják a rétegbe. A több évtizedes felszín alatti szennyeződések során a heterogén felépítésű rendszerekben a vízrekesztő, agyagos-iszapos rétegek is elszennyeződnek valamilyen

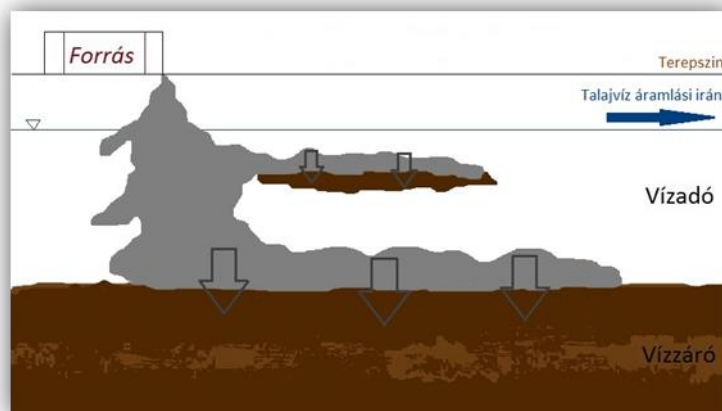
mértékig ez idő alatt. Az ilyen típusú műszaki beavatkozások során a vízrekesztő rétegben felhalmozódott szennyezőanyag hátramarad, majd a kármentesítés végeztével a koncentráció gradiens hatására visszadiffundál a már korábban megtisztított rétegbe, gyakran újra jelentős mértékű szennyezést okozva ezzel.

2. A REDIFFÚZIÓ JELENSÉGE

A diffúziós szerepe a szennyezőanyagok földtani közegben történő terjedése során már régóta ismert paraméter. A nagyobb áteresztő képességű rétegekből a nagyságrendekkel kisebb áteresztő képességű zónába diffúzió útján kerül be elsősorban a szennyezőanyag. Ezt a jelenséget a külföldi szakirodalom "forward diffusion" néven használja, ami a szennyezőanyag beoldódását, bediffundálását jelenti az alacsonyabb permeabilitású rétegbe.

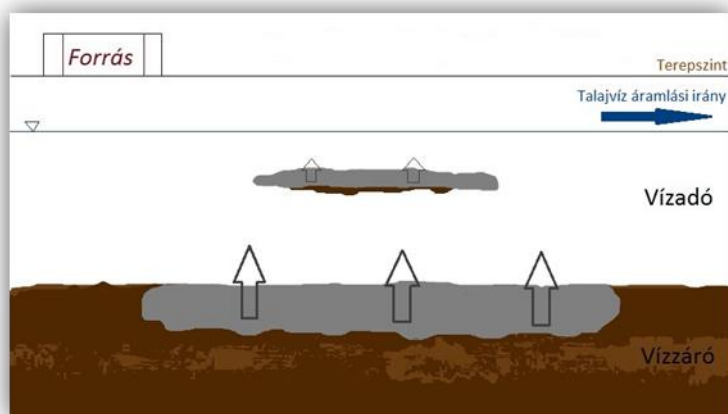
Ennek a folyamatnak az ellenkezője játszódik le a rediffúzió során ("back diffusion" vagy "matrix diffusion"), amikor a szennyezett terület megtisztítását követően a koncentráció gradiens iránya megfordul és a kisebb áteresztő képességű zónákból indul meg a szennyezőanyag áramlása a nagyobb áteresztő képességű zónák felé.

A szennyezett területek esetében ezt a folyamatot 3 különböző szakaszra oszthatjuk fel, amit az alábbi ábrák is szemléltetnek. Az 1. szakaszban (1. ábra) a forrásból kilépő szennyezőanyag bekerülve a földtani közegbe először a porózus zónába jut, majd elérve a kisebb permeabilitású zónát, a koncentráció gradiens különbség hatására bediffundál a vízzáró rétegbe és felhalmozódik. [1, 2, 3]



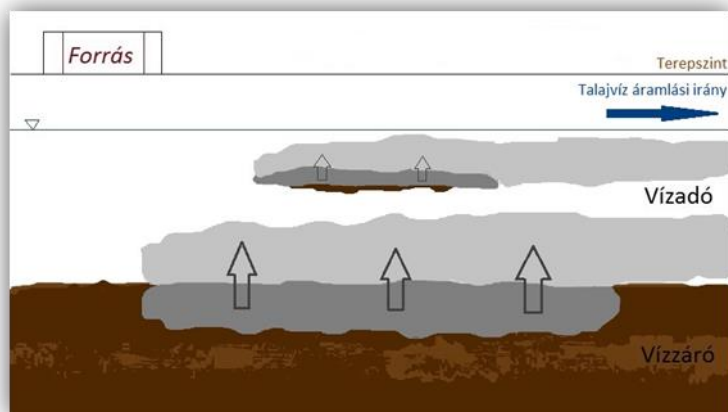
1. ábra. A forrásból kikerült szennyezőanyag beoldódása

A 2. ábra a műszaki beavatkozás utáni állapotokat szemlélteti, amikor is már a porózus réteg megtisztítása befejeződött és a koncentráció gradiens iránya megfordult, azaz a kis áteresztő képességű zónából a nagyobb áteresztő képességű zónába történik a szennyezőanyag áramlása.



2. ábra. A szennyeződés rediffúziója

A 3. szakaszban a rediffúzió hatására a porózus rétegben a szennyező anyag koncentrációja egyre magasabb értéket ér el, gyakran meghaladva a területre megállapított D kármentesítési célértéket. A felszín alatti víz áramlásának köszönhetően pedig a szennyező csóva elmozdul, ezáltal fennáll a veszélye, hogy forrásterülettől távolabbi területek is elszennyeződnek. [4]



3. ábra. A vissza diffundált csóva terjedése

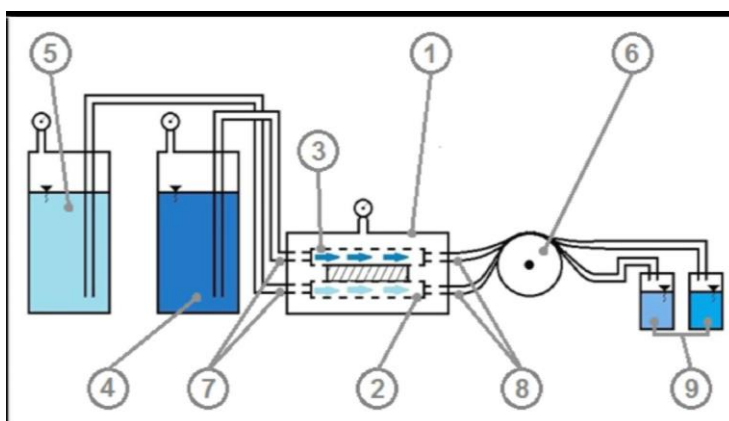
3. DKS- PERMEABIMÉTER

A DKS- permeabiméter egy olyan kísérleti tesztcella, amely anyagtranszport folyamatok, mint diffúzió, advekción és szorpción meghatározására szolgál. Az eszköz előnye, hogy laboratóriumi körülmények között ezek a folyamatok nagy pontossággal mérhetőek. A cellát a Ruhr Egyetem Talajmechanikai Tanszéke fejlesztette ki azzal a céllal, hogy hulladéklerakók aljzatszigetelő rendszerének szennyezőanyag visszatartó képességét vizsgálja.



4. ábra. DKS- permeabiméter

A DKS- permeabiméter sematikus ábráját és működését az 5. ábra mutatja be. A cella közepén egy 80x80x20 mm-es mintatároló elem található, e felett és alatt egy-egy áramlási lemez helyezkedik el. A vizsgálni kívánt mintát a középső elembe beépítve és a két áramlási lemezt hozzá kapcsolva, a cellát egy perisztaltikus pumpához csatlakoztatjuk, melynek segítségével a minta felületén áramló folyadék sebessége szabályozható. A kivitelezésnek köszönhetően akár a két ágon eltérő tulajdonságú folyadékok áramoltathatóak, a kimeneti oldalakon pedig tetszőlegesen mintázhatóak. [5, 6]



5. ábra A DKS- permeabiméter sematikus ábrája (1. DKS- permeabiméter 2. Alsó áramlási lemez 3. Felső áramlási lemez 4.-5. Tiszta oldat (desztillált víz) tartály 6. Perisztaltikus pumpa 7. Alsó és felső bemeneti ágak 8. Alsó és felső kimeneti ágak 9. Mintavevő tartályok

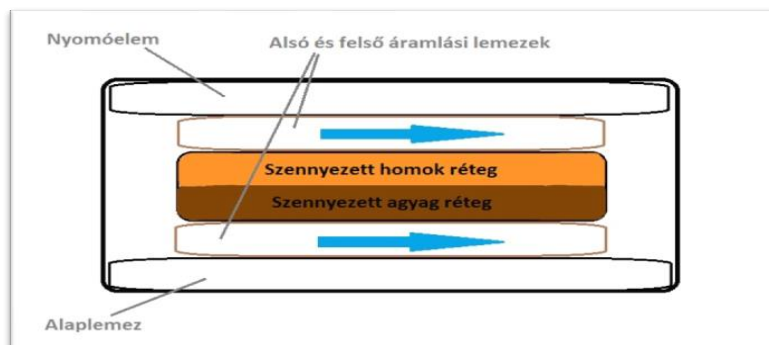
4. LABORATÓRIUMI MÉRÉSEK

A laboratóriumi mérések során a kutatócsoport célja az volt, hogy egy olyan megbízható mérési elrendezést dolgozzon ki, amely segítségével a rediffúzió folyamata jól szimulálható, valamint a jelenséget befolyásoló paraméterek megfelelő pontossággal mérhetőek legyenek.

A tesztmérések során két darab mérési elrendezés került kialakításra, valamint két eltérő tulajdonságú szennyezőanyaggal kezelt minta került beépítésre a cellába. A vizsgálatok során a kimeneti ágakon, folyamatos mintavételezés történt meghatározott időközönként. A víz mintákon kémiai oxigén igény meghatározását és folyadékromatográfiás elemzést végeztünk a szennyezőanyagok koncentráció változásának megfigyelésére.

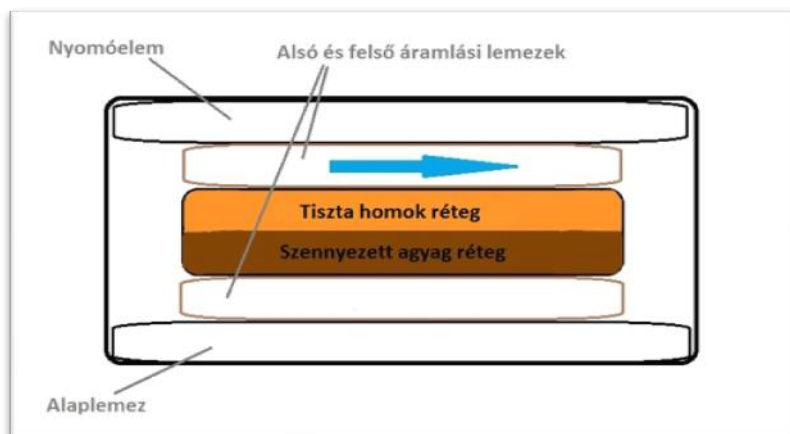
4.1. Laboratóriumi mérések kivitelezése

Az első mérési elrendezés alkalmával (6. ábra) egy gázolajjal szennyezett agyag és homok minta került beépítésre a cellába. Ennél az elrendezésnél mind az alsó mind a felső áramlási lemezen desztillált vizet vezetünk keresztül és 600cm^3 -enként mintavételezést hajtottunk végre, amelyet kémiai oxigénigény elemzésnek vetettünk alá. A vizsgálat során kifolyó áganként összesen 26 darab mintavételre került sor, amely összességében 2 hónapnyi folyamatos üzemeltetést tett indokolttá.



6. ábra. Az első mérési elrendezés

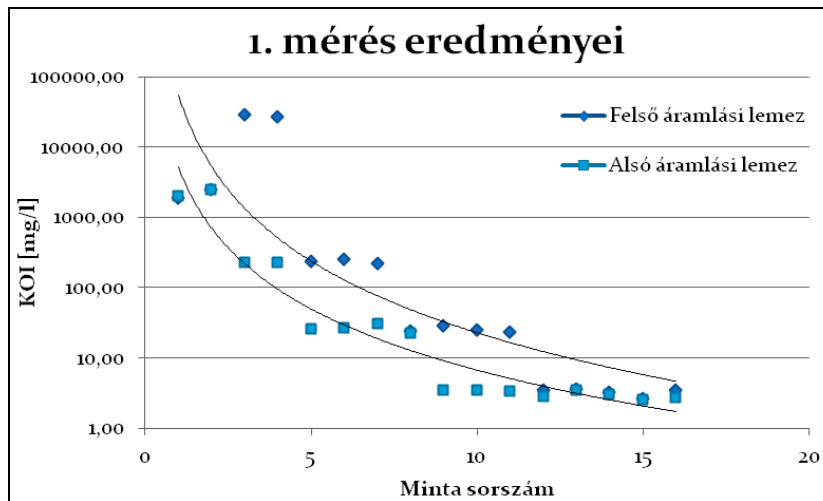
A második mérési elrendezés alkalmával kisebb változtatásokat eszközöltünk. Ebben az esetben csak a felső áramlási lemezt üzemeltettük, valamint a mintatároló elembe dimetil-szulfoxiddal (DMSO) szennyezett agyag és tiszta homok került beépítésre. A felső áramlási lemez kifolyó ágán 1000cm^3 -enként vettünk vízmintát, amit ismételtén kémiai oxigén igény elemzésnek vetettünk alá, valamint annak érdekében, hogy ne csak közelítőleg tudjuk a szennyezőanyag mennyiségének változását nyomon követni, folyadékkromatográfias méréseket is végrehajtottunk a pontos koncentráció meghatározása érdekében.



7. ábra A második mérési elrendezés

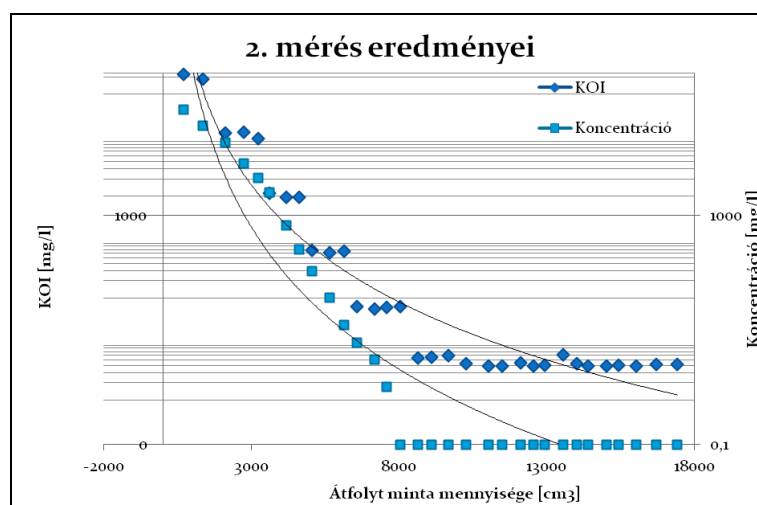
4.2. Mérési eredmények

A gázolajjal szennyezett mintán végzett vizsgálat eredményeit a 8. ábra szemlélteti. Az ábrán jól látható, hogy a kezdeti magas KOI értékek gyorsan csökkennek és a 10. mintavételtől, ami 6 liter átfolyt mennyiséget jelent, egy állandó értéket vettek fel, amely a későbbiekben már nem változott.



8. ábra Gázolajjal végzett rediffúziós vizsgálat eredménye

A két áramlási lemez között mért KOI érték különbsége abból adódott, hogy a felső áramlási lemezben található homok mintában nagyobb mértékben volt jelen a gázolaj, mint az alatta található agyagban. A mérés viszont jól mutatta, hogy a kezdeti magas koncentráció gradiens hatására egy gyors szennyezőanyag kiáramlás volt megfigyelhető a szennyezett mintatestből. A gázolajjal végzett kísérlet tapasztalatait követően, a második mérési sorozatnál, már a fentebb említett módosításokat végrehajtva végeztük el a vizsgálatokat, melynek eredményeit a 9. ábra szemlélteti.



9. ábra. DMSO- val kezelt mintán végzett rediffúziós vizsgálat

A kapott eredmények időbeli alakulása hasonló volt a korábbi mérés során tapasztaltakkal.

Itt is megfigyelhető volt egy gyors koncentráció csökkenés, amely nagyon hamar elérte a tiszta állapotot jellemző értékeket. A vízkémiai elemzéseket ebben az esetben a KOI mérések mellett folyadékkromatográfiás vizsgálattal is kiegészítettük, ami egyben igazolta, hogy a kémiai oxigénigény alkalmazása jól követi a szennyezők mennyiségének változását, illetve így a pontos koncentráció értékeket is meg tudtuk határozni.

5. MATRIX DIFFUSION TOOLKIT

A laboratóriumi vizsgálatok mellett egy számítógépes szoftver a Matrix Diffusion Toolkit segítségével is szimuláltunk olyan jellegű problémákat, amelyek a hosszabb idejű szennyezésnek kitett területekre jellemzőek. Célunk itt is a rediffúzió folyamatának jobb megismerése, időbeli lefolyásának vizsgálata és a befolyásoló paraméterek meghatározása volt.

Maga a szoftver ingyenesen elérhető és hasonló jellegű modellezésekre ad lehetőséget, egyszerű kezelési felülettel (10. ábra) és nagy mennyiségű háttér adatbázissal rendelkezik számos szennyezőanyaggal kapcsolatban. A program alkalmazása során a két beépített modul közül a DSM modult választottuk, amely ki tudja számítani az alacsony permeabilitású réteg oldott/szorbeált koncentrációját. Feltételez egy forrást a transzmisszív rétegben, amelyből a szennyezők beoldódnak az alacsony áteresztő képességű rétegbe még a beszivárgás periódusában a forrás megszüntetése előtt.

A modul az alábbi feltételezésekkel él:

- ❖ A függőleges sík forrása az $x=0$ -nál van. Innen függőleges síkban a koncentráció értékek exponenciálisan csökkennek függőleges irányban az áteresztő réteg aljától.
- ❖ Egy beszivárgási időszak van, ahol egy konstans szennyezőanyag koncentráció van az áteresztő rétegben, ami hajtja a szennyezőt az alacsony áteresztőképességű rétegbe.
- ❖ Egy kioldódási periódus van, amikor feltételezzük, hogy az áteresztő rétegben a koncentráció nulla.
- ❖ Egyik rétegben sem feltételezünk bomlást.
- ❖ Mindkét réteg egységes, homogén, izotróp és végtelen a Z irányban (az áramlási irányra merőlegesen).
- ❖ 1 dimenziós advekción transzport folyamat zajlik az áteresztő rétegben, a réteghatárokkal párhuzamosan, melyet transzverzális diszperzió és diffúzió kísér.
- ❖ Hosszirányú diszperzió nincs az áteresztő rétegben.
- ❖ 1 dimenziós transzverzális diffúziós folyamat van az alacsony permeabilitású rétegben. [7]

A modul segítségével fiktív szennyezési scénáriókat feltételeztünk és vizsgáltuk az egyes paraméterek hatását a rediffúzió folyamatára. A kapott eredmények értelmezése során nem a konkrét értékek bemutatását, hanem az ábrázolt görbék lefutásából, távolságából, alakjából akartunk általános következtetéseket levonni.

Fix adatok		
forrásterület hossza	L	50 m
forrásterület szélessége	W	50 m
vertikális hidrodinamikai diszperzitás	α	0,001 m
szennyezőanyag	típusa	TCE
effektív porozitás	$n_{e(\text{homok})}$	0,2
teljes porozitás	$n'(\text{agyag})$	0,5
mélység a vízrekesztő rétegben	z	3 m
szennyező forrás megléte		1950-2000 év

1. táblázat. A modellezés során fixen alkalmazott paraméterek

A szimulált fiktív scenárió egyes paramétereit fixnek tekintettük és csak egyes elemeket változtattunk, hogy megfigyelhessük az egyes paraméterek miként befolyásolják a rediffúzió folyamatát. A modell adatait az 1. és 2. táblázat mutatja be. A forrásterület szélessége (W) és hossza (L) egy 50 x 50 méteres területet ad, melyen a választott, igen gyakori előfordulású TCE (triklóretilén) szennyezőanyagot választottuk ki a programban található listából. A kétrétegű modellbe homok és agyag rétegek kerültek beállításra, a porozitás értékeit valamint a térfogatsűrűségeket is a Toolkit segítségével állandónak hagytuk. A vízrekesztő rétegben vertikálisan $z=3\text{m}$ -t választottunk, a program is automatikusan ezt az értéket adja. Ettől mélyebbre Chapman és Parker (2005) vizsgálatai és mintavételezései alapján már nem tud a szennyezőanyag bediffundálni az alacsony permeabilitású rétegbe. [1]

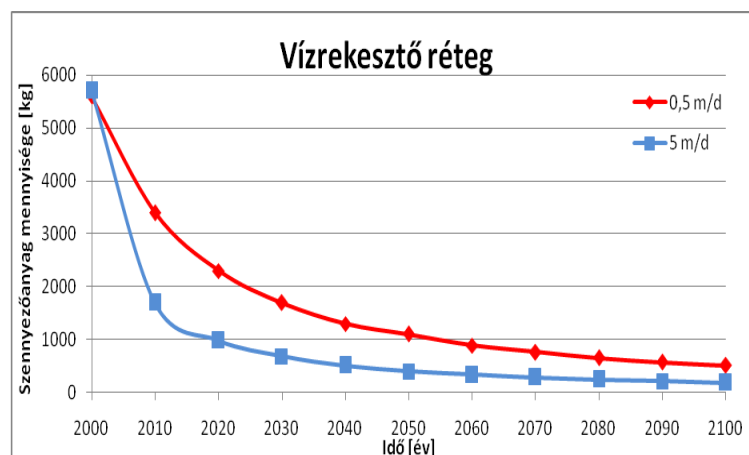
Változtatott adatok		
áteresztő réteg áramlási sebessége	V_{Darcy}	0,05 m/d
		0,5 m/d
		5 m/d
forrásterület koncentrációja	C_0	500 mg/l
		5 mg/l
molekuláris diffúziós együttható	D_0	$10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$
		$10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$
		$10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$
rediffúzió hatásának megismerése		2000-2100 év

2. táblázat. A modellezés során változtatott adatok

A szennyezőanyag 50 éven keresztül tudott aktívan lejutni és szétterjedni az altalajban (1950-2000), majd ezután került eltávolításra vagy elszigetelésre, ami beindítja a rediffúzió folyamatát. A vertikális hidrodinamikai diszperzivitás (α_t) értékét a forrásterületen szintén állandónak hagytuk.

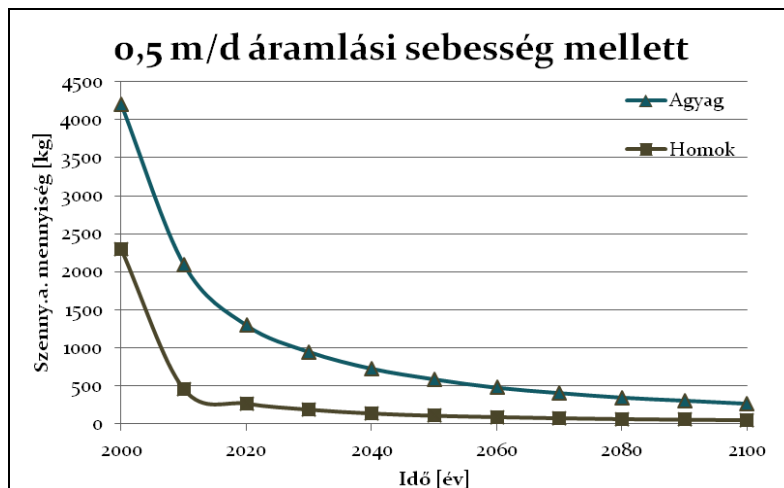
Három fő paraméter, amit változtattunk: a forrásterület koncentrációját (C_0), az áteresztő réteg áramlási sebességét (v_{Darcy}) és a diffúziós együtthatót (D_0). A három érték hatását, szerepét vizsgáltuk meg a forrás eltávolítása utáni 100 éven keresztül 2000-tól 2100-ig 10 évenkénti felosztással. A változásokat minden esetben a forrás szélétől távolodva 1, 10, 50, 100, 500 és 1000 méter távolságokban ábrázoltuk és rögzítettük a hozzájuk tartozó oldott, adszorbeált és teljes szennyezőanyag tömegét kg-ban.

A koncentrációk (C_0) értékénél 5 mg/l és 500 mg/l lett beállítva. A program segítségével csupán annyit sikerült kimutatni, hogy minél több a szennyezőanyag koncentrációja, annál nagyobb mennyiségek jelennek meg az áteresztő és a vízrekesztő rétegben. Értelemszerűen ugyanazokat az értékeket kaptuk két nagyságrenddel eltolódva, így az ebből származó adatokat nem mutatjuk be. Ettől függetlenül persze igen fontos paraméter, hisz jelentősen meghatározza, hogy mekkora szennyezőanyag mennyiségekkel állunk szemben a szennyezett terület kármentesítése során. Az áramlási sebességeket (v_{Darcy}) 5 m/d, 0,5 m/d és 0,05 m/d értékűnek választottuk.



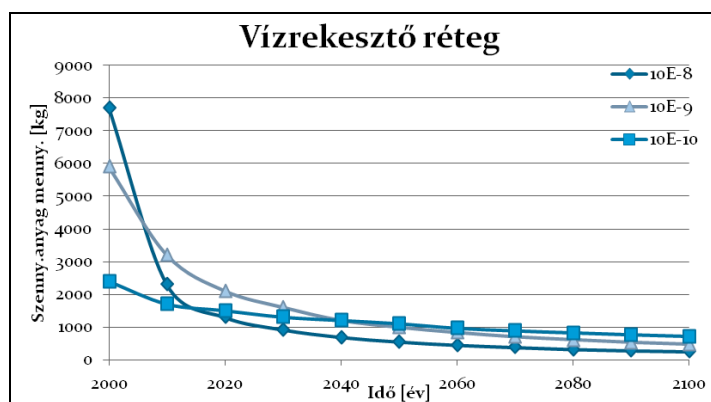
10. ábra. A vízrekesztő rétegben kialakuló koncentráció változások

A modellvizsgálatok eredményeként szembevetendő volt a talajvíz áramlási sebességének hatása a rétegekben létrejövő koncentrációváltozások tekintetében, illetve a rediffúziós folyamat sebességének lejátszódásában. A 10. ábra a vízrekesztő rétegben kialakuló koncentráció változások időbeli alakulását mutatja, a porózus rétegben két különböző áramlási sebesség felvétele mellett. A görbék értékeiből levonható az a következtetés, hogy amennyiben a porózus rétegben minél magasabb vízáramlást feltételezünk, a vízzáró rétegből annál gyorsabb történik meg a szennyezőanyag rediffúziója. Ennek oka, hogy ilyen esetekben a felvizi oldalról nagyobb mennyiségű hígító hatást biztosító vízutánpótlás érkezik, ezáltal jóval nagyobb koncentráció gradiens alakul ki a két réteg között, mint lassabb áramlási sebességek mellett.



11. ábra. A két réteg között végbemenő koncentráció kiegyenlítőds

A különböző áramlási sebességek felvétele mellett vizsgáltuk, hogy a két rétegben az időben hogyan alakulnak a szennyező mennyiségi értékei (11. ábra). Több modell lefutását követően is tapasztalható volt, hogy a réteghatáron kialakuló rediffúzió hatására a transzmisszív zónában egy folyamatos szennyezőanyag növekedés- a kevésbé transzmisszív zónában egy - csökkenés volt megfigyelhető. A rediffúzió intenzitása az idővel egyre csökkent és addig tartott, míg a két rétegben ki nem egyenlítőds a szennyeződs koncentrációja.



12. ábra. A vízrekesztő réteg diffúziós együtthatójának hatása a koncentráció változásra

Egy másik fontos paraméternek, a vízzáró réteg diffúziós együtthatójának hatását is vizsgáltuk, amely nemcsak befolyásolja, hogy mekkora mennyiségű szennyező képes a forrásból kijutva a kevésbé transzmisszív zónába bediffundálni adott idő alatt, de a folyamat megfordulását követően a rediffúzió mértékére is kihat (12. ábra).

A három kiválasztott értékekkel lefutott modellek megerősítették, hogy egyenes arányosság áll fent a rediffúzió mértéke és a diffúziós együttható értéke között, még ha ez nem is befolyásolja olyan mértékben a folyamatot, mint a porózus rétegben felvett áramlási sebesség.

6. ÖSSZEFOGLALÁS, JÖVŐBELI CÉLOK

A DKS- permeabiméter alkalmas laboratóriumi körülmények között a kevésbé transzmisszív rétegekben felhalmozódott szennyezőanyagok rediffúziós jelenségének vizsgálatára. Az eszközt célszerű lenne alkalmazni a szennyezett területek tényfeltárása során, így pontosabban megadható lenne, mekkora mértékű szennyezőanyag visszaoldódásra számíthatunk és a kármentesítési technológiát, illetve monitoring hálózatot mennyi ideig kell fenntartanunk.

A KOI mérésekkel jó közelítéssel mérhetőek voltak a szennyezőanyag mennyiségi változások, igaz nem pontos koncentráció értékeket kaptunk, de költséghatékonysága és gyors kivitelezhetősége alkalmassá teszi ilyen jellegű vizsgálatokban előzetes információ szerzésre.

A Matrix Diffusion Toolkit programmal végzett szimulációk segítségével a rediffúzió folyamatát befolyásoló paraméterek meghatározhatóak. A folyamat végbemenetelét, a vízzáró rétegbe bejutó szennyezőanyag koncentrációján kívül a porózus rétegben lévő vízáramlás sebessége és a közeg diffúziós együtthatója is befolyásolja.

A megkezdett rediffúziós vizsgálatok során további laboratóriumi mérések végrehajtását szeretnénk elvégezni, lehetőség szerint nagyobb méretű DKS- permeabiméterrel, ezáltal megnövelve a mintanagyságot és hosszabb távú megfigyelési lehetőségeket. Terveink között szerepel más szennyezők alkalmazása, valamint hosszabb idejű szennyezésnek kitett mintatestek vizsgálata, ezáltal is jobban közelítve a több évtizede elszennyezett területeken tapasztalható állapotokat.

A Matrix Diffusion Toolkit program mellett Processing Modflow környezetben történő modellezést is szeretnénk végrehajtani, összetettebb földtani felépítésű rendszerekben, valamint megvizsgálni a longitudinális diszperzió hatását a kevésbé transzmisszív zónából a transzmisszív zónába belépő szennyezőanyag csóva továbbterjedésére és annak hatását a rediffúzióra.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **CHAPMAN S.W., B. L. PARKER (2005):** *Plume persistence due to aquitard back diffusion following dense nonaqueous phase liquid source removal or isolation*, Department of Earth Sciences, University of Waterloo, Canada, Water Resources Research, vol. 41., W12411
- [2] **PARKER B., S. CHAPMAN, M. GUILBEAULT (2008):** *Plume persistence caused by back diffusion from thin clay layers in a sand aquifer following TCE source-zone hydraulic isolation*, Journal of Contaminant Hydrology, Volume 102, Issues 1-2, pages 86-104.
- [3] **YANG M., M. D. ANNABLE, J. W. JAWITZ (2015):** *Back diffusion from Thin Low Permeability Zones*, Environmental Science & Technology, 49, page: 415-422.
- [4] **MACKAY D.M., R.D. WILSON, M.P. BROWN, W.P. BALL, G. XIA, D.P. DURFEE (2000):** *A controlled field evaluation of continuous versus pulsed pump-and-treat remediation of a VOC-contaminated aquifer: Site characterization, experimental setup, and overview of results*. Journal of Contaminant Hydrology 41, no. 1, page: 81-131.
- [5] **KOLL A. (2011):** *Anwendug von DKS- Permeametern zur Untersuchung von chromkontaminiertem Boden*, Masterarbeit, Leoben
- [6] **TALPAS L. (2015):** *Szennyezőanyag terjedési mechanizmusok laboratóriumi vizsgálata DKS-permeabiméter segítségével*, Diplomaterv, Miskolci Egyetem
- [7] **FARHAT S.K., C.J. NEWELL, M.A. SEYEDABBASI, J.M. MCDADE, N.T. MAHLER, T.C. SALE, D.S. DANDY, J.J. WAHLBERG (2012):** *Matrix diffusion toolkit, User's manual, Version 1.0*, GSI Environmental Inc. Houston, Texas and Colorado State University, Fort Collins, Colorado

DUÁLIS KÉPZÉSI PROGRAMOK FEJLESZTÉSE A NYÍREGYHÁZI EGYETEMEN

DUAL EDUCATIONAL PROGRAMS AT UNIVERSITY OF NYÍREGYHÁZA

SZIGETI Ferenc¹, DEZSÓ Gergely²

¹C.Sc., tanszékvezető, főiskolai tanár, ²Ph.D., főiskolai tanár

^{1,2}Nyíregyházi Egyetem, Műszaki és Agrártudományi Intézet, Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártástechnológia Tanszék

¹szigeti.ferenc@nye.hu, ²dezso.gergely@nye.hu

Kivonat: A felsőoktatás műszaki és más gyakorlatigényes területein régóta megfogalmazott igény a versenyszférában hatékonyan alkalmazható, piacképes képzés megvalósítása. A nemzetközi tapasztalatok szerint ennek egyik alkalmas eszköze a duális képzés. A Nyíregyházi Egyetemen csaknem egy éves előkészítő munkát követően 2015 szeptemberében indult el a duális képzés a gépészmérnök szakon. Ez a folyamat érintette többek között az Egyetem képzési szerkezetét, a felvételi rendszert, a képzés egyes tartalmi és formai részeit, jelentősen átformálta a vállalati partnerekkel kialakult kapcsolatrendszert, komoly változást hozott a térség középiskolaival kiépített együttműködésekben. A duális képzés bevezetésének jelentős szerepe volt abban, hogy intézményünk 2016 januárjától egyetemenként folytathatja a munkáját. Itt bemutatjuk a duális képzés bevezetése során megszerzett legfontosabb tapasztalatainkat.

Kulcsszavak: duális képzés, felsőoktatás

Abstract: Training effectively applicable in industry and market oriented is a requirement stated from long time ago for technical and other exercise demanding fields of higher education. Dual education is one of applicable solutions for realizing this according to international experiences. Dual education in mechanical engineering started in September 2015 at University of Nyíregyháza after a year of preliminary work. This process influenced among others training structure of the institution, system of application, certain parts of education, significantly transformed our links with industrial partners, and brought a great change in our cooperation network with secondary educational institutes. Introduction of dual education played a key role in the fact that our institution can operate as a university from beginning of 2016. Our most significant experiences on introduction of dual education are presented here.

Keywords: dual education, higher education

1. BEVEZETÉS

A Nyíregyházi Egyetemen csaknem egy éves előkészítő munkát követően 2015 szeptemberében indult el a duális képzés a gépészmérnök szakon. Ez a folyamat érintette többek között az Egyetem képzési szerkezetét, a felvételi rendszert, a képzés egyes tartalmi és formai részeit, jelentősen átformálta a vállalati partnerekkel kialakult kapcsolatrendszert, komoly változást hozott a térség középiskolaival kiépített együttműködésekben. A duális képzés bevezetésének jelentős szerepe volt abban, hogy intézményünk 2016 januárjától egyetemenként folytathatja a munkáját.

A duális képzés magyarországi és nemzetközi tapasztalatai alapján kimutathatók azok a fontos eredmények, amelyek e képzési forma továbbfejlesztését és a felsőoktatásba való beépítését alátámasztják [1, 2].

Az egyik legfontosabb állítás, hogy a duális formában, a munkaadókkal együttműködésben megvalósított képzések minden szereplő számára előnyösek. Nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy ez csak megfelelően előkészített, szilárd elvi alapokra épített képzés esetén érvényes. Különös figyelmet érdemel a hallgatók kiválasztásának módszertana, a képzés

elméleti és gyakorlati tartalmának gondos összehangolása, továbbá jelentős szerepe van a folyamatban az államnak a képzést segítő jogszabályi feltételek kialakításával.

A felsőoktatási intézmények Magyarországon jellemzően sokrétű, de informális kapcsolatokkal rendelkeznek a versenyszférával. Jelentős fejlesztésekre van szükség a gazdaság és a felsőoktatás integrációja terén annak érdekében, hogy a kapcsolatrendszer intézményessé váljon, és alapját képezhesse közös projekteknek az oktatás terén is.

A magyarországi és külföldi bevált módszerek megismerése hasznos, ugyanakkor hasznosításuk adaptáció által lehetséges. Szükség van arra, hogy a magyarországi oktatási, akkreditációs viszonyokra és a gazdaság állapotára illeszkedő, saját modellek jöjjenek létre. Felsőoktatási szakemberek szerint minden egyes intézménynek a partneri körével együttműködve kell kialakítania a saját speciális duális képzését. A jogszabályi keretek betartása mellett ez érvényes lehet a képzés formai és tartalmi részeire, az anyagi feltételekre, az adatok és információk megosztására, az egyes szereplők speciális feladataira egyaránt.

Magyarországon a főváros helyzete különleges. Ezért a fővárosi és vidéki intézményekben várhatóan lényegesen eltérő lehet a hatékonyan működő duális képzés stratégiája. Tekintettel arra, hogy a duális képzés kialakításában a helyi gazdaság szereplői és feladatvállalása lényeges bemeneti tényező, figyelembe kell venni többek között a vállalatok technológiai fejlettségét, szervezetükből adódó lehetőségeiket (pl. leányvállalat vagy országos központ), innovációs készségét és lehetőségeit, munkaerőigényét, amely tényezők nagy sokszínűséget mutatnak régióként, de még településenként is.

2. ELŐZETES TAPASZTALATOK

Magyarországon a duális képzés jelen van a középfokú szakképzésben és a felsőoktatásban.

A középfokú szakképzés duális formája Magyarországon több évtizedes hagyományokkal rendelkezik. Nem számít újdonságnak az, hogy a tanulók vállalatoknál teljesítik a gyakorlati részüket, hogy szerződéses jogviszonyban állnak a partnervállalattal, és az sem, hogy tanulmányaik befejeztével a munkaerőpiaci elhelyezkedésüket is segítheti a képzés során kialakított kapcsolatrendszer. Ismert volt az a tapasztalat is, hogy az eredményes képzés érdekében jól együtt kell működnie az iskolának, a partnervállalatnak és a tanulónak. A hosszú idő óta jól bevált képzési forma mellett számos érv szól, ugyanakkor az idő magával hozott néhány keserű tapasztalatot is, amely a vállalatok visszaéléseivel, vagy a tanulók nem megfelelő hozzáállásával voltak kapcsolatosak.

A magyar felsőoktatásban a duális képzés újdonságnak számít. Nem tévesztendő össze azokkal a hosszabb-rövidebb szakmai gyakorlatokkal, tanulmányi programokkal, amelyek mindig is részei voltak a képzési programoknak.

A duális képzés lényeges vonása, hogy a pedagógiai, tartalmi tervezési folyamatától kezdve a képzés szervezéséig és megvalósításának minden mozzanatáig a duális képzésben részt vevő vállalati partner – az egyetemmel együtt - a képzés alanya. A felsőoktatás és a gazdaság szereplőinek intézményi szintű összefogásával olyan, felsőfokú képzésre alkalmas struktúra jön létre, ami korábban nem volt Magyarországon. Mindkét szereplőnek fejlődési folyamaton kell keresztülmennie ahhoz, hogy a duális képzés megvalósulhasson, és elérje célját. Ebben a folyamatban szerepet játszik a társadalmi környezet.

Magyarországon a Kecskeméti Főiskola volt a felsőoktatási duális képzés létrehozásának kezdeményezője. 2016-ban kapják meg a diplomájukat azok a hallgatók, akik elsőként kerültek be a Kecskeméti Főiskolán a duális képzési programba.

Azóta már szinte minden felsőoktatási intézmény indított duális képzést, de jelentősek az eltérések abban, hogy hány szakon indult ilyen képzés, és a megvalósításban is. A jelenlegi helyzetet a [3] forrás mutatja.

A Nyíregyházi Egyetem Műszaki és Agrártudományi Intézetében elsőként a *gépészmérnök szakon* indult el a duális képzés 2015 szeptemberétől, amelynek főbb motivációi a következők voltak:

- Az intézetben a gépészmérnök szak a leginkább gyakorlatigényes, ezen a szakon van legnagyobb szükség a gyakorlatorientált képzésre;
- Duális képzés iránti igényüket partnervállalataink is egyre nagyobb számban fejezték ki;
- Továbbá feltételeztük, hogy a duális képzési forma szorosabb kapcsolat kiépítését segíti elő partnervállalatainkkal, ill. lehetővé teszi a beiskolázási mutatóink javítását is.

A duális képzési formára történő áttérés szükségességét a 2015-ben publikált „Macro-Talent kutatás 2015-17” [4] eredményei is alátámasztják. Az országos kutatás 500 vállalat írásbeli válaszait, közép- és felsővezetői interjúkat, valamint a felsőoktatásra vonatkozó nyilvánosan elérhető adatbázisokat és szakanyagokat vett górcső alá. Ebből kiderült, hogy a cégek szerint a jelenlegi pályakezdő diplomások problémásak, ezért újabban nem szívesen alkalmazták őket, minimálbérért sem. Kevés nyitott pozíció szól pályakezdőknek, még a hiányolt gépészmérnököknél is csak kb. 20%, a villamosmérnököknél 17-18% arányú álláshirdetés jelzi a keresletet. A vállalatok véleménye szerint a munkatapasztalat a nyelvtudásnál is fontosabb lenne! A vállalatok által a pályakezdő diplomások részéről leginkább hiányolt készségek, személyes tulajdonságok: problémamegoldó képesség, szakmai elhivatottság, önálló munkavégzés, kreativitás, kommunikációs készségek („soft skillek”), ill. a friss diplomások jelentős önbizalomhiányban szenvednek. A kutatás fontos következtetése, hogy a diákoknak tanácsos lenne még a munkába állás előtt tapasztalatot, gyakorlatot szerezni, bekapcsolódni a gyakornoki programokba és fejleszteni magukat az ún. „soft skillek” megszerzésében!

A felvetett problémára a duális képzési rendszer felsőoktatásban való bevezetése és elterjesztése jelenthet igazi választ, ezért is fontos, hogy a Nyíregyházi Egyetem gyakorlatigényes, mérnöki szakjain minél hamarabb megtörténjen a duális képzési formára történő átállás.

3. A NYÍREGYHÁZI EGYETEM GÉPÉSZMÉRNÖK SZAKÁN FOLYÓ DUÁLIS KÉPZÉS LÉNYEGE, FŐBB JELLEMZŐI

A duális képzés a felsőoktatás és a vállalatok együttműködésével megvalósuló speciális gyakorlatorientált felsőoktatási képzés. A gyakorlatigényes alapképzési szakon folytatott képzés azon formája, amelyben a szakmailag minősített vállalatoknál folytatható gyakorlati képzések tantervi tartalmuknál, struktúrájuknál és a vállalatoknál töltendő, megnövelt óraszámuknál fogva növelik a hallgatók szakmai kompetenciáját, vállalati üzemeltetési ismereteit és vállalati kultúráját.

Legfontosabb jellemzője, hogy az elméleti képzés az egyetemen, a gyakorlati képzés az együttműködő vállalkozásnál folyik, amelynek során a hallgatók közel ugyanannyi időt töltenek a vállalatnál, mint a felsőoktatási intézményben. A hallgatók a duális képzés során a leendő gépészmérnöki szakképzettségüknek megfelelő munkahelyen és munkakörben összekapcsolják az egyetemen szerzett elméleti ismereteket a partnervállalatnál elsajátított

gyakorlati ismeretekkel. A vállalati gyakorlati képzés során lehetőség nyílik a munkafolyamatokban a gépészmérnöki feladatkörök gyakorlásához szükséges munkavállalói kompetenciák (önálló munkavégzés, kreativitás, problémamegoldó képesség, projektszemlélet stb.) fejlesztésére. A hallgatók így gyakorlati jártasságot szereznek az anyag-, eszköz- és technológiai ismeretekben, fejlesztik a munkafolyamatokban a személyi kapcsolatokat és az együttműködést („soft skillek”: kommunikációs készségek, beilleszkedés, csapatmunka, projektszemlélet, stb.). A duális hallgatók az egyetemi anyagon túl lényegesen több gyakorlati tapasztalatra tesznek szert, ezért munkaerőpiaci esélyeik nagymértékben megnőnek.

A végzett hallgató a képzési folyamat végén ipari gyakorlattal rendelkező gépészmérnökként áll rendelkezésre a munkaerőpiacon. A hallgatók az egyetemen folytatott, 13 hétig tartó elméleti képzés után az őszi félévben 8 hét, a tavaszi félévben 14 hét gyakorlatot teljesítenek a vállalatnál, így a hallgatók közel ugyanannyi időt töltenek a vállalatnál, mint a felsőoktatási intézményben.

A duális képzésnek számos előnye van hallgatói oldalról, amely a duális képzésben való részvételre ösztönzi a hallgatókat. A legfontosabb előny, hogy a növelt óraszámú gyakorlati képzés eredményeként számottevően növekszik a hallgatók szakmai kompetenciája (jelentős vállalati gyakorlatra, munkatapasztalatra tesznek szert), így sokkal kelendőbbek lesznek a munkaerőpiacon, ipari gyakorlattal rendelkező gépészmérnökként. Továbbá a vállalatok a hallgatóval munkaszerződést kötnek, a képzés teljes ideje alatt (3,5 év) díjaznak a hallgatókat, amely havonta a minimálbér legkevesebb 60%-a (mintegy 60-70 ezer Ft/hó). A duális képzés kemény kihívást, sok pluszmunkát jelent számukra, ám cserébe vonzó és biztos elhelyezkedési lehetőséget is garantál.

A duális képzésnek több pozitív hozadéka van vállalati oldalról is. A vállalat számára legfontosabb, hogy lehetőség nyílik a vállalat igényei szerinti képességfejlesztésre, megvalósulhat az eddig hiányolt ismeretek átadása és a képzési idő alatt, 3,5 éven keresztül egy flexibilis munkaerő áll a vállalat rendelkezésére. Jó esély van arra, hogy a duális képzési folyamat végén, amennyiben vonzó álláslehetőséget kínál, hosszabb távon is értékes munkatársat kaphat a vállalat, hiszen pályakezdőként ugyan, de már a szükséges vállalati gyakorlattal rendelkező mérnök állhat majd munkába. A duális képzés szervezése, az elméleti és a gyakorlati képzési programok egyeztetése szükségessé teszi az egyetem és a vállalat közvetlenebb kapcsolattartását, amely elősegítheti a K+F tevékenység intenzívebbé válását, a felsőoktatási intézménnyel való együttműködés erősítését.

A duális képzés vállalati gyakorlati szakaszának eredményes lebonyolítása érdekében megfogalmaztuk duális vállalati partnereinkkel szembeni elvárásainkat, amelyek az alábbiakban foglalhatók össze:

- A egyetem elméleti képzési programjával összehangolt és egyeztetett gyakorlati képzési program végrehajtása, érdemi gyakorlati képzési feladatok kiadása;
- A hallgató mentorálása, fokozatos bevonása a vállalati és projektfeladatok megoldásába;
- A vállalati környezet (termékek, folyamatok, eszközök, berendezések) megismertetése;
- Gyakorlati ismeretek, tapasztalatok átadása;
- Szakmai készségek (szoftverek, eljárások, projektszemlélet, problémakezelés, -megoldás, stb.) fejlesztése;
- Szakmai nyelvtudás fejlesztése;
- Élő, aktuális üzemi feladatok (szakdolgozati témák, évközi gyakorlati feladatok) kiadása;

- A hallgató értékelése, rendszeres visszajelzés a duális hallgató teljesítményéről, előrehaladásáról;
- Az egyetem nagyobb mértékű bevonása a vállalati K+F tevékenységbe.

A vállalat és az egyetem közötti oktatási együttműködési kapcsolat kereteit a duális képzésről szóló együttműködési megállapodás határozza meg, amely tartalmazza a duális képzés időtartamát, a duális képzésben érintett hallgatók előzetes jelentkezésére és kiválasztására vonatkozó szabályozást, az együttműködés módját, a gyakorlati képzés kereteit, az egyetem és a vállalati partner kötelezettségeit.

4. A DUÁLIS KÉPZÉSI PROGRAMOK FEJLESZTÉSE

A duális képzés vállalati gyakorlatainak előkészítési szakaszában legfontosabb feladat a képzés elméleti és gyakorlati tartalmának gondos összehangolása (1. ábra). Ennek érdekében a gyakorlati képzést megelőzően (összel november végéig, tavasszal április végéig) el kell végezni az egyetemi és vállalati oktatók közreműködésével a gyakorlati képzési programok tervezését. Ehhez meg kell ismertetni a vállalati gyakorlati oktatókkal az egyetemi elméleti képzési programokat, a duális képzés elméleti szakaszának részletes tantervét, és ez alapján kell a vállalat szakembereinek, gyakorlati oktatóinak elkészíteniük az egyetemi oktatókkal egyeztetve az üzemi gyakorlati képzési programokat (üzemi tematikákat), amelyeknél figyelembe kell venni a következőket:

- A vállalati képzési programnak építenie kell az egyetem tantervére, a hallgató tudásának, készségeinek, kompetenciáinak félévről félévre való felépülésére, és így egy folyamatosan fejlődő gyakorlati képzést kell jelentenie a hallgató számára;
- A vállalati programnak rugalmasnak kell lennie, és alkalmazkodnia kell a vállalatok különbségeihez, a vállalati folyamatok, technológiák, eljárások, technikai felszereltség, személyi feltételek figyelembe vételével vállalat-specifikus programokat kell készíteni;
- Az üzemi programnak reagálnia kell mindazon hiányosságokra, amelyeket a vállalati szereplők a jelenlegi felsőoktatás kapcsán érzékelnek és jeleznek.

Cél	Főiskola tevékenysége	Vállalat tevékenysége	Kimenet
A lehetséges tevékenységek beazonosítása („metszetek”) T9V7	Beazonosítja a tantárgyakhoz köthető vállalati tevékenységeket. Látogatás és konzultáció a vállalatoknál.	Beazonosítja a duális képzésbe bevonható tevékenységek körét	Témalista tantárgyanként, személyes szakmai kapcsolatok, tapasztalatok, feljegyzések
A vállalati képzési program elkészítése	Támogatja a vállalati képzési program készítését	Elkészíti a vállalati képzési programot	Dokumentum: vállalati képzési program
Az akadémiai és a gyakorlati képzés kapcsolatának dokumentálása	Feljegyzi a tantárgyakhoz kapcs. gyak. tev.	-	Dokumentumok: tantárgyanként és vállalatonként a kapcsolódó gyak. tev. listája

1. ábra. A vállalati képzési program elkészítésének folyamata

Ennek megfelelően a gépészmérnök szak gyakorlati képzésében résztvevő vállalat képzési tervének tartalmaznia kell:

- A gépészmérnök szak szakmai tárgyaihoz kapcsolódó üzemi gyakorlati programot (üzemi tematikák), a hallgató szakmai tapasztalatainak bővítését célzó konkrét üzemi gyakorlati feladatokat;
- Önálló projekt jellegű munkákat;
- Kompetencia- és készségfejlesztést, „soft” készségek elsajátítását célzó üzemi programot (pl. vezetési készség, kommunikációs gyakorlat, projektvezetés, szakmai idegen nyelvi készség, stb.), külön tantárgyként vagy a szakmai tárgyakhoz kapcsolódóan.

A vállalati képzési tervek (munkaterv) kidolgozása során az egyetem feladata:

- A szakmai és adminisztrációs támogatás biztosítása (az egyetemi és vállalati oktatók, szakfelelősök tájékoztatása, együttműködésük elősegítése);
- Biztosítani kell a szakmai ellenőrzést, egyeztetést (kapcsolat biztosítása az egyetemen tanultak és a vállalati tanterv között a megfelelő „lépcsőzetes”, fokozatos előrehaladás és egymásra épülés érdekében).

A vállalati képzési terv (munkaterv) kidolgozásán túl a vállalat feladata még az üzemi gyakorlati képzés szervezése, az üzemi mentorok kijelölése, továbbá a duális hallgató gyakorlati tevékenysége, értékelési módszertanának kidolgozása.

Az egyetem duális képzés szervezésével kapcsolatos feladatai az alábbiak szerint foglalhatók össze:

- A duális képzés pontos időbeosztásának kialakítása;
- Szabályzatok (pl. TVSZ, SZMSZ, belső szabályzatok, stb.) áttekintése, módosítások;
- A vállalat támogatása (szakmai támogatás, egyeztetése);
- Folyamatos kommunikáció biztosítása a vállalattal;
- A duális hallgatók mentorálása, támogatása;
- Vállalati visszajelzések gyűjtése, értékelése, felhasználása.

Az 1. ábra első sorának harmadik oszlopában olvasható a *témalista* kifejezés. Ezt érdemes megmagyarázni. Olyan tevékenységek felsorolását jelenti, amelyek

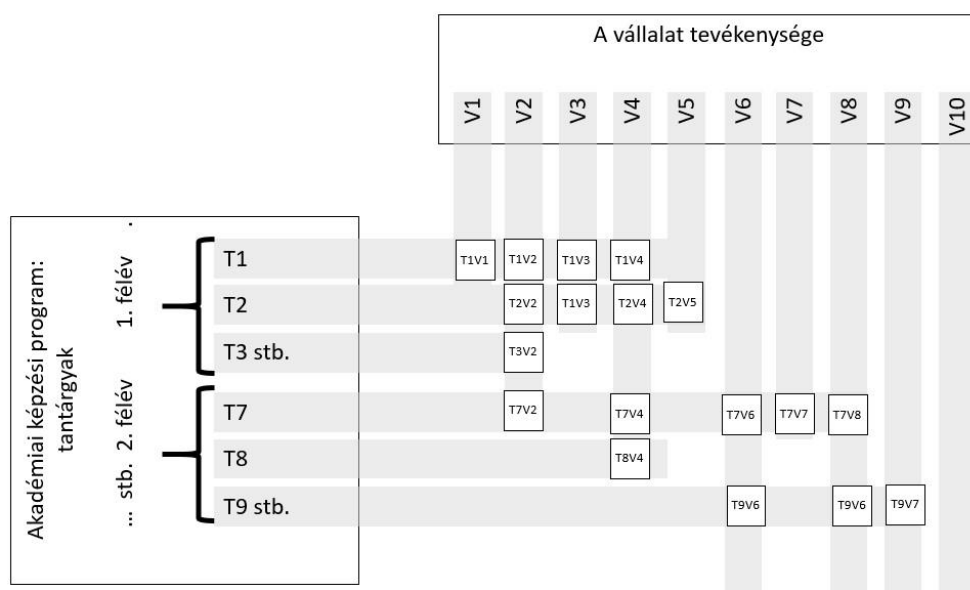
- a vállalatnál önálló munka egységként kezelhetők,
- nincs jogi akadálya a képzésbe való bevonásnak (pl. titoktartás, különösen veszélyes munkakör stb.),
- az egyetem oktatójával egyeztetve ráépíthető az egyetemi akadémiai képzésre.

A témalistában szereplő tételekre példák az alábbiak: műhelyrajz készítése, raktárban anyagok, alkatrészek kiválasztása, forgácsolási művelet elvégzése, hegesztési utasítás készítése (de a hegesztés elvégzése jellemzően nem tartozik ide, mert ahhoz megfelelő minősítés szükséges), villanymotor karbantartása, mérések elvégzése (kézi, műszeres, egyedi, sorozat, pl. hosszúság, felületi érdesség, keménység, mikroszkópos ellenőrzés stb.), prezentáció készítése egy projektről a vállalat vezetése számára, árajánlat készítése. Ezek a tevékenységek mind mentori felügyelet mellett zajlanak. A témalista az egyetemi oktatók

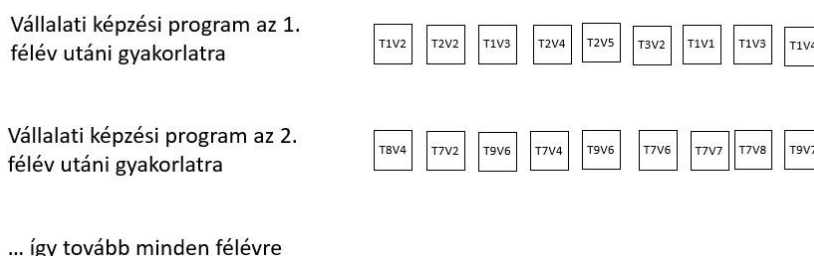
üzembejárása, valamint a vállalat szakembereivel történő egyeztetések során alakul ki. Egyelőre nem rendezett felsorolás, bizonyos értelemben hasonlít az ötletelésre azzal a különbséggel, hogy itt már figyelembe veszik a jogszabályi, vállalati és felsőoktatási elvárásokat, előírásokat. Ezek a „témák” lesznek a gyakorlati képzési program építőkövei.

A témalista elemeit az akadémiai képzés időrendjébe illesztve, tanegységeknek megfelelően kaphatók meg a vállalati tevékenységek és a tantárgyak tartalmának közös részei (2. ábra).

Az azonos félévben oktattott tantárgyakhoz tartozó gyakorlati tevékenységek alkotják az adott félév szakmai gyakorlatának elemeit. Ezeket az elemeket a vállalat úgy rendezi sorba, hogy a hallgató a leghatékonyabban sajátíthassa el a tevékenységek során a szakmai és egyéb készségeket (3. ábra). Ennek a tervezési folyamatnak az eredménye a vállalati képzési program.



2. ábra. A vállalati tevékenységek és a tantárgyak szakmai tartalma közötti közös részek megtalálása kulcsfontosságú lépés volt a képzési program kifejlesztésében. Egy tevékenység több tantárgyhoz is kapcsolható, és egy tantárgy számos tevékenységhez köthető. A T1V1 jelentése: a T1 tantárgy és a V1 vállalati tevékenység közös része.



3. ábra. A 2. ábra szerint megtalált tevékenységek megfelelő időrendben elhelyezve adják a vállalati gyakorlati képzési programot.

5. A DUÁLIS KÉPZÉS KISZÉLESÍTÉSE A NYÍREGYHÁZI EGYETEMEN

A duális képzés a Nyíregyházi Egyetem Műszaki és Agrártudományi Intézetében elsőként a gépészmérnök szakon kezdődött el a 2015/16-os tanévtől. A duális képzés keretében 8 vállalati partnernél 12 duális hallgató kezdte meg tanulmányait 2015 szeptemberétől. A gépészmérnök szakon ez a képzési forma folytatódik a 2016/17. tanévben is, 11 vállalati partner bevonásával.

A duális képzési formára való áttérés a gyakorlatigényes szakokon a Nyíregyházi Egyetem stratégiai célkitűzései között szerepel. Ennek megfelelően 2015 novemberében az alább felsorolt 3 újabb szakon kidolgozásra került a duális képzés programja, és 2016. szeptemberi engedéllyel megtörtént a képzési programok akkreditálása:

- közlekedésmérnök szak (4 vállalati partnerrel);
- mezőgazdasági és élelmiszeripari gépészmérnök szak (3 vállalati partnerrel);
- gazdálkodás és menedzsment szak (12 vállalati partnerrel).

6. KÖVETKEZTETÉSEK

A duális képzés sikerességét jelentősen befolyásolja, hogy milyen mértékben valósul meg a képzés elméleti és gyakorlati tartalmának összehangolása. A duális képzés akkor lesz eredményes, ha a vállalati képzési program épít az egyetem tantervére, a hallgató tudásának, készségeinek, kompetenciáinak félévről félévre való felépülésére, kellően rugalmas és alkalmazkodik a vállalatok különbségeihez, ill. reagál mindazon hiányosságokra, amelyeket a vállalatok a jelenlegi felsőoktatás kapcsán érzékelnek és jeleznek. A megfelelő vállalati képzési tervek kidolgozásához és megvalósításához az egyetemnek biztosítania kell a széleskörű szakmai és adminisztrációs támogatást, a vállalati és egyetemi oktatók folyamatos egyeztetését, együttműködését, a program végrehajtása során a segítő szakmai ellenőrzést, folyamatos kommunikációt. Ugyanakkor gondoskodni kell a duális hallgatók egyetemi és vállalati mentorálásáról is.

A duális képzés szükségessé tette az egyetem és a vállalatok közvetlenebb kapcsolattartását, amely új együttműködések eredményezett. A vállalatokkal egyeztetett képzési programok a gyakorlati képzés során beváltak, reálisnak és a gyakorlatban végrehajthatónak bizonyultak. Célszerű félévente (február és szeptember elején) szakmai kerekasztal keretében összehívni a duális vállalati partnereket (tapasztalatok összegzése, ill. a következő időszak feladatainak egyeztetése).

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ennek a publikációnak az elkészítését és megjelenését a TÁMOP-4.1.1.F-14/1/KONV-2015-0007 „NYÍR-DUÁL” – A felsőoktatás területi, társadalmi, gazdasági szerepének fejlesztése Kelet-Magyarországon című pályázati projekt támogatta!

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Duális Képzési Tanács: *A duális képzés alapelvei*, <http://www.dualisdiplo.ma.hu/documents/dualis-felsofoku-kepzes-alapelvei-a-dkt-meghatározasaban.pdf> (letöltés: 2016. január 8.)
- [2] Battersea Tanácsadó, Szolgáltató Kft: *Kutatás-fejlesztési tevékenység megvalósítása jó gyakorlatként azonosított magyarországi és külföldi duális képzési programok elemzése*

és a kutatáshoz kapcsolódó fejlesztések kapcsán, kutatási tanulmány, 2014,
<http://www.dualisdiploma.hu/documents/kutatas-fejlesztési-tevekenyse-g-megvalositasa-jo-gyakorlatkent-azonositott-magyarorszag-i-es-kulfoldi-dualis-kepzesi-programok-elemzese-es-a-kutatashoz-kapcsolodo-fejlesztések-kapcsán-zarotanulmány-educatio.pdf>
(letöltés: 2015. január 8.)

[3] www.dualisdiploma.hu

[4] www.nyf.hu/nyirdual

ABSZORPCIÓS HŰTŐVEL MŰKÖDTETETT LÉGKONDITIONÁLÓ BERENDEZÉS VIZSGÁLATA NAPENERGIA FELHASZNÁLÁSÁVAL

ANALYSIS OF AN AIR CONDITIONING SYSTEM WITH ABSORPTION COOLER UTILIZATION BY SOLAR ENERGY

SZILÁGYI Attila¹, SERES István²

¹tanársegéd, ²C.Sc., egyetemi docens

¹Nyíregyházi Egyetem, Jármű- és Mezőgazdasági Géptani Tanszék, Nyíregyháza

²Szent István Egyetem, Fizika és Folyamatirányítási Tanszék, Gödöllő

¹szilagyi.attila@nye.hu, ²seres.istvan@gek.szie.hu

Kivonat: Napjainkban a légkondicionáló berendezések nagymértékű nyári energiaigénye a fosszilis tüzelőanyagot felhasználó hőerőművek nagyobb leterheltségét jelenti. Ennek kiváltására egy lehetőség a napenergiával történő hűtés, légkondicionálás megvalósítása. A napenergiával történő hűtés előnye, hogy a kereslet és a kínálat egy időbe esik, így nincs feltétlenül szükség energiátárolásra. A napenergia hasznosítás ezen formájának is számos előnye van, mint például csökkenteni tudjuk a költségeinket, az energiafüggőségünket, független az energiaáraktól, és nem jár környezetszennyezéssel. Esetünkben ez utóbbi lehetőség megoldását vizsgáljuk; egy napelemet kapcsolunk össze egy abszorpciós hűtőkörrel, mely kapcsolódik a légkondicionáló berendezéshez. A szekunder hűtőkörben alkalmazott különböző munkaközégek esetén (úgy, mint víz, etilén - és propilén glikol) vizsgáltuk, hogy az abszorpciós hűtő mekkora hatásfokkal és hűtőtéljesítménnyel képes működni a hazai klimatikus viszonyok között.

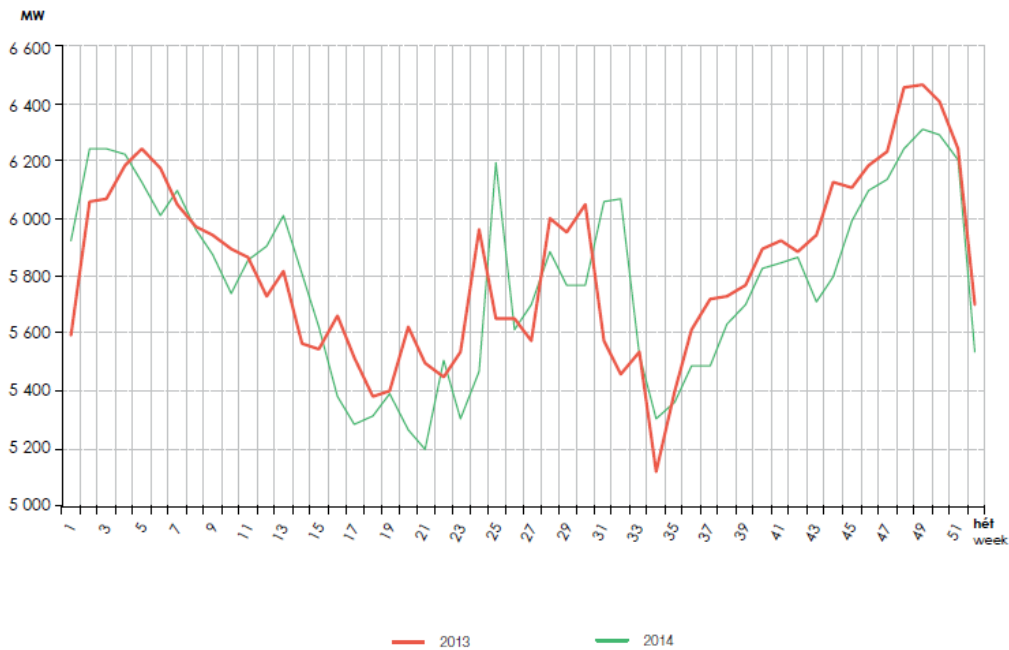
Kulcsszavak: hűtés napenergiával, abszorpciós hűtő, légkondicionálás

Abstract: Nowadays in summer the air conditioning systems' energy consumption causes the fossil fuel power plants more loading. These take out there is an alternative solution: the solar cooling, solar energy utilization for air conditioning systems. The main advantage of the solar cooling is that the energy demand and the energy production are at the same time. So we do not need to store the energy. This form of utilization of solar energy are several advantages, for example we can reduce our costs, energy demand, it is independently from energy prices and it do not cause pollution. In our case we are examining this alternative solution. We have connected a solar cell with an absorption cooler, which is connected by the air conditioning system. We examined some cooling fluid (water, ethylene glycol, propylene glycol) in the secondary cooling circle, how much is the absorption cooler's efficiency and the cooling performance during working between the climate relation in North-east of Hungary.

Keywords: solar cooling, absorption cooler, air conditioning

1. A TÉMA IDŐSZERŰSÉGE ÉS JELENTŐSÉGE

Az utóbbi években a légkondicionáló berendezések nyári energiaigénye a fosszilis tüzelőanyagot felhasználó hőerőművek nagyobb leterheltségét okozza, egyes országokban a klímaberendezések nyári energiaigénye eléri, sőt meghaladja a téli fűtési időszak energiaigényét. A nyári energiaigény kiváltására – a környezetterhelés csökkentése érdekében – egy lehetőség a napenergiával való hűtés, légkondicionálás alkalmazása. A napenergiával történő hűtés előnye, hogy az energiatermelés és az energiaigény maximuma egy időbe esik, így nincs szükség energiátárolásra. Továbbá ez a megoldás csökkenti költségeinket és energiafüggőségünket.



1. ábra. Heti villamos energia-terhelési csúcsok 2013-ban és 2014-ben [2]

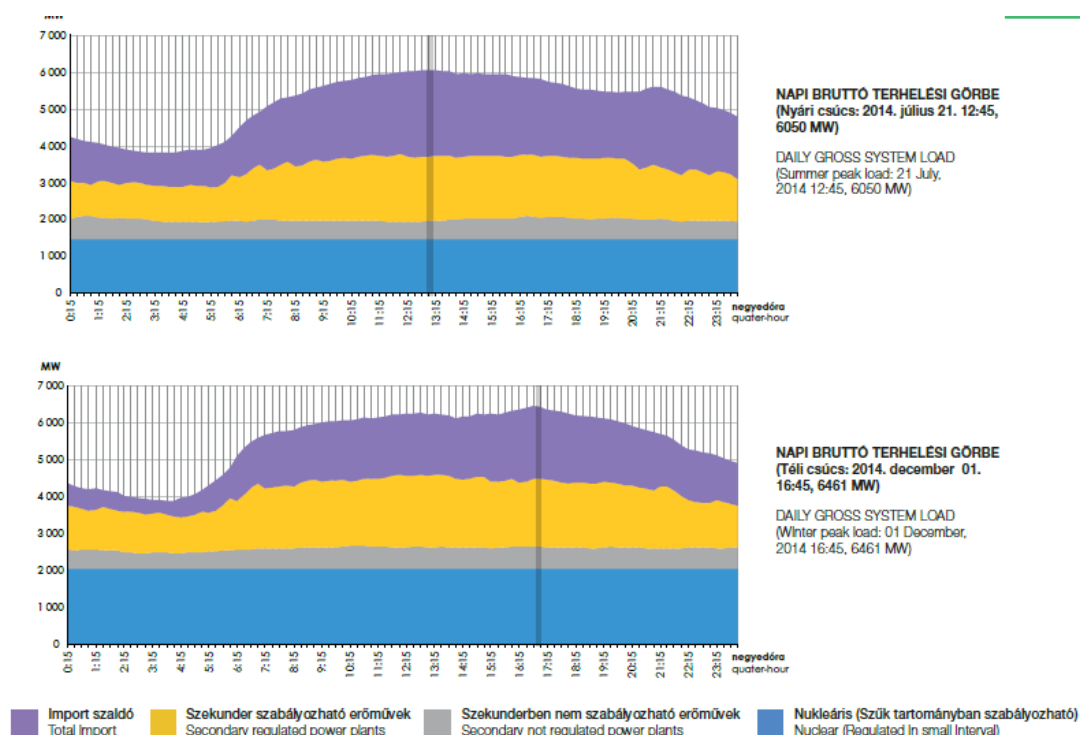
A hazai villamos energia-termelésben a nyári csúcserőértékek közel azonos értékűek, mint a téli értékek (1. ábra). Ezt a villamos energiaigényt tározós vízerőmű hiányában csak a földgáz üzemű hőerőművek gyors indításával lehet biztosítani.



2. ábra. Téli és nyári villamos energia-fogyasztási csúcsok 1990-2014 között [2]

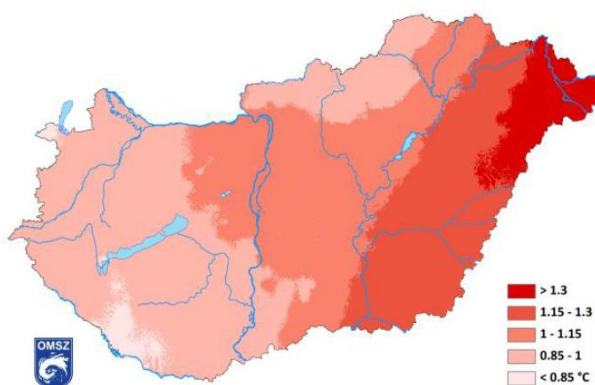
A 2. ábrán látható 1990-től 2014-ig a hazai villamos energia-termelés téli és nyári napi csúcserőértékei. A több mint két évtizednyi adatsorból látszik, hogy a nyári csúcserő értéke

drasztikusan növekszik és megközelíti a téli csúcértéket. Az elmúlt 10 évben ez a teljesítményigény legalább 6000 MW. A tavaszi és őszi értékekkel összevetve a nyári igényt a különbség akár 800 MW is lehet. Ennek pótlására egy 700-800 MW-os erőműre van szükség.



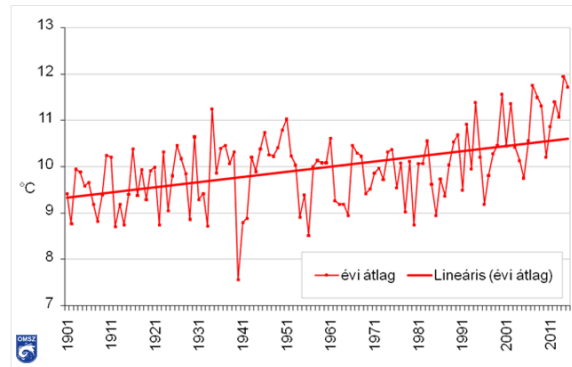
3. ábra. A téli és a nyári csúcs napi villamos energia-fogyasztása 2014-ben [2]

Ha napi szinten nézzük a pillanatnyi teljesítmény-igényeket, akkor a völgy és csúcsidezőszak között közel 2000 MW teljesítménykülönbség is adódhat. A 3. ábrán látható két grafikon nyári és a téli csúcra ad példát. Összehasonlításuk során megfigyelhető, hogy nyáron a csúcsidező délben, 12 óra körül jelentkezik, ezzel szemben télen a csúcsidező napközben, reggel 7-től este 7-ig folyamatosnak tekinthető, maximuma azonban 17 óra felé jelentkezik.



A 2013. évi középhőmérséklet eltérése az 1971–2000-es normáltól (°C)

4. ábra. A 2013. évi középhőmérséklet eltérése az 1971-2000-es normától Magyarországon [6]



5. ábra. Az évi középhőmérsékletek 1901 és 2015 között Magyarországon [6]

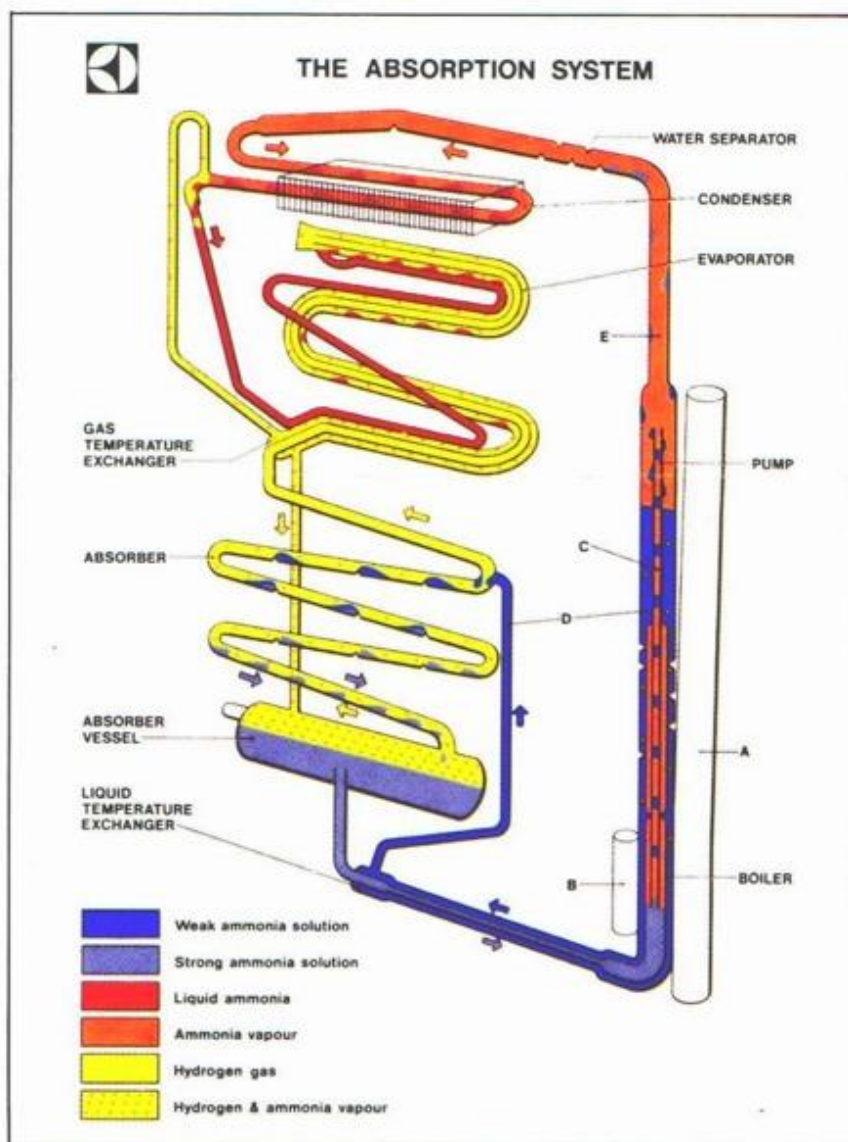
A hazánkban mért évi középhőmérséklet-értékek lineáris növekedést mutatnak (5.ábra), ez az elmúlt 115 év alatt $+1,28^{\circ}\text{C}$ -os növekedést mutat. Ugyanakkor 2013-ban az átlaghőmérséklet $+1,08^{\circ}\text{C}$ -kal volt magasabb az 1971-2000-es normától (4.ábra). Az elmúlt évek nyarai az elmúlt száz év legforróbb nyarai közé tartoznak.

Napenergiával történő hűtésre számos ipari méretű technológia létezik, a lakossági igények kiszolgálására alkalmas rendszer azonban a kereskedelemben még alig kapható. Ez utóbbi lehetőség alkalmazhatóságát vizsgáljuk egy kísérleti napenergiás légkondicionáló rendszer segítségével, és a hozzá tartozó adatgyűjtő rendszerrel.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

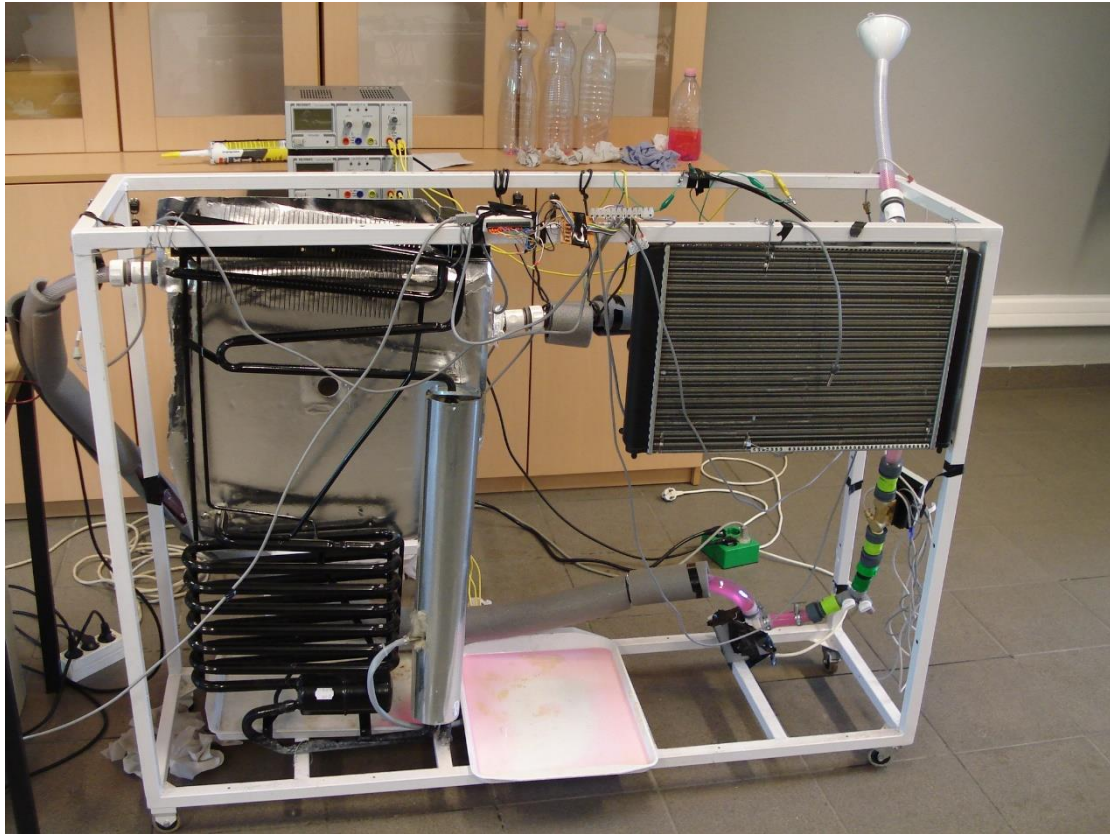
A kísérleti berendezés összeállítása a Szent István Egyetem Fizika és Folyamatirányítási Tanszékén történt. A rendszer egy napelem és egy abszorpciós hűtőkör összekapcsolásából áll. Ehhez kapcsolódnak a továbbiakban a légkondicionáló berendezések egységei. A rendszer segédberendezéseinek működtetéséhez szükséges villamos energia megtermelése szintén napelemmel történik.

A mérés célja egy adott abszorpciós hűtőkör hűtőteljesítményének meghatározása volt. A vizsgálathoz egy a Dometic által gyártott hűtőaggregátot vizsgáltam. Az abszorpciós hűtőkör rajza és működési elve a 6. ábrán látható. A hűtőkör felfűtése villamos energiával történt napelemek segítségével. A későbbiekben kerül összekapcsolásra a hűtőegység egy vákuumcsöves napkollektorral egy hőcserélő segítségével.



6. ábra. Abszorpciós hűtőkör [5]

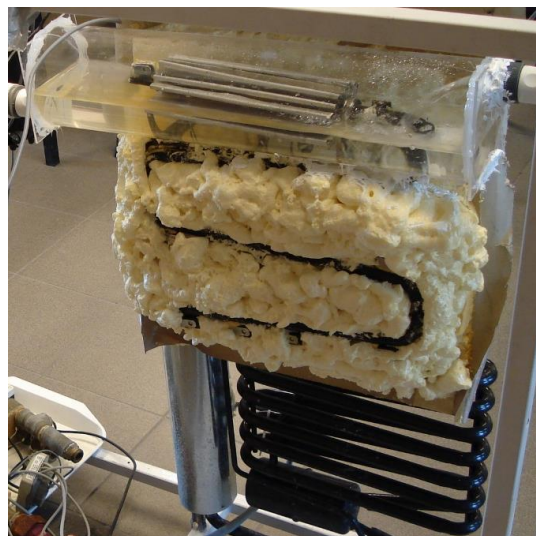
A vizsgált hűtő aggregát ammónia vizes oldatával van feltöltve. A kísérleti hűtőberendezés (7.ábra) megépítésekor az abszorpciós hűtőaggregáthoz egy egyedi készítésű hőcserélő lett kialakítva (8.ábra), mely flexibilis csővel lett összekötve egy ventilátorral felszerelt hőcserélővel (belsőégésű motoroknál használt motorhűtő-egység). A visszatérő ágban egy ultrahangos hőmennyiségmérő és egy keringető szivattyú lett elhelyezve. Az így kialakított hűtőkört szekunder körnek is nevezhetjük, mely az abszorpciós hűtő és a légkondicionáló hőcserélője közt található. A szekunder kör hőcserélője egy egyedileg készített, külső részre flexihenger, a belső részében az elpárolgatóra felszerelt alumínium lemezekből hajtogatott bordákból áll.



7. ábra. Kísérleti hűtőberendezés

3. A VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI

A pillanatnyi direkt és szórt napsugárzási értékek egy Kipp & Zonen CM-11 típusú piranométer segítségével kerültek rögzítésre a Szent István Egyetem Fizika és Folyamatirányítási Tanszékén.



8. ábra. Abszorpciós hűtő egyedi építésű hőcserélővel

Az abszorpciós hűtőkör felfűtése során megvizsgáltuk, hogy mekkora hűtőteljesítményt tud leadni. A vizsgált hűtő aggregát működtethető villamos felfűtéssel vagy egyéb hő bevitellel. Előbbi eset vizsgálatára egy napelem által termelt villamos energiát használtunk, ezzel lett felfűtve a hűtőegység. A felfűtési idő elég hosszú, kb. 2 órát vett igénybe, mire üzemkész állapotba került a hűtő. Innentől számítva tudtuk mérni a pillanatnyi felvett villamos és leadott hűtési teljesítmény-értékeket.

A mérés szintén a Szent István Egyetem Fizika és Folyamatirányítási Tanszékén történt, egy 1 kWp névleges teljesítményű napelem segítségével. A napelem által termelt villamos energia egy 24V/12V DC/DC konverteren át jutott el a hűtő aggregáthoz, miközben a pillanatnyi felvett feszültség és áramerősség értékek rögzítve lettek (a plusz energia akkumulátorokban lett tárolva). A hűtő által leadott hűtőteljesítmény egy hőcserélő segítségével lett hasznosítva, ahol a munkaközeg víz, etilén- és propilén glikol volt. A hőmérséklet mérése két ponton PT1000 típusú szenzorokkal történt. Az abszorpciós hűtő által leadott hűtőteljesítmény meghatározása az (1) képlet alapján történt. A hűtőteljesítményt két paraméter határozza meg: a rendszeren átáramoltatott munkaközeg térfogatárama és a hőmérséklet-különbsége.

A hűtőteljesítmény az alábbi képlettel határozható meg:

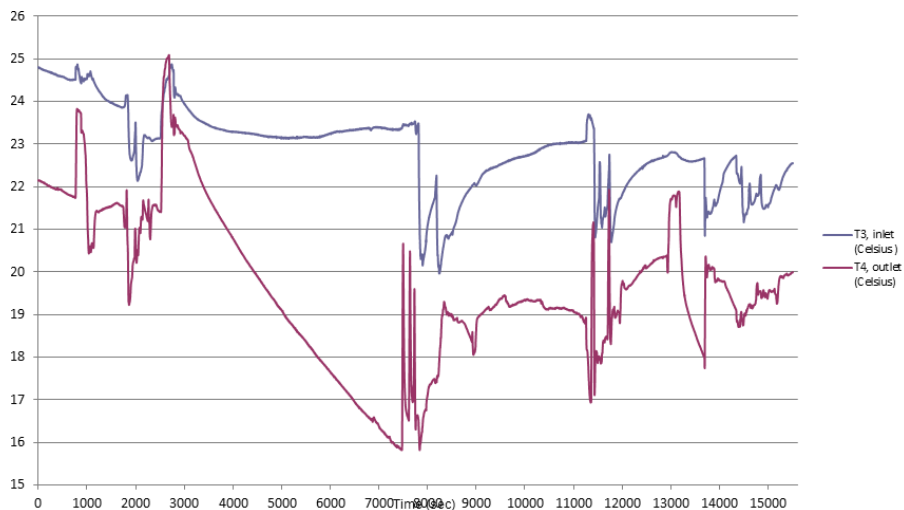
$$P = \dot{Q} = c \cdot \dot{m} \cdot \Delta T = c \cdot \rho \cdot \frac{dV}{dt} \cdot \Delta T = c \cdot \rho \cdot Q \cdot \Delta T \quad (1)$$

ahol:

- c – a munkaközeg fajhője [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],
- m – a tömeg [kg],
- ρ – a sűrűség [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],
- ΔT – a hőmérséklet-különbség [$^{\circ}\text{C}$], és
- Q – a térfogatáram [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$].

A hűtő maximális villamos teljesítménye 170 W.

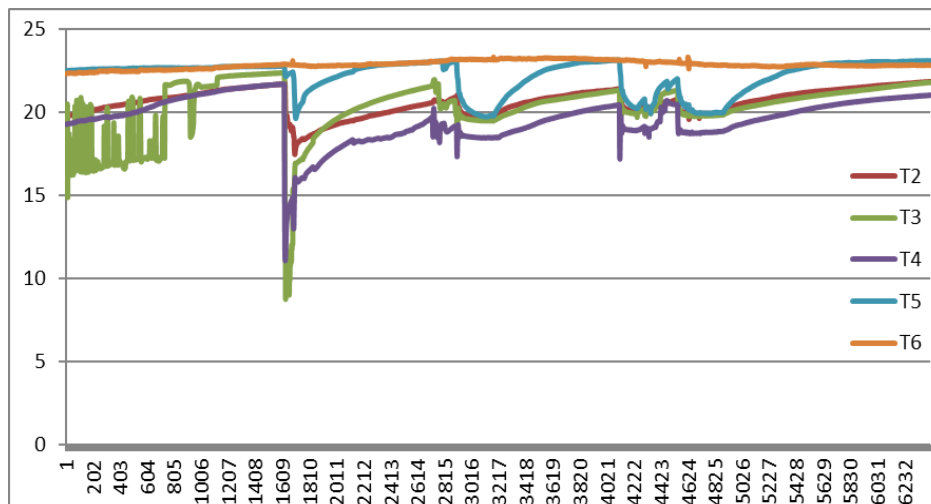
A víz alkalmazása során a folyamatos üzem esetén azt tapasztaltuk, hogy a hosszú ideig tartó hő csere hatására az abszorpciós hűtőaggregát hűtése leállt. Ez a túlzott hőelvonás miatt lehet, amit a víz magas fajhő okozhatott. Így a vízzel csak rövid idejű méréseket tudtunk végezni. A mérési eredmények alapján az átlagos hűtési teljesítmény víz munkaközeg esetén 55 W volt 0,006-0,020 dm^3/s térfogatáram mellett, a hűtés hatásfoka 32% volt.



9. ábra. Hűtés víz munkaközeggel

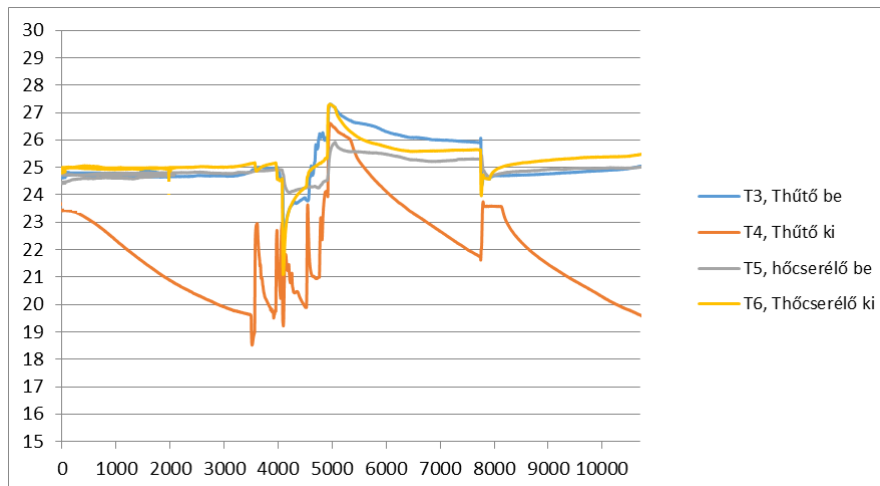
Az etilén glikol vízzel keverve 1:1 arányban lett felhasználva. Az így alkalmazott munkaközeg kiválóan alkalmas volt a folyamatos üzemre. A mérések alapján az átlagos hűtési teljesítmény 66 W volt 0,006-0,078 dm³/s térfogatáram mellett, a hűtés hatásfoka 38% volt. A szekunder kör ebben az esetben szigetelve volt, ami a teljesítmény és hatásfok értékekben megmutatkozik, például a vízhez képest.

A 10. ábra hőmérsékletgörbéin láthatóak a hűtési folyamatok. T₂ a külső hőmérséklet, T₃ a hengerbe belépő munkaközeg hőmérséklete, T₄ a hengerből kilépő közeg hőmérséklete, T₅ a ventilátoros hőcserélőbe belépő közeg hőmérséklete, és T₆ az onnan távozó közeg hőmérséklete. A többi ábrán a jelölések megegyezőek. A hőmérséklet értékek Celsius fokban az idő függvényében vannak ábrázolva minden ábrán, az időegység 1 másodperc.



10. ábra. Hűtés etilén glikol és víz 1:1 arányú keverékével

A propilén glikol vízzel keverve 1:1 arányban lett felhasználva. Az így alkalmazott munkaközeg kiválóan alkalmas volt a folyamatos üzemre. A mérések alapján az átlagos hűtési teljesítmény 53 W volt 0,006-0,020 dm³/s térfogatáram mellett, a hűtés hatásfoka 31% volt.



11. ábra. Hűtés propilén glikol és víz 1:1 arányú keverékével

Napelemek alkalmazásával megoldható a légkondicionáló rendszer segéd berendezéseinek működtetése (keringtető szivattyú, ventilátor) akár a pillanatnyi napsugárzási értékekkel azonos mértékben.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A mérések alapján meghatároztuk egy napelem által felfűtött abszorpciós hűtőkör hűtőteljesítményét. A szekunder körben alkalmazott munkaközeg víz, etilén- és propilén glikol volt. A leadott teljesítmények meghatározásánál a következő paraméterek befolyásolták a kimenő értékeket: a fajhő, a sűrűség, a térfogatáram és a hőmérséklet-különbség. Megállapítható, hogy a napelemekkel működtetett abszorpciós hűtővel ellátott légkondicionáló berendezéseknél a fentebb felsorolt munkaközégek kellő hatékonysággal alkalmazhatók a hazai időjárási viszonyokat figyelembe véve.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BEKE J.**, *Műszaki hőtan mérnököknek*, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 2000., p. 527-535.
- [2] **HACKL M.**, (szerk.), *A magyar villamosenergia-rendszer adatai 2014.*, MAVIR Zrt., Budapest, 2015., p. 36. (www.mavir.hu)
- [3] **GYURCSOVICS L.**, *A napenergia hasznosítása az épületgépészetben*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982.
- [4] **KOMONDY Z., HALÁSZ L.**, *Hűtőgépek*, Tankönyvkiadó, Budapest, 1970.
- [5] **LLOYD A.**, *Steinway installs solar-powered air conditioning*, Renewable Energy December 29, 2008, www.treehugger.com
- [6] www.met.hu (Országos Meteorológiai Szolgálat)
- [7] **ZSEBIK A., CSATA Zs., TORMA J., VÁRADI Sz., MOUMOULIDIS, I.**, *Fűtés és hűtés napenergiával*, Energiagazdálkodás, 2010/2., p. 3-8.

ÁRELŐREJELZÉS MÓDSZERTANI LEHETŐSÉGEI

POSSIBLE METHODS FOR PRICE FORECASTING

SZILÁGYI Roland¹, VARGA Beatrix², GÉCZI-PAPP Renáta³

¹Ph.D, Egyetemi docens, ²Ph.D, Egyetemi docens, ³Ph.D hallgató
^{1,2,3}Miskolci Egyetem, Üzleti Statisztika és Előrejelzési Intézeti Tanszék
¹strolsz@uni-miskolc.hu ²stbea@uni-miskolc.hu ³stgpren@uni-miskolc.hu

Kivonat: A tanulmány áttekinti azokat a különböző idősor-elemzési módszereket, melyek alkalmazhatóak az árelőrejelzés területén. A dekompozíciós és sztochasztikus módszerek összehasonlítása segítséget nyújt az elemzési eszközök közötti eligazodásban. Az empirikus vizsgálat során egy hibrid módszer került alkalmazásra, melynek célja a megbízható előrejelzés. A kidolgozott módszer a „súlyozott csúszó trendek”. Az eredmények tesztelése alapján elmondható, hogy a technika alkalmas a jövőbeli árak megbízható előrejelzésére.

Kulcsszavak: árelőrejelzés; idősor-elemzés; sztochasztikus módszer

Abstract: The study gives an overview about the different time series analytical methods, which can be used for price forecasting. The comparison of the decomposition and stochastic methods will help to navigate through the many option of analytical techniques. To find a reliable forecasting method, the study introduces an empirical time series price analysis with a hybrid method: forecasting based on creeping trend with harmonic weights. The result show that this method provides an accurate and reliable prediction of future prices.

Keywords: price forecasting; time series analytical methods; stochastic methods;

1. BEVEZETÉS

Az árak előrejelzése kiemelten fontos kérdés a gazdasági életben, hiszen a vállalkozások, versenyképességének egyik alappillére a helyes eladási ár megállapítása. Jelen tanulmány keretében nem azoknak a klasszikus árazási technikáknak a kialakítására fókuszáltunk, amelyeket új termék piacra történő bevezetése előtt alkalmaznak. Kutatásunkban azt térképeztük fel, hogy egy már piacon levő termék termelésébe való bekapcsolódás esetén hogyan jelezhető előre a piaci ár a múltbeli tendenciák és az azokat befolyásoló – kizárólag külső tényezők – hatásainak számszerűsítése segítségével. Az árazási folyamatnak nélkülözhetetlen részét képezi a múltbeli folyamatok értékelése és a jelenlegi tendenciák helyes felismerése, Csak a kettő együtt teszi lehetővé az árak alakulásának megbízható előrejelzését. Mivel a stratégiaalkotás szempontjából a piaci árak ismerete fontos, ezért az előrejelzés során is nagy hangsúlyt kell fektetni a múlt és jelen fejlődési folyamatainak elemzésére. A helyes döntéshozatalhoz szükség van a piaci árak pontos, megbízható, tudományosan megalapozott előrejelzésére.

Számos előrejelzési módszer ismert, ezért a tanulmány a legismertebb és leggyakrabban alkalmazott technikákra koncentrál. Az első két fejezet tartalmazza a főbb dekompozíciós és sztochasztikus előrejelző módszerek bemutatását, valamint ezek összehasonlítását. A harmadik fejezetben bemutatásra kerül az empirikus kutatásunk eredménye, a kialakított új előrejelzési módszer, a súlyozott csúszó trendek, valamint a metanol piaci árának előrejelzésén keresztül a számítások eredményeképpen kapott adatok. Az új szakértői módszer, mely különböző technikák elemeiből épül fel, megbízható előrejelzést biztosított. A tanulmány a tapasztalatok és tanulságok összegzésével zárul.

2. IDŐSORELEMZÉSI TECHNIKÁKON ALAPULÓ ELŐREJELZÉSI MÓDSZEREK

Az idősort definiálhatjuk úgy, mint időrendbe rendezett kvantitatív megfigyelések együttese. [1] Az elemzés során különös figyelmet kell fordítani az idősort alkotó különböző komponensek közötti kapcsolat jellegére. Alapvetően négy kapcsolódási módot különböztethetünk meg a dekompozíciós modellek esetében [2]:

$$\text{-additív modell: } Y=T+S+I, \quad (1)$$

$$\text{-multiplikatív modell: } Y=T*S*I, \quad (2)$$

$$\text{-log-additív modell: } \log Y=\log T+\log S+\log I, \quad (3)$$

$$\text{-pszeudo additív modell: } Y=T*(S+I-1), \quad (4)$$

ahol:

T a hosszú távú trend;
S az éves szezonális;
I a véletlen komponens.

Az additív modellben a szezonális elem trenden belüli ingadozását az eredeti mértékegységben fejezhetjük ki, a trendtől való eltérés értéke pedig konstans. A multiplikatív modell esetében a trend körüli ingadozást százalékos formában értelmezzük, a komponensek közötti kapcsolat pedig multiplikatív jellegű. A multiplikatív modell transzformációja során jutunk el a log-additív modellhez. Korábbi tanulmányok igazolják, hogy a logaritmikus transzformáció során a véletlen komponens eloszlása megváltozik. Az idősorelemzés során kiemelt figyelmet kell fordítani a komponensek szétválasztására. Például additív kapcsolatok esetén a modellt a következőképpen is megfogalmazhatjuk:

$$Y=T+C+S+TD+H+O+I \quad (5)$$

ahol:

T a hosszú távú trend;
C a középtávú ciklus (konjunktúra);
S az éves szezonális;
TD az eltérő munkanapok számából eredő eltérés hatása;
H a banki szünnapok hatása;
O a kiugró érték;
I a véletlen komponens.

Fontos megjegyezni, hogy a hosszú- és középtávú ciklusok gyakran nem igazán különülnek el egymástól. Ebben a modellben az S, a TD és a H szezonális komponenseknek is tekinthetőek. A kifejezésben az O és az I jelenti a véletlen tényezőt. Mivel az outlier egy extrém értéket testesít meg, kivehető az idősorunkból. A módosítások után az új, egyszerűsített formula megegyezik az (1) kifejezéssel.

Számos módszer ismert a trend jellemzőinek meghatározásához. A legegyszerűbb módszer a mozgóátlagolás, mely technika ugyan a legkevésbé megbízható matematikai és statisztikai szempontból, ami a gyakorlatban azt jelenti, hogy az eredményeket

fenntartással kell fogadni, azonban rövid távú előrejelzések esetében mégis sikeresen alkalmazható, főleg általános előrejelzés során, más módszerekkel kombinálva.

Az idősor alapirányzata az analitikus trendszámítással is meghatározható, amely egy matematikai függvény létrehozását jelenti. Manapság több módszer is létezik, amelyek segítenek a megfelelő függvény kiválasztásában. Az eljárás alkalmazása során minden komponens azonos súllyal szerepel. Csakúgy, mint a többi módszer esetében, itt is fontos, hogy a legfrissebb és legpontosabb információkat használjuk a gazdasági és társadalmi folyamatok előrejelzéséhez.

Az exponenciális simítás a mozgóátlagolásból ered, ám lehetővé teszi, hogy az időben közelebb álló adatok nagyobb súlyt kapjanak az elemzés során. A módszer sikeresen alkalmazható rövidtávú előrejelzések során. A szakirodalomban többféle simítási eljárás is ismert, 12 különböző technikát különböztethetünk meg [3]. A modell egyik hátránya, hogy a változások késéssel épülnek be az előrejelzésbe. Ezen kívül gondot okozhat a különböző eljárások közötti választás is.

3. SZTOCHASZTIKUS KAPCSOLATON ALAPULÓ ELŐREJELZÉSI MODELLEK

Sok esetben a dekompozíciós modellek nem képesek megfelelően leírni az elemezni kívánt folyamatokat. Ilyenkor a kutató a különböző kapcsolódó jelenségeken keresztül próbálja meg az előrejelzést elkészíteni. Az idősorok esetében a helyzet különös odafigyelést igényel, mivel a változók közötti sztochasztikus kapcsolat nem minden esetben egyértelmű. Előfordulhat, hogy két változó között akkor is kapcsolatot feltételezünk, amikor valójában ez nem igaz, hanem egy harmadik faktor hatása érvényesül az eredeti változókon keresztül.

Az utóbbi néhány évtizedben hatalmas fejlődés ment végbe az információ technológiában, amely elérhetővé tette számos új módszer alkalmazását. Például a faktor és klaszteranalízis segítségével lehetőség nyílik az úgynevezett „rejtett” kölcsönhatások azonosítására.

Amennyiben a komponensek kapcsolódási módja időben változik, akkor a klasszikus módszerek csak különböző korlátozásokkal alkalmazhatóak. Ez nehézséget jelent az elemzés előkészítési fázisában. Megoldást jelenthet a Boks-Jenkins modell, melynek nagy előnye, hogy együttesen képes kezelni a különböző hatásokat az idősorban. A módszer egy jól meghatározott struktúrát kínál a kutatók számára.

Az idősoros adatok értékei más tényezőktől és azok korábbi értékeitől is függhetnek. A dinamikus faktoranalízist több célból is alkalmazhatjuk. A módszer rugalmas, és lehetőséget biztosít a paraméterek szofisztikáltabb alkalmazására. Előnye, hogy figyelembe veszi a faktorok potenciális értékeit is.

A számítógépek megjelenése az előrejelzéseket egyszerűbbé és gyorsabbá tette. A kilencvenes években az ARIMA (Autoregresszív Integrált Mozgóátlag) módszer fokozatosan egyre népszerűbb lett. Az teszi megbízhatóbbá az egyszerű mozgóátlag számításnál, hogy az idősort két részre bontja: egy autoregresszív és egy mozgóátlag részre. A későbbiekben ezt továbbfejlesztették, és megjelentek a módosított változatai: TRAMO (Time Series Regression with ARIMA Noise Missing Observations) és SEATS (Signal Extraction in ARIMA Time Series). Tanulmányunknak nem célja ezeknek a módszereknek az ismertetése, az a különböző szakirodalmi forrásokban megtalálható, például: [2].

Az 1. Táblázatban található a különböző modellek összehasonlítása.

Módszer	Főbb jellemzők	Előnyök	Hátrányok	Alkalmazási lehetőségek és időhorizont
Mozgóátlag	Az alapirányzatot az idősorok dinamikus átlagolása adja meg	Egyszerű	Matematikailag kevésbé megbízható	Készletgazdálkodás; 1 vagy 2 hónap, esetleg negyedév
Analitikus trend	Az alapirányzatot matematikai függvénnyel írja le	Egyszerű, átlátható, grafikusán jól szemléltethető	A múlt tendenciáit túlértékeli	Technológiai fejlődés elemzése, termék-, piaci-, technikai paraméterek előrejelzése; rövidtáv
Exponenciális simítás	A nagyobb jelentőségű adatoknak nagyobb súlyt ad	Lehetőséget biztosít a szakmai tapasztalat modellbe építésére	Az előre jelzett értékek is a modellbe kerülnek	Termék- és piaci előrejelzések; rövidtáv
Harmonikus súlyozású résztrend	Eltérő súlyt ad a különböző időszakok résztrendjeinek	Rövidtávon megbízható	Könnyen mechanikussá válhat az előrejelzés	Foglalkoztatás, technológiai fejlődés előrejelzése, kereslet; rövid- és középtáv
Box-jenkins	Idősorok komplex kezelése	Az uralkodó hatásokat együtt kezeli	Munkaigényes, komplex és átfogó megközelítést igényel	Amikor a komponensek közötti kapcsolat nem egyértelmű; rövidtávon kiváló, középtávon jó
Dinamikus faktor-analízis	Az idősorelemzési technikákat kombinálja a faktorelemzéssel	Többoldalú elemzés lehetősége	Munka- és időigényes, képzett szakember szükséges	A szociális, gazdasági és technikai folyamatok minden területén; közép- és hosszú táv

1. táblázat. Különböző előrejelzési módszerek jellemzőinek összehasonlítása
 Forrás: Saját szerkesztés

4. EMPIRIKUS ÁRELŐREJELZÉS

A tanulmány első két fejezete a legelterjedtebb előrejelzési technikákat hasonlította össze. A harmadik fejezetben egy empirikus elemző munka kerül bemutatásra, mely során a metanol piaci árának előrejelzése a cél. A függő változó a Methanex havi átlagos európai regionális szerződéses árának természetes logaritmususa [4], melynek eredeti mértékegysége €/MT. Mivel a globális piacokon az USD a meghatározó fizetőeszköz, ezért az euróban kifejezett árakat dollárra konvertáltuk át. Az átváltáshoz az Európai Központi Bank átlagos árfolyamát alkalmaztuk. [5]

4.1. Adatbázis

Az elemző munkánk során hat különböző független változó került a modellekbe, melyek esetében a reziduumok normális eloszlásának biztosítása miatt az eredeti értékek helyett azok természetes logaritmusai kerültek felhasználásra. Mivel a metanol piaci ára egy nem-stacionárius és autokorrelált folyamat, így egy hetedik változó bevonása is elkerülhetlenné vált, így a metanol árának egy időszaki késleltetett értékének természetes logaritmususa szintén része lett a modelleknek. Az elemzés bázisául 2002. február és 2015. október közötti időszaka szolgált. A vizsgált időintervallumban havi adatok álltak rendelkezésünkre, így változónként 165 megfigyelési értékre tudtunk támaszkodni. Az előrejelzés során alkalmazott magyarázó változók az alábbiak voltak:

- lnMEPCP_MT2 /Methanex havi átlagos európai regionális szerződéses ár természetes logaritmusának egy időszaki késleltetett értéke, \$/MT, [4]/
- lnimpetr /EU28 SITC termékcsoportonkénti kereskedelmének természetes logaritmus, értékindex (2010=100), Extra EU-28, Petróleum, petróleum termékek és kapcsolódó anyagok [6]/
- lnimpchem /EU28 SITC termékcsoportonkénti kereskedelmének természetes logaritmus, értékindex (2010=100), Extra EU-28, Vegyi anyagok és kapcsolódó termékek [6]/
- lnconst /Építőipari termelés természetes logaritmus (2010 = 100), volumenindex [6]/
- lnbuildings /Építőipari termelés (csak az épületek) természetes logaritmus (2010 = 100), volumenindex [6]/
- lncrudeoilfut /nyersolaj future árának természetes logaritmus (€) [7]/
- lnnatgasfut /földgáz future árának természetes logaritmus (€) [7]/

4.2. Módszertan és eredmények

A vizsgált időtartomány viszonylag hosszú időt ölelt fel, és azt tapasztaltuk, hogy az egyes időszakokban különbözőképpen viselkedett a függő változó. Mindezt azzal magyaráztuk, hogy a vizsgált időszak alatt, több, összetett folyamat, gazdasági esemény is befolyásolhatta a függő változó alakulását. Így arra a következtetésre jutottunk, hogy ezen hatások elkülönített számszerűsítése elég bonyolult, és kevésbé megbízható, ezért a harmonikus résztrendek módszerével kombináltuk a többváltozós regresszió-számítás módszerét. Az alkalmazott módszer súlyozott csúszó trendek. A csúszó trend alkalmazása akkor célszerű, amikor a változók időben szabálytalanul viselkednek. A regresszió-elemzésnél számos feltételnek kell teljesülnie, melynek jelentős része a reziduumokra vonatkozik. Ezeknek a feltételeknek a teljesülését a legtöbb esetben – az OLS (ordinary least squares) módszert alkalmazva – a változók logaritmikus transzformációja oldotta meg. A multikollinearitást a Backward-eliminációs módszerrel küszöböltük ki, a zavaró autokorrelációt pedig a Durbin-Watson

statisztikával teszteltük. A résztrendek meghatározásánál 118 különböző regressziós függvénnyel dolgoztunk melyekben a magyarázó változók jelentősen ingadoztak. Egy-egy résztrend 4 éves (48 hónapos) periódusból állt. [8]

A simítási időszak kiválasztását követően a résztrendek paramétereinek becslése következett OLS módszerrel. A vizsgálat során 118 különböző regressziós egyenlet került meghatározásra, Mindegyik becslés változónként 48 adatra vonatkozott, úgy, hogy az elemzési időszakot folyamatosan, hónapról hónapra elcsúsztattuk.

Ezután az elkészült modellek becsléseiből minden hónapra meghatározásra került egy átlagos becsült érték. Minden hónapra (az első és utolsó 47 kivételével) 48 különböző becsült érték állt rendelkezésre. Az előrejelzésünk készítésénél figyelembe vettük, hogy az egyes résztrendeknél különböztek a magyarázóerőt jellemző többszörös determinációs együtthatók, ezért ezekkel súlyoztuk a résztrendek becsült értékeit, majd átlagoltuk azokat.

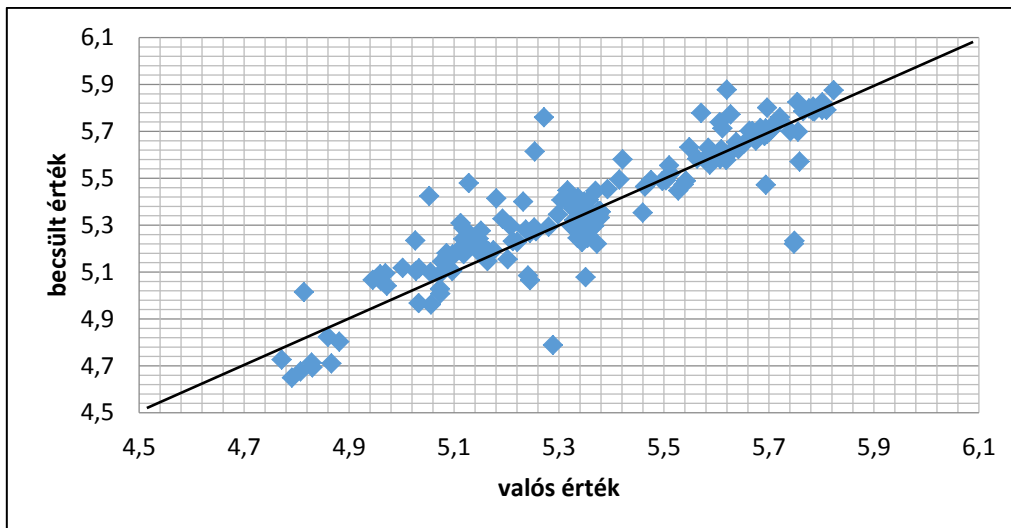
Mivel prognosztikai szempontból a jelen, illetve a jövő fejlődési tendenciájának alakulásában, az utolsó, frissebb, aktuálisabb értékek, változások nagyobb szerepet játszanak, megfelelő súlyrendszer alkalmazásával, a vizsgált időszak résztendenciáinak is adtunk különböző súlyokat, ezáltal biztosítva, hogy az időben közelebb álló adatok nagyobb súlyt kapjanak az előrejelzés során. Ehhez a harmonikus résztrendek módszeréből ismert eljárást alkalmaztuk. Miután rendelkezésre álltak a becsült értékek és a súlyok, lehetővé vált az előrejelzés.

4.3. Az eredmények ellenőrzése

A kapott eredmények ellenőrzése során a figyelmünket a hibák megbízhatósági szempontú értékelésére irányítottuk, azaz annak vizsgálatára, hogy mennyiben jelennek meg, mennyiben fedezhetőek fel, illetve felfedezhetőek-e az előrejelzés ex-post hibáiban a jövőbeli szisztematikus hibák jelei, tendenciái.

Az előrejelzett és a tényleges értékek kapcsolatát szemléltető diagramon a pontok egymáshoz való helyzete és azok időbeli alakulása alapján következtetéseket tudunk levonni a hibák természetére, illetve az esetleges szisztematikus módosulásokra vonatkozóan. A diagram arra épül, hogy „teljesen pontos” előrejelzés esetén az értékek az origóból induló 45°-os tengelyen helyezkednek el. Ez a pontos előrejelzés vonala természetesen csak elméleti jelentőségű, mivel a gyakorlatban csak véletlenszerűen számíthatunk rá. Nem szabad összetéveszteni a pontos előrejelzést a megbízható előrejelzéssel.

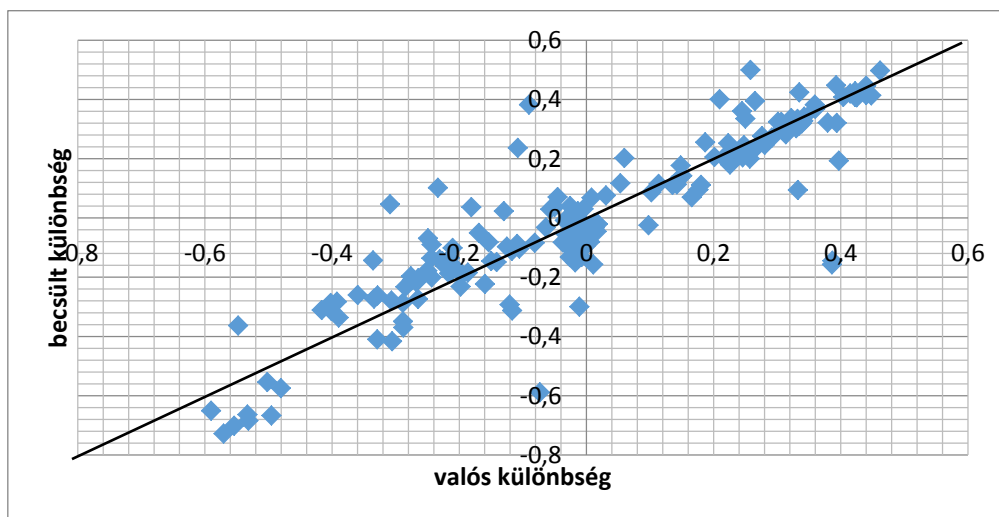
Az 1. ábra mutatja a különbséget a valós és a becsült értékek között. A metanol ár esetében előrejelzésünk megbízhatónak tekinthető, azaz feltételezhetjük, hogy nincs szisztematikus torzítás, ugyanis a pontthalmaz véletlenszerűen szóródik a pontos előrejelzés vonala körül.



1. ábra. Valós és becsült értékek eltérése
Forrás: Saját szerkesztés

Újabb tesztelési lehetőséget mutat a 2. ábra. A diagram megmutatja a különbséget a valódi értékek saját átlaguktól való eltérése és a becsült értékek saját átlaguktól való eltérése között. Csakúgy, mint az előző esetben az eredmény akkor fogadható el, ha az értékek az átló körül helyezkednek el.

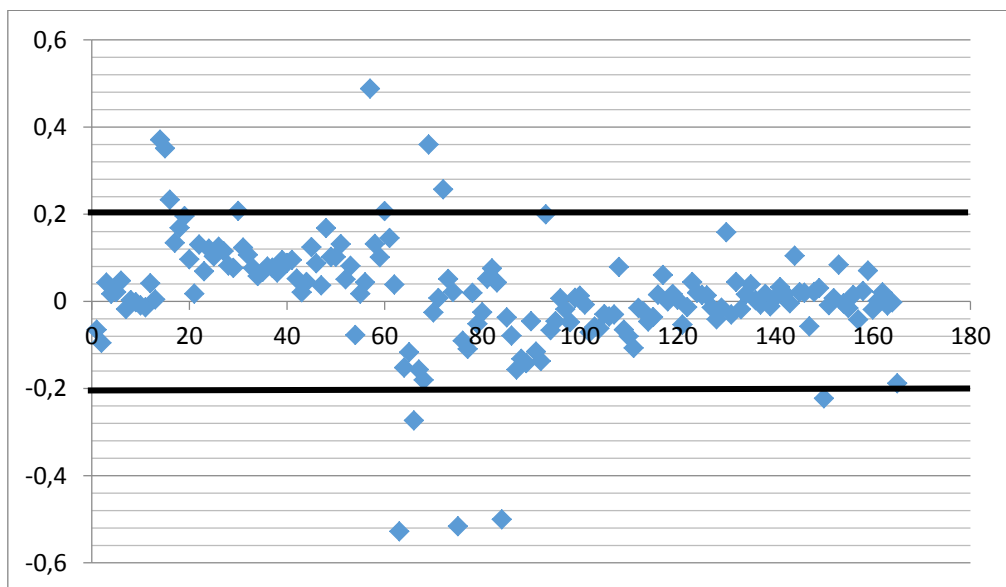
Az elemzésből látható, hogy a metanol árának előrejelzése elfogadható: nincs szisztematikus torzítás, az értékek véletlenszerűen helyezkednek el az átló körül. 5 esetben beszélhetünk káros alul- vagy felülbecslésről, ezek azonban főként a globális pénzügyi válság torzító hatásának tekinthetők.



2. ábra. A valós és becsült átlagtól való eltérések különbsége
Forrás: Saját szerkesztés

A 3. ábra a becsült értékeket az idő függvényében ábrázolja. A két lineáris vonal reprezentálja a burkológörbét, melyek értékét a standard hibák alapján határoztuk meg. Az előre jelzett értékek többnyire az intervallumon belül helyezkednek el, azonban 2006-2008 között némi torzítás figyelhető meg. A kiugró értékek egyik oka valószínűleg a globális

pénzügyi válság volt. A grafikus tesztek alapján elmondható, hogy az alkalmazott módszer alkalmas a metanol árának megbízható előrejelzésére.



3. ábra. Burkológörbe
Forrás: Saját szerkesztés

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az előrejelzés készítés számos módszere ismert. Azonban lehetetlen olyan eljárás meghatározása, amely minden körülmény között alkalmazható. Az előrejelzést készítő módszerek mindegyikére igaz, hogy egyetlen módszert sem célszerű önmagában használni. Az elemzések során fontos, hogy több módszer is alkalmazásra kerüljön, ezáltal növelve az eredmények megbízhatóságát. A különféle módszerek eredményeinek egybevetése alapján lehetséges csak állást foglalni a tekintetben, hogy mely esemény bekövetkezése a legvalószínűbb. Előfordulhat, hogy az egyes országokban alkalmazott eljárások más kontextusban már kevésbé hatékonyak. Az ilyen esetekben jól alkalmazhatóak azok a technikák, melyekben a szakértelem és szakmai tapasztalat jobban érvényesül. Mindazonáltal egy előrejelzés eredménye minden esetben függ a felhasznált adatok minőségétől is.

A súlyozott csúszó trendek módszere megbízható előrejelzési eljárásnak bizonyult, amely hatékonyan alkalmazható a piaci ár előrejelzéséhez. Az empirikus elemzés eredményei igazolták, hogy a modell elfogadható hibával képes előrejelezni az árak jövőbeli alakulását.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Géczi-Papp Renáta köszönetet mond a Pallas Athéné Domus Scientiae Alapítványnak támogatásáért.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **KIRCHGASSNER, G., WOLTERS, J.:** *Introduction to Modern Time Series Analysis.* Springer, Berlin Heidelberg, 2007, p.1.
- [2] **SUGÁR, A.:** *Szezonális kiigazításai eljárások I-II.,* In Statisztikai Szemle, Vol. 10-11., KSH Budapest, 1999
- [3] **MAKRIDAKIS, S.G., WHEELWRIGHT, S.C. AND MCGEE, V.E.:** *Forecasting: Methods and applications (2nd ed.).* New York: Wiley, 1983
- [4] **METHANEX PRICING,** letöltve: <https://www.methanex.com/our-business/pricing> , 2016.01.25.
- [5] **EUROPEAN CENTRAL BANK** exchange rates, letöltve: <https://www.ecb.europa.eu/stats/exchange/eurofxref/html/index.en.html> , 2016.01.25.
- [6] **EUROSTAT DATABASES,** letöltve: <http://ec.europa.eu/eurostat/data/database> , 2016.01.25.
- [7] **FUTURES PRICES,** download from: <http://www.investing.com/> , 2016.01.25.
- [8] **LLOYD, J.:** *Forecasting based on creeping trend with harmonic weights.* 2015 letöltve: <http://slideplayer.com/slide/4611935/> 2016.01.25.

ÁLTALÁNOSÍTOTT HIPERGEOMETRIKUS FÜGGVÉNYEK TÖBBFÉLE ASPEKTUSBÓL VALÓ VIZSGÁLATA

EXAMINATION OF GENERALIZED TRIGONOMETRIC FUNCTIONS FROM DIFFERENT ASPECTS

SZILVÁSINÉ Rozgonyi Erika

Ph.D., egyetemi docens
Miskolci Egyetem, Matematika Intézet,
Ábrázoló geometria Tanszék
matre@uni-miskolc.hu

Kivonat: Ezen dolgozat első részében a normál szinusz függvény többféle megadási módjait tárgyaljuk, majd a p -től függő $\sin_p(x)$ általánosított szinusz függvényt tekintjük, majd a $\sin_{p,q}(x)$ függvényt és néhány tulajdonságait. A cikk második felében pedig a $\sin_p(x)$ függvény hatványsorral való megadását tárgyaljuk és módszert adunk a hatványsorban lévő együtthatók kiszámítására különböző p értékek esetén.

Kulcsszavak: szinusz függvény, általánosított szinusz függvény, hatványsor

Abstract: In the first part of this paper we discuss several definitions of the normal sine function and we consider the $\sin_p(x)$ generalized sine function which depends on p . After we give the definition of $\sin_{p,q}(x)$ functions and describe some properties of these functions. In the second part of this paper we are concerned with the power series expansion of $\sin_p(x)$ generalized sine function-special generalized hypergeometric function- and we give a method for the computation of the coefficients of the power series of this function in case of different p values.

Keywords: sine function, generalized sine function, power series expansion of generalized sine function

1. A SZINUSZ FÜGGVÉNY ÉS ÁLTALÁNOSÍTÁSÁNAK TÖBBFÉLE MEGADÁSA:

1.1. A szinusz függvény megadása

Ha a szinusz függvényt definiálni szeretnénk, akkor lehetséges, hogy többen többféle megadási módra fognak gondolni, hiszen derékszögű háromszöggel vagy egységkörrel éppúgy definiálható. De ezeken túl számos módon értelmezhetjük még. Tekintsünk most ezekből néhányat:

1. D. Wei és Y. Liu [5] elsőrendű differenciálegyenlet rendszer megoldásaként definiálja a normál szinusz és koszinusz függvényeket- adott kezdeti feltételekkel- a következő módon:

$$\begin{cases} y' = x, & y(0) = 0 \\ x' = -y, & x(0) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

ami

$$\begin{cases} y'' + y = 0, & y(0) = 0, & y'(0) = 1 \\ x'' + x = 0, & x(0) = 1, & x'(0) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

alakba írható, ahol az egyenletrendszer megoldásaként az $y(t) = \sin t$ és az $x(t) = \cos t$ függvényeket kapjuk.

2. R. Klén, M. Vourinen, X. Zhang [2] dolgozatában a szerzők - másokhoz hasonlóan - az alábbi módon definiálják az $\arcsin(x)$ függvényt:

$$\arcsin(x) = \int_0^x \frac{1}{\sqrt{1-t^2}} dt, \quad 0 \leq x \leq 1, \quad (3)$$

és

$$\frac{\pi}{2} = \arcsin(1) = \int_0^1 \frac{dt}{\sqrt{1-t^2}} \quad (4)$$

integrálból számítható, majd a szinusz függvényt a $\left[0, \frac{\pi}{2}\right]$ -n az így megadott $\arcsin(x)$ függvény inverzeként adják meg és kiterjesztik $(-\infty, \infty)$ -re. (ld. [2])

Ezekon kívül számos más megközelítést is tekinthetnénk, de számunkra ezek a jelentősebbek az általánosítás szempontjából. Láthatjuk tehát, hogy többféle, egymástól teljesen eltérő megadási mód lehetséges, melyek leírása teljes és egyértelmű, de teljesen különböző.

1.2. Általánosított szinusz függvény megadása:

Az [1], [2], [3]... cikkekben a szerzők a p -től függő $\arcsin_p(x)$ függvényt az

$$\arcsin_p(x) \equiv \int_0^x \frac{1}{\sqrt[p]{1-t^p}} dt, \quad 0 \leq x \leq 1, \quad 1 < p < \infty \quad (5)$$

határozott integrállal adják meg, ahol

$$\frac{\pi_p}{2} = \arcsin_p(1) \equiv \int_0^1 \frac{dt}{\sqrt[p]{1-t^p}}$$

módon számítható, ami ha ábrázoljuk, különböző p értékek esetén, akkor egy szigorúan monoton csökkenő függvényt eredményez. Az (5) képlettel megadott $\arcsin_p(x)$ függvény

inverzét $\left[0, \frac{\pi_p}{2}\right]$ -n **általánosított szinusz függvénynek** nevezik. Ezen függvényekkel már

eddig is jó néhány nagyszerű matematikus foglalkozott, akik különböző aspektusból vizsgálták ezeket az általánosított trigonometrikus függvényeket, akik közül csak néhányat emelnék ki:

- E. Lundberg [4] 1879-ben megjelent -talán egyik legrégebbi- dolgozatában hipergeometrikus függvényekkel kapcsolatban említi az $\arcsin_p(x)$ függvényt
- 1938-ban V. I. Levin [3] és 1940-ben E. Schmidt [5] integrálegyenlőtlenséggel kapcsolatban definiálja az általánosított trigonometrikus függvényeket
- Elbert Á. [1] 1979-ben megjelent dolgozatában féllineáris közönséges differenciálegyenletekkel adja meg a fent említett függvényeket
- Bognár G. [2] 1992-ben írt cikkében nemlineáris parciális differenciálegyenletek megoldásaként tekinti az általánosított szinusz függvényt
- 2009-ben jelent meg D. Edmunds és J. Lang [1] összefoglaló dolgozata, melyben:
 - integráloperátor bevezetésével definiálják az általánosított szinusz függvényt
 - approximációelmélethez kapcsolódón megmutatták, hogy a Sobolev-féle térben lévő egységömb legnagyobb normájú eleme ezen általánosított szinusz függvénnyel arányos függvény
 - geometriai megközelítésként a klasszikus szinusz és koszinusz függvényt az R^2 síkon lévő egységkörrel és az l_2 metrikával definiálják és $r>0$ esetben $C_r = \{(x, y) \in R^2 \mid x^2 + y^2 = r^2\} \rightarrow$ általánosítva R^2 síkon és az l_p metrikával definiált p -kör $C_r = \{(x, y) \in R^2 \mid x^p + y^p = r^p\}$ -rel adott
 - klasszikus Dirichlet probléma megoldásaként is definiálják adott peremfeltételekkel

Két gyakorlati alkalmazást is található ezen függvényekkel kapcsolatban, melynek lényege, hogy a

$$\left| \frac{x}{a} \right|^n + \left| \frac{y}{b} \right|^n = 1$$

egyenletet tekintve, ahol a és b különböző valós paraméterek, n pedig pozitív valós szám az $n < 2$ esetben az egyenlet megoldásgörbéit az irodalomban *hipoellipsziseknek* nevezik, míg $n > 2$ esetben *hiperellipsziseket* kapunk.

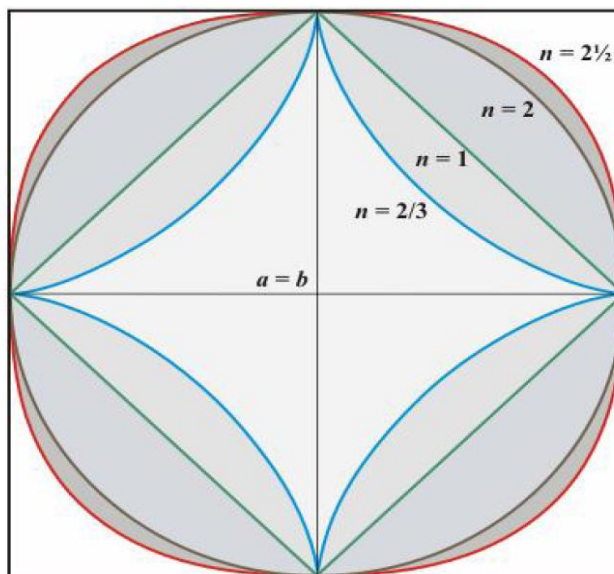
1818 Lamé említi először ezeket a görbéket, akinek tiszteletére sok helyen *Lamé görbéknek* nevezik őket. A mindennapi életben is találkozhatunk ezen görbékkel, például:

- Piet Hein (dán építész) stocholmban a Sergel tér tervezésénél ezen görbét alkalmazta $n=5/2$ esetén, melynek szuperellipszis nevet adott. A tér érdekessége, hogy egy körforgalom is egyben, melyben egy óriási szökőkút van, alatta pedig egy bevásárlóközpont található, melynek mennyezete átlátszó. Ezen görbét

alkalmazva számos hétköznapi tárgyat tervezett még, köztük tányérokat, hamutálakat, szupertojásokat.

- Hermann Zapf 1952-ben tervezte az $n=5/2$ szuperellipszissel a Melior betűtípust

A következő 1. ábrán különböző n értékek esetén a fentebb megadott egyenletnek eleget tevő görbéket látjuk, míg a 2. ábrán a Piet Hein által tervezett tér található.



1. ábra.



2. ábra. Sergel tér-Stocholm

1.2. A p -től, q -től függő általánosított szinusz függvény

Ha további általánosításait keressük ezen speciális hipergeometrikus függvényeknek, akkor például P. Drábek és R. Manásevich 1999-ben megjelent [11] dolgozatát találjuk, melyben nem csak egy, hanem két paraméterrel általánosítják a klasszikus szinusz függvényt, az alábbi módon.

Tekintsük a következő (p, q) - sajátérték problémát az adott Dirichlet- féle peremfeltételekkel:

$$\begin{cases} (\phi_p(u'))' + \lambda \phi_q(u) = 0, & t \in (0, T) \\ u(0) = u(T) = 0 \end{cases} \quad (6)$$

ahol $T, \lambda > 0$ és $p, q > 1$ valós szám, továbbá $\phi_p(x) = |x|^{p-2} \cdot x$ összefüggéssel értelmezhető.

Ha a $T = \pi_{p,q} / 2$, akkor az $u = \sin_{p,q}(t)$ megoldása a (6) problémának $\lambda = \frac{p}{q}(p-1)$ esetben,

ahol

$$\frac{\pi_{p,q}}{2} = \int_0^1 (1-t^q)^{-1/p} dt = \frac{2}{q} B\left(1 - \frac{1}{p}, \frac{1}{q}\right) \quad (7)$$

ahol B a speciális béta függvény.

2011-ben jelent meg D. Edmunds, P. Gurka, J. Lang [3] egy átfogó dolgozata a p -től, q -től függő általánosított trigonometrikus függvényekről, melyben $p, q > 1$ valós szám esetén

$$F_{p,q}(x) := \int_0^x \frac{1}{\sqrt[p]{1-t^q}} dt, \quad x \in [0, 1], \quad (8)$$

összefüggéssel értelmezett függvény esetén $\sin_{p,q}(x) F_{p,q}(x)$ -t inverzeként definiálják, amely a $[0, \pi_{p,q} / 2]$ értelmezett általánosított szinusz függvény, ahol

$$\frac{\pi_{p,q}}{2} = \int_0^1 \frac{1}{\sqrt[p]{1-t^q}} dt = \frac{2}{q} B\left(1 - \frac{1}{p}, \frac{1}{q}\right).$$

Ebben a cikkben a szerzők a $\sin_{p,q}(x)$ függvény néhány tulajdonságát is vizsgálják, melyek közül néhány:

- $\sin_{p,q}(0) = 0$, $\sin_{p,q}(\pi_{p,q} / 2) = 1$,
- $\sin_{p,q}(x)$ kiterjeszhető a valós számok halmazára [3],
- definiálható a p, q -től függő koszinusz függvény: $\cos_{p,q}(x) := \frac{d}{dx} \sin_{p,q}(x)$, $x \in \mathbb{R}$,
- érvényes: $|\sin_{p,q}(x)|^q + |\cos_{p,q}(x)|^p = 1$, $x \in \mathbb{R}$,

- $tg_{p,q}(x) := \frac{\sin_{p,q}(x)}{\cos_{p,q}(x)}$ összefüggéssel értelmezhető.

2. AZ ÁLTALÁNOSÍTOTT SZINUSZ FÜGGVÉNY HATVÁNYSORRAL VALÓ MEGADÁSA

Tekintsük a következő nemlineáris differenciálegyenleteket:

$$\left(|y'|^{p-1} y'\right)' \pm p|y|^{p-1} y = 0, \quad (9)$$

ahol $x > 0$, $p > 0$ valós szám.

Az egyenlet néhány tulajdonsága:

- az egyenlet a deriváltban is nemlineáris (féllineárisnak is nevezik, mivel a lineáris differenciálegyenletek jellemző tulajdonságainak csak a felét őrzi meg- Bihari Imrétől ered ez az elnevezés)
- megőrzi a homogenitás tulajdonságot: ha y megoldás, akkor $C \cdot y$ is az
- additivitás nem teljesül: ha y_1, y_2 két különböző megoldás, akkor tetszőleges C_1, C_2 esetén $C_1 \cdot y_1 + C_2 \cdot y_2$ általában nem megoldás

Ha a (9) differenciálegyenlet a következő alakú

$$\left(|y'|^{p-1} y'\right)' + p|y|^{p-1} y = 0, \quad (10)$$

ahol $x > 0$, és $p=1$, valamint:

$$y(0) = 0, \quad y'(0) = 1 \quad (11)$$

kezdeti feltételek teljesülnek, akkor a (10)-(11) kezdetiérték feladat megoldása az $y = \sin x$ függvény.

Ha a (10) egyenlethez a

$$y(0) = 1, \quad y'(0) = 0 \quad (12)$$

kezdeti feltételek járulnak, akkor megoldásként az $y = \cos x$ függvényt kapjuk.

Ha $p = 1$ és a vizsgált nemlineáris differenciálegyenlet az

$$\left(|y'|^{p-1} y'\right)' - p|y|^{p-1} y = 0, \quad (13)$$

akkor a $y(0) = 0$, $y'(0) = 1$ kezdeti feltételeket figyelembe véve az egyenlet megoldásaként az $y = \operatorname{sh}x$ adódik, míg ha a (13) differenciálegyenlethez a (12) kezdeti feltételt tekintjük, a differenciálegyenlet megoldásfüggvénye az $y = \operatorname{ch}x$.

Tetszőleges p értékek esetén az (9) differenciálegyenlet (11) vagy (12) kezdeti feltétel melletti megoldásait *általánosított trigonometrikus* és *hiperbolikus függvényeknek* nevezzük.

A (10) differenciálegyenlet megoldása a (11) kezdeti feltételek mellett az *általánosított szinusz függvény*, melynek jele: $y = S_p(x)$.

Ha a (10) differenciálegyenletet y' -vel végigszorozzuk és integráljuk, majd figyelembe vesszük a $y(0) = 0$, $y'(0) = 1$ feltételt, akkor a

$$|y'|^{p+1} + |y|^{p+1} = 1, \quad p > 0, \quad (14)$$

majd tetszőleges p esetén az $S_p(x)$ -t behelyettesítve

$$\left| S_p'(x) \right|^{p+1} + \left| S_p(x) \right|^{p+1} = 1, \quad p > 0 \quad (15)$$

a *pitagoraszi összefüggés általánosítását* kapjuk.

A $|y'|^{p+1} + |y|^{p+1} = 1$, $p > 0$ egyenletből rendezéssel, majd a változók szétválasztásával ($y > 0$, $y' > 0$):

$$\frac{dy}{\sqrt[p+1]{1-y^{p+1}}} = dx \quad (16)$$

adódik, melyből integrálással

$$x = \int_0^y \frac{dy}{\sqrt[p+1]{1-y^{p+1}}}, \quad (17)$$

ahol az általánosított szinusz függvény ($S_p(x)$) a maximumát, az $1-t \frac{\hat{\pi}}{2}$ -nél veszi fel, melyet a következő helyettesítéses integrállal számíthatunk ki: ($y^{p+1} = t$)

$$\begin{aligned} \frac{\hat{\pi}}{2} &= \int_0^1 \frac{1}{\sqrt[p+1]{1-y^{p+1}}} dy = \frac{1}{p+1} \int_0^1 t^{-\frac{p}{p+1}} (1-t)^{-\frac{1}{p+1}} dt \\ &= \frac{1}{p+1} B\left(\frac{1}{p+1}, \frac{p}{p+1}\right) = \frac{1}{p+1} \cdot \frac{\Gamma\left(\frac{p}{p+1}\right) \cdot \Gamma\left(\frac{1}{p+1}\right)}{\Gamma\left(\frac{p}{p+1} + \frac{1}{p+1}\right)} \end{aligned}$$

$$= \frac{1}{p+1} \cdot \Gamma\left(1 - \frac{1}{p+1}\right) \cdot \Gamma\left(\frac{1}{p+1}\right) = \frac{\pi}{\sin \frac{\pi}{p+1}}$$

ahol B, Γ speciális függvények.

Az $S_p(x)$ függvény kiterjeszhető a valós számok halmazára a következőképpen:

$$S_p(x) = \begin{cases} S_p(\hat{\pi} - x), & \text{ha } \frac{\hat{\pi}}{2} \leq x \leq \hat{\pi} \\ -S_p(x - \hat{\pi}), & \text{ha } \hat{\pi} \leq x < 2\hat{\pi} \\ S_p(x + 2k\hat{\pi}), & \text{ha } k = \pm 1, \pm 2, \dots \end{cases} \quad (18)$$

Az általánosított szinusz függvény sorbafejthető Bognár G. [7] cikke alapján:

$$S_p(x) = x \sum_{i=0}^{\infty} a_i x^{i(p+1)} = a_0 x + a_1 x^{p+2} + a_2 x^{2p+3} + a_3 x^{3p+4} + \dots \quad (19)$$

alakban a zérus környezetében.

Meghatározva a

$$S_p'(x) = \sum_{i=0}^{\infty} b_i x^{i(p+1)}, \quad b_i \in \mathbb{R}, \quad i = 0, 1, 2, \dots \quad (20)$$

$$S_p''(x) = x^p \sum_{i=0}^{\infty} c_i x^{i(p+1)}, \quad c_i \in \mathbb{R}, \quad i = 0, 1, 2, \dots \quad (21)$$

deriváltakat és összehasonlítva a megfelelő együtthatókat a következő formulák írhatóak fel:

$$\begin{cases} b_i = a_i (i(p+1) + 1) \\ c_i = b_{i+1} (i+1)(p+1), \quad i = 0, 1, 2, \dots \end{cases} \quad (22)$$

A $(|y'|^{p-1} y')' + p|y|^{p-1} y = 0$ differenciálegyenletbe behelyettesítjük az $S_p(x), S_p'(x), S_p''(x)$ függvényeket, melyekre $S_p(x) \geq 0, S_p'(x) \geq 0$ teljesül, melyek figyelembevételével kapjuk a differenciálegyenletünk következő alakját:

$$[S_p'(x)]^{p-1} \cdot S_p''(x) + [S_p(x)]^p = 0, \quad (23)$$

ahol felhasználjuk adott függvény elaszticitásának definícióját:

$$E(f(x)) := \frac{x}{f(x)} \cdot f'(x)$$

és tulajdonságait:

- $E(f(x) \cdot g(x)) = E(f(x)) + E(g(x))$,
- $E(x^\alpha) = \alpha$,
- $E(f^\alpha(x)) = \alpha \cdot E(f(x))$
- $E(-f(x)) = E(f(x))$.

Meghatározzuk az $S_p(x)$, $S'_p(x)$, $S''_p(x)$ függvények elaszticitását a következőképpen:

$$E(S_p(x)) = 1 + (p+1) \frac{\sum_{i=0}^{\infty} a_i \cdot i \cdot x^{i(p+1)}}{\sum_{i=0}^{\infty} a_i \cdot x^{i(p+1)}},$$

ahol a polinomosztást elvégezve kapjuk:

$$E(S_p(x)) = 1 + (p+1) \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cdot x^{k(p+1)}, \text{ ahol } A_k = k \cdot a_k - \sum_{i=1}^{k-1} A_i a_{k-i}.$$

Hasonlóan megadható az $E(S'_p(x))$, illetve $E(S''_p(x))$:

$$E(S'_p(x)) = (p+1) \cdot \sum_{k=1}^{\infty} B_k \cdot x^{k(p+1)}, \text{ ahol } B_k = k b_k - \sum_{i=1}^{k-1} B_i b_{k-i},$$

$$E(S''_p(x)) = p + (p+1) \cdot \sum_{k=1}^{\infty} C_k \cdot x^{k(p+1)}, \text{ ahol } C_k = -k c_k + \sum_{i=1}^{k-1} C_i c_{k-i},$$

majd ezeket az összefüggéseket a (23) differenciálegyenletbe helyettesítve, az elaszticitás tulajdonságait felhasználva, különböző átalakításokat, egyenletrendezéseket elvégezve a következő összefüggés adódik:

$$(p-1) \cdot \sum_{k=1}^{\infty} B_k \cdot x^{k(p+1)} + \sum_{k=1}^{\infty} C_k \cdot x^{k(p+1)} = p \cdot \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cdot x^{k(p+1)}. \quad (24)$$

Az egyenlet két oldalán a megfelelő együtthatók összehasonlításával és a kezdeti feltételek figyelembevételével a

$$C_k = p \cdot A_k - (p-1) B_k \quad k = 1, 2, \dots \quad (25)$$

rekurzív összefüggés írható fel, ahonnan c_k együttható kifejezhető és ezzel az átalánosított szinusz függvény sorfejtéses alakjában különböző p értékek esetén minden egyes a_i ($i = 0, 1, \dots$) együttható kiszámítható.

Példa: Oldjuk meg a $p=3$ esetben a $(y^{p/3})' + 3y^3 = 0$ differenciálegyenletet az $y(0) = 0, y'(0) = 1$ kezdeti feltételekkel.

Keressük a fenti egyenlet megoldását: $S_3(x) = x \sum_{i=0}^{\infty} a_i x^{i(p+1)}$ alakban. Az $y = S_3(x)$ hatványsor alakját a differenciálegyenletbe helyettesítve az elaszticitás alkalmazásával rekurzív formulát kapunk az a_i ($i = 0, 1, \dots$) együtthatók meghatározására. Maple-ben megírt program segítségével elvégzett számítások után:

$$S_3(x) = x - 0.05x^5 - 0.0048x^9 - 0.0012x^{13} - 0.00041x^{17} - \dots$$

alakú hatványsort kapjuk.

Összegezve tehát megállapítható, hogy ezen módszer segítségével különböző p értékek esetén sorbafejthető az általánosított szinusz függvény, mely egy újabb megközelítése az irodalomban oly sokak által vizsgált fent említett függvényeknek.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **D. Edmunds, J. Lang:** *Generalizing trigonometric functions from different points of view*, math.ohio-state.edu, 2009
- [2] **R. Klén, M. Vourinen, X. Zhang:** *Inequalities for the generalized trigonometric and hyperbolic functions*, Journal of Mathematical Analysis and Applications, Vol. 409, Issue 1, 2014, 521-529
- [3] **D. Edmunds, P. Gurka, J. Lang:** *Properties of generalized trigonometric functions*, Journal of Approximation Theory 164, 2012, 47-56
- [4] **B. A. Bhayo, M. Vourinen:** *On generalized trigonometric functions with two parameters*, Journal of Approximation Theory, Vol. 164, Issue 10, 2012, 1415-1426
- [5] **D. Wei, Y. Liu:** *Some generalized trigonometric sine functions and their applications*, Applied Mathematics Sciences, Vol. 6, 2012, no. 122, 6053-6068
- [6] **Elbert Á.:** *A half-linear second order differential equation*. Coll. Math. Soc. János Bolyai, 30. Qualitative theory of differential equations, Szeged, 1979, 153-179
- [7] **Bognár G.:** *On the solution of some nonlinear boundary value problem*, Proceedings of the First World Congress of Nonlinear Analysts, 1992, 2449-2458
- [8] **V. Levin:** *Notes on inequalities.II. On a class of integral inequalities*, Rec.math., Moscou,N.S.4., 1938, 309-322
- [9] **E. Lundberg:** *On hypergeometric functions of complex variables*, Translated by Jaak Peetre with the assistance of Julia and Peter Lindqvist. <http://www.maths.lth.se/matematiklu/personal/jaak/engJP.html>
- [10] **E. Schmidt:** *Über die Ungleichung, welche die Integrale Über eine Potenz einer Funktion and über eine andere Potenz ihrer Ableitung verbindet*, Math. Ann. 117, 1940, 301-326
- [11] **P. Drábek, R. Manásevich:** *On the closed solution to some p-Laplacian nonhomogeneous eigenvalue problems*, Differential integral equations 12, 1999, no. 6, 773-788.
- [12] **Szilvásiné Rozgonyi E.:** *Nemlineáris peremértékproblémák megoldásainak vizsgálata és néhány folyadék mechanikai alkalmazás*, PhD értekezés, Miskolci Egyetem, 2011, p. 115, Doktori témavazető: Vadászné Dr. Bognár Gabriella

MENETRÖGZÍTŐK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA

A COMPARATIVE EXPERIMENTAL STUDY ON THREADLOCKERS

SZLUK István¹, SZIGETI Ferenc²

¹ Hallgató

Nyíregyházi Egyetem, Műszaki és Agrártudományi Intézet, Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártástechnológiai Tanszék

E-mail cím: szlukistvan@gmail.com

² C.Sc., Főiskolai tanár, tanszékvezető

Nyíregyházi Egyetem, Műszaki és Agrártudományi Intézet, Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártástechnológiai Tanszék

E-mail cím: szigeti.ferenc@nye.hu

Kivonat: A menetrögzítővel történő csavarbiztosítás viszonylag új technológia. A vizsgálatok során négyféle menetméret esetén 8.8-as horganyzott acél csavarokon vizsgáltuk három menetrögzítő alkalmazásával az oldási nyomaték változását a kikeményedési idő függvényében. A kísérletek alapján következtetéseket vontunk le a felülettisztítás, a menetméret és a kikeményedési idő kötésszilárdságra gyakorolt hatására vonatkozóan a vizsgált menetrögzítő anyagok esetén.

Kulcsszavak: csavarkötések, csavarbiztosítás, menetrögzítő

Abstract: Threadlocking is a relatively new technology. Loosening torque was experimentally studied as a function of curing time. In the experiments 8.8 galvanized steels screws were investigated in case of four different thread size and three different threadlocker. Our measurement results are applicable to make conclusions on effects of surface cleaning, thread size and curing time to strength of bonding.

Keywords: screw connections, screw insurance, threadlocking

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS

A menetrögzítővel történő csavarbiztosítás viszonylag új technológia, melyben nem használnak különleges csavart, anyát vagy egyéb gépelemet (rugós alátét, kontra anya, bordázott peremű csavar, stb.). A menetrögzítő csavarbiztosítás előnyös, hiszen a mechanikai eszközök (biztosító lemez vagy a koronás anya) csak a kötés oldódását akadályozzák meg. A recézett peremű csavarok az önkioldást megakadályozzák, azonban viszonylag drágák, nagyobb méretű csavar szükséges, és az összefogni kívánt alkatrészek felülete sérül. A súrlódáson alapuló biztosító elemek növelik a kötés rugalmasságát, de dinamikus terhelés ellen nem védik a csavarkötést [1, 2].

A menetrögzítőként használt különféle ragasztóanyagok egyfajta hidat képeznek az összekapcsolni kívánt felületek között, függetlenül attól, hogy azonos vagy különböző anyagokról van szó. A ragasztott kötés függ a ragasztó és a felület közötti adhéziótól és a ragasztómolekulák közötti kohéziótól. Ragasztásnál a Van der Waals erőknek van a legnagyobb szerepük. Az adhézió nagysága függ a ragasztó nedvesítő képességétől, másrészt a felület ragaszthatóságától. A nedvesítés a ragasztó felületi feszültségétől, a munkadarab felületi energiájától és a ragasztó viszkozitásától függ. A nedvesítés minőségét a felület tisztasága befolyásolja. A ragasztott kötésben az adhéziós és a kohéziós erőknek lehetőleg meg kell egyeznie [3].

Az anaerob ragasztók olyan egykomponensű anyagok, amelyek az oxigén kizárásával szobahőmérsékleten kötnek meg. A ragasztóban van egy olyan komponens, ami inaktív addig,

amíg érintkezik a levegőben lévő oxigénnel, de ha elzárjuk a levegőtől, például menetrögzítésnél, akkor nagyon gyorsan elkezd kikeményedni [4].

A kikeményedés folyamata úgy zajlik, hogy a levegő kizárásával szabad gyökök keletkeznek a fémionok hatására, ezek indítják be a polimerizációs folyamatot. A kapilláris hatás miatt a ragasztóanyag a legkisebb felületi egyenetlenségbe is behatol és ottmarad. A kikeményedési folyamatot a felület és a ragasztó iniciálja és ezek katalizátorként hatnak egymásra.

Az anaerob ragasztók nagy nyírószilárdsággal rendelkeznek, tág hőmérséklettartományban használhatók, viszonylag gyorsan kikeményednek, egykomponensűek, emiatt adagolásuk könnyű. Használatuk során nem szükséges a felületek finom megmunkálása, jó tömítő hatással és kémiai ellenálló képességgel rendelkeznek, ugyanakkor rezgéseknek és tartós, dinamikus terheléseknek is jól ellenállnak.

A kikeményedési idő függ a ragasztandó alkatrészek anyagától, a munkadarabok közötti réstől, a hőmérséklettől és az aktivátor anyag használatától.

Anaerob ragasztókat alkalmaznak csavarögzítésnél, menettömítésnél, felülettömítésnél, tengely – agy illesztéseknél és általános ragasztásnál is [4].

A vizsgált menetrögzítők mindegyike egykomponensű, anaerob kötőanyag volt. Az anaerob menetrögzítő kikeményedése akkor indul meg, amikor az anyagot a környezeti levegőtől elzárjuk. A menetrögzítő kikeményedése során a menetrögzítő a menethez adhéziós, a ragasztómolekulák egymáshoz kohéziós kötással kapcsolódnak. A menetrögzítő használatának sok előnye van. Megbízható, hosszú élettartamú kötés alakítható ki, széleskörűen alkalmazható és eszközigénye kicsi [4].

A vizsgálatok célja annak kiderítése, hogy különböző típusú menetrögzítők alkalmazásakor a menetek tisztítása hogyan befolyásolja a kötés szilárdságát, hogyan változik az oldási nyomaték értéke a kikeményedés során, valamint a menetméret növelése hogyan befolyásolja a kötési szilárdságot.

2. KÍSÉRLETI TERV

A kísérletekhez 8.8-as minőségű horganyzott acél csavarokat és 8-as horganyzott anyát használtunk. A menetméreteket úgy választottuk meg, hogy a menetemelkedés eltérő legyen, így a vizsgálatokhoz M6-os, M10-es, M16-os és M20-as csavarokat használtunk. A vizsgálatokhoz kétféle Loctite Health & Safety menetrögzítőt (Loctite 2400 és 2700) valamint az AJett 126-os menetrögzítőt használtuk. A kísérleteket elvégeztük Loctite SF 7063-as tisztító és zsírtalanító szerrel kezelt csavarokon valamint tisztítás nélküli, kezeletlen csavarokon. A kikeményedés első szakaszában hat időpontban mértünk oldási nyomatékokat. A mérések 30 perc, 1 óra, 3 óra, 1 nap, 3 nap és 1 hét elteltével történtek.

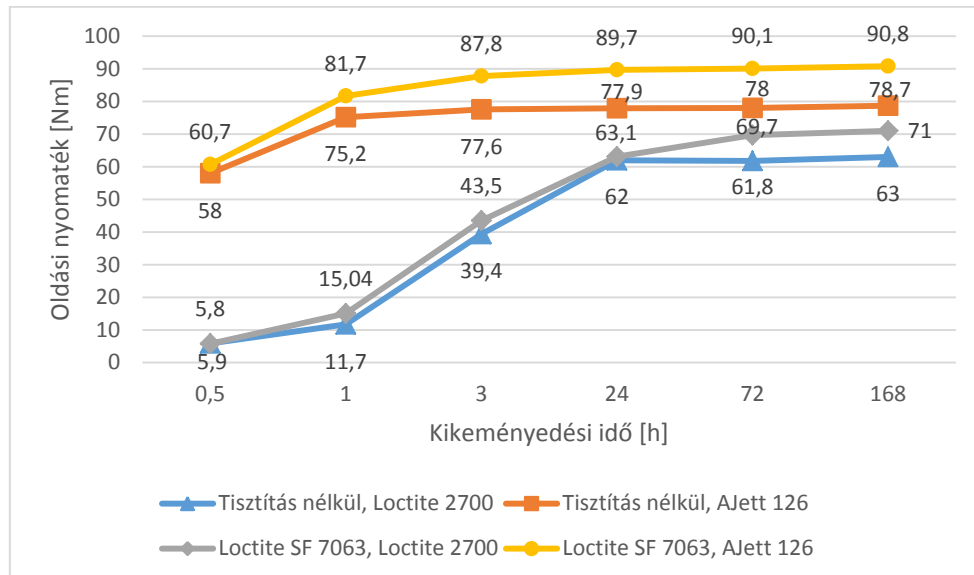
3. A KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

A kísérletek során állandó volt a menet típusa valamint a csavarok és anyák anyagminősége. Minden esetben normál métermenetet, 8.8-as horganyzott acél csavarokat és 8-as horganyzott acél anyákat vizsgáltunk.

Az 1. ábrán látható, hogy a tisztított csavarokon végzett kísérletek esetén a várakozásnak megfelelően nagyobb oldási nyomatékok voltak mérhetőek, mint a kezeletlen csavarokon végzett kísérletek esetében. Ez abból adódik, hogy a menetrögzítők a tiszta felülethez jobban tapadnak, mint a kevésbé tiszta felülethez, így erősebb kötés alakítható ki.

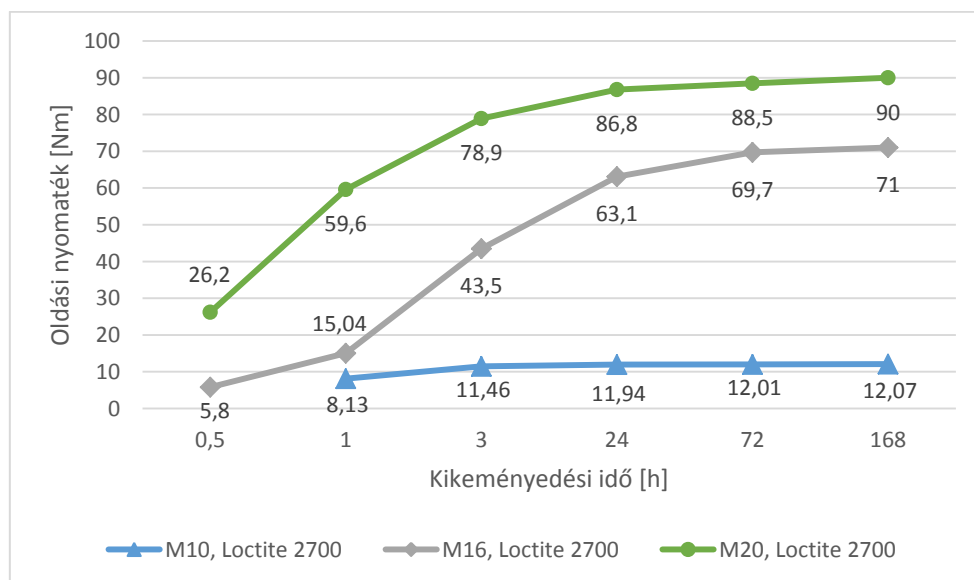
A két nagy szilárdságú menetrögzítő (Loctite 2700 és az AJett 126) összehasonlítása során megfigyelhető, hogy rövidebb kikeményedési idő után az AJett 126-os menetrögzítő

használatával lényegesen nagyobb volt a kötés szilárdsága. Ez előnyös lehet nagyszorozat és tömeggyártás esetén, ahol nem alkalmazható megfelelően a hosszú kikeményedési idejű menetrögzítő. Rövid kikeményedési idő esetén a szállítás és raktározás során már megfelelő a kötés szilárdsága, ezért nem károsodik a kötés.



1. ábra. A Loctite 2700 és az AJett 126 összehasonlítása M16-os csavarméreten

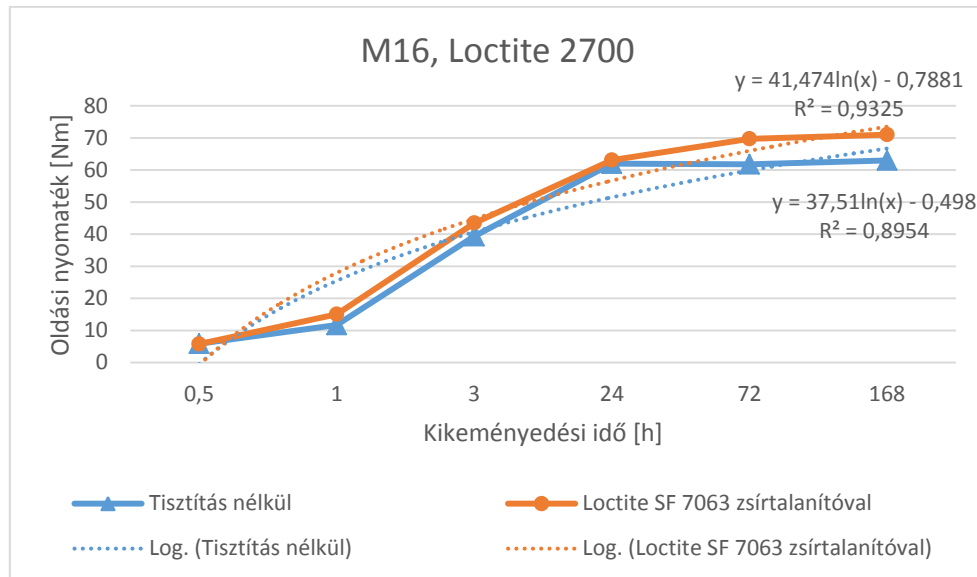
A kikeményedés első szakaszában észrevehető nagyobb különbség abból adódik, hogy a Loctite Health & Safety menetrögzítők inaktív (pl. horganyzott) felületeken kevésbé gyorsak.



2. ábra. Az oldási nyomaték értékei különböző menetméreteknél tisztított csavarokon

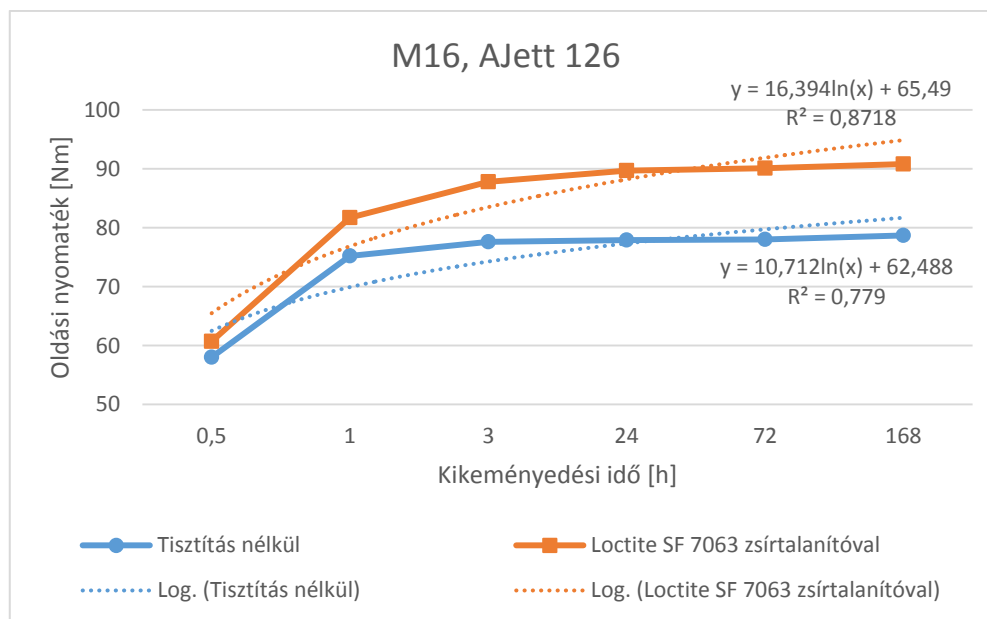
A különböző menetméreteken végzett kísérletek mérési eredményeit a 2. ábra mutatja. Az ábra alapján megfigyelhető, hogy a menetméret növelésével nőtt az oldási nyomatékok értéke is. Ez azzal magyarázható, hogy a nagyobb menetméretnél nő a menetek felülete, a menetrögzítő nagyobb felületen kapcsolódik, tehát erősebb kötés alakítható ki.

A 3. ábrán látható, hogy az oldási nyomatékok a kikeményedés első szakaszában jó közelítéssel logaritmikus jelleget mutatnak a Loctite menetrögzítő esetében (a mérési pontokra illesztett közelítő görbék korrelációs indexe a tisztítás nélküli csavarokon végzett kísérletek esetén 0,9, a tisztított csavarokon végzett kísérletek esetén 0,93).



3. ábra. A Loctite 2700-as menetrögzítővel M16-as csavaron mért értékek pontjaira illesztett logaritmikus görbék

Az AJett menetrögzítő használatánál az oldási nyomaték a kikeményedési idő függvényében szintén logaritmikus függvény szerint változik (4. ábra), azonban itt az illeszkedés kevésbé pontos (a tisztítás nélküli csavarokon végzett mérés közelítő görbéjének korrelációs indexe 0,78, míg a tisztított csavarokon végzett mérés közelítő görbéjének indexe 0,87).



4. ábra. Illesztett görbék az AJett 126-os menetrögzítővel M16-os csavaron

A két menetrögzítő közötti különbség magyarázata, hogy a Loctite 2700-as menetrögzítő kikeményedése lassúbb és egyenletesebb (jól közelíti a logaritmikus görbét), míg az AJett menetrögzítő sokkal gyorsabban, dinamikusabban éri el a maximális kötőszilárdságot.



5. ábra. A kötőelemek oldás után

A kísérletek során azt tapasztaltuk, hogy a kötés oldása után a csavarok és az anyák jelentősen felmelegedtek. Ez azzal magyarázható, hogy a ragasztó molekulái közötti kohéziós, illetve a ragasztó és a csavar felülete közötti adhéziós kötésekben tárolt energia bomlás után hőenergiává alakul. Oldás után a menetek közül a menetrögzítő nagyobb darabokban volt leválasztható (5. ábra). A kötés bontása után ebből adódóan lehetett arra következtetni, hogy az adhéziós vagy a kohéziós kötés volt a gyengébb. Ha az adhézió volt a gyengébb, akkor a menet felületén kevés menetrögzítő maradt és nagyobb darabokban vált le a kikeményedett menetrögzítő. Ha a kohézió volt a gyengébb, akkor mind az anya, mind a csavar menetárkaiban megtalálható volt a menetrögzítő.

4. KÖVETKEZTETÉSEK

A menetrögzítők összehasonlító vizsgálatára vonatkozó kísérletek fontosabb következtetései az alábbiakban foglalhatók össze:

A menetrögzítők használata során célszerű felülettisztítást végezni, mert így nagyobb oldási nyomatok érhetők el. Az AJett 126 menetrögzítő alkalmazásakor megfontolandó a tisztító és zsírtalanító szer elhagyása, hiszen felülettisztítás nélkül közel akkora volt az oldási nyomatok átlaga, mint a Loctite 2700 használatával a tisztított csavarokon végzett kísérletek esetében. Így a tisztításra fordított energia és költség megtakarítható.

A kísérleti eredmények értékelése alapján megállapítható, hogy az oldáshoz szükséges nyomaték a kikeményedési idő függvényében logaritmikus függvény szerint változik. A logaritmus függvénnyel való közelítés megfelelőségét a korrelációs indexek magas értékei igazolják, az esetek többségében az illeszkedés szorossága 0,9 fölött volt.

A Loctite 2700 típusú menetrögzítővel nem értük el a termék adatlapjában megadott értékeket, azonban a mért kötőszilárdság alapján a menetrögzítő így is a nagyszilárdságú kategóriába sorolható. A Loctite 2400 típusú menetrögzítővel végzett kísérletek alapján ez a típus közepes szilárdságúnak tekinthető [5, 6].

Kísérleteink igazolták, hogy a menetméret növelésével nő az oldáshoz szükséges nyomaték is. Ennek az a magyarázata, hogy menetméret növelésével a menetrögzítő is nagyobb felületen kapcsolódik, ezáltal nő a kötés szilárdsága.

Az M16-os méreten vizsgáltuk az AJett 126-os típusú menetrögzítőt is. Mivel ez is nagyszilárdságú menetrögzítő [7], így a Loctite 2700-assal összehasonlíthatóak az eredmények. A két nagyszilárdságú menetrögzítő közül az AJett menetrögzítővel biztosított csavarokon volt mérhető nagyobb oldási nyomaték.

Az AJett menetrögzítő rövid kikeményedési ideje előnyös, mert ebben az esetben a szerelés befejezéséig kikeményedik a menetrögzítő, eléri a teljes kötési szilárdságot, így a tárolás és szállítás során nem károsodhat a kötés.

A Loctite 2700 előnye, hogy környezetbarát, ezáltal a környezetre és a dolgozóra sem jelent veszélyt, ennek viszont az az ára, hogy inaktív (pl. horganyzott) felületeken kevésbé gyors a kikeményedés valamint az enyhén szennyezett felületeken a kötés kevésbé hatékony.

Az ipari végfelhasználók azonban a közeljövőben egyre inkább arra lesznek kényszerítve, hogy a jelenleg használt munka, környezet és egészségvédelmi szempontból kockázatot rejtő anyagaik helyett olyan Health & Safety (H&S) anyagokat alkalmazzanak, amelyeknek a biztonságtechnikai adatlapjai nem tartalmaznak veszélyjeleket. A kutatók azon dolgoznak, hogy ezen célnak megfelelő anyagokat fejlesszenek ki az ipari felhasználók számára. A kísérletekbe bevont Loctite 2400-as közepes szilárdságú csavarrögzítő és a Loctite 2700-as nagyszilárdságú csavarrögzítő ilyenek. Azonban a Health & Safety tulajdonságok ára az, hogy az ilyen ragasztók főleg inaktív (pl. horganyzott) felületeken kevésbé gyorsak, illetve az enyhén szennyezett felületeken kevésbé hatékonyak. Kérdésként merül fel, hogy a cikkben vizsgált két csavarrögzítő közül melyiknek és mekkora esélye van arra, hogy a jövőben felváltsa a jelenleg használt, a dolgozókra, a természetre és a környezetre kockázatot jelentő, bármilyen gyártó, (legyen az Henkel, AJett, Nicro, 3M, Sica, Würth...stb) által forgalmazott ragasztó- ill. menetrögzítő anyagokat.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **JANIK J. :** *Menet és csavartáblázatok.* Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974
- [2] **HENKEL:** *Csavarrögzítés.* Felhasználási útmutató, Loctite, Budapest, 2008
- [3] **ZSÁRY Á.:** *Gépelemek I.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1989
- [4] **HENKEL:** *Worldwide design handbook,* Loctite, München, 1998
- [5] Loctite 2400 Data Sheet: <http://tds.loctite.com/tds5/docs/2400-EN.PDF>
- [6] Loctite 2700 Data Sheet: <http://tds.loctite.com/tds5/docs/2700-EN.PDF>
- [7] AJett 126 Data Sheet: <http://www.ajett.com/AJett-126-TDS.pdf>

A FELSZÍN ALATTI VÍZ, A LÁTHATATLAN TERMÉSZETI ERŐFORRÁS

GROUNDWATER, THE INVISIBLE NATURAL RESOURCE

SZÚCS Péter

D.Sc., Tanszékvezető egyetemi tanár
Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar, Környezetgazdálkodási Intézet, Hidrogeológiai-
Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék
MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport
hgszcs@uni-miskolc.hu

Kivonat: *A felszín alatti vízkészletek igen jelentős szerepet játszanak Magyarországon. A cikk bemutatja a legfontosabb hazai hidrogeológiai vonatkozásokat, valamint a szakemberek előtt álló legfontosabb jövőbeli feladatokat és lehetőségeket. Világossá vált, hogy a hazai felszín alatti vizekkel kapcsolatos kihívások és problémák hatékony megoldására nemzetközi szintű új kutatási eredményekre van szükség. A ma is kiemelkedő színvonalú és nemzetközileg is látható hazai hidrogeológiai kutatások döntő része felsőoktatási intézményekben, valamint akadémiai kutatóintézetekben folyik különösebb koordináció nélkül. A nagynevű elődök munkáját folytató hazai kutatói kapacitás még hatékonyabban kihasználható lenne megfelelő szintű hálózati együttműködés és feladatorientált finanszírozás révén.*

Kulcsszavak: *hidrogeológia, felszín alatti vízkészletek, ivóvíz, ásványvíz, kutatás*

Abstract: *Groundwater resources play significant role inside the Carpathian Basin. 96 % of the drinking water supply is based on groundwater in Hungary. Besides the potable water resources, thermal, mineral and medicinal water resources are also well-known and famous. Health tourism can have a very high increasing potential inside the Carpathian Basin. The extent of the geothermal energy utilization can also be expected to grow in the near future to give more renewable energy to the society.*

Keywords: *hydrogeology, groundwater resources, drinking water, mineral water, medicinal water, thermal water, research activity*

1. BEVEZETÉS

Magyarország vezetékes vízellátásában igen nagy szerepe van a felszín alatti vízkészleteknek. Az ivóvízellátás több mint 95%-a felszín alatti vizeinkből származik. Híresek vagyunk ásványvíz-, gyógyvíz- és hévízkészleteinkről, geotermikus adottságainkról. A hidrogeológusok szakmai felelőssége jelenleg is igen nagy a tekintetben, hogy felszín alatti vizeinket mennyiségi és minőségi szempontokat is figyelembe véve fenntartható módon hasznosítsuk, illetve hosszú távon megőrizzük. Az utóbbi időkben azonban számos új globális és lokális természeti és társadalmi problémával is szembesülnünk kellett, amelyek káros hatásai sajnos igen jelentősek a környezeti elemekre, így a felszín alatti vizekre is. A jelen és a jövő hazai hidrogeológusainak új típusú szakmai kihívásokra kell hatékonyt választ adniuk intenzív kutatásokra alapozott innovatív megoldások segítségével.

2. HIDROGEOLOGIAI VISZONYOK A KÁRPÁT-MEDENCE BELSEJÉBEN

Magyarország a Duna vízgyűjtőterületén belül a Kárpát-medencében, a föld egyik legzártabb medencéjében helyezkedik el. Ennek a természetföldrajzi vonatkozásnak igen fontos kihatásai vannak a felszíni és felszín alatti vízkészleteinkre. Viszonylag kis területű hazánk hét országgal szomszédos, amely tény speciális viszonyokat alakít a felszín alatti

vizek esetében is. Európán belül Magyarországnak van fajlagosan a legtöbb határral osztott felszín alatti vízbázisa. Az ország vízgyűjtő-gazdálkodási tervében [15] megadott 185 felszín alatti víztestből jelenleg negyven hivatalosan is elismert határral osztott víztest. A tényleges helyzet ennél is nagyobb kiszolgáltatottságot jelent. Felszín alatti víztesteink fele határral osztottnak tekinthető, azaz országon kívüli hatások is jelentős mértékben befolyásolhatják felszín alatti vizeink mennyiségét és minőségét. E tény sokkal kevésbé közismert vagy látható, mint az, hogy a felszíni vizeink mintegy 96%-a nyugati, északi és keleti határainkon keresztül érkezik hazánk földjére. A határszéleken Magyarország a felszín alatti vízkészletek illetően is döntően alvízi helyzetben van, sajátos, részben kiszolgáltatott helyzetet teremtve. A hazai kutatások eredményeképpen igen fontos eredmények születtek a határral osztott felszín alatti vízadók vízkészleteinek hasznosítása területén [12], amely tapasztalatokat számos UNESCO kurzus keretében sikerült megosztani a nagyvilágban. A határral osztott vízgyűjtőknél a környezet- és klímaváltozás hatásai még intenzívebben jelentkezhetnek. E változásokra hidrogeológusainknak fel kell készülniük. Szomszédaink közül Ausztria (1995), Szlovákia, Szlovénia (2004), Románia (2007) és Horvátország (2013) az Európai Unió tagja. Velük a szakmai együttműködés a jogharmonizáció és az európai közös értékek mentén általában ma már egyszerűbb, mint a Duna-programokhoz csatlakozott, de nem EU-tag Szerbia és Ukrajna esetében.

Hazánk vízföldtani adottságai egyrészt igen jók, ugyanakkor a hidrogeológus szakembereknek speciális, az alábbiakban részletezett földtani, hidrogeológiai, meteorológiai és geotermikus viszonyokra kell számítaniuk a Pannon-medencében. Hazánk viszonylag nagy területein ugyanabban a naptári évben előfordulhat a felszín alatti vizekre is hatással levő árvíz, belvíz és akár aszály. A vízkészletekkel foglalkozó szakembereknek a vizek hasznosítása mellett a vizek kártétele elleni védelemre is fel kell készülniük Magyarországon. Hazánk változatos földtani és hidrogeológiai képet mutat, ahol szinte minden, szakmai szempontból izgalmas jelenség megtalálható egymás közelében. A vízellátás szempontjából komoly jelentőséggel bíró karszthegységeink hidrogeológiai viszonyai [1] mellett tanulmányozhatóak a hasadékos vulkáni, magmás és metamorfit kőzetek igen érdekes vízraktározási viszonyai is [11]. A nemzetközi érdeklődés figyelmébe került Alföld és a Kisalföld számos megoldásra váró problémát kínál a hidrogeológusok számára. A szakmai érdekességek sokaságának természeti okai között szerepel az, hogy a Föld kérge viszonylag vékonyabb a Kárpát-medence alatt, másrészt az egész Kárpát-medence jelenleg is megfigyelhető tektonikai kompresszió révén térrövidülés alatt áll, amely tovább fokozza a mélyebben elhelyezkedő vízadó és egyéb fluidumtároló összletek pórusnyomását.

Az Alföld egészét tekintve a rekonstruált felszín alatti vízárámter értelmezése alapján két folyadékfajta jelenlétével kell számolnunk. Felül egy gravitációs folyadékrendszer, míg alatta a tektonikai kompresszió által is generált túlnyomásos, vagy egyes emelkedő területeken alulnyomásos folyadékárámter található [7]. Az üledékképződésből, fluidumhőmérséklet-emelkedésből és tektonikai kompresszióból eredő erős túlnyomások forráshelyei uralkodóan a pre-neogén aljzat kimagasló rögei. Ebben a mély, fojtott hidraulikus áramlási rendszerben a folyadékok függőleges mozgáskomponense egyértelműen felfelé irányul. Az említett két nagy áramlási rendszer határfelülete igen komplex [4]: mélysége az Alföld különböző területein még meghatározásra vár. A csatlakozási zóna alakja és dinamikai jellege nagyon változó, és függ a hidrogeológiai környezettől, azaz a helyi domborzati, meteorológiai és geológiai viszonyoktól. Az Alföld kőzetvázát egy komplex szerkezetű pre-neogén aljzatú medence 7000 m vastagságot is elérő, fluidummal kitöltött neogén törmelékes üledékösszlete alkotja. Magyarországon a felszín alatti kőzetek pórusaiban és repedéseiben egy időben kb. 5000 km³ víz helyezkedik el. Ez a mennyiség tekinthető az ún. statikus felszín alatti készletnek. A fenntartható vízhasznosítás

szempontjából sokkal nagyobb jelentőségű a dinamikus készletek meghatározása. Országos szinten a felszín alatti, fenntartható módon kitermelhető vízkészlet $2 \text{ km}^3/\text{év}$ körül alakulhat, amely értéket további kutatások pontosíthatnak. Az üledékes összletek mellett a felszín alatti vizek kitermelése szempontjából hazánkban jelentős szerepet játszanak a repedezett (karsztos és vulkáni) vízadók is.

3. FELSZÍN ALATTI VIZEK A VÍZELLÁTÁSBAN

A világ vízellátásában a felszín alatti víz átvette a vezető szerepet a felszíni vízkészletektől [13]. Európában ma már a vízellátás 75%-a, míg Magyarországon több mint 95%-a származik a felszín alatti vizekből. Bár az ivóvízellátó közművek napi kapacitása Magyarországon $4,5$ millió m^3 , az éves termelt ivóvíz mennyisége csak kb. 700 millió m^3 . Az ivóvíz mellett az ásvány- és gyógyvizeinket, valamint a hévizeket is magában foglaló felszín alatti vízkészleteink még inkább felértékelődnek a közeljövőben, hiszen egyre szaporodnak a Föld lakosainak már jelenleg is mintegy felét érintő vízellátási problémák. Sajnos a változó természeti feltételek és adottságok mellett felszín alatti vízkészleteinket is veszélyeztetik azok az emberi hatások, amelyek egyrészt a környezeti elemek szennyeződésében vagy például az éghajlatváltozásban fejtik ki hatásukat. Érdekes hidrológiai különbség, hogy a szomszédos Romániában a vezetékes vízellátás ma is döntően felszíni vízkészletekre támaszkodik.

Magyarországon a felszín alatti vizek esetében a gyakorlati osztályozás [5] alapján többfajta víztípust is elkülönítünk. A parti szűrésű – a folyók kavicssteraszához közvetlenül is kapcsolható – vízkészleteket is ide soroljuk a hazai nevezéktan szerint. E vízkészletek – amelyek a vízellátás közel 40%-át teszik ki – bizonyítékai a felszín alatti és felszíni vizek közötti kölcsönhatásnak. A termelés fontos feltétele a mederfenéken a termelés hatására kialakuló, mikrobiológiailag aktív szűrőréteg. E vízkészlet megőrzése stratégiai fontosságú, Budapest szinte teljes egészében parti szűrésű vizet használ majd kétféle lakosa ellátására. E vízkészletet leginkább a folyó felől érkező szennyezők veszélyeztethetik. A parti szűrésű vízkészletek mellett elsősorban síkvidéki területeinken a rétegvizek jelentik még ivóvizeink legjelentősebb forrását. A Dunántúli-középhegység és a Bükk környezetében a sérülékeny karsztvíz is számottevő a víztermelésben. Sajnos a felszínhez legközelebb eső talajvizeink többsége ma már olyan rossz minőségű, hogy nem alkalmas ivóvízellátásra. Az ország kisebb területén, pl. a Tokaji-hegységben a vulkáni kőzetek hasadékaiban és repedéseiben tárolt víz is szerepet játszik lokális léptékben a vízellátásban. Fontos megérteni azt, hogy a felszín alatti vizek gyakorlati osztályozása egy mesterséges elkülönítést jelent, ahol az egyes felszín alatti vízkészlet fajták elkülönítése és egymással való kapcsolata mind lokális, mind regionális szinten a hidrogeológusok szakértelmét kívánja.

A biztonságos hazai vízellátás fenntartása érdekében tovább kell folytatni az országos vízbázisvédelmi programot az üzemelő és a távlati vízbázisok tekintetében. A mintegy 1700 hazai vízbázis több mint fele sérülékenynek tekinthető, így csak ezek megfelelő diagnosztikája, biztonságba helyezése és tartása garantálhatja létfontosságú nemzeti érdekünket az ivóvízellátás területén. Az ivóvízminőség-javító program keretében törekedni kell olyan lehetséges hidrogeológiai és vízgazdálkodási megoldásokra, amelyek nem csak az igen költséges víztisztítási technológiák alkalmazására támaszkodnak. Szakmai szempontból elkerülhetlenné vált a víziközmű-szolgáltatás teljes reformja, amelyben a hidrogeológusoknak is jelentős szerepet kell kapniuk. Közös érdekünk, hogy a víziközmű-szolgáltatással kapcsolatos szakmai elvárások jelentős mértékben emelkedjenek a jövőben. Ez szolgálhatja a vízszolgáltatás minőségének és megbízhatóságának további jövőbeli javulását, illetve a vízi közmű elöregedett infrastruktúrájának megújulását. Ma az igen jelentős, sokszor $20\text{--}30\%$ -ot is meghaladó hálózati veszteségek jelentős mértékben – károsan – befolyásolják

egy-egy adott helyen a természetes felszín alatti vízkészleteink mennyiségi és minőségi állapotát. Távlati vízbázisokat tekintve ugyanakkor jó helyzetben van az ország. A napi kb. 2–2,5 millió köbméteres felszín alatti víztermelés mellett kb. 1 millió m³/nap összesített kapacitású távlati vízbázissal rendelkezünk, amelynek nagyobb része a Duna és a Tisza mentén parti szűrésű rendszerként van kijelölve és védve.

4. ÁSVÁNY- ÉS GYÓGYVÍZ-, VALAMINT HÉVÍZKÉSZLETEINK HASZNOSÍTÁSA

Magyarország ásvány-, gyógy- és termálvízkinccse világviszonylatban is kiemelkedő, a nemzetgazdaság számára is jól hasznosítható, számos település és térség számára további felemelkedést és munkahelyteremtést jelenthető természeti érték. Az is világossá vált viszont, hogy az ásvány-, gyógy- és hévizek mennyiségi és minőségi védelme, valamint fenntartható hasznosítása területén új tudományos eredményekre, innovatív szakmai megoldásokra, interdiszciplináris együttműködésre, széles körű szakmai konzultációkra és új vízgazdálkodási stratégia kidolgozására van szükség [14]. A Kárpát-medence összetett vízrendszerébe tartozó értékes, felszín alatti vízkészleteink hasznosítása és védelme komplex, a határokon túlnyúló szemléletet, kutatást és vízgazdálkodási gyakorlatot is igényel. A környezetvédelmi szempontokat is figyelembe vevő ásvány- és gyógyvízellátás minőségi bővítését, a gyógyászati, rekreációs és wellness-igények kielégítését, valamint a geotermikus energia fokozott hasznosítását a nemzetközi szervezetekkel és tudományos trendekkel összehangoltan kell tervezni.

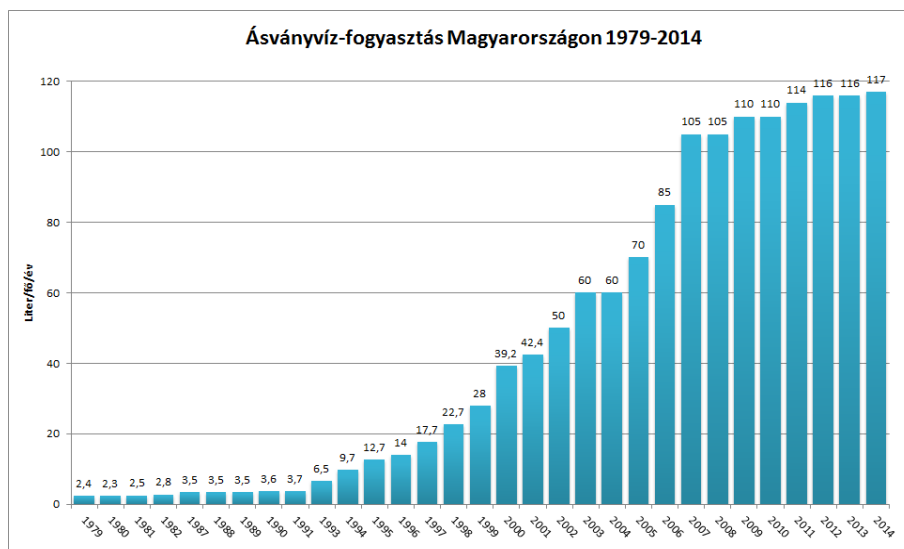
Az uniós csatlakozás után sokat változott az ásványvíz minősítés rendszere. A jelenlegi hazai és az európai uniós szabályozás szerint a természetes *ásványvíz* védett vízadó rétegből származik, eredendően tiszta, szennyeződésmentes, összetétele ismert és a természetes ingadozás keretein belül állandó, a szigorú mikrobiológiai követelményeknek megfelel. Az ásványvizet a víznyerő helyen palackozzák, kezelésben nem részesül, és a szén-dioxidon kívül nem tartalmaz idegen anyagot. Az ásványvizek hivatalos elismerésben részesülnek. A *gyógyvíz* olyan ásványvíz, amely oldott ásványianyag- vagy gáztartalma következtében gyógyhatású, meghatározott betegségekre vonatkozó gyógyhatását szigorú előírásokhoz kötött orvosi vizsgálatokkal kimutatták. Az Országos Gyógyhelyi és Gyógyfürdőügyi Főigazgatóság nyilvántartása szerint Magyarországon 258 elismert ásványvíz és 220 elismert gyógyvíz található. Az Új Széchenyi Terv Gyógyító Magyarország – Egészségipari Programja is magában foglalta hazánk kivételesen gazdag termál-, ásvány- és gyógyvízkészletének, geotermikus adottságainak hatékony, sokrétű kiaknázását és hasznosítását.

Az utóbbi húsz évben az ásványvízfogyasztás jelentősen nőtt nemcsak Magyarországon, de a világon mindenütt. Az ásványvízfogyasztás ma már szervesen hozzátartozik az egészséges életmódról kialakított képzetünkhöz. 2013-ban és 2014-ben hazánkban az egy főre jutó ásványvízfogyasztás 117 liter/fő/év körül alakult (1. *ábra*). A kiváló természeti adottságokat jól jellemzi, hogy szinte minden ásványvíztípus megtalálható Magyarországon [3]. Igényeink és egészségi állapotunk szerint választhatunk a kénes, a radontartalmú, a savanyú, az alkalikus, a földes-meszes, a konyhasós, a keserűsós, a vasas és a jódos, valamint a brómos ásványvizek közül. Jelenleg több mint ötven különböző hazai palackozott ásványvíz kerül kereskedelmi forgalomba. Az ásványvíz nemcsak az emberi szervezetre gyakorolt kedvező hatása miatt fontos, hanem a szépségiparnak is kitűnő alapanyaga (például természetes ásványvíz alapú kozmetikumok). Az is említést érdemel, hogy hazánkban a vezetékes ivóvizek nagyon sok helyen ásványvíz minőségűek. Igaz, közegészségügyi szempontok miatt klórozottak, illetve egyes vidékeken enyhén mellékízűek. Ezért fordulhat elő az is, hogy az

olcsó és a mindig rendelkezésre álló csapvizek helyett sokszor a szubjektív igényeinknek jobban megfelelő, de a fajlagosan drága ásványvizeket részesítjük előnyben.

Az ásvány- és gyógyvizek igazi értékét elsősorban a vízben oldott kémiai elemek, ásványi anyagok és gázok minősége és mennyisége határozza meg. E tekintetben a hazai és az egész Kárpát-medencében előforduló ásványvizek sokkal gazdagabbak és értékesebbek az Európai Unió egyéb területein feltárt és jóval hígabb összetételű ásványvizeknél. A Kárpát-medencében a Hargita vidéke tekinthető az egyik legjobb ásványvízlelőhelynek, ahol alig több mint 6000 km²-es területen fantasztikus változatosságban fordulnak elő a „borvizek”. A komplex vízföldtani viszonyok mellett a székelyföldi terület aktív utóvulkáni folyamatai szintén hozzájárulnak az itt található felszín alatti vizek igen értékes ásványianyagtartalmához. Az 1806-tól palackozott Borszéki ásványvíz nem véletlenül nyerte el az Ásványvizek királynője címet 1873-ban. A hazai gyógyturizmus számára nagy jelentőségű, hogy kormányzati támogatással igen jelentős fejlesztések történtek az elmúlt évtizedben. Több mint száz termálfürdő-fejlesztési projekt kapott támogatást. Az Országos Gyógyhelyi és Gyógyfürdőügyi Főigazgatóság nyilvántartása szerint Magyarországon mintegy ezerkétszáz hévízkút, hetven gyógyfürdő, öt gyógybarlang, öt helyszíni kitermelésű iszaptelep, egy mofetta és tizenhárom gyógyhely található. Nemzetközi összefüggésben hazánk a termálvízben leggazdagabb első öt ország közé tartozik. A fejlesztések eredményeként ma már kb. negyven nagy, nemzetközileg is elismert gyógy- és termálvízre épülő központ van Magyarországon. Gyógyvízkészleteink a gyógyhatások sokféleségét tekintve világszinten is egyedülálló értéket képviselnek. A balneológia (gyógyfürdőtan) tudománya a gyógyforrások és gyógyvizek gyógyfürdői alkalmazásával foglalkozik. A fürdőkúrák során egyrészt víz fizikai tényezői (hőmérséklete, nyomása, felhajtóereje) hatnak az emberi szervezetre. Ezeket a hatásokat használja fel a hidroterápia. A hidroterápiás hatásokat kiegészítik a gyógyvízben oldott állapotban található ásványi anyagok és elemek hatásai. A hazai gyógyvizek orvosi hatásainak vizsgálata és mindennapi orvosi gyakorlatba való bevezetése a célja azoknak a hazai kutatóknak is, akik a közelmúltban megalapították a Nemzetközi Balneológiai Kutató Központot. Fontos lenne, hogy az egyetemi oktatáson belül legyen önálló balneológusképzés is. A Miskolci Egyetemen 2016-ban indulhat az újonnan bevezetett Balneoterápia szakirányú továbbképzési szak az Egészségügyi Kar és a Műszaki Földtudományi Kar közös szervezésében.

A jövőben a hidrológiának jelentős szerepet kell játszania a geotermikus energia felhasználásának növelésében is. A 30 °C-nál melegebb hévizeknek igen jelentős szerepük van a hő, illetve az energia felszínre hozatalában és hasznosításában. Bonyolítja a helyzetet, hogy a termálvizek a Kárpát-medencében sok helyen hidraulikailag összefüggenek az ivóvíztermelésre használt rétegekkel. Speciális vízgazdálkodási stratégia kialakítására van szükség annak érdekében, hogy fenntartható módon elégíthessük ki egy adott területen a felszín alatti vízre alapozó ivóvíz-, gyógyászati célú és az energetikai célú igényeket. Hazánk, valamint a Kárpát-medence kimagaslóan jó geotermikus potenciálját, hidrogeotermikus rendszereit, hévízfelhasználási lehetőségeit az utóbbi időben több kiváló tanulmány is bemutatta [6, 9, 10]. Magyarország területén a felszín alatt a föld belseje felől az átlagos földi hőáram értéke kb. 90 mW/m², míg a geotermikus gradiens 30–50 °C/km értéktartományban változik. Ezen adatok birtokában meghatározható az ország elméletileg rendelkezésre álló teljes dinamikus hőkészlete, amely több mint 8000 MW. Ehhez képest a geotermikus energia tényleges hasznosításának mértéke jelenleg sokkal kisebb. Az igen változatos geológiai és vízföldtani kép biztosíthatja a különböző jellegű és típusú geotermikus energia hasznosítása alapjainak kiszélesítését Magyarországon [2]. A hévíztároló neogén képződmények általában túlnyomósok. Több helyen a pre-neogén képződményekben és az aljzatban még az 50%-ot is meghaladó túlnyomások várhatóak, megnehezítve és drágítva a hasznosítás lehetőségeit.



1. ábra. Az egy főre jutó évi ásványvízfogyasztás alakulása Magyarországon (forrás: Magyar Ásványvíz Szövetség és TermékTanács)

A közepes entalpiájú rendszerek 30–100 °C hőmérsékletű vizeit elsősorban kaszkárendszerű kommunális rendszerekben fűtésre és lakossági és ipari használati melegvíz-szolgáltatásra, valamint wellness- és gyógyfürdőkben, mezőgazdasági létesítményekben (üvegházak, fóliasátrak, istállók fűtése, szárítás stb.) hasznosítják. A legkedvezőbb adottságú térségben, a Dél-Alföldön gyakorlatilag minden település esetén földtanilag lehetséges a közepes entalpiájú rendszerekkel történő hőhasznosítás. Világosan látszik azonban, hogy hévízkészleteink termelése sok helyen meghaladja a fenntartható mértéket [9]. E helyeken folyamatos vízszintsüllyedéseket regisztrálhatunk. Ezért nagyon fontos az energetikai célú hévízkivételek esetében a ma már jogszabályilag is előírt visszajuttatás. A vízvisszasajtolás technológiáját tehát a költségek csökkentése érdekében fejleszteni kell. A jövőben emellett hangsúlyt kell helyezni a meglévő vízkivételek hőenergiájának optimalizálására, a többlépcsős hasznosítás terveinek kidolgozására és megvalósítására, a hasznosítás hatásfokának növelésére. A hazai fenntartható geotermikus energiahasznosításra egy igen jó példa az utóbbi évekből az a miskolci nagyléptékű beruházás, amelynek eredményeképpen létrejött Közép-Európa legnagyobb geotermikus hőerőműve mintegy 50 MW fűtési kapacitással.

A nagy entalpiájú, 100 °C vízhőmérséklet feletti rendszerek létesítésének alapvető célja az elektromos energia termelése, illetve az egységnyi elektromos energia előállításánál keletkező hat-nyolc egységnyi hulladék hőenergia együttes hasznosítása. Bár az országban több helyen is található olyan területeket (például Fábiansebestyén, Makói-árok, Békéssülyedék, Derecskei-árok), ahol akár 180–200 °C hőmérsékletű felszín alatti vizek állnának rendelkezésre áramfejlesztésre, sajnos ilyen beruházások eddig nem valósultak meg a Kárpát-medencében. Egy sikeres geotermikus koncessziós pályázat eredményeként Battonya térségében folynak előzetes hazai kutatások egy EGS- (HDR) típusú erőmű kifejlesztésére. Bár az üzembiztos működés során számos műszaki problémával kell megküzdeni, ugyanakkor a nagy mélységű EGS-rendszerek elvileg több helyen is telepíthetőek lennének a medencealjzatban Magyarországon.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az ivóvízellátásban jelentős szerepet betöltő, a jövőben is védendő, felszín alatti vízkészleteink kiemelkedő természeti értéket képviselnek. Ásvány-, gyógyvíz és hévízkészleteink is számottevőek, amelyek szélesebb körű hasznosítása nemzetgazdasági érdek. A Kárpát-medence szintű fellépés az ásványvizek és gyógyvizek marketingje érdekében sokat javíthat a jelenleg elfoglalt európai piaci pozíciókon és a hasznosítási lehetőségeken. Tisztában kell lenni azzal, hogy felszín alatti vizeink nem kimeríthetetlenek, sőt az Alföld egyes területein a kihasználtság már jelenleg is közel 100%-os. A jövőben még fontosabbá válik, hogy a hidrogeológusok az eddigieknél megbízhatóbban adják meg lokális vagy regionális léptékben a felszín alatti hasznosítható vízkészleteket. Az energetikai célú hévizek visszasajtolásával részben fenntartható az ásvány- és gyógyvizeket is magukban foglaló mélyebb rétegvizes rendszerek hidraulikai és vízminőségi viszonyai. Bár a prognosztizált éghajlatváltozási forgatókönyvek alapján a felszín alatti vízkészletek némi csökkenése várható, a biztonságos és fenntartható ivóvízellátás generációkon keresztül biztosítható hazánkban regionális vízellátó rendszerek üzemeltetésével, valamint a mindenkori kormányok által támogatott megfelelő nemzeti vízgazdálkodási stratégia alkalmazásával.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Az ismertetett kutató munka a Miskolci Egyetemen működő Fenntartható Természeti Erőforrás Gazdálkodás Kiválósági Központ TÁMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0049 jelű „KÚTFŐ” projektjének részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **ERŐSS, A., MÁFL-SZŐNYI, J., SURBECK, H., HORVÁTH, Á., GOLDSCHREIDER, N., CSOMA É. A.,** *Radionuclides as natural tracers for the characterization of fluids in regional discharge areas, Buda Thermal Karst, Hungary.* Journal of Hydrology 2012/426 – 427: pp. 124 – 137.
- [2] **BOBOK, E., TÓTH, A.,** *A geotermikus energia helyzete és perspektívái.* Magyar Tudomány. 8, 926 – 936. <http://www.matud.iif.hu/2010/08/04.htm>
- [3] **BORSZÉKI, B. Gy.,** *Ásványvizek, gyógyvizek.* MÉTE, Budapest
- [4] **CZAUNER, B., MÁDL-SZŐNYI, J.,** *Regional hydraulic behaviour of structural zones and sedimentological heterogeneities in an overpressured sedimentary basin.* Marine and Petroleum Geology 2013/48, pp. 260 – 274.
- [5] **JUHÁSZ, J.,** *Hidrogeológia.* Akadémiai, Budapest, 2002
- [6] **MÁDLNÉ-SZŐNYI, J.,** *A geotermikus energia.* Grafon, Nagykovácsi, 2006
- [7] **MÁDL-SZŐNYI, J., PULAY, E., TÓTH, Á., BODOR, P.,** *Regional underpressure: a factor of uncertainty in the geothermal exploration of deep carbonates, Gödöllő Region, Hungary,* Environmental Earth Sciences, 2015/74 (12), pp. 7523 – 7538.
- [8] **SZANYI, J., KOVÁCS, B.,** *Utilization of Geothermal Systems in South-East Hungary.* Geothermics. 39, pp. 357 – 364. 2010
- [9] **SZANYI J., KOVÁCS, B., CZINKOTA I., KÓBOR, B., MEDGYES, T., BARCZA, M., BÁLINT, A., KISS, S.,** *Sustainable Geothermal Reservoir Management Using Geophysical and Hydraulic Investigations. Proceedings of the 2011 World Environmental and Water Resources Congress California, 2011 pp. 871 – 875 2011*

- [10] **SZÉKELY, F.**, *Hévízeink és hasznosításuk*. Magyar Tudomány. 12, pp. 1473 – 1485. <http://www.matud.iif.hu/2010/12/08.htm> 2010
- [11] **SZÉKELY, F., SZÚCS, P., ZÁKÁNYI, B., CSERNY, T., FEJES, Z.**, *Comparative analysis of pumping tests conducted in layered rhyolitic volcanic formations*. Journal of Hydrology, ELSEVIER, 2015/520, pp. 180 – 185.
- [12] **SZÚCS, P., VIRÁG, M., ZÁKÁNYI, B., KOMPÁR, L., SZÁNTÓ, J.**, *Investigation and Water Management Aspects of a Hungarian-Ukrainian Transboundary Aquifer*. Water Resources 2013/40,(4) pp. 462 – 468.
- [13] **SZÚCS, P., SALLAI, F., ZÁKÁNYI, B., MADARÁSZ, T.**, *Vízkezelésvédelem. A vízminőség-védelem aktuális kérdései*. Bíbor, Miskolc 2009 http://www.hidrotanszek.hu/Hirek/Vizkezesletvedelem/vizkezesletvedelem_tartalomjegyzek.pdf
- [14] **BUDAY, T., SZÚCS, P., KOZÁK, M., PÜSPÖKI, Z., MCINTOSH, R. W., BÓDI, E., BÁLINT, B., BULÁTKÓ, K.**, *Sustainability aspects of thermal water production in the region of Hajdúszoboszló-Debrecen, Hungary*. Environmental Earth Sciences 2015/74, pp. 7513 – 7521
- [15] **ORSZÁGOS VÍZÜGYI FŐIGAZGATÓSÁG** , <http://www.vizeink.hu> , *A Duna vízgyűjtő magyarországi része. Vízgyűjtő-gazdálkodási terv. VGT2, 2015. december*

OSZTÁLYOZÁSON ALAPULÓ POZICIONÁLÁSI MÓDSZEREK VIZSGÁLATA A MISKOLCI INFORMATIKAI ÉPÜLET HIBRID ADATHALMAZA ALAPJÁN

COMPARISON OF CLASSIFICATION BASED INDOOR POSITIONING METHODS IN THE MISKOLC INSTITUTE OF INFORMATION SCIENCE HYBRID DATASET

TAMÁS Judit¹, TÓTH Zsolt²

¹hallgató, ²adjunktus

Miskolci Egyetem, Általános Informatikai Tanszék

¹tamas13@iit.uni-miskolc.hu, ²tothzs@iit.uni-miskolc.hu

Kivonat: Osztályozási módszerek szimbolikus beltéri helyzet meghatározásra történő alkalmazási lehetőségét vizsgálja a tanulmány. Az összehasonlítás a Miskolci Egyetem Informatikai Épületének hibrid adathalmaza alapján történik. A Miskolci Egyetem Informatikai Épületének hibrid adathalmaza egy 3 emeletes épületben került felmérésre és Bluetooth, WiFi RSSI és magnetómer szenzorok értékeit tartalmazza ismert pozíciókban. A beltéri pozicionáló rendszer hatékonysága nagyban függ a környezettől, és a szenzorok minőségétől. A pozicionáló probléma tekinthető osztályozási feladatnak, ahol a mérések a tulajdonságok, és a szimbolikus pozíció az osztály. Döntési fa, ID3 fa, és szabály indukció lett használva az osztályozási probléma megoldására. A vizsgált módszerek RapidMiner segítségével lettek implementálva, és kiértékelve. A vizsgált módszereket az osztályozási pontosságuk szerint rangsoroltuk.

Kulcsszavak: Beltéri pozicionálás, Osztályozás, Adat bányászat

Abstract: This paper presents the comparison of classification based symbolic indoor positioning methods. The algorithms were evaluated over the Miskolc Institute of Information Science (IIS) Hybrid Indoor Positioning System (IPS) Dataset. Miskolc IIS Hybrid IPS Dataset contains measurements about a 3-story building. Bluetooth, WiFi RSSI and Magnetometer were used to create the dataset. The efficiency of the indoor positioning system depends on many factors such as the environment, the quality of the sensor. The positioning problem was converted into a classification task where the measurements are the attributes and the symbolic location denotes the category. Decision Tree, ID3 tree and Rule Induction was used to solve the classification problem. The tested indoor positioning methods were implemented and evaluated in RapidMiner. Accuracy was the key criterium during the comparison of the tested classifiers.

Keywords: Indoor positioning, Classification, Data mining

1. BEVEZETÉS

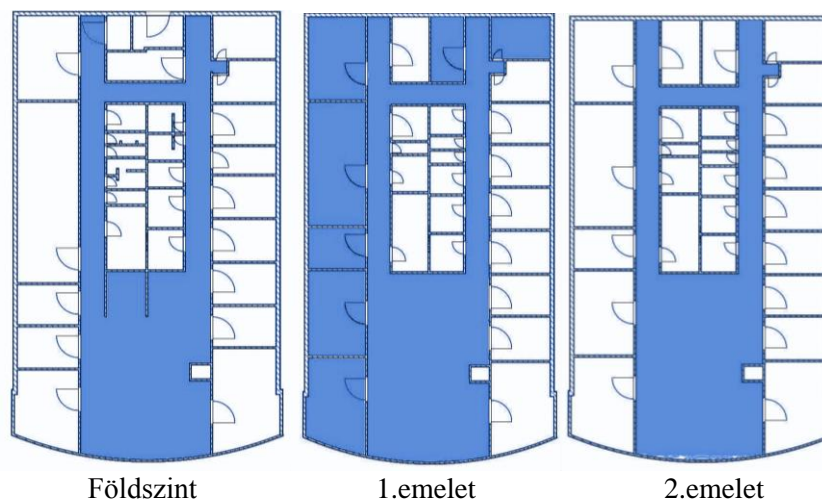
Napjainkban a beltéri helyzet meghatározási rendszerek aktív kutatási területnek számítanak, és nagy érdeklődésnek örvendenek, mind a kutatók, mind az ipari szereplők köreiben. Az okos telefonok széleskörű elterjedtsége és az általuk nyújtott funkciók és lehetőségek tovább növelik az igényt a beltéri helyzet meghatározási rendszerek iránt. A globális helyzet meghatározási rendszerek, mint például a GPS, GLONASS és a Galileo nem alkalmasak beltéri alkalmazásra a jel elnyelődése és a beltér egyedi tulajdonságai miatt. Ezen problémák kiküszöbölésére a beltéri helyzet meghatározási rendszerek nyújtanak megoldást. A beltéri helyzetmeghatározási rendszerek között jelenleg nincs egységesen elfogadott és alkalmazott megoldás. A létező rendszerek különböző technológiákat, módszereket és alapelveket használnak. A korszerű rendszerek WiFi, Bluetooth vagy RFID technológiát használnak, illetve megjelentek a hibrid rendszerek, amelyek egyszerre több technológiát is használnak.

A szimbolikus helyzet meghatározás célja egy jól meghatározható terület, például szoba, meghatározása a mérések alapján. A szimbolikus pozicionálás felfogható osztályozási problémának is. A mérések tekinthetők az egyes tulajdonságoknak, az osztály pedig a terület. A fingerprinting alapú módszerek a beltéri helyzet meghatározási rendszerek egyik nagy, jelentős csoportja. A fingerprinting módszerek alapelve, hogy egy adat halmaz alapján, minták hasonlításával képezi eredményt. Három különböző osztályozáson alapuló módszer egységes környezetben való összehasonlítását mutatja be a jelen munka. Az összehasonlítást a Miskolci Egyetem Informatikai Épület mérései által létrehozott adat halmazon végeztük.

Az összehasonlítás eredménye képen meghatározzuk azt a módszert, ami az adat halmazon a legpontosabb eredményt adja. A kiválasztott módszer érdemes implementálni az ILONA rendszerbe, mint szimbolikus helyzet meghatározási módszer.

2. ADAT HALMAZ

Az összehasonlítás alapjaként szolgáló egységes adat halmazt a Miskolci Egyetem Informatikai Intézetében mértük fel. A mérések egy szombati napon készültek, hogy a forgalom a lehető legkisebb mértékben befolyásolja a mérést. Az épület három emeletes, és minden emelet felmérésre került, a zárt helyiségek miatt a lefedettség az adat halmaz az épületnek csak közel 50%-os lefedettségét adja. Az adat halmaz által lefedett terület az 1. ábrán látható.



1. ábra. Mérési lefedettség

A méréseket az ILONA rendszer egy relációs adat bázisban tárolta le. Az adatok könnyebb kezelhetősége érdekében CSV formátumra alakítottuk. Az elemzés során az így kapott CSV állományt használtuk, melynek a struktúráját a 2. ábra szemlélteti. A CSV vesszővel elválasztott értékekből áll, ahol a sorok reprezentálnak egy rekordot, és az első sorban található a fejléc. A fejlécben az összes detektált WiFi elérési pont, és Bluetooth eszköz szerepel egyszer. Minden mérésnek van egy egyedi azonosítója, amely a relációs adat bázis sajátosságából adódik, illetve egy idő bélyege. A mérések pozicionálás végett lettek létrehozva, ezért tartozik hozzájuk egy abszolút pozíció, amely az épületen belüli x,y,z koordinátákat jelenti, illetve egy szimbolikus pozíció, ami a zóna nevét és azonosítóját foglalja magába. A mért értékek tárolását úgy oldottuk meg, hogy minden mérés rekordhoz hozzárendeltük az információit, és a magnetométerből származó x,y,z koordinátákat. Továbbá

az adott WiFi elérési pont oszlopában null érték szerepel, ha az adott mérés során nem lett detektálva az elérési pont, ha pedig igen, akkor a mért érték kerül beírásra. A Bluetooth eszköz oszlopába 1-es kerül, ha az adott mérési pontban érzékelhető az eszköz, különben 0.

Measurement information		Position information		Measurements		
ID	Timestamp	Absolute	Symbolic	Magnetometer	WiFi RSSI	Bluetooth
1	2	3-5	6-7	8-10	11-42	43-65

2. ábra. CSV formátum

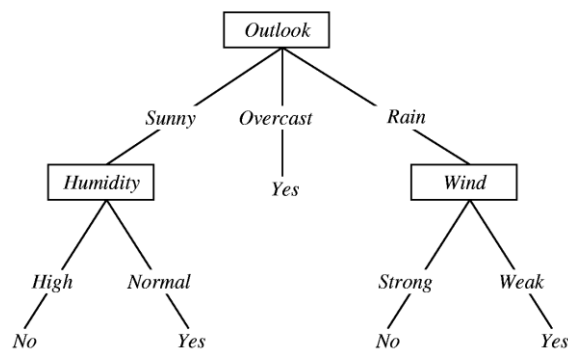
Az adat halmaz 1539 rekordból áll, 23 zónában készültek a mérések, 32 WiFi hozzáférési pont és 20 Bluetooth eszköz lett detektálva, 9 Bluetooth eszköz általunk lett kihelyezve.

3. VIZSGÁLT MÓDSZEREK

A szimbolikus pozicionálás tekinthető osztályozási feladatnak, ahol az osztályok a szimbolikus pozíciók, a zónák. Az osztályozás célja, hogy egy újonnan érkező megfigyeléshez, méréshez hozzárendeljen egy osztályt egy tanító halmaz alapján. Az osztályozás felügyelt tanulási módszer mert a tanító adat halmaz minden eleméhez ismert hogy melyik osztályba tartozik.

1.1. Döntési fa

A döntési fa [2] egy döntést támogató grafikus modell. Különböző döntési lehetőségeket jelenít meg úgy, hogy a belső csomópontok feltételek, a levelek pedig az eredmények. Az adott eredményhez vezető út a feltételekre adott értékek alapján alakul.



3. ábra. Döntési fa

A fa építési algoritmus a rekurzív felosztáson alapszik. Kiválasztja a legjobb tulajdonságot, aminek az információ nyereség aránya a lehető legnagyobb. E tulajdonság alapján felosztja az adat halmazt. Az így kialakult rész halmazokban rekurzívan alkalmazza az algoritmust amíg az összes elem a halmazban ugyanahhoz az osztályhoz tartozik, vagy egy paraméterként adott számnál kevesebb az eltérő osztályú elemek számossága.

1.2. ID3 algoritmus

ID3 [3] (Iterative Dichotomiser 3) egy döntési fa generáló algoritmus. A fa építése rekurzívan zajlik. Az algoritmus az összes eddig nem használt tulajdonságot összehasonlítja az entrópia alapján. Kiválasztja a legjobb értékű tulajdonságot, és eszerint osztja fel a rész halmazt. A tulajdonság kiválasztását a tulajdonság entrópiája alapján dönti el az algoritmus. Az algoritmus újra megvizsgálja a nem használt tulajdonságokat az adott rész halmazban, és folytatja a megmaradt tulajdonságok kiválasztásával. Így eredményül a fában minden tulajdonság alapján csak egyszer történik döntés.

1.3. Szabály indukció

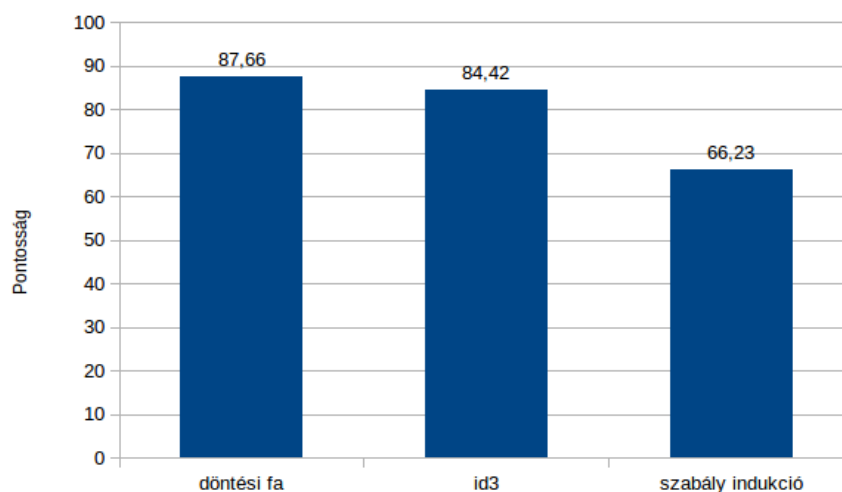
A döntési fa linearizációja a szabályok [4]. A szabály kimenete az előrejelzés, a feltételei a döntési fa útvonala az adott előrejelzésig. A szabály formátuma a következő.

$$if\ condition_1 \wedge condition_2\ then\ prediction_1$$

A szabály indukció egy felügyelt tanulási eljárás. A legkevésbé uralkodó osztályt veszi legelőször, és ahhoz iteratív módon épít és nyes szabályokat. Ezt addig folytatja, amíg nincs több pozitív példa, illetve a hiba arány 50% felett van. Az építő fázisban minden szabályhoz mohón adunk hozzá feltételeket, amíg az nem tökéletes. A módszer minden lehetséges feltétel kombinációt megvizsgál a tulajdonságokra és azok értékeire, és azt választja ki, amelyik a legtöbb információ nyereséget szolgáltatja. A nyesési fázisban minden egyes szabályt módosítunk úgy, hogy kitörölünk annyi feltételt, ami még nem rontja el a szabály minőségét. Akkor a leghatékonyabb ez a módszer, ha néhány osztály gyakorisága nagyon alacsony.

4. EREDMÉNYEK

A vizsgált módszerek RapidMiner segítségével lettek kiértékelve. Az összehasonlítás alapjául az osztályozási pontosság szolgál. A pontosság lényege, hogy az esetek hány százalékában egyezett a tanító halmazban definiált osztály, és a módszer által meghatározott osztály.



4.ábra. A vizsgált módszerek pontossága

A legjobban teljesítő módszer a döntési fa volt, 87,66 %-os pontossággal. Az ID3 algoritmus által létrejött modell kis mértékben csökkentette pontosságot az első helyezetthez képest. A szabály indukció alapú osztályozás csupán 66,23%-os pontosságot ért el az adat halmazon.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Osztályozási algoritmusok szimbolikus beltéri helyzet meghatározás céljára történő alkalmazását vizsgált a tanulmány. A döntési fa, az ID3 és a szabály indukció alapú módszerek kerültek összehasonlításra. Az egyes módszereket a RapidMiner segítségével végeztük. A szimuláció alapjául a Miskolci Egyetem Informatikai Épületében készült mérésekből álló adat halmaz szolgált. A szimuláció során a módszerekkel létrehozott modellt teszteltük, amelynek eredménye egy teljesítmény vektor lett. Ez a vektor tartalmazta az osztályozási hibákat, és a pontosságot. A pontosság százalékban vett értéke annak az eseteknek, ahol az előre meghatározott osztály, és a modell által jósolt osztály megegyezik. Az összehasonlítást a pontosság alapján végeztük. A módszerek közül a döntési fa érte el a legjobb eredményt. Az elemzés alapján a döntési fa alapú beltéri helyzet meghatározási algoritmus kidolgozását az ILONA rendszer számára, valamint további osztályozási módszerek vizsgálatát tervezzük.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **ZSOLT TÓTH, JUDIT TAMÁS:** Miskolc IIS Hybrid IPS: Dataset for Hybrid Indoor Positioning, RADIOELEKTRONIKA 2016 26th International Conference
- [2] **LOMAX, SUSAN, AND SUNIL VADERA:** "A survey of cost-sensitive decision tree induction algorithms." *ACM Computing Surveys (CSUR)* 45.2 (2013): 16.
- [3] **LANGLEY, PAT, AND HERBERT A. SIMON:** "Applications of machine learning and rule induction." *Communications of the ACM* 38.11 (1995): 54-64.

SAJÁT POROK MINŐSÉGÉNEK VIZSGÁLATA FÉLAUTOMATA BERENDEZÉSSSEL

QUALITY TESTS OF FINES WITH SEMI-AUTOMATED MACHINE

TOMPA Richárd

tudományos segédmunkatárs

MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport, H-3515 Miskolc - Egyetemváros, Egyetem út 17.
bgtrr@uni-miskolc.hu

Kivonat: A 2000-es évek közepén az építési alapanyagok felhasználása jelentősen megnőtt. Emellett az utépítési célú felhasználásra gyártott aggregátumokkal szemben támasztott követelmények az elmúlt időszakban jelentős változáson mentek keresztül köszönhetően az új európai termékszabványok bevezetésének. Ez igaz az aszfaltkeverékek követelményeire, hiszen az utépítésben használatos technológiák, ide értve az aszfaltgyártást, speciális igényeket támasztanak az alkalmazott közetekkel szemben, mint például a zúzottkövek saját porának minősége, amely jelentős hatást gyakorol az aszfaltkeverékre.

Kulcsszavak: metilénkék, aggregátumok, duzzadó agyagásvány, MB/MB_F

Abstract: Around the middle of the 2000s the domestic aggregate usage was exceeding really high amount. At the end last decade there was a powerful setback in the production. In the forecoming period beside the continuously increasing production need new and special requirements of road construction companies with sensitive materials and more strict criteria in aggregate production. This article is focusing one of these special needs – methylene blue tests – and introduce the development and test equipment in the Central Laboratory of Colas Északkő Ltd.

Keywords: methylene-blue, aggregates, swelling clay, MB/MB_F

1. A NEMFÉMES ÁSVÁNYI ANYAGOK BÁNYÁSZATÁRÓL

A nemfémes ásványi nyersanyagok bányászata képviseli Magyarországon a teljes bányászati termelés nagyobbik szeletét, amelynek aránya a rendszerváltás óta folyamatosan növekszik. Bár a termelés az elmúlt időszak pénzügyi viszonyainak hatására erősen visszaesett, de az építő- és díszítő ipari nyersanyagok termelése most meghaladja a 8 millió tonnát. Ezen kategóriába sorolhatók az utépítési és vasútépítési alapanyagok, aggregátumok is.

Az új európai termékszabványok bevezetésével, az utépítési célú felhasználásra gyártott kőanyagokkal szemben támasztott követelmények az elmúlt időszakban jelentősen megváltoztak. Ez különösen igaz az aszfaltkeverékek követelményeire, amelyek egyre speciálisabbak [1].

Az egyik legfontosabb igény - amely jelentős hatást gyakorol az aszfaltkeverékre - a zúzottkövek saját porának minősége.

2. SZABÁLYOZÁS, SZABVÁNYOK

Az alapanyaggyártás szempontjából MSZ EN 13043 szabványban előírást találunk, az „ártalmas finomszemek” vizsgálatát, illetőleg osztályba sorolását illetően. A 2013-as változat kisebb változást hozott a 2003. évi kiadáshoz képest, ahol a korábbi MB_F10 és MB_F25 mellé egy új, MB_F7 osztályt, vezettek be.

A metilénkék érték szerinti besorolás akkor szükséges, ha az aggregátum finomrésztartalma 3–10% közé esik, amit számszerűen - metilénkék értéként (MB_F) - kell megadni, a

kapcsolódó vizsgálati szabvány az MSZ EN 933-9 „Kőanyaghalmozok geometriai tulajdonságainak vizsgálata 9. rész: A finomszemtartalom meghatározása. Metilénkék módszer” [7].

Napjainkban az útépitésben használatos, a duzzadó agyagásvány tartalomhoz kapcsolódó előírást, az e-ÚT 05.01.13 (ÚT 2-3.602:2008) nemzeti alkalmazási dokumentum tartalmazza, amely annak értékét MB_{F10} értékben maximalizálja [2], de ez a követelmény csak az aszfaltkeverékbe kőlisztként bekerülő termékek esetén igaz.

Magyarországon az aszfaltkeverékek kővázaként szolgáló közúzalékokkal szemben, nincs előírt követelmény az MB vagy MB_F értékét illetően, azt csak megadandó értéként kell szerepeltetni.

A hazai viszonyok között legnagyobb tömegben alkalmazott aszfaltbetonok esetén az e-ÚT 05.02.11 (ÚT 2-3.301-1) terméktípusonként rögzíti a minimálisan alkalmazandó idegen kőliszt - nevesítve a mészkőliszt - mennyiségét; egyúttal kiköti, hogy ennek mennyiségébe az alkalmazott kőanyag elszívott saját pora beleszámítható, ha a kőváz mészkőből vagy dolomitból áll.

Ez a szabályozás sajnos nem a minőségi, hanem a kőzettípus szerinti megkülönböztetést erősíti, amely sem az ásványvagyon gazdálkodási törekvéseket, sem pedig a keverőtelepek sajátporokkal kapcsolatos általános problémáinak megoldását nem segíti elő.

3. A METILÉNKÉK VIZSGÁLATI ELJÁRÁS

A duzzadó – vagy sok helyen károsnak nevezett – agyagásvány tartalom vizsgálati módszerének alapelve az, hogy a megfelelően előkészített vizsgálandó anyag szuszpenziójához folyamatosan metilénkék oldatot adagolunk és az agyagásványok adszorpcióját az adagolás során, szűrőpapírra csöppentve ellenőrizzük, hogy kimutassuk a szabad festék jelenlétét. Amint erről meggyőződünk, egy egyszerű számítással megkapjuk a metilénkék értéket (MB esetén 200g 0/2 frakciójú - B melléklet, MB_F esetén 30g 0/0,125 frakciójú - A melléklet), ami az adszorbeált festék grammnyi mennyisége vizsgált frakció 1kg-jára vonatkoztatva.

A vizsgálat során nagy mennyiségű eszközt kell használni (büretta, szűrőpapír, üvegbot, keverőszerkezet, mérleg, stopperóra, vizsgálószita, főzőpohár üveglombik, szárítószekrény, hőmérő, spatula, exszikkátor). Mindezek mellett a keverési sebesség többszöri beállítása (600 majd 400 1/s), a vizsgálat idejének (5 perc keverés az elején, majd percenként újabb adag festék és cseppentés) és a metilénkék mennyiség (5 ml, esetleg 2 ml) folyamatos dokumentálása is szükséges, ami folyamatos csöppentéssel (percenként) együtt a vizsgáló személy teljes időtartam alatti leterheltségét jelenti, és jelentős hibaforrást rejthet magában [4].

A vizsgálat során a percenkénti csöppentgetést mindaddig folytatjuk, folyamatosan adagolva a már említett 5ml festékanyagot, amíg a belső zóna körül egy világoskék, kb. 1 mm vastagságú, gyűrű alakul ki tartósan, jelezve, hogy a duzzadásra hajlamos agyagásványok már nem képesek több metilénkéket felvenni (1. ábra).

A gyűrű megjelenése után 5 percig - anélkül hogy további festéket adnánk hozzá - percenként egy-egy foltot teszünk, és ha a gyűrű továbbra is fennmarad, akkor végére értünk a vizsgálatnak, amennyiben nem, akkor folytatjuk a festék adagolását a szabványban foglaltaknak megfelelően.



1. ábra. A „Hagyományos” metilénkék vizsgálat

A vizsgálat befejeztével az összes felhasznált festékanyag térfogatát ml-ben megadva jegyezzük fel (V_1) és az alábbi egyenletek segítségével kiszámítjuk (1. képlet) a megfelelő értéket:

$$MB (MB_F) = \frac{V_1}{M_1} 10 \text{ [g/kg]} \quad (1)$$

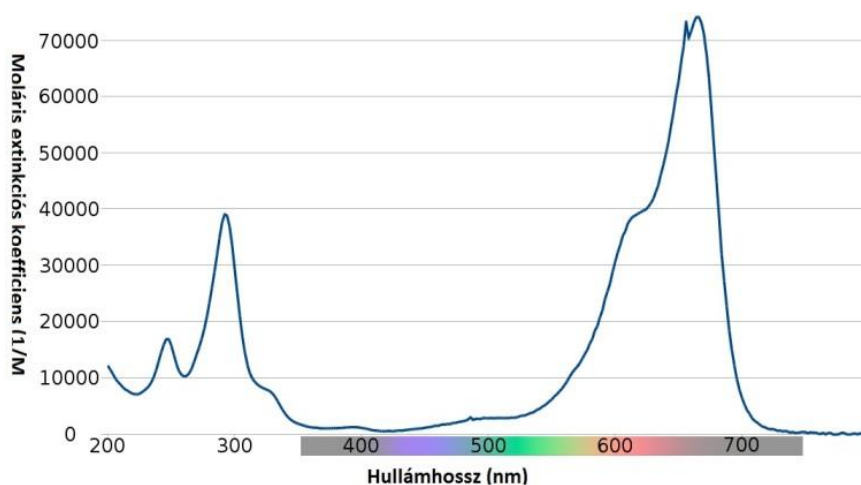
ahol:

M_1 - a vizsgálati anyag tömege grammal megadva (200g / 30g);

V_1 - a bejuttatott festékanyag térfogata milliliterben megadva [4].

A vizsgálat alapját jelentő metilénkék egy heterociklusos aromás kémiai vegyület, $C_{16}H_{18}N_3SCl$ molekuláris formában, amit kémiai és biológiai (orvosi) célokra is használnak. Szobahőmérsékleten szilárd, szagtalan, sötétzöld por, ami – a szabványban foglaltaknak megfelelően (C melléklet) - vízben oldva kék folyadékot eredményez [3].

A metilénkék egyik fontos jellemzője, hogy hatékony kationos festék és fényelnyelő képessége 660-670nm közötti hullámhosszon maximális (2. ábra) [3].



2. ábra. A metilénkék abszorpciós spektruma [3, 6]

Ezt a fényelnyelő képességet használja ki a félautomata berendezés is, ami nem a szabványban meghatározottak szerint vizsgálja a szuszpenzióban lévő festékanyagot, hanem optikai elven.

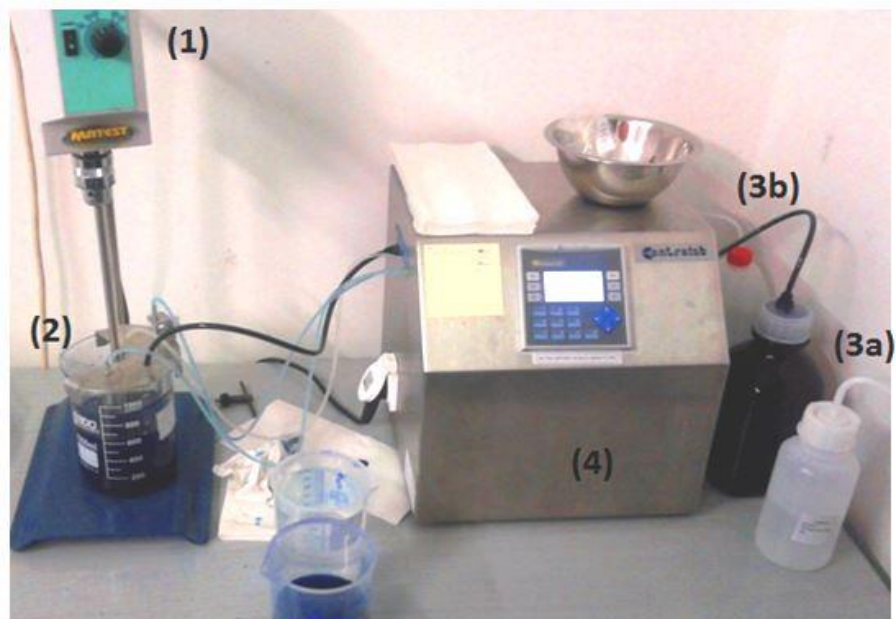
4. A VIZSGÁLÓESZKÖZ BEMUTATÁSA

A laborfejlesztés során beszerzett, Controlab által gyártott, félautomata metilénkék vizsgálóberendezés az MB/MB_F értékek mérésére alkalmas.

A hagyományos vizsgálathoz hasonlóan itt is rendelkezésre áll egy keverő berendezés (1), főzőpohár (2) mintának és a desztillált víznek, egy-egy üveg a festékanyagnak (3b) és a flokkulánsnak (3a) és természetesen maga a mérőberendezés (4), egy rozsdamentes acél borítású, kezelőpanellel ellátott eszköz (3. ábra).

A gép méri az injektált metilénkék oldat mennyiségét, amit a spektrofotometria elve alapján ellenőriz. A teszt pontos és bármikor megismételhető és annak elindítása után a vizsgáló személy szabadrá válik, bármilyen más tevékenységet végezhet.

A laboráns a főzőpohárban összeállítja a vizsgálati mintából a szuszpenziót. Az eszközt bekapcsolva az automatikusan elvégzi a mérőcella kalibrálását, majd amint azzal végzett, a tesztet is [8].



3. ábra. Az összeállított vizsgálóberendezés

5. VIZSGÁLATI TAPASZTALATOK

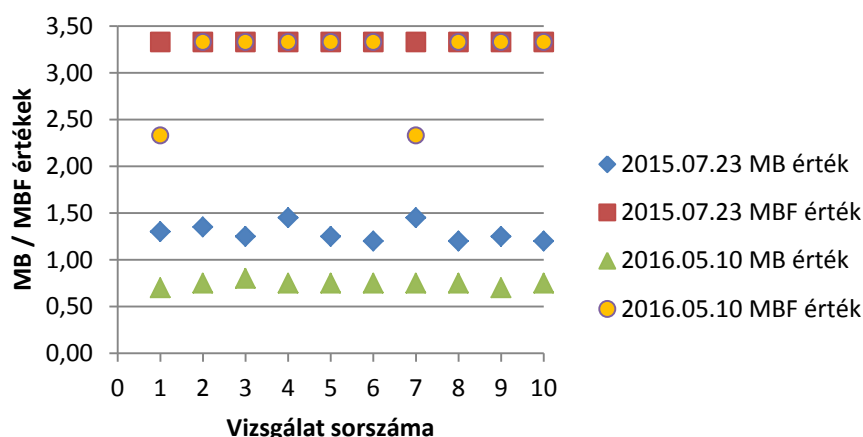
A Colas Északkő Kft. bányáinak NZ 0/2 (NZ 0/4) termékeit, a berendezéssel vizsgálva, a korábbi – hagyományos módon mért – értékeihez konvergáló eredményeket kaptam. Ezt követően egy jól homogenizált tállyai NZ 0/2 mintán elvégzett mérésorozaton meghatároztam a berendezés szórását, reprodukálhatóságát, ismételhetőségét (1. táblázat).

Vizsgálat sorszáma	1. mérőszemély		2. mérőszemély	
	MB érték	MB _F érték	MB érték	MB _F érték
1.	1,30	3,33	1,35	3,33
2.	1,35	3,33	1,35	3,33
3.	1,25	3,33	1,35	3,33
4.	1,45	3,33	1,40	3,33
5.	1,25	3,33	1,25	3,33
6.	1,20	3,33	1,25	3,33
7.	1,45	3,33	1,35	3,33
8.	1,20	3,33	1,30	3,33
9.	1,25	3,33	1,30	3,33
10.	1,20	3,33	1,35	3,33
Átlag:	1,290	3,330	1,325	3,330
Szórás:	0,087	0,000	0,044	0,000
Ismételhetőség:	0,081	0,000	0,049	0,000
Átlagos ismételhetőség:	MB érték: 0,042		MB _F érték: -	
Reprodukálhatóság:	MB érték: 0,031		MB _F érték: -	

1. táblázat. A gépi metilénkék vizsgálati eredmények és az eszköz fő metrológiai jellemzői

Láthatóan a berendezés meglehetősen nagy pontossággal dolgozik, amivel kiküszöbölhető a korábban a témában végzett körvizsgálat során megmutatkozó nagy szórás.

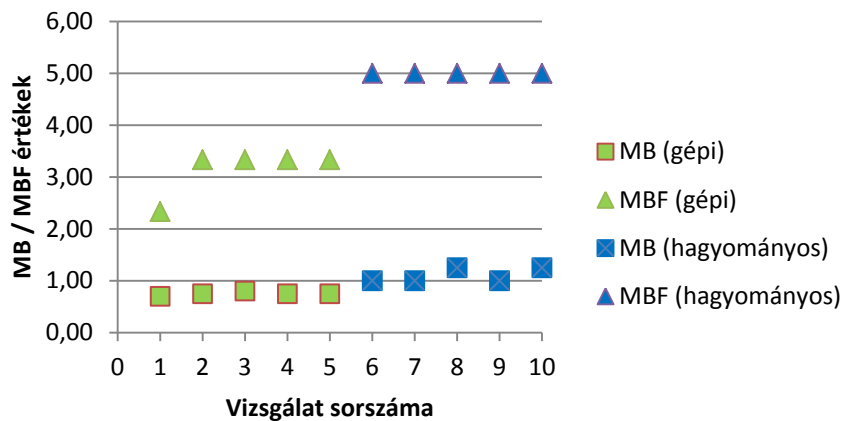
Egy következő méréssorozaton egy 10 hónap különbséggel vett homogén minta géppel végzett vizsgálatait hasonlítottam össze (4. ábra). A kiugróan alacsonynak tűnő MB_F=2,3 g/kg érték valójában csak minimális eltérést jelent. A festék adagolása során 7 ml-nek felel meg, szemben a 3,3 g/kg –ot jelentő 10 ml.



4. ábra. Két különböző időpontban vételezett minta gépi vizsgálatának eredményei

Az MB értékben megfigyelhetők kisebb ingadozások, de mivel közetanyagban tökéletes homogenitás nem érhető el, így apróbb inhomogenitásnak tekintem az eredményeket ingadozását, főleg hogy annak a terjedelme nem haladja meg a 0,25-öt

Az újonnan vételezett minta vizsgálatát nem csak gépi módszerrel, hanem a szabványban rögzített „hagyományos” módon is elvégeztük, egyelőre csak egy vizsgálószemély segítségével, és az eredményeket ábrázolva láthatjuk, hogy a gépi módszer a pontosabb érzékelésnek köszönhetően alacsonyabb értéket jelent mindkét esetben (5. ábra).



5. ábra. A gépi és a „hagyományos” vizsgálat eredményei egy mérőszemély esetén

Az alacsony MB és MB_F tartományban végzett vizsgálat jó ismételtetőséget és reprodukálhatóságot mutatott.

A továbbiakban, ennek megerősítése végett, a magasabb értéktartományban elvégzett mérőszorozattal kívánom az eredményeket megerősíteni, legalább két mérő személy által végezve és ezzel párhuzamosan, természetesen a szabványnak megfelelő kézi módszer alkalmazásával, még jobban feltárni a gépi és kézi módszerek hatékonyságát.

Hosszú távú vizsgálatosorozattal az egyes bányászatok NZ 0/2, NZ 0/4 termékeinek minőségi ingadozását szeretném nyomon követni, ami véleményem szerint hozzájárulhat az építőipari alapanyag minőség alapú hasznosításához és ez által a fenntartható és hatékony bányászathoz is.

6. KONKLÚZIÓK

A saját porok MB/MB_F értékeinek meghatározása – mint az kiderült a 2012. évben végzett körvizsgálat során – meglehetősen nagy szórással hoz eredményeket.

A félautomata metilénkék vizsgálóberendezéssel gyorsabbá, pontosabbá és objektívvé válik a duzzadó agyagásvány tartalom meghatározása, mivel a berendezés optikai elven – a festékanyag fényelnyelődési maximumát elemezve - vizsgálja a szuszpenziót. Így a teszt során nemcsak annak jelentős időigénye alól szabadul fel a vizsgálatot végző személy, hanem kiküszöbölődnek az időmérés és a festékkoldat adagolása során fellépő hibák, valamint a meglehetősen szubjektív foltvizsgálat értékelése is egyértelművé válik.

A saját porok minősége bányánként meglehetősen változó. Egyes bányákon belül az anyag geológiájától és a bányaműveléstől függ, hogy mennyire állandó a termel anyagok minősége.

Az aszfaltgyártási adalékanyagok esetén a metilénkék vizsgálat pontos elvégzése elkerülhetetlen, ha a jelenlegi szabályozás – a közettípus általi szabályozás - helyett minőségi követelmény beiktatásával szeretnénk kezelni a por minőségváltozásában rejlő aszfalttechnológiai kockázatokat, amely miatt jelentős többletköltségek keletkeznek a nem alkalmazható vulkanikus porok kiszárítása, elszívása és lerakása miatt.

Alapanyaggyártói oldalról is kívánatos lenne az alkalmazási feltételek minőség alapú megközelítése, melyhez elengedhetetlen, hogy alapanyaggyártói oldalról jól ismert legyen az adott üzem adott termékeinek portartalmának jellemző minősége és ingadozása. Ehhez elengedhetetlen megbízható mérés, és rendszeres vizsgálat, amely megalapozhatja egy aszfaltechnológiai kutatást és ebbe az irányba fejlesztheti a szabályozást.

A szabályozás továbbfejlesztése az aszfaltgyártók számára is kiszámíthatóbb, és tervezhetőbb körülményekhez vezethetne, mellyel jelentős energia-, illetve egyéb többletköltségek is megtakaríthatóak volnának, amelyek a nem alkalmazható vulkanikus porok szállítása, kiszárítása, elszívása, lerakása miatt keletkeznek.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] *Ásványvagyon*, Magyar Bányászati és Földtani Hivatal 2013. URL: <http://www.mbfh.hu/home/html/index.asp?msid=1&sid=0&hkl=72&lng=1> Letöltve: 2015.02.10.
- [2] e-ÚT 05.01.13 (ÚT 2-3.602:2008 útügyi műszaki előírás) *Kőlisztek. Kőanyaghalmozok utak, repülőterek és más közforgalmú területek aszfaltkeverékeihez és felületi bevonataihoz*. Magyar Útügyi Társaság, Budapest, 2008. 9 p.
- [3] *Methylene blue*, URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Methylene_blue Letöltve: 2015.02.10.
- [4] MSZ EN 933-9:2009+A1:2013 *Kőanyaghalmozok geometriai tulajdonságainak vizsgálata 9. rész: A finomszemtartalom meghatározása. Metilénkék módszer*. Brüsszel, 2013. 15 p.
- [5] MSZ EN 13043:2013 *Kőanyaghalmozok (adalékanyagok) utak, repülőterek és más közforgalmú területek aszfaltkeverékeihez és felületi bevonataihoz*. Brüsszel, 2013. 52 p.
- [6] **PRAHL, S.**: *Optical absorption of methylene blue*, Oregon Medical Laser Center, URL: <http://omlc.org/spectra/mb/> Letöltve: 2015.02.10.
- [7] **PUCHARD, Z.**: *Útépitési Zúzottkövekkel szemben támasztott követelmények*, Építőanyag 58. évf. 4. szám, 2006. pp. 123-125. ISSN 2064-4477
- [8] Semi-automated methylene blue tester (T0054). Controlab, URL: <http://www.controlab.net/component/jdownloads/finish/17-aggregates/73-semi-automated-methylene-blue-tester-t0054/0> Letöltve: 2015.02.10.

GÖRDÜLŐCSAPÁGYAK VIZSGÁLATA IDŐTARTOMÁNYBELI MÓDSZEREKKEL

EXAMINATION OF ROLLING ELEMENT BEARINGS USING TIME DOMAIN FEATURES

TÓTH Dániel¹, SZILÁGYI Attila², TAKÁCS György³

¹PhD hallgató, ²Ph.D. egyetemi docens, ³C.Sc. egyetemi docens

^{1, 2, 3}Miskolci Egyetem, Szerszámgépek Intézeti Tanszéke, 3515 Miskolc-Egyetemváros
toth.daniel@uni-miskolc.hu, szilagyi.attila@uni-miskolc.hu, takacs.gyorgy@uni-miskolc.hu

Kivonat: A gördülőcsapágyak az egyik legszélesebb körben alkalmazott gépelemek, amelyek meghibásodása komoly következményeket vonhat maga után. A váratlan csapágyhibák okozhatnak gépleállásokat, és egyes esetekben katasztrofális baleseteket is, akár még az emberi életet is veszélyeztethetik. Annak érdekében, hogy ezeket a baleseteket megelőzzük, folyamatos hibavizsgálat szükséges. Jelen cikk a gördülőcsapágyak rezgésdiagnosztikai állapotfelmérésével foglalkozik.

Kulcsszavak: gördülőcsapágyak, rezgésdiagnosztika, csapágykárosodások.

Abstract: Rolling element bearings are one the most widely used machine parts so their failure results ponderous consequences. Unexpected rolling element bearing failures can cause machine breakdown and might even lead to catastrophic accident or even human casualty. In order to prevent these accidents, continuous failure detection is necessary. The following paper deals with the condition survey of rolling element bearings using vibrational diagnostic tools.

Keywords: rolling element bearings, vibration diagnostics, bearing failures.

1. BEVEZETÉS

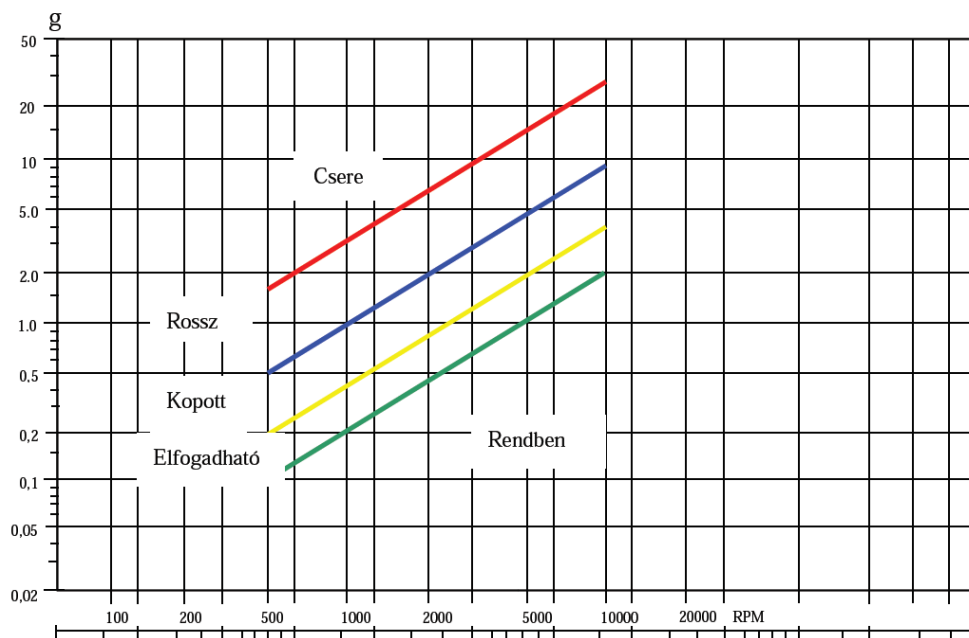
A gépek állapotának üzem közbeni vizsgálata és a nagyjavítások tervezése egyre nagyobb fontosságúvá válik. A csapágyak kimagasló szerepet játszanak minden forgó alkatrészt tartalmazó eszközben, így azok felügyelete kiemelt feladat. A rezgésdiagnosztikai vizsgálatok során a gördülőcsapágyak, mint az egyik legfontosabb és leggyakoribb gépelemek, mindenhol jelentős szerepet játszanak. Ennek oka, hogy olyan meghibásodási sorozatot indíthat el a csapágyazás hibája a berendezésekben, amelyek akár több nagyságrenddel meghaladhatják a csapágycsere, illetve a diagnosztikai vizsgálat költségeit. A csapágyhibák korai észlelése lehetővé teszi, hogy kicseréljük a csapágyat a tervezett karbantartás során, így elkerülhető a berendezés váratlan leállása a csapágy meghibásodása miatt. Különböző módszerek léteznek a csapágyak működési viszonyainak felügyeletéhez, amelyek segítenek meghatározni a csapágyhiba közeledtét. A csapágyvizsgálati módszerek túlnyomó többsége rezgésmérésen alapszik. Gyakran alkalmazzák a több paraméter együttes vizsgálatán alapuló eljárásokat, pl. alacsony frekvenciájú rezgések mérését (gyorsulás, sebesség vagy elmozdulás mérés), rezgésképvizsgálatot (csúcsértékek, illetve középértékek időbeli változása), vagy a SEE (Spectral Emitted Energy) mérést (SKF) is [1, 2].

Hogy egy konkrét esetben melyik a legjobb módszer, az az adott alkalmazástól függ. A csapágy belsejében forgó golyók illetve görgők által szélessávú zaj és rezgés keletkezik, amely fokozódik a csapágy rossz kenése, túlterheltsége (például egytengelyűség-beállítási hiányosságok) következtében, vagy a futófelületek, illetve a gördülőelemek felületeinek meghibásodása esetén.

2. REZGÉSDIAGNOSZTIKAI VIZSGÁLATOK

Mivel a csapágy által keltett (egyébként nagyfrekvenciájú) zaj és rezgés szélessávú, ezért az effektív értéket mérő műszerek részére nehéz bármilyen konkrét frekvenciát vagy szűk frekvenciasávot definiálni, amellyel a csapágy állapota jellemezhető lenne. Ez ráadásul azért is lehetetlen, mert a konkrét, úgynevezett csapágyhiba-frekvenciák egyebek között a csapágytípustól és a gép aktuális fordulatszámától függenek. A gyakorlatban bevált az a módszer, hogy a csapágyállapotot jellemző értéket a 2 kHz és 10 (esetleg 20) kHz közötti frekvenciatartományban mért rezgés gyorsulás effektív értéke alapján határozzák meg. Az átlagos gépek kiegyensúlyozatlanságból vagy tengely beállítási hibákból eredő rezgései biztosan 2 kHz alatti frekvenciákon -- tehát az alsó határfrekvencia alatt -- lépnek fel, így ezek nem befolyásolják a csapágyra jellemző értéket. A felső határ – 10, illetőleg 20 kHz – kiválasztása pedig azon alapszik, hogy a legtöbb rezgésérzékelő felső határfrekvenciája különleges rögzítési módszer nélkül 7 – 10 kHz, és az érzékelő jele 20 kHz fölött már egyébként is meglehetősen kicsi lenne [3].

A szélessávú rezgésebesség és a nagyfrekvenciájú rezgés gyorsulás effektív értékének mérésére is alkalmas műszerek használatával nemcsak a beállítási és a kiegyensúlyozási problémák jelenléte, hanem a csapágyhibák is felfedezhetők. Sőt, eldönthető, hogy egy gép melyik csapágya szorul cserére, és melyik nem, valamint ellenőrizhető, hogy a csapágszerelés kivitelezése hibátlan volt-e, és jó-e a csapágy kenése. A csapágyállapot-jellemző értéket (a 2 – 20 kHz frekvenciatartományú rezgés gyorsulás effektív értékét) gravitációs gyorsulásban (g-ben) szokás kifejezni. Értékelésére útmutatást nyújt az 1. ábra tapasztalati grafikonja.



1. ábra. A csapágyállapot-érték alapján levonható következtetések

Jelentősnek mondható csapágyállapot-jellemző érték akkor is keletkezhet, ha a csapágy (például egytengelyűség-beállítási hiányosságok miatt) csupán túlterhelt (tehát még komoly sérülésektől mentes), vagy a kenése nem megfelelő.

3. CSAPÁGYHIBAFREKVENCIÁK

Egy csapágy sérülésekor rezgések keletkeznek, amelyeknek frekvenciája attól függ, hogy melyik csapágy-alkotóelemen következett be a meghibásodás. Ezek a hibafrekvenciák – gyakran csapágyfrekvenciának, illetve csapágy-hibafrekvenciának is nevezett frekvenciák – könnyen kiszámíthatók, ha a csapágy bizonyos alapvető geometriai méretei ismertek. A hibafrekvenciák kiszámításához a következő adatokat kell tudni:

- D: a görgők középpontja gördülőpályának (futáspálya) átmérője
- d: a görgők átmérője
- Q: az érintési szög (az erőátvitel iránya a belső gyűrűről a külső gyűrűre)
- Z: a görgők száma
- N: a tengely fordulatszáma (fordulat/perc egységekben)

A következő csapágyfrekvenciák (alapsávú csapágyfrekvenciák) léteznek:

- FTF = kosárfrekvencia (Fundamental Train Frequency)
- BPFO = külső gyűrű frekvencia (Ball Pass Frequency - Outer race)
- BPFI = belső gyűrű frekvencia (Ball Pass Frequency - Inner race)
- BSF = görgő frekvencia (Ball Spin Frequency)

A leggyakoribb csapágyhiba a külső gyűrű sérülése, mivel a legtöbb esetben a külső gyűrű áll, és a terhelés (például a forgórész súlya) a görgőkön keresztül mindig a külső gyűrű ugyanazon pontján hat. A hibafrekvenciák kiszámítását attól függően kell elvégezni, hogy a csapágy belső vagy külső gyűrűje forog-e. A következőkben mindkét esetre írunk fel egyenleteket, és az ezek által kapott mennyiség minden esetben-Hz-ben értendő. A Csapágyfrekvenciák kiszámítását szolgáló egyenletek forgó belső gyűrű esetén:

Hiba a külső gyűrűn:

$$BPFO_{Hz} = \frac{Z}{2} \cdot \frac{N}{60} \cdot \left(1 - \frac{d}{D} \cdot \cos \theta \right) \quad (1)$$

Hiba a belső gyűrűn:

$$BPFI_{Hz} = \frac{Z}{2} \cdot \frac{N}{60} \cdot \left(1 + \frac{d}{D} \cdot \cos \theta \right) \quad (2)$$

Hiba a görgőkön:

$$BSF_{Hz} = \frac{D}{2d} \cdot \frac{N}{60} \cdot \left(1 - \left(\frac{d}{D} \cdot \cos \theta \right)^2 \right) \quad (3)$$

Hiba a kosáron:

$$FTF_{Hz} = \frac{N}{120} \cdot \left(1 - \frac{d}{D} \cdot \cos \theta \right) \quad (4)$$

Az egyes gépekben fellépő axiális erőhatások miatt nem a csapágy-specifikációban megadott érintési szögben történik az erőátvitel. Az érintési pont minimálisan eltolódik oldalra, és így a tényleges érintési szög (ill. erőátviteli szög) megváltozik. Ez a fenti egyenletek szerint a várható hibafrekvenciákra is kihatással van. A gyakorlatban leginkább nagy axiális terhelés esetén fordul elő, hogy az axiális erők megnövelik az érintési szöget, és ez befolyásolja a hibafrekvenciák alakulását. Bár ez a hatás igen kicsi (legfeljebb 2 százalékos eltérést idéz elő), de mindenképpen azt eredményezi, hogy a kalkulált hibafrekvenciák nem fedik pontosan a valóságban mért frekvenciákat [3].

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Összefoglalva elmondható, hogy ha a rezgésspektrumban jelen vannak a csapágyhiba alaphézfekvenciájának alacsonyfrekvenciás többszörösei (leginkább a 2-10-szeres frekvenciák), akkor ez általában nagy és mély csapágy sérülésekkel magyarázható. Kis csapágyterhelés, illetve különösen rossz állapotú csapágyak esetén (amikor már igazi legördülés nincs is), a csapágyhibák leginkább rezonanciagerjesztések formájában jelennek meg.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott kutatómunka a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő, Mechatronikai és Logisztikai Kiválósági Központ keretében, a Támop-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **LIPOVSZKY GY., SÓLYOMVÁRI, K., VARGA, G.:** *Gépek rezgésvizsgálata és a karbantartás.* műszaki könyvkiadó, budapest, 1981.
- [2] **DÖMÖTÖR F.:** *Rezgésdiagnosztika I.* Dunaújváros, 2008.
- [3] **PATKÓ GY., TAKÁCS GY., DEMETER P., BARNA B., HEGEDŰS GY., BARAK A., SIMON G., SZILÁGYI A.:** *A process for establishing the remanent lifetime of rolling element bearings.* xxiv. microcad international scientific conference, Miskolc – Egyetemváros, 2010.

A GEOELEKTROMOS GEOFIZIKAI MÓDSZEREK TEREPI ALKALMAZÁSÁNAK ÚJ EREDMÉNYEI A KÖRNYEZETVIZSGÁLATOK TERÜLETÉN

NEW RESULTS OF THE FIELD GEOELECTRIC GEOPHYSICAL METHODS APPLIED IN ENVIRONMENTAL ASSESSMENTS

TURAI Endre¹, NÁDASI Endre², SZILVÁSI Marcell³

¹C.Sc., habil, intézetigazgató egyetemi docens, Miskolci Egyetem Geofizikai és Térinformatikai Intézet, gfturai@gold.uni-miskolc.hu,

²kutató mérnök, MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport, gfne@uni-miskolc.hu,

³tanársegéd, Miskolci Egyetem Geofizikai és Térinformatikai Intézet, gbmszm@uni-miskolc.hu.

Kivonat: A felszíni geofizikai módszerek közül az alacsony költségű elektromos, mágneses, elektromágneses, termikus, stb. módszerek hatékonyan alkalmazhatók a felszín alatti földtani szerkezetek szennyezettségének és a szerkezetekben fellelhető hasznosítható ásványi nyersanyagoknak a kimutatásánál. A Miskolci Egyetem Geofizikai és Térinformatikai Intézete a környezetvizsgálatok területén számos új terepi kutatási eredményt ért el a TÁMOP projektekhez (KÚTFŐ TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0049, CriticEl TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0005) kapcsolódóan. A cikk ezekből az eredményekből mutat be két kutatási területen, a geoelektromos módszerek együttes alkalmazásával elért, a gyakorlatban is hasznosított új eredményt.

Kulcsszavak: Indukált Polarizáció módszer, TAU-transzformáció, időállandó spektrumok, korrigált látszólagos vezetőképesség, súlyozott amplitúdó érték.

Abstract: Several low cost surface geophysical methods (geolectric, magnetic, electromagnetic, thermal, etc.) can be applied effectively for detection of underground contamination and for exploration of mineral deposits. The Institute of Geophysics and Geoinformatics of the University of Miskolc performed a lot of field surveys connecting to TÁMOP projects (KÚTFŐ TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0049, CriticEl TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0005). The paper presents the measurement results of two fields from these surveys, which were achieved with combined application of geolectric methods and were utilized in practice.

Keywords: Induced Polarization method, TAU-transformation, time-constant spectra, corrected apparent conductivity, waited amplitude value.

1. BEVEZETÉS

Az IP (Induced Polarization) geoelektromos geofizikai módszert az 1950-es években vezették be [16] és ezt követően eredményesen alkalmazták az érc kutatások területén [2, 4]. A Nehézipari Műszaki Egyetem (Miskolc) Geofizikai Tanszékén laboratóriumi módszerfejlesztések történtek az időtartománybeli méréseknél [5, 6].

Az 1980-as évektől kezdve az IP módszer – a környezetszennyezésekre való nagy érzékenysége miatt – fokozatosan elterjedt a környezetvizsgálati feladatok megoldásánál is. A vízkutatás területén ismert, hogy a víztározó kőzetek fajlagos elektromos ellenállása konstans porozitás mellett a víztelítettséggel, az agyagtartalommal és a szennyezettséggel arányosan csökken. A permeabilitás az agyagtartalom növekedésével szintén csökken. A fajlagos ellenállás és a polarizálhatóság paramétereinek együttes mérésével minősíthetők a jó minőségű (tiszt és nagy permeabilitású) és a rossz minőségű (szennyezett és kis permeabilitású) víztározók. Az előzőeket felhasználva Draskovits [1] a Maros és a Dráva vízbázisán végzett geoelektromos mérések eredményei alapján jelölte ki a vízkutató fúrások

helyeit, ahol a relatíve nagy fajlagos ellenállású és kis polarizálhatóságú tározó szakaszokat javasolta rétegmegnyitásra, vízkivételi céllal. A geofizikai kutatási módszerek között a felszíni elektromos és elektromágneses módszerek költségei alacsonyak a térbeli leképezést biztosító 3D szeizmikus kutatásokhoz viszonyítva, s ezek a módszerek a víztározók közetfizikai paramétereinek a becslését is lehetővé teszik [15].

2. AZ IDŐTARTOMÁNYBELI MÉRÉSEK MÓDSZERFEJLESZTÉSI EREDMÉNYEI

A fejezetben röviden bemutatjuk az időtartománybeli IP mérési adatok TAU-transzformációját, az időállandó spektrumot ($w(\tau)$), valamint a környezeti szennyezések minősítésére bevezetett paramétereket (WAV és σ_{corr}).

2.1. A TAU-tanszformáció és az időállandó spektrum

Az IP módszer időtartományban mérhető $\eta_a(t)$ látszólagos polarizálhatósági görbéje az alábbi integrál transzformációval írható le [7]:

$$\eta_a(t) = \int_{\tau=0}^{\infty} w(\tau) e^{-\frac{t}{\tau}} d\tau, \quad (1)$$

ahol:

- t – a gerjesztés kikapcsolásától eltelt idő,
- τ – az időállandó,
- $w(\tau)$ – az időállandó spektrum.

A polarizáció τ -szerinti súlyeloszlását megadó $w(\tau)$ időállandó spektrum tartalmazza az IP mérés összes spektrális információját [8].

Nevezzük TAU-transzformációnak [8] az (1) elsőfajú Fredholm típusú integrálegyenlet megoldását, amely segítségével a mért látszólagos polarizálhatósági görbékhez tartozó időállandó spektrumokat határozhatjuk meg. A terepi mérések feldolgozásával kapott időállandó spektrumok alapján az időállandók növekedésével a filtrációs, a membrán, a redox, a fém és a dielektromos polarizációk különíthetők el. Az időállandó értékek eloszlása alapján a polarizáció típusa és ezek földtani okai becsülhetők [10]. A földtani okokat a 1. táblázatban foglaltuk össze.

A TAU-transzformációs módszert diszperz ércesedést tartalmazó magminták laboratóriumi vizsgálatához fejlesztettük ki [5, 6], terepi IP adatokon pedig 1992-ben egy Offheim melletti kommunális hulladéklerakó lehatárolásánál és a szennyezettség típusának minősítésénél alkalmaztuk először [9]. A sikeres alkalmazást követően, a módszert eddig több mint ötven magyarországi területen használtuk eredményesen a területek állapotvizsgálatánál.

Számos szennyezett terület vizsgálatakor megállapítottuk [11, 12, 13], hogy a kisebb időállandóval ($\tau < 1\text{sec}$) jelentkező komponensek a környezetszennyezés szempontjából veszélytelen filtrációs és membrán polarizációkhoz köthetők, melyeket a talaj elektromosan vezető fluidum tartalma, valamint a diszperz agyagtartalma okoz. A környezetszennyezés szempontjából veszélyes elektrokémiai (redox), fém és kontakt dielektromos hatások okozta polarizációk viszont nagyobb időállandójú ($\tau > 1\text{sec}$) tartományban jelentkeznek.

2.2. A környezeti szennyezések minősítésére bevezetett paraméterek

Az előző alfejezetben leírt felismerés alapján, a szennyezettség fokának számszerű jellemzésére Turai [10] bevezette a (2) összefüggéssel megadható un. időállandóval súlyozott amplitúdó érték (WAV - Waited Amplitude Value) paramétert.

$$WAV(\tau) = \tau \cdot w(\tau). \quad (2)$$

A WAV paraméter a környezetre veszélyes polarizációk súlyát növeli, a kevésbé veszélyes polarizációknak a súlyát pedig, csökkenti.

A polarizáció típusa	A polarizáció földtani okai
filtrációs polarizáció	Elektromosan vezető fluidumot tartalmazó porózus talajok és kőzetek.
membrán polarizáció	Vizet és diszperz agyagszemcséket tartalmazó porózus talajok és kőzetek.
redox (elektrokémiai) polarizáció	Oxidatív, vagy redukzív hatású kémiai szennyezések.
fémek kontakt polarizáció	Fémesen (elektronosan) vezető anyagok (fémek, fémsók, fémoldatok, szén és grafit, elektronosan vezető szerves anyagok) található ionosan vezető fluidumot tartalmazó kőzetekben.
dielektromos kontakt polarizáció	Elektromosan rosszvezető anyagok (finomszemcsés műanyagok, aromás diszperz szénhidrogén származékok, elektromosan szigetelő szerves anyagok) található ionosan vezető fluidumot tartalmazó kőzetekben

1. táblázat. A polarizáció típusai és földtani okai

A diszperz agyagtartalom viszont a vízbázisoknál megköti az ionos szennyezéseket, csökkenti az effektív porozitást, a szabadvíz telítettséget és a permeabilitást, ezért rontja a vízáradék mennyiségi és minőségi paramétereit. A kőzetek ionos szennyezettségének a számszerű jellemzésére felhasználható az időállandó spektrum ($w(\tau)$) és a közeg egyenáramú látszólagos fajlagos vezetőképességének (σ_a) szorzataként előállított korrigált látszólagos fajlagos vezetőképesség ($\sigma_{corr}(\tau)$):

$$\sigma_{corr}(\tau) = \sigma_a \cdot w(\tau). \quad (3)$$

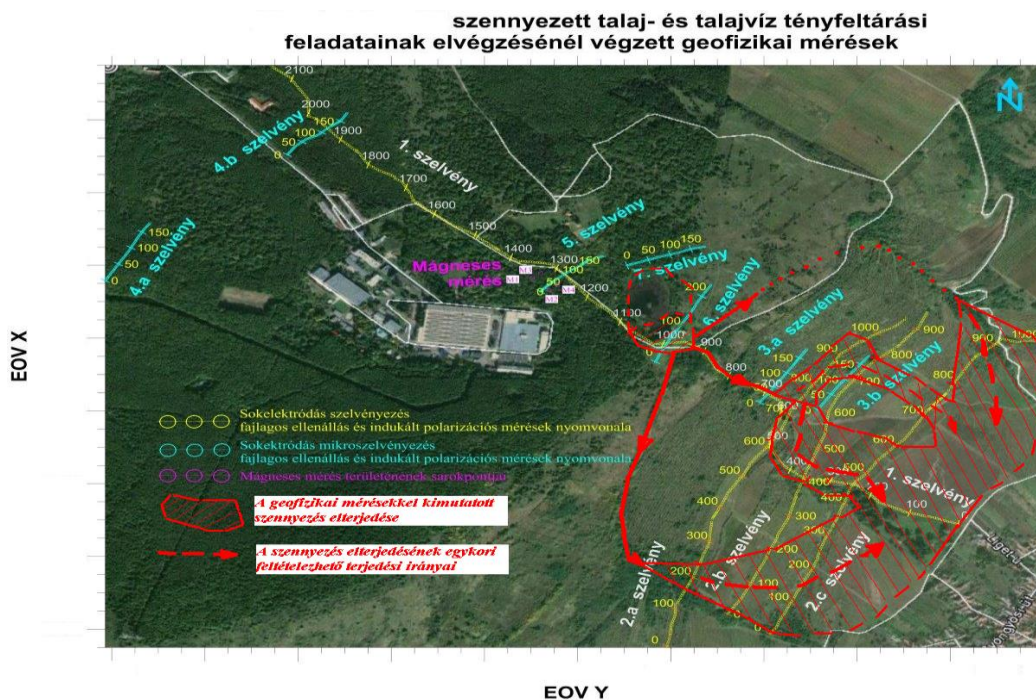
A korrigált vezetőképesség paraméter, az 50÷100 mS/m értéknél nagyobb tartományban már közepes ionos szennyezettségre utal. Megjegyezzük, hogy a korrigált fajlagos vezetőképesség értékekben – a diszperz agyagtartalom ionkoncentrációt növelő hatása miatt – az agyagosodás is polarizációs szennyezettséget növelő tényezőként jelenik meg.

3. KLÓROZOTT SZÉNHYDROGÉN SZÁRMAZÉKOKKAL SZENNYEZETT VÍZBÁZIS VIZSGÁLATA

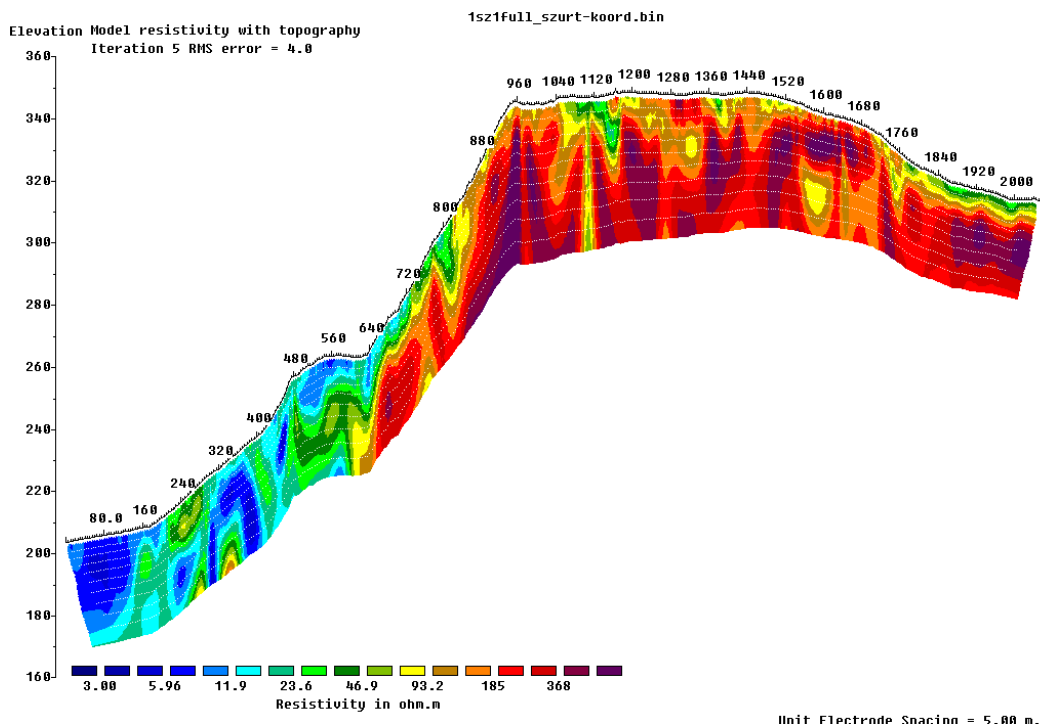
A kutatási terület az 1. ábrán látható. A kutatás első fázisát 2013 őszén a KÚTFŐ projekt keretében végeztük. Ekkor együttes VESZ (Vertikális Elektromos Szondázás) és IP méréseket, valamint lokálisan mágneses térképezést alkalmaztunk. Ekkor kiderült, hogy a szénhidrogén szennyezés térbeli lehatárolása a terület vízbázisában az együttes VESZ és IP mérésekkel megoldható. Ezt követően, a kutatás második fázisát a Miskolci Egyetem Geofizikai és Térinformatikai Intézete meghívásos pályázat keretében nyerte el és 2014 tavaszán végezte. Ebben a fázisban az 1. ábrán látható mérési rendszerben multielektrodás fajlagos ellenállás és IP tomográfiát, valamint lokálisan – az esetlegesen eltemetett fémhordók kimutatása céljából – mágneses térerősség és mágneses gradiens térképezést alkalmaztunk.

A topográfia alapján, kvázi dőlésirányban felvett 1. szelvény alatt, a fajlagos ellenállás mélységi eloszlását a 2. ábrán, az IP tölthetőségi paraméter eloszlásképét pedig a 3. ábrán mutatjuk be. A 2. ábrán vörös színárnyalatokkal jelenik meg az elektromosan rosszvezető hegységképző kiömlési vulkáni kőzettömeg (andezit), míg zöld, illetve kék színárnyalatokkal az elektromosan jóvezető hegylábi üledék látható. Az IP paraméter eloszlásképén (3. ábra) vörös színárnyalatokkal a szénhidrogén szennyezés eloszlása látható a hegylábi üledékes vízbázisban, illetve a hegygerinc szélén (Lásd a 960 szelvénymenti pontnál a vertikális helyzetű lokális vörös anomáliát.) elhelyezkedő tó alatt. A településhez legközelebb eső 2.c szelvény alatti fajlagos ellenállás (4. ábra) és IP tölthetőségi (5. ábra) eloszlásképek alapján megállapítható, hogy a szénhidrogén szennyezés a méréssel kimutatható teljes mélységtartományban (1.25 m – 39.8 m) laterálisan három nagy IP tölthetőség anomáliával (5. ábra), nagy kiterjedéssel jelenik meg.

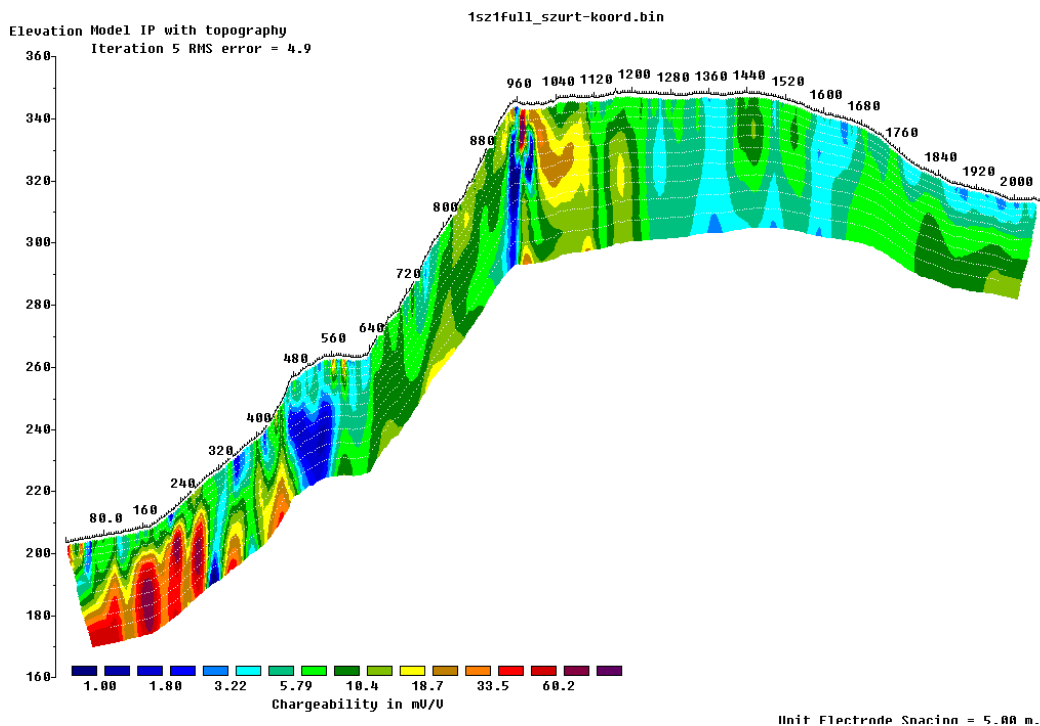
A mérések alapján feltételezhető talajszennyezési csóvákat az 1. ábrán piros nyilakkal, a szennyezett területeket pedig piros sraffozással tüntettük fel.



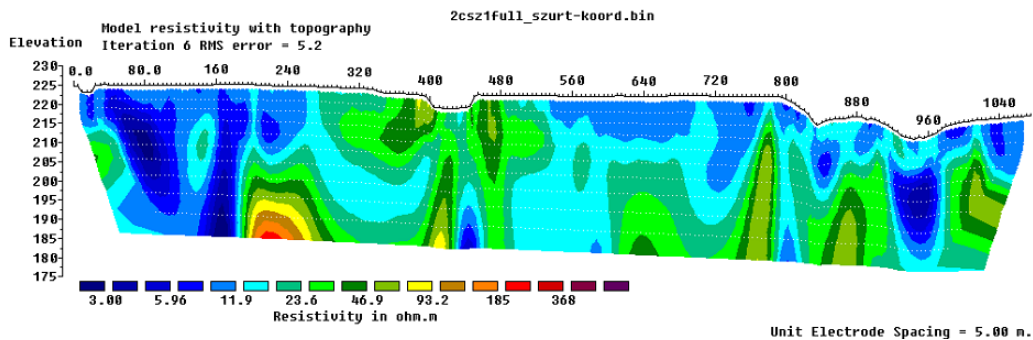
1. ábra. A geofizikai mérések rendszere a klórozott szénhidrogén származékokkal szennyezett területen (Forrás: [14])



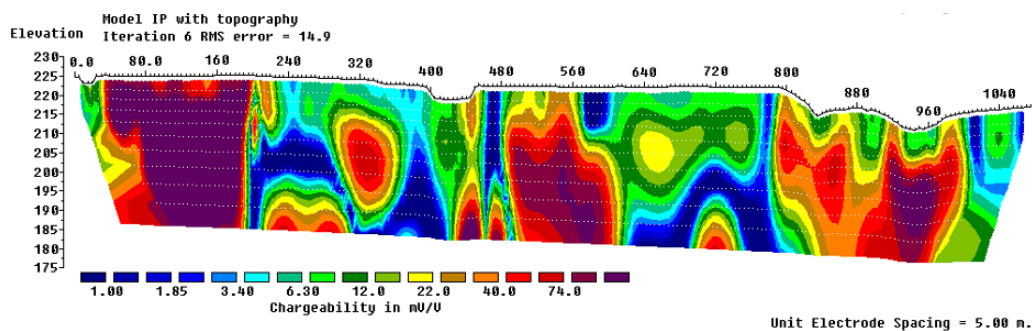
2. ábra. A fajlagos ellenállás vertikális eloszlása az 1. szelvény alatt (Forrás: [14])



3. ábra. Az IP tölthetőség paraméter vertikális eloszlása az 1. szelvény alatt (Forrás: [14])



4. ábra. A fajlagos ellenállás vertikális eloszlása a 2.c szelvény alatt (Forrás: [14])



5. ábra. Az IP tölthetőség paraméter vertikális eloszlása a 2.c szelvény alatt (Forrás: [14])

4. VÖRÖSISZAP ZAGYTÁROZÓ KÖRNYEZETÉNEK A VIZSGÁLATA

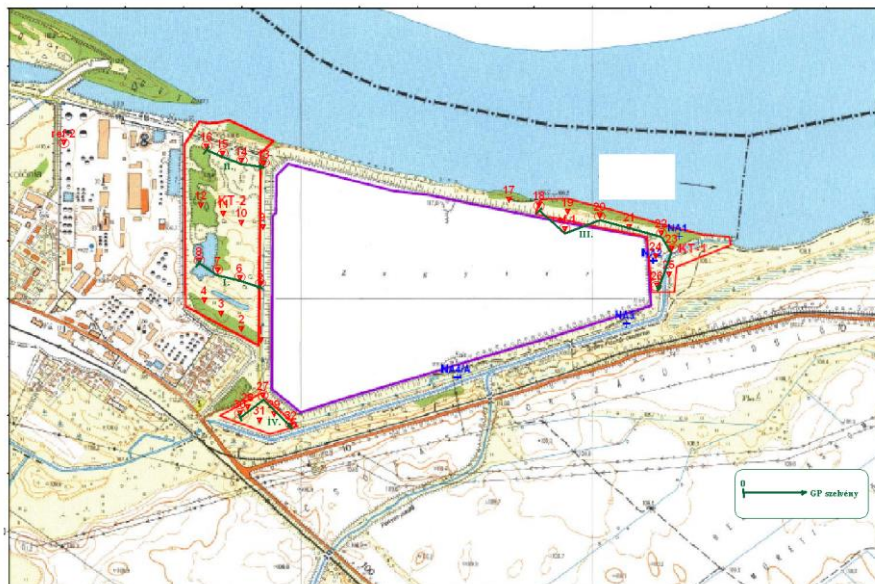
A KÚTFŐ projekt keretében egy zagyártározó kazetta környezetét vizsgáltuk meg abból a célból, hogy a kazetta környezetében az együttes geoelektromos mérések alkalmazásával kimutatható-e a kazettából esetlegesen kiáramló szennyezés. A méréseket két időpontban, 2013 áprilisában és 2014 augusztusában is elvégeztük. A mérések rendszere a 6. ábrán látható, ahol piros háromszögek jelölik a VESZ és IP mérési pontokat, a zöld vonalak a szennyezettség jellemzésére bevezetett paraméterek (WAV és σ_{corr}) szelvényeinek a nyomvonalát, a piros vonalak pedig a mérési területek határait mutatják. Az együttesen elvégzett VESZ és az IP szondázások minden szondázási ponton Schlumberger elektróda elrendezésben [3], $AB_{\text{min}} = 4$ méter, $AB_{\text{max}} = 100$ méter paraméterekkel történtek. Az IP szondázásoknál a 15 diszkrét mélység szint mindegyikén 4 mintát vettünk (0.1 sec, 0.3 sec, 0.9 sec és 1.5 sec referenciaidőknél) a gerjesztő áram kikapcsolása után, a mérőelektródák között mérhető lecsengő feszültségből.

A 6. ábrán látható REF1 az un. referencia pont, ami a tározó kazettán, a megszilárdult felszínű vörösiszapon helyezkedik el, így az itt elvégzett mérések igazolják a vörösiszapnak, mint környezetszennyező anyagnak a kimutathatóságát a mérésből lezármaztatott – a 2.2. alfejezetben bemutatott – paraméterek segítségével.

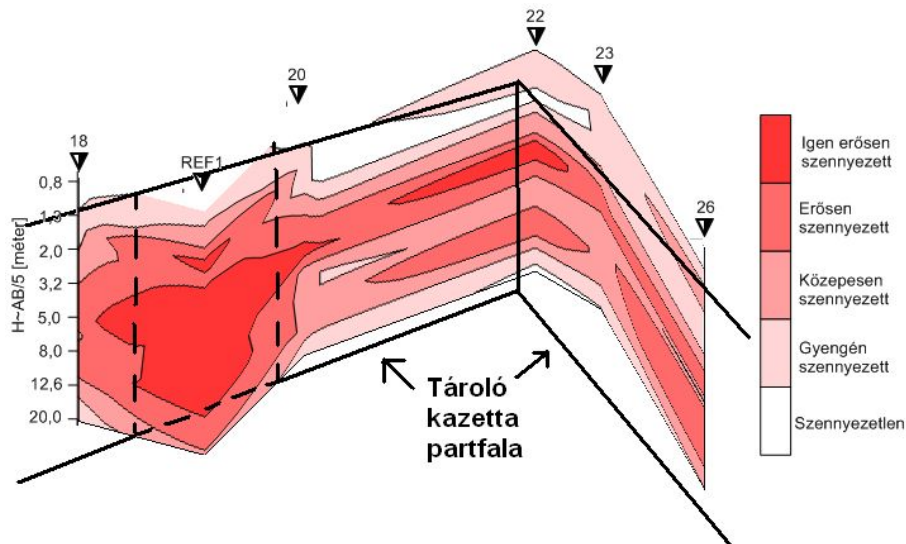
A WAV paraméter 7. ábrán látható III. szelvény alatti vertikális eloszlásból egyértelműen látszik, hogy a paraméter a vörösiszapot igen erős, illetve erős szennyezésként mutatja a referenciapont alatt és a tározó gátján kívül megjelennek a tározóból kiáramló szennyezési csóvák. Ugyanez a jelenség még erősebben megjelenik az ionos szennyezettséggel arányos korrigált fajlagos vezetőképesség (σ_{corr}) paraméter mélységi eloszlásképén (8. ábra), ahol a vörösiszap nagyon nagy (5000 mS/m feletti) vezetőképességet mutat.

A védett oldalon, a kazettán kívül, a gát nyomvonalára közel merőleges irányban felvett I.

szelvény alatti vertikális eloszlásképeken (9. ábra – WAV paraméter, 10. ábra - σ_{corr} paraméter) a vizsgált kazetta körül közepes és erős polarizációs talajszennyezési csóvákat lehet látni, amelyek egyértelmű kiáramlási képet mutatnak a kazettából. A kiáramlások forrásai a gát teteje alatt, 3 méteres mélységszinttől mélyebben feltételezhetők.

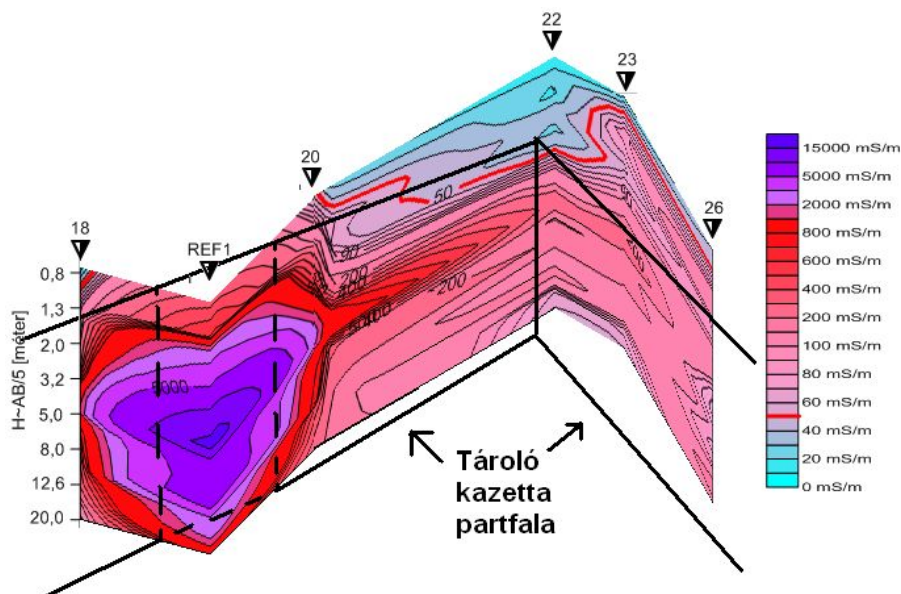


6. ábra. A zagyártározó környezetében végzett geoelektromos mérések elhelyezkedése

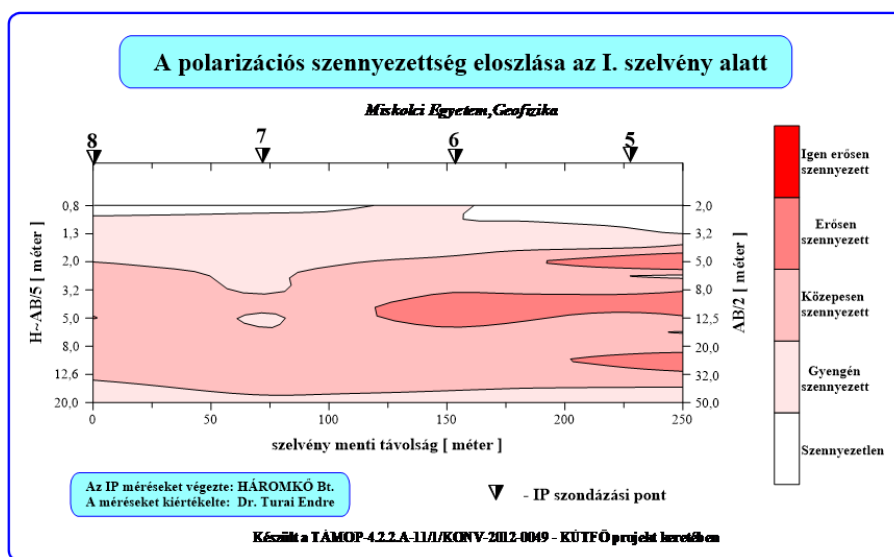


7. ábra. A WAV paraméter mélységi eloszlása a REF1 referencia pontot tartalmazó III. szelvény alatt

A védett oldalon, a baloldali mérési terület (lásd a 6. ábrán) alatt mélységszeletenként is bemutatjuk a környezeti szennyezés minősítésére bevezetett két paraméter térbeli eloszlását a 11. ábrán. Az ábrát szemlélve megállapítható, hogy a kazettából kiinduló szennyezési csóvák mindkét paraméter esetében széles mélységintervallumban (3.2 m és 16 m között) megjelennek.



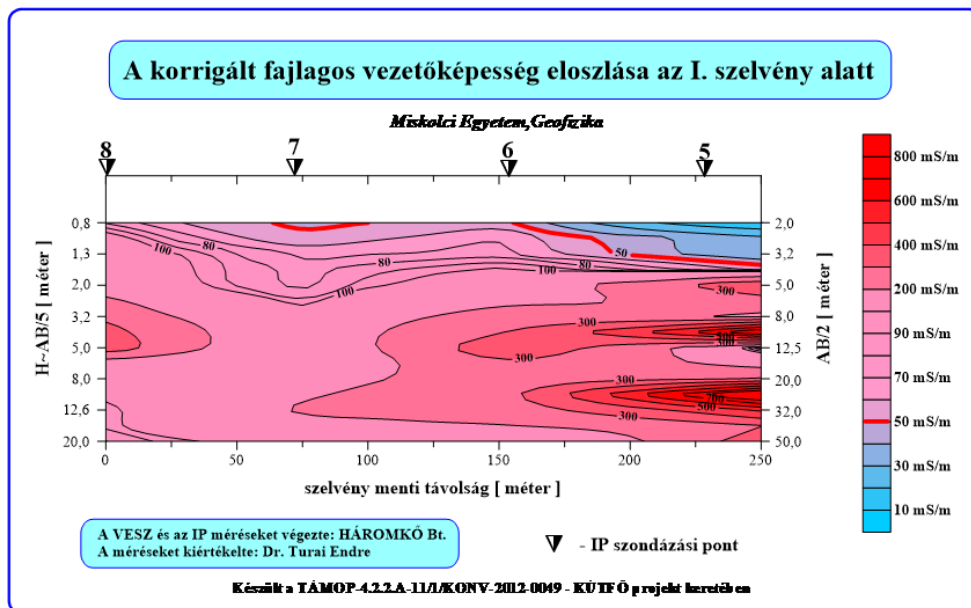
8. ábra. A korrigált vezetőképesség mélységi eloszlása a REF1 referencia pontot tartalmazó III. szelvény alatt



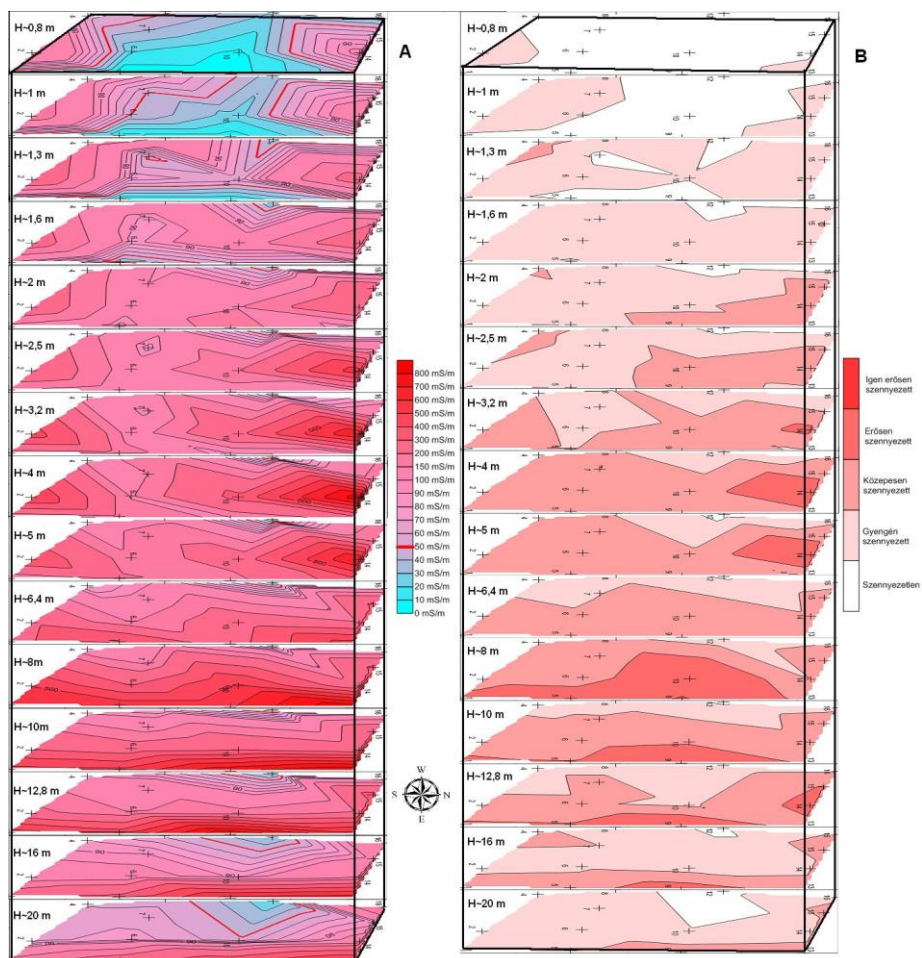
9. ábra. A WAV paraméter mélységi eloszlása az I. szelvény alatt

5. ÖSSZEGZÉS

A felszín alatti szennyezettség minősítésére bevezetett mindkét paraméter (WAV és σ_{corr}) segítségével két iparilag szennyezett területen is egyértelműen sikerült azonosítani a szennyezési csóvák meglétét és azok térbeli elhelyezkedését. Ezek a kutatások nemzetgazdasági szempontból is kiemelt jelentőségű környezetvizsgálati feladatok megoldásához járultak hozzá, elősegítve a környezetvizsgálatokra épülő mentesítés hatékony megvalósítását.



10. ábra. A korrigált vezetőképesség mélységi eloszlása az I. szelvény alatt



11. ábra. A korrigált vezetőképesség (A) és a WAV paraméter (B) térbeli eloszlása mélyégszintenként megjelenítve, a kazetta melletti terület alatt

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt alapján, a „KÚTFŐ – A Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karának felszín alatti vizekhez kapcsolódó nemzetközi kutatási potenciáljának fejlesztése célzott alapkutatói feladatok támogatása által” című, TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0049 projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **DRASKOVITS P.:** *A gerjesztett polarizációs módszer nem érckutatási célú alkalmazásai*, Ph.D. értekezés, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, 2000.
- [2] **KELLER, G. W., FRISCHKNECHT F. C.:** *Electrical Methods in Geophysical Prospecting*, Pergamon Press, Oxford, 1966.
- [3] **KEAREY, P., BROOKS, M., HILL, I.:** *An Introduction to Geophysical Exploration*, Blackwell Publishing Company, Oxford, 2002.
- [4] **SUMNER, J. S.:** *Principles of Induced Polarization for Geophysical Exploration*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1976.
- [5] **TURAI E.:** *A gerjesztett polarizáció (GP) dinamikus paramétereinek meghatározása kőzetmintákon*, Kutatási jelentés, Nehézipari Műszaki Egyetem, Miskolc, 1978, 19-25.
- [6] **TURAI E.:** *A gerjesztett polarizáció (GP) dinamikus kőzetzfizikai paramétereinek meghatározására szolgáló műszer-módszer továbbfejlesztése*, Kutatási jelentés, Nehézipari Műszaki Egyetem, Miskolc, 1979, 8-44.
- [7] **TURAI E.:** *GP time-domain görbék TAU-transzformációja*, Magyar Geofizika XXII/1, 1981, 29-36.
- [8] **TURAI, E.:** *TAU-Transformation of Time-Domain IP Curves*, ANNALES Univ. Scien. Budapestinensis de Rolando Eötvös Nom. I-II, 1985, pp. 182-189.
- [9] **TURAI, E., ELSEN, R., LIMBROCK, K.:** *Analysis of IP time-domain data measured above a waste site near Offheim using TAU-transformation of IP chargeability curves*, TEMPUS pr. Report, DMT Institute for Applied Geophysics, Bochum, 1992.
- [10] **TURAI, E.:** *IP Data processing results from using TAU-transformation to determine time-constant spectra*, Geophysical Transactions 44, 2004, pp. 301-312.
- [11] **TURAI, E.:** *Data Processing Method Developments using TAU-transformation of time domain IP data*, Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica 46(4), 2011, pp. 391-400.
- [12] **TURAI, E.:** *Application possibilities of IP method in the fields of environmental protection, ore- and direct hydrocarbon exploration*, GEOSCIENCES AND ENGINEERING 1(2), 2012, pp. 161-166.
- [13] **TURAI, E.:** *Some field measurement results of IP method*, GEOSCIENCES AND ENGINEERING 1(2), 2012, pp. 167-172.
- [14] **TURAI E.:** *Abasár környéki szennyezett talaj- és talajvíz tényfeltárásával kapcsolatos geofizikai munkák*, Kutatási zárójelentés, Miskolci Egyetem, Miskolc, 2014.
- [15] **TURAI E., VUROM B.:** *Az IP módszer alkalmazási lehetőségei a vízbázisvédelem területén*, IX. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, Miskolc, 2013, 237-242.
- [16] **WAIT, J. R.:** *Overvoltage Research and Geophysical Applications*, Pergamon Press, London, 1959.

TÁRSASHÁZI ÉPÜLETEK HOMLOKZATI KIALAKÍTÁSÁNAK KÖLTSÉGVETÉSI ÖSSZEHOSONLÍTÁSA

BUILDING FACADES OF CONSTRUCTION COSTS COMPARISON

VALENTÉNYI Péter

Műszaki Menedzser MSC Hallgató
Debreceni Egyetem Műszaki Kar
valentenyipeter@freemail.hu

Kivonat: Az építőipari kivitelezés - szervezés során négy fő tényezőt jelölhetünk ki, melyeket minden esetben érdemes vizsgálnunk. A négy fő tényező: idő, költség, mennyiség, minőség. Az ügyfelek fő elvárása napjainkban, hogy az elérhető áron, kiváló minőséget kapjanak. Ezért kiemelt fontosságot kell tulajdonítani a szervezési lehetőségeknek, hogy a váratlan költségeket minimalizáljuk. Egy, olyan esetet fogok költségvetések készítésével vizsgálni, melyet a kivitelező nem befolyásolhat.

Kulcsszavak: szervezés, költségvetés, költség

Abstract: The building design - four main factors in the organization and mark, which should in all cases examined. The four main factors: time, cost, quantity, and quality. Today, to the affordable, high-quality, they are given the expectation of major customers. Therefore, priority should be given to organizing opportunities to minimize unexpected costs. It will examine budgets by making a cases in which the contractor's control.

Keywords: organization, building, cost

1. SZERVEZÉS

Az termelő tevékenységek esetében a szervezési feladatok mindig kiemelt jelentőséggel bírnak. A szervezést LADÓ LÁSZLÓ a következő képen definiálta: „A szervezés olyan alkotó szellemi tevékenység, amely meghatározott cél érdekében az adott kor ismeretanyagának, tudományos eredményeinek intézményes felhasználásával munkafolyamatok és azok ellátására hivatott szervezetek létrehozására vagy fejlesztésére, működésük rendjének tartalmi és formai előírására, a munkaerő, a munka tárgya, a munkamódszer és a munkaeszköz optimális összehangolására irányul.” (LADÓ, 1980:23)

Az építőipari projektek lebonyolítása során, gyakran jelentkeznek előre nem várt költségek. Nem várt költségek pl: bírságok, kivitelezés hatósági felfüggesztése, időjárás okozta károsodás, szándékos károkozás. Az előre nem tervezhető tényezők miatt, úgy kell összeállítani a szervezési eszköztárunkat, hogy a kivitelezés alatt módosítható legyen. A vizsgálatomhoz egy tízlakásos társasházat választottam. A projekt egyszerre indult a szomszédos ingatlanon épülő kilenclakásos társasházzal, ezért a tervtanács együtt kezelte a két épületet. Az engedélyes terveken látható homlokzati kialakítások költségvonzatát fogom összehasonlítani, hogy a különbség forintban mérhető legyen.

2. ÉPÍTÉSSZERVEZÉS

Az építésszervezés egy olyan tevékenység, amikor a kivitelezéshez kapcsolódó összes elemet (technológiák, építőanyagok, munkaerő, gépek, szerszámok, segédszerkezetek, pénz, engedélyek) optimálisan osztjuk el, a folyamatos és hatékony munkavégzés érdekében. Megfelelően szervezett kivitelezéseknél megelőzhetőek a veszélyhelyzetek, javulhat a munka hatékonysága. A építésszervezésen belül elkülönítjük az időbeli tervezést, térbeli tervezést és a pénzügyi ütemtervet. Az időbeli tervezéshez soroljuk a különböző ütemterveket. Térbeli

tervezéshez az organizációs terveket. A pénzügyi ütemterv készítéséhez pedig a részletes költségvetés ad segítséget. (TÓTI MAGDA – WEHNER MARIANNA, 2000:1), (TAKÁCS ÁKOS – DR. NESZMÉLYI LÁSZLÓ – SOMOGYI MIKLÓS, 2008:138)

3. ÉPÍTŐIPARI KÖLTSÉGSZÁMÍTÁS

Az építőiparban a vállalkozó szempontjából jelentős szerepe van a haszonnak. A vállalási összegből kell kifizetnie a munka elvégzéséhez szükséges ráfordításokat. A megmaradt összeg az eredmény. Ha a kivitelező rosszul méri fel a munkával járó költségeket, akkor veszélybe kerül számára a projekt eredményessége.

A megrendelő esetében is szükséges költségvetési számításokat készíteni, hogy összehasonlíthassa a vállalkozók árajánlatát. (TAKÁCS ÁKOS – DR. NESZMÉLYI LÁSZLÓ – SOMOGYI MIKLÓS, 2008:142)

Az építmény árát a projekt különböző szakaszaiban eltérő módon határozzák meg. A beruházási javaslatához költség becslést készítenek. A normatív adatok alapján készülő költségbecslés esetében a készítő, nem részletezi az elszámolandó tételeket. Meghatározza a kivitelezési projekt fő paramétereit és minőségi jegyeit, majd költségként egy összeget ad meg. Ennek az összegnek a kiszámításában a költségvetést készítő segítségével lehetnek korábbi hasonló épületek adatai, vagy szakmailag megalapozott becslést készít.

Ha már vannak kiviteli tervek, akkor készíthető részletes – tételes költségvetés kiírás. A részletes, tételes költségvetések elkészítése, terjedelmességük miatt sok munkát igényelnek. Magyarországon ez a típus a legjellemzőbb, a részletességhez készülnek a költségvetési segédletek is. Részletességét tekintve a következő részekből áll: szerkezet, szerkezeti elem és állapot. A tételes számítások elvégzése előtt kiemelt fontosságú, hogy a megrendelő és a vállalkozó között pontosan meg legyen határozva a vállalkozás tárgya, minősége, mennyisége és műszaki tartalma.

A költségvetés kiírási része tartalmazza a tétel sorszámát, kiírási szöveget, normarendszeri azonosítót és a tétel mértékegységét. A kiírási szövegnek tartalmaznia kell a szerkezet megnevezését, helyét, anyagát, méretét, előírt technológiáját, gépesítési módot. A költségvetési tételek kiírásához a megfelelő segédletek használata elengedhetetlen, ezen segédletek az előző bekezdésben felsorolásra kerültek.

Sorszám	Tételazonosító	Kiírási szöveg			
	Mennyiség	Egység	Egységnyi anyagköltség	Összes anyagköltség	
			Egységnyi díjköltség		Összes Díjköltség

1. táblázat. Költségvetési tétel

Forrás: TAKÁCS ÁKOS – DR. NESZMÉLYI LÁSZLÓ – SOMOGYI MIKLÓS

Hazánkban a kétszlopas költségvetési rendszer a legnépszerűbb. Ebben a formában elkülönítve találhatjuk a díjat és az anyagköltséget. A költségvetési tételekhez a következő adatok tartoznak: sorszám, tételazonosító kód, kiírási szöveg, mértékegység, Mennyiség, tételre vonatkozó anyagköltség, tételre vonatkozó építési díj, a tételre számított összes anyagköltség, a tételre számított összes díjköltség. (TAKÁCS ÁKOS – DR. NESZMÉLYI LÁSZLÓ – SOMOGYI MIKLÓS, 2008:147)

A mennyiségek meghatározására munkanemenként vannak szakmai követelmények, ezek definiálják, hogy miket kell figyelembe venni munka felmérés, vagy árajánlat készítés során.

A fő előírások a következők:

- Beton- vasbeton munkák esetében az 1 m^2 -nél, vagy $0,1 \text{ m}^3$ -nél nagyobb nyílásokat le kell vonni, viszont a benyúló gerendákat, lemezeket nem kell levonni.
- Falazatoknál a 1 m^2 -nél, vagy $0,1 \text{ m}^3$ -nél nagyobb nyílásokat, szerkezeteket le kell vonni a falazás mennyiségéből. Valamint a 750 cm^2 -nél nagyobb füstcsatornákat, egyéb hasonló szerkezeteket.
- A válaszfalak esetében hasonlóan a főfalazatokhoz, az 1 m^2 -nél nagyobb nyílásokat ki kell vonni, az eredményt a vakolatlan szerkezetektől, végleges padlószinttől mért távolságokból kaphatjuk meg négyzetméterben.
- Ácsszerkezeteknél a tetőszerkezet mennyiségét a gerendák teljes kinyúlásáig szükséges figyelembe venni.
- Tetőfedésnél a tetőgerinctől az ereszig terjedő részt kell négyzetméterben megadni.
- Bádogos munkáknál a tervről leolvasható hosszmereteket a szerkezet kerekített szélességi adataival kell kiszámolni, ablakpárkányoknál 5-5 cm túlnyúlást kell számolni.
- Oldalfalvakolásoknál a padlószinttől a mennyezetig terjedő magasságot kell alapul venni a lábzatokat nem szabad beleszámolni.
- Üvegezési munkák esetében, ha az adott szerkezet nem derékszögű, akkor az adott üvegtábla derékszögűre kiegészített méreteit kell számolni. (TÓTI MAGDA – WEHNER MARIANNA, 2000:29)

4. TÁRSASHÁZAK BEMUTATÁSA

A társasházak Debreceni jelenleg épülő kiskörútjának vonzáskörzetében, belvárosi övezetben találhatóak. Az udvari homlokzatok keleti, az utcai homlokzatok nyugati tájolásúak.



1. ábra. Homlokzatok

Forrás: Engedélyes tervdokumentáció

A látványterven (1. ábra) láthatóak az engedélyes tervdokumentációnak megfelelő homlokzatok. A jobb oldali tömb homlokzata fehér színezést kapott, az erkélyeknél a korlátot falazat helyettesíti, a franciaerkélyekhez lakatos szerkezeteket terveztek.

A bal oldali ház formailag hasonlít a jobb oldalira, de az eltérő homlokzati kialakítás miatt könnyen elkülöníthető. Alapvetően fehér színezést kap ez a ház is, de vannak klinker lappal burkolt részek. A burkolt felületek egy kis besüllyesztéssel lesznek kialakítva. A loggiákhoz és franciaerkélyekhez biztonsági üvegből készült korlátok lesznek elhelyezve.

5. HOMLOKZATOK KÖLTSÉGÉNEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Az összehasonlítás során kizárólag a különbségek költségeit fogom figyelembe venni. Nem vettem figyelembe a homlokzati hőszigetelést, mivel nincs nagyságrendbeli különbség. A nyílászárók költségeit sem hasonlítottam össze, mert mind a két ház azonos típusú ablakokkal rendelkezik és az eltérő nagyságuk indokolt a belső terek megvilágítása miatt.

A költség összehasonlítás során az erkélyek korlátjait és a homlokzati díszítő elemeket hasonlítottam össze. A végösszegek anyagra és munkadíjra bonthatóak. A mérekszámítások segítségével meghatároztam a szükséges anyagmennyiségeket és az aktuális árakkal beáraztam a tételeket. A munkadíjakat összegét közvetlenül az adott projekteken dolgozó vállalkozóktól kérdeztem meg, így pontosabb képet kaphatunk.

A bal oldali ház költségeit tekintve az erkélyek üvegtáblája 1.502.292 Ft, ez az ár tartalmazza az üvegtáblák anyagárát (széleken csiszolva, táblánként 2db furat), a lakatosszerkezetek anyagárát és a szerelés munkadíját. A homlokzati burkolóelemek kivitelezése 235.900 Ft (burkolólap, fugázó anyag, flexibilis ragasztó, sziloplaszt, burkolás és fugázás munkadíja). A homlokzat felsorolt költségei összesen: 1.738.192 Ft.

A jobb oldali ház homlokzati kialakítása során az erkélyeknél falazott korlát 146.212 Ft (tégla, falazó habarcs, vakoló habarcs, dryvit kapart hatású, dryvit háló, flexibilis ragasztó, munkadíj). A franciaerkélyek korlátjai lakatosszerkezetek és az erkélyek falazott korlátjához tartozik egy kör keresztmetszetű zártszelvény, mely szintén lakatosszerkezetek, ezek ára 195000 Ft (anyag, munkadíj). A két tétel összesen: 341.212Ft.

Az összehasonlítással megállapítható, hogy bal oldali ház homlokzatának kivitelezésekor 1.396.980 Ft többlet költség jelentkezik a jobb oldali ház költségeihez képest. Viszonyítási alapkép megjegyezhető, hogy ez az összeg egy segédmunkás 8 havi munkabérét fedezné.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **LADÓ LÁSZLÓ**, *Szervezés és módszertan*,
- [2] **TAKÁCS ÁKOS – DR. NESZMÉLYI LÁSZLÓ – SOMOGYI MIKLÓS**, *Építéskivitelezés-szervezés*, SzegaBooks, Pécs, 2008.
- [3] **TÓTI MAGDA**, *Építésszervezés*, SZIE YMÉK Budapest, é.n.

FEJLESZTÉSEK ÉS HATÁSAIK AZ ÁLLATTARTÁSBAN

DEVELOPMENTS AND THEIR EFFECTS ON ANIMAL HUSBANDRY

VÁNTUS András¹, CSATÁRI Nándor²

¹egyetemi adjunktus, ²tudományos segédmunkatárs

Debreceni Egyetem

Mezőgazdasági-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar

vantus@agr.unideb.hu; csatarin@agr.unideb.hu

Kivonat: Hazánk Európai Unióba történt felvételével lehetőség nyílt arra, hogy a gazdálkodók jelentős fejlesztési forrásokhoz jussanak. Ezeket az uniós összegeket a gazdaságok kiegészítették saját forrásaikkal, és ennek révén műszaki fejlesztéseket valósíthattak meg. A szerzők Hajdú-Bihar megyei tejtermelő tehenészetekben vizsgálták a 10 év alatt végrehajtott műszaki fejlesztések jellegét és a fejlesztési összegeket, illetve azok megoszlását. Az adatgyűjtés módszerei a szóbeli interjú, valamint a módszeres megfigyelés voltak. A tehenészetekben a vizsgált időszak elején rendelkezésre álló műszaki ellátottság a felmérési időtartam végére javult, ami alapot biztosított a hatékonyabb munkához. Megállapítható, hogy a források felhasználásával végrehajtott korszerűsítések, fejlesztések hozzájárultak a munkatermelékenység mutatók javulásához.

Kulcsszavak: tejtermelés, műszaki fejlesztés, munkatermelékenység

Abstract: Being the member of the European Union, it gave possibilities to the farmer in Hungary to get significant financial sources. These sources were made up with own contribution and with the help of it they could implement technical expansion. Authors have examined the nature and the effects of the past 10 years' technical development and repartition in Hajdú-Bihar County.

Data were collected by oral interviews and methodical observation. On dairy farms the technical level and equipment became better from the beginning till the end of the monitored period, which was a baseline for the more effective work. It is a fact that modernization and development by the financial sources contributed to the amelioration of the labour productivity indexes.

Keywords: milk production, technical expansion, labour productivity

1. BEVEZETÉS

Költséghatékonyság, versenyképesség, egyebek mellett ezek napjaink gyakran használt fogalmai. A költségek mérséklése minden ágazatban célként mutatkozik, ugyanis a gazdálkodás versenyképessége a tét. A költségek közé sorolandó a munkabér-költség, mint egyik jelentős tényező. Ennek mennyisége függ a munkaidő-ráfordítástól, márpedig az időgazdálkodás javításával az eredményesség fokozható (Bába és Berde, 2010), ezért törekedni kell a fizikai munkák gépesítésére, ezáltal a hatékonyság fokozására (Husti, 2006). A költségek mérséklésének egyik eszköze tehát – a munkaidő-ráfordítás csökkentésének révén – a technikai fejlesztés, a gépesítés. Így a modern eszközökkel végzett munka a versenyképességet növelheti (Harsányi et al., 2005; Széles et al., 2012; Sulyok et al., 2013). Hagymássy és Gindert (2015), valamint Hagymássy és Ancza (2011) felhívta a figyelmet a precíz gazdálkodás műszaki vonatkozásaira. Tehát a termelés műszaki feltételeinek javítása hozzájárulhat a jobb eredményekhez. A termelés során felmerülő költségek másik típusa az energiaköltség. A gazdaságoknak keresniük kell ezen a területen is a csökkentés módjait, közöttük az energiatermelés megújuló lehetőségeit (Hagymássy, 2012; Hagymássy, 2013).

A gazdasági körülmények sokszor szükségessé teszik, hogy a vállalkozások forrásokat – támogatásokat – vonjanak be a tevékenységhez, az állattartó telep korszerűsítéséhez. Erre lesz lehetőség a jövőben is, akár vissza nem térítendő támogatás útján is (internet1).

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

Vizsgálatainkat Hajdú-Bihar megyében végeztük, 3 tehenészeti telepen (T1, T2, T3), 10 éves időközzel. Felmértük, hogy a vizsgálati intervallumban miként alakult a tehénlétszám, a humán-erőforrás ellátottság, valamint a műszaki felszereltség, milyen jellegű korszerűsítések valósultak meg a telepeken, és milyen forrásokat használtak fel ezekhez. Az adatgyűjtés szóbeli interjúval és módszeres megfigyeléssel történt.

3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

Tekintettel arra, hogy a termelési eredmények jelentősen függenek a humán erőforrás-ellátottságtól, a tehénlétszámtól, valamint a termelt nyerstej mennyiségétől, ezért a dolgozat elején ezeket mutatjuk be (1. táblázat).

	T1		T2		T3	
	A vizsgálati időszak kezdete	A vizsgálati időszak vége	A vizsgálati időszak kezdete	A vizsgálati időszak vége	A vizsgálati időszak kezdete	A vizsgálati időszak vége
Dolgozói létszám (fő)	24	19	26,5	24	18	20
Tehénlétszám (db)	372	342	375	387	376	591
Termelt tej (liter)	3095000	3118438	2496947	2884778	2910840	5206000

1. táblázat. A gazdaságok alapadatainak változása a vizsgálati időszakban

A telepeken összesen a vizsgálati időszak kezdetén 1123 db tehenet tartottak, míg a vizsgálati időszak végén 1320 db-ot, ami 18%-os növekedést jelent. A telepek összes dolgozói létszáma a vizsgálati időszak kezdetén 68,5 fő volt, a vizsgálati időszak végén pedig 63 fő, ami 8%-os csökkenést mutat. A gazdaságok korábban 8 502 787 liter nyerstejet termeltek, később 11 209 216 liter volt a tejmennyiség, ez 31,83%-os növekedésnek felel meg.

A tehénlétszám telepenkénti változása azt mutatja, hogy a T1 telepen 8%-kal csökkent, míg a T2 telepen 3%-kal, a T3 telepen 57%-kal nőtt az állomány, miközben a dolgozói létszám a T1 telepen 21%-kal, a T2 telepen 9%-kal csökkent, míg a T3 telepen 11%-kal nőtt.

A bemutatott adatok valamint azok változása jelzi a munkatermelékenységi mutatók javulását, ezek a dolgozat későbbi részében szerepelnek. Az előbbieken részletezett humán

erőforrás-változás mellett a műszaki hátteret is fejlesztették a gazdaságok. A fejlesztés összege összesen a három tehenészetben 524 665 000 Ft Ft-ot tett ki, ebből a T1 gazdaság 183 350 000 forintot, a T2 tehenészet 148 460 000 forintot, a T3 telep 192 855 000 forintot használt fel. A három vizsgált gazdaság által felhasznált támogatási összeg nagyobb, mint az önerő.

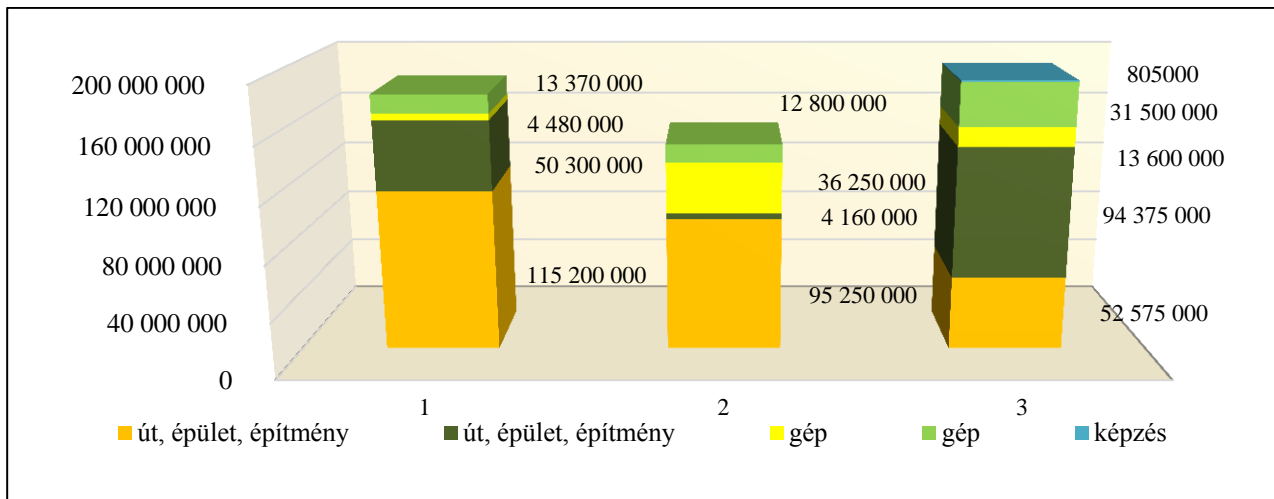
A 2. táblázat részletezi az összegek telepenkénti, valamint forrás szerinti megoszlását.

Telepek	Támogatás (Ft)	Önerő (Ft)
T1	119 680 000	63 670 000
T2	99 410 000	49 050 000
T3	66 175 000	126 680 000
Összesen	285 265 000	239 400 000

2. táblázat. A fejlesztési összegek megoszlása

A legkisebb összeget a T2 telep használta fel, a legtöbb összeget a T3-as telep fordította fejlesztésre, ahol a legtöbb tehenet tartják. Az önerő nagysága csak a T3 gazdaságban haladta meg a támogatási összeget, a másik két telepen a támogatási összeg közel kétszerese volt az önerő összegének. Megállapítható, hogy minél kisebb a vizsgált telep, annál nagyobb mértékben igyekezett támogatási forrást lehívni a gazdaság fejlesztéséhez. A T1 telepnél a fejlesztési összegnek a 65%-a volt a támogatás. A tehénlétszám nagyságát és a támogatások összegét figyelve látható, hogy a T1 telep tehénlétszáma 72%-a a T3 telep tehénlétszámának, a megszerzett és felhasznált támogatási összeg közel kétszerese a T1 telepnél a T3-hoz viszonyítva. Az önerőnél ennek a fordítottja látható, hiszen a T3-nál felhasznált önerő közel kétszerese a T1 telepének, ami azt jelzi, hogy legnagyobb tehénlétszámú gazdaság a leginkább tökeerős.

Az 1. ábra szemlélteti a fejlesztési források felhasználásának célját, továbbá azt is láthatjuk, hogy a támogatás illetve az önerő mértéke mekkora volt az egyes kategóriáknál. Útra-épületre-építményre a három telepen 411 860 000 Ft-ot fordítottak összesen, míg gépekre 112 000 000 Ft-ot költöttek. A támogatási összeg lényegesen meghaladta az önerő nagyságát az út-épület-építmény kategóriában, míg a gépbeszerzéseknél szinte hasonló mértékű volt a kétféle forrás összege. Látható, hogy a támogatási összeg magasabb mindhárom telepnél az út-épület-építmény vonatkozásában, a gépekre felhasznált összegektől. A legtöbb támogatást (115 200 000 Ft) az út-épület-építmény kategóriánál a T1 telep, míg a gépek vonatkozásában a T2 gazdaság szerezte meg (36 000 250 Ft). Az is kitűnik, hogy a T3 telep mindkét kategóriánál a legnagyobb összegű önerőt tudta mozgósítani a fejlesztésekhez. Ez utóbbi gazdaságról mondható csak el, hogy képzésre is szánt összeget (805 000 Ft), amely saját forrás volt.



1. ábra. A fejlesztési források felhasználásának célja és jellege

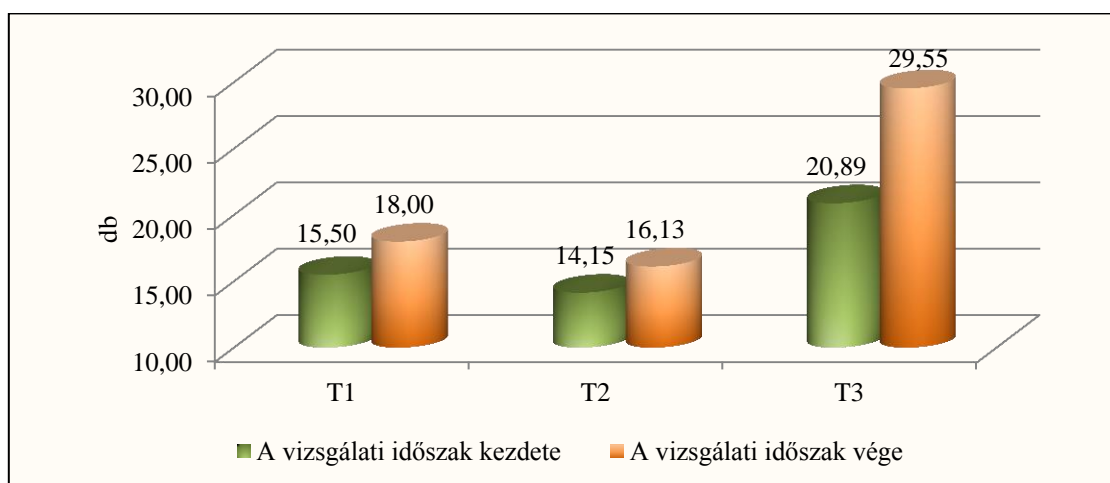
A dolgozat következő szakaszában a fenti forrásokból végrehajtott fejlesztéseket mutatjuk be.

A T1 tehenészetben a fejlesztések keretében istálló, valamint a szociális épület felújítása is lezajlott. Az Európai Unió jogharmonizációjának megfelelően a telepeknek korszerűsíteniük kellett a trágyaelhelyezést, trágyamozgatást, így 140 millió Ft-ot szántak ezek megvalósítására. Gépbeszerzésre közel 17,9 millió Ft-ot fordítottak. Ebből a telepi anyagmozgatás céljára 1 db erőgépet és 1 db rakodógépet vásároltak, 11,2 millió Ft értékben. A fejőberendezés felújítására és a fejőállások korszerűsítésére a telepen 2,8 millió Ft-ot fordítottak. A műszaki korszerűsítések az állatok komfortérzetét is javították, ugyanis az istállóban illetve az etetőterben ventilátorokat és párasító berendezéseket helyeztek el.

A T2 gazdaság út-épület-építményre megközelítően 100 millió Ft-ot (ennek önerős része 4,1 millió Ft) fordított, gépeket 48 millió forintért szereztek be, aminek 75%-a támogatásból, 25%-a önerőből realizálódott. Meg kell állapítanunk, hogy ez a telep kezdetleges körülmények között működött a vizsgálati időszak elején, így az időközben eszközölt fejlesztések ellenére – amelyek összegüket tekintve jelentősek – az általánosan tapasztalt helyzethez képest még mindig hátrányban van. A következőkben szereplő fejlesztések jelentősége abban áll, hogy ezek révén mind a dolgozók, mind az állatállomány számára kedvezőbb körülmények biztosíthatók, és a hatás a hatékonyabb termelésben mutatkozhat meg. A trágyatárolásra és a hozzá tartozó gépekre 124 millió Ft-ot fordítottak. Emellett az úthálózat javítását segítette 3 millió Ft. A 124 millió Ft összegű támogatás tartalmazott 2 db rakodógépet, 1 db szippantókocsit, a betontér építését a szalmastrágya tárolására, a csatorna kiépítését, ezen kívül a trágyaakna, a hígtrágya-tároló medence és a trágya mozgatását végző szivattyúk összegét is. Ezeken túl tetőfelújítást, karamjavitást és kerítés-építést is végeztek, valamint új reflektorok üzembe helyezésével a világítást is korszerűsítették. A takarmányozás elvégzéséhez korszerű takarmánykiosztó kocsit vásároltak, és 8 db itató berendezést is üzembe helyeztek. A korszerű itató berendezések amiatt fontosak, mert a tehenek ivóvíz-igényét – amely naponta elérheti akár a 100 litert is – biztonsággal ki kell elégíteni. Ha ez nem így történik, akkor a meleg – főként a nyári napokon – a tehenek tejtermelésének csökkenését is előidézheti. A telep istálló-épületei is befolyásolják az eredményességet, az állatállomány elhelyezésének milyensége útján. Ebben a tehenészetben a borjak elhelyezésére 60 db új Steimann-ketrecet vásároltak, továbbá a tehénállomány komfortérzetének javításához

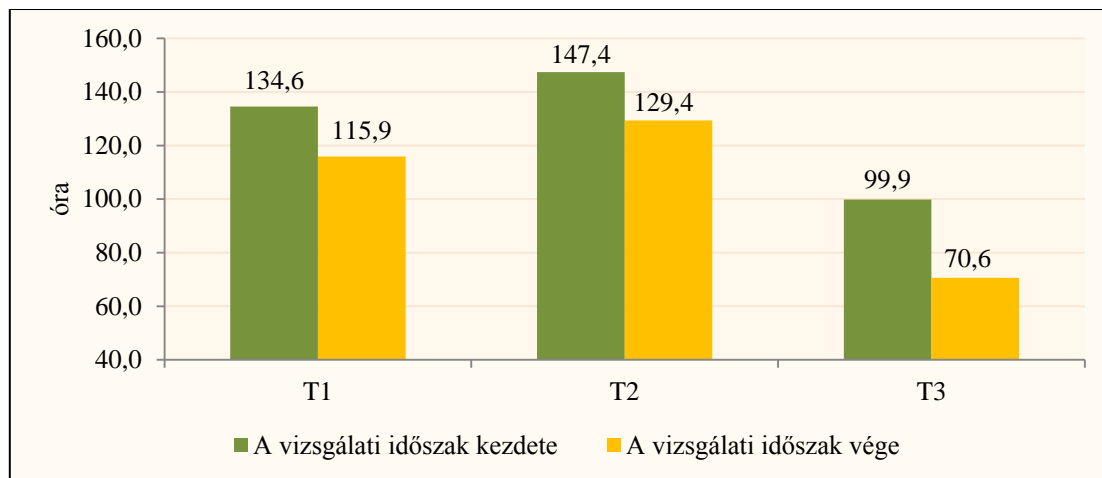
istállónként 5 db ventilátort üzemeltek be, valamint az istálló szellőzést is kialakították, emellett az etetőtéren párasítót helyeztek el.

A T3 telepen a fejlesztési összegből felújították a fejőházat és a tejházat, mivel a fejés és a tejkezelés munkaműveletei a legfontosabbak közé tartoznak. A takarmánytároló épületek-építmények a takarmány minőségének megőrzése miatt fontosak, ezért 2 darab színt, valamint 2 darab silóteret építettek. A szalmastrágya tárolótér, valamint a hígrágyatároló tartály a környezetvédelmi előírások miatt fontosak, ezért ezekre is hangsúlyt fektetett a gazdaság. A telep három istállójának felújítása a tartási körülményeket javítja, tehát az állománynak is kedvez, de emellett a dolgozók munkavégzését is könnyíti. Az istállókban 20 db ventilátort szereltek fel, ezek is az említett előnyöket adják. A telepi úthálózat megjavítása nemcsak a járművek mozgását könnyíti meg, de gyorsulhat is az anyagok szállítása, ami munkaidő-megtakarítást eredményezhet. A szociális épület korszerűsítették, mivel ez a dolgozók elégedettségét is fokozza. Ezen kívül a fekete-fehér öltöző felújítása a telep járványvédelmi szempontjai miatt volt szükséges. Gépek vásárlására 45 100 000 Ft-ot fordítottak, ebből 13,6 millió Ft támogatás volt, 31,5 millió Ft pedig az önerő. Elvégezték a 2 db tejtároló tartály korszerűsítését, amelyek a tárolás mellett a tej hűtését is elvégzik. A takarmányozás munkaműveletéhez takarmánykeverő-kiosztó kocsikat vásároltak. A telepen van tartalék kiosztó kocsi is, ezáltal a takarmányozás akkor is végezhető, ha az egyik berendezés elromlik. A 2 db erőgép és 2 db rakodógép vásárlásával a tehenészet biztosabbá tette az anyagmozgatást. A gazdaságok közül csak ez a telep fordított összeget néhány munkakör dolgozójának képzésére is, 805 000 Ft értékben, (HACCP, rakodógép kezelő, inszeminátor). Az említett humán erőforrásbeli valamint műszaki felszereltségbeli változások, fejlesztések is hozzájárultak ahhoz, hogy a munkák elvégzése eredményesebbé válhasson, javuljanak a munkatermelékenységi mutatók. Ezek közül elsőként az 1 fizikai dolgozóra jutó tehénlétszámot szemléltetjük (2. ábra). Az ábrából kitűnik, hogy mindhárom telepen javult ez a mutató, ugyanis növekedett az 1 fizikai dolgozóra jutó tehénlétszám. Ez az érték a telepek átlagában a vizsgálati időszak kezdetén 16,39 darab volt, és a vizsgálat végére 20,95 darabra nőtt. Ez 28%-os növekedést jelent. A növekedés telepenként 16%-os (T1), 14%-os (T2), és 41%-os (T3) volt. Ehhez hozzájárult az is, hogy a tehénlétszám változását nem követte azonos mértékű dolgozói létszám-változás, emellett a fizikai dolgozók munkavégzését segítették a vizsgálati időszak alatt beszerzett új, korszerű berendezések. Azt is láthatjuk, hogy a legnagyobb mértékű pozitív változás (41%) a T3 telepen történt, ahol a legmagasabb összegű fejlesztést valósították meg.



2. ábra. Az 1 fizikai dolgozóra jutó tehénlétszám a vizsgált gazdaságokban

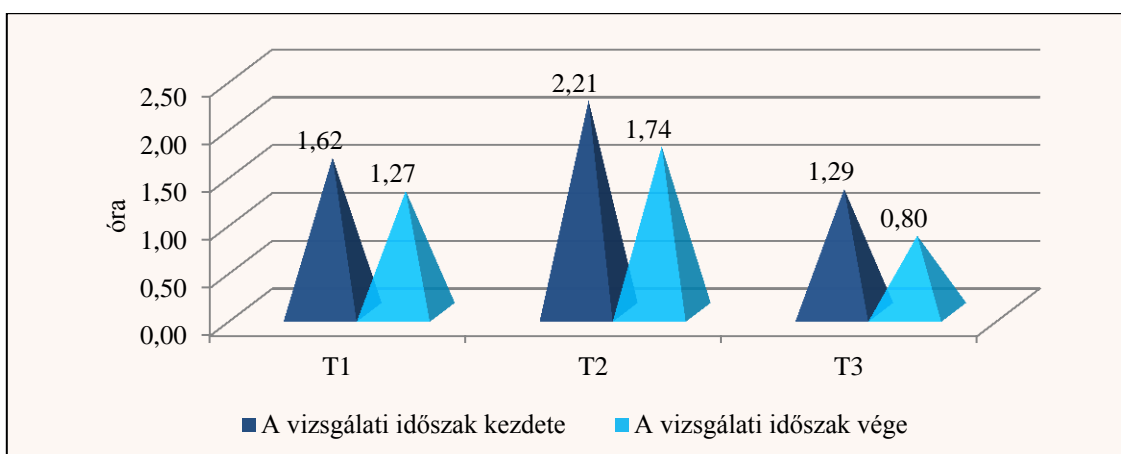
A 3. ábrán az 1 tehén gondozására jutó munkaóra évenkénti alakulását láthatjuk. Ez a mutató is javult mindhárom gazdaságban.



3. ábra. Az 1 tehén gondozására jutó munkaóra évenként

A javulás értéke a korábbi 127,2 munkaóráról 99,6-re csökkent, ami 22%-os javulást jelent. Telepenként nézve azt látjuk, hogy jelentős eltérések vannak: a T1-nél 14%-os, a T2-nél 12%-os, míg a T3-nál 29%-os.

A 100 liter tej előállítására fordított munkaóra (4. ábra) értéke a 3 gazdaságra nézve a vizsgálati időszak elején 1,68 óra, míg a végén 1,17 óra, ami jelentős, 30%-os javulást jelent. A telepenkénti javulás intervalluma 21% és 38% közötti. A legnagyobb javulás a T3 telepen történt, ahol az 1,29 óra lecsökkent 0,80 órára. Ahogy a dolgozat korábbi szakaszában jeleztük, itt volt a legnagyobb fejlesztés (közel 200 millió Ft) a vizsgált időszakban.



4. ábra. A 100 liter tej előállítására fordított munkaóra

A termelékenységi mutatók egyidejűleg többféle módon is jellemzik a gazdaságot. Egyik oldalról rávilágítanak arra, hogy a pályázati illetve az önerős fejlesztések hozzájárultak a műszaki háttér fejlesztése által a felhasznált munkaidő csökkentéséhez, ezen kívül azt is jelzik, hogy jelentős különbségek vannak a vizsgált gazdaságok között. A fejlesztési források mértékével szinkronban áll két munkatermelékenységi mutatónál tapasztalt javulás.

4. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

1. A vizsgált tehenészetek közül kettőben növekedett a termelő tehenállomány létszáma.
2. A vizsgált gazdaságok jelentős összegű (0,5 milliárd forintot meghaladó) fejlesztéseket hajtottak végre a vizsgálati időszakban.
3. A munkatermelékenységi mutatók mindegyikénél 10%-ot meghaladó volt a javulás a T1 és a T2 telepen, a fejlesztéseknek is köszönhetően.
4. Úgyszintén minden mutatónál javulás történt a T3 telepen, ami meghaladta a 28%-ot. Erre az előrelépésre a fejlesztések is hatással voltak.
5. A Széchenyi 2020 program révén - 2016. márciustól - jelentős forrást kap az ágazat a technológiák korszerűsítésére, emiatt javasoljuk a telepek tulajdonosainak, vezetőinek a pályázati lehetőségek figyelését a jövőben is.
6. A vizsgált gazdaságokban egyaránt korszerű a technológia, ennek ellenére a munkatermelékenységi mutatók jelentősen eltérnek, ezért a jövőben a munkaszervezésre nagyobb figyelmet kell fordítani.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **A. VÁNYINÉ SZÉLES, I. BOGDÁN, D. SULYOK, J. NAGY.:** *The effect of fertilisation and irrigation on the yield of different genotype maize hybrids and the economic aspects of production.* (George J Halasi-Kun (szerk.) In: Halasi-Kun G J (szerk.) Impact of Anthropogenic Activity and Climate Changes on the Environment of Central Europe and USA, Columbia University - University Seminars. 2012., p. 341-360.
- [2] **BÁBA É., BERDE CS.:** *Az idő. A XXI. század erőforrásáról vezetőknek.* Szaktudás Kiadó Ház. 2010. Budapest
- [3] **HAGYMÁSSY, Z.:** *Analysis of operating photovoltaic power panels.* Agricultural Informatics 2012 Conference Debrecen, Magyarország, 2012.09.21-2012.09.22. Magyar Agrárinformatikai Szövetség, 2012., p. 15-20.
- [4] **HAGYMÁSSY, Z.:** *Operational experienced of an 8.64 kWp grid-connected PV array.* AGRÁRINFORMATIKA / JOURNAL OF AGRICULTURAL INFORMATICS 4:(2) 2013., p. 53-58.
- [5] **HAGYMÁSSY Z., GINDERT-KELE Á.:** *Műtrágyaszóró gép kúpos-szalagos szóró szerkezetének vizsgálata.* MŰSZAKI TUDOMÁNY AZ ÉSZAK-KELET MAGYARORSZÁGI RÉGIÓBAN. Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 2015., p. 290-293. ISBN:978-963-7064-32-6
- [6] **HAGYMÁSSY, Z., ANCZA, E.:** *Experience of an Intensive Program Course on Utilization of High Technology Equipment.* In: Herdon M, Rózsa T, Szilágyi R (szerk.) Agrárinformatika 2011 Konferencia / Agricultural Informatics Conference: Innovatív információtechnológiák az agrárgazdaságban / Innovative information technologies in agriculture. Debrecen: Magyar Agrárinformatikai Szövetség, 2011., p. 80-86. ISBN:978-615-5094-05-7
- [7] **HARSÁNYI E., HARSÁNYI G., NAGY A. J.:** *Területi fejlettségi különbségek az Észak-alföldi régióban.* Agrártudományi Közlemények. 16. Különszám. 2005., p. 170-180.
- [8] **HUSTI I.:** *Innováció és műszaki fejlesztés.* In: Jávor A. - Borsos J. (szerk.): Az agrárinnovációtól a társadalmi aszimmetriáig. 2006. DEATC AVK, Debrecen

- [9] **SULYOK D., FERENCSEK S., RÁTONYI T., HUZSVAI L., NAGY J.:** *Agronomical and agro-economic evaluation of maize production in various cultivation systems.* Növénytermelés 62: (Suppl.) 2013., p. 33-36.
- [10] internet1: Május 17-től nyújtható be a szarvasmarhatartó telepek korszerűsítését támogató pályázat
<http://www.palyazathirek.eu/mezogazdasagi-palyazatok/3122-akar-1-mrd-forint-tamogatas-szarvasmarhatarto-telepek-korszerusitesere>

FÉM HABOK MODELLEZÉSI LEHETŐSÉGEI

MODELLING QUESTIONS OF METAL FOAMS

**VARGA Tamás Antal¹, MANKOVITS Tamás², MANÓ Sándor³, KOCSIS Imre⁴,
BUDAI István⁵**

¹tanszéki mérnök, varga.tamas@eng.unideb.hu

¹Debreceni Egyetem Műszak Kar Gépészmérnöki Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemető utca 2-4

²Ph.D., egyetemi docens, tanszékvezető, tamas.mankovits@eng.unideb.hu

²Debreceni Egyetem Műszak Kar Gépészmérnöki Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemető utca 2-4

³ Ph.D., tudományos segédmunkatárs, gépészmérnök, manos@med.unideb.hu

³Debreceni Egyetem Ortopédiai Klinika, 4028 Debrecen, Nagyerdei körút 98

⁴ Ph.D., főiskolai tanár, tanszékvezető, kocsisi@eng.unideb.hu

⁴Debreceni Egyetem Műszak Kar Műszaki Alaptárgyi Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemető utca 2-4

⁵ Ph.D., egyetemi docens, budai.istvan@eng.unideb.hu

⁵Debreceni Egyetem Műszak Kar Műszaki Menedzsment és Vállalkozási Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemető utca 2-4

Kivonat: A mérnöki kutatások egyik nagy kihívása a mára már széles körben alkalmazott fémhabok geometriai modellezése, valamint a megalkotott 3D-s modell numerikus szilárdságtani vizsgálata. A fémhab struktúrája meglehetősen bonyolult, így a valóságot jól megközelítő CAD modell előállításában is komoly mérnöki feladat, annak adott terhelésre történő végelelemes szimulációja pedig a kutatások középpontjában áll. A projekt ezen részének célja az előzőekben tárgyalt témakörökre vonatkozó nemzetközi szakirodalom kritikai elemzése és az eredmények adaptálási lehetőségei.

Kulcsszavak: fémhab, modellezés, 3D rekonstrukció, végelelem-módszer

Abstract: The development of an efficient procedure for 3D modelling and finite element simulation of metal foams is one of the greatest challenges to engineer researchers nowadays. Creating 3D CAD model is alone a demanding engineering task due to its extremely complex geometry, and the proper finite element analysis process is still in the center of the research. The aim of this project is to analyze the related literature and to adapt the results may be considered.

Keywords: metal foam, modelling, 3D reconstruction, finite element method

1. BEVEZETÉS

A fémhabok viszonylag új és korszerű anyagok, melyeknek magas a tömegükhöz viszonyított térfogata, jó hő- és hangszigetelő, valamint kitűnő energiaelnyelő képességgel rendelkeznek, melynek révén számos felhasználási területen jól alkalmazhatóak. Ennek következtében egyre szélesebb területen alkalmazzák őket szerkezeti elemként, autóalkatrészként, hang- és rezgés elnyelő alkatrészként, vagy akár orvosi implantátumként. A fémhabok mechanikai tulajdonságait alapvetően három fő tényező befolyásolja, nevezetesen az alapanyag jellemzői, a szilárd fázis relatív sűrűsége és a térbeli eloszlása, azaz a fémhab struktúrája (cella eloszlás, a cellák alakja). A fémhabok nagyon népszerűek, de ezek tulajdonságai még mindig nem kellőképpen ismertek. Ez főleg a szerkezetük sztochasztikus természete miatt van. A belső szerkezet vizsgálatára a komputertomográf egy megfelelő eszköz. A belső szerkezet vizsgálata elengedhetetlen ahhoz, hogy numerikusan tudjuk modellezni a fémhab szerkezetet. A fémhabok geometriai modellezése és azok végelelemes

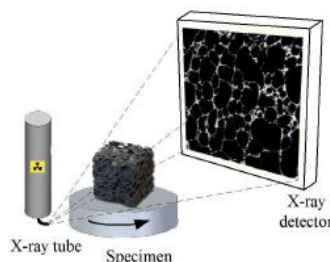
analízise komoly mérnöki feladat, amelynek eredményeképpen a legyártásra kerülő fémhab alkatrész tervezhető és optimalizálható lesz. Az utóbbi években számos kutató foglalkozott a fémhabok modellezésével és végelem szimulációjával, több-kevesebb sikerrel. Jelen cikk főleg a nemzetközi szakirodalomban fellelhető fémhab modellezési lehetőségekről kíván számot adni.

2. FÉM HABOK MODELLEZÉSI LEHETŐSÉGEI

A fémhab geometriai modellezését alapvetően kétféle stratégiával lehet megvalósítani. Az egyik az, amikor a komputertomográf felvételekből generált statisztikai adatokból felépítünk egy olyan idealizált modellt, amely hasonlóan viselkedik terhelés hatására, mint az eredeti. A másik lehetőség az, hogy a legyártott fémhabról készült CT felvételek segítségével építjük fel a valós geometriai modellt. Mindkét eljárásnak van előnye és hátránya is. Az idealizált modell előnye, hogy néhány előre meghatározott adatból képesek vagyunk felépíteni egy modellt, de a nagy hátránya az, hogy csak megközelítőleg tudjuk szimulálni a fémhab reakcióját, hiszen ez a 3D-s modell nem teljesen egyezik meg a legyártott próbatesttel. A CT felvételnek nagy előnye, hogy ugyanazt a 3D-s geometriát tudjuk vizsgálni, mint a vizsgált fémhab. Hátránya, hogy a gyártástechnológiából fakadó nehéz reprodukálhatóság miatt csak a konkrét fémhab szerkezetre tudunk információt szolgáltatni. Mindkét eljárásához szükséges tehát egy olyan drága berendezés, amely nem mindenhol érhető el.

3. A CT VIZSGÁLAT EREDMÉNYEINEK FELDOLGOZÁSA

A CT berendezés az egyedüli mérés technikai eszköz, amellyel olyan térfogat-információ szerezhető a vizsgált alkatrésztől, ami nemcsak a külső burkolófelület topológiáját határozza meg nagy pontossággal, hanem adatot szolgáltat a belső struktúráról, inhomogenitásról is [1]. Napjainkban a CT berendezéseket számos vizsgálathoz alkalmazzák. Az egyik legismertebb alkalmazási terület az orvostudomány, de számos műszaki alkalmazási területe van. A CT berendezés 2D-s felvételt készít az adott munkadarabról, majd a munkadarabot az asztallal együtt egy bizonyos szögben elfordítja, és újabb felvételt készít róla (1. ábra). Ez addig folytatódik, amíg az adott munkadarab teljesen körbe nem fordul. Az alkatrész ellentétes oldalán elhelyezett detektor érzékeli a különböző röntgen intenzitást. A vizsgálat elvégzése után rendelkezésünkre áll minden egyes egységnyi szögelfordulás után egy 2D-s kép.



1. ábra. CT működési elve

A CT vizsgálat után rendelkezésre áll számos 2D-s felvétel, amelyeket általában a CT berendezéshez kapott szoftverrel lehet összeállítani, hogy egy 3D-s modellt kapjunk. Ezek a 3D-s modellek .stl kiterjesztésűek, amelyek voxel elemekből állnak és ez csak vizuális megjelenítésre alkalmasak. A voxel háromdimenziós képi elem, mind a három tengely mentén kiterjedéssel bíró pontegység, mint térfogat-képpalkotási eszköz, standard az orvosi

diagnosztikában. Ezzel ellentétben, a műszaki gyakorlatban a burkolófelületet leíró hálót (.dxf), vagy térfogati elemet alkalmaznak (.iges), tehát az eredeti voxel modellt át kell alakítani. Azonban ezeken a modelleken, CT felvételeken keletkeznek hibák, zajok, amelyeket el kell tüntetni a felvételekről, továbbá a létrehozott modell sem egységes, ezért rekonstruálni kell azokat. Ezeket az eljárásokat számos szoftverrel el lehet végezni.

Nyílt cellás alumíniumhabot, illetve nikkelhabet vizsgál Michailidis és szerzőtársai [2]-ben. A rekonstrukció első lépéseként a CT felvételeket módosítják, amelyen eltávolítják a 70 μ m-től kisebb méretű pontokat. Ezt követően létrehoznak egy 3D-s térfogat modellt (.iges kiterjesztés) amely térfogatelemekből áll. Sajnos a cikkben nem említik a rekonstrukcióhoz használt szoftvert. A 3D-s modellnek a mérete 7.3x6.1x1.4 mm, amelyet a nagy alakváltozás miatt az Ansys végeelem szoftver NLGEOM funkcióját használják.

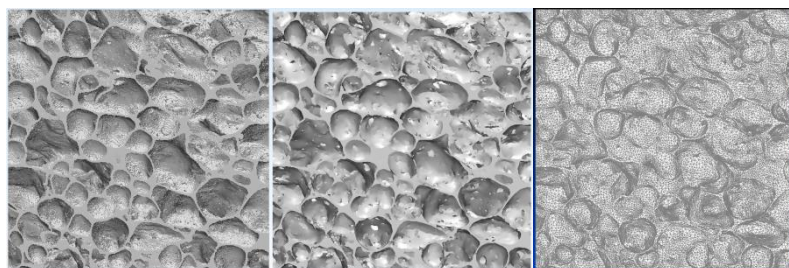
A [3]-ban a szerzők zártcellás alumíniumhabot vizsgálnak. A CT által elkészített 2D-s képeket MATLAB szoftverrel rekonstruálják. A rekonstrukció első lépéseként a CT felvételekből bináris képet készítenek, majd ezeken eltávolítják a tévesen érzékelt pontokat. Ezt követően meghatározzák a cellák határvonalait, ezáltal pontosítva a képeket. Ebben a cikkben 2D-s modellekkel dolgoznak, míg [4]-ben már egy \varnothing 14x5 mm nagyságú modellen végzik a vizsgálataikat. A végelem vizsgálathoz az ABAQUS szoftvert használják.

Ramirez és szerzőtársai szintén nyílt cellás alumíniumhabot vizsgálnak [5]-ben. A CT felvételek rekonstrukciójához a MIMICS trial verzióját használják. Ezt követően a modellre végelem hálót generálnak az ABAQUS szoftver segítségével, amivel el is végzik a végelem vizsgálatot. Az általuk használt modell a próbatestből kivágott keskeny kis darabka.

A [6]-ban nyílt cellás M-Pore® és zárt cellás Alporas® alumíniumhabokat vizsgálnak. A 3D rekonstrukciót a phoenix datos|x nevezetű szoftverrel végzik el, majd ezt követően a végelem vizsgálatot a MSC.Marc szoftverrel. Az általuk generált modellek nagysága 14x14x14 mm illetve 28x28x28 mm.

Zárt cellás ALPORAS alumíniumhabot vizsgálnak a [7]-ben. A rekonstrukcióhoz Octopus 8.1 szoftvert használnak. A végelem vizsgálatához 50x50x5.5 mm és 50x50x13.5 mm nagyságú modelleket használnak.

A [8]-ban zárt cellás ALPORAS alumíniumhabot vizsgálnak. Maga a CT felvételek rekonstrukciójához TRI/3D-BON of Ratoc System Engineering Co. Ltd. szoftvert használtak. Ezt követően a röntgen filmeket RapidForm of INUS szoftverrel illesztették össze, amelyből 3D-s felületi modellt alkottak. Ezután a végelemes hálót hozták létre a PATRAN of MSC programmal. A végelem vizsgálatot ABAQUS programmal végezték el. A végelem vizsgálatot 5x5x5 mm-es modellen végezték el.



2. ábra. Modell változása a rekonstrukció során

A fentiekből látható, hogy számos lehetőség van a fémhabok modellezésére, valamint ahhoz számos szoftvert használnak sikeresen. Észrevehető az is, hogy leginkább kis méretű modelleket használnak, mivel egy ekkora modell rekonstrukciója, illetve végelem szimulációja is sok ideig tart. Jelenlegi kutatásunk középpontjában áll egy olyan

rekonstrukciós eljárás kifejlesztése, amellyel e CT felvételtől végeselem hálót tudjunk előállítani. A modell rekonstrukciójáról egy példa látható a 2. ábrán. A rekonstrukció eredményeiről jelenlegi cikkünkben nem kívánunk beszámolni.

ÖSSZEFOGLALÁS

Amint látható számos lehetősége van a fémhabok modellezésének. A modellezési stratégia kialakításánál el kell dönteni, hogy a statisztikai adatokból felépített idealizált modellt használunk, vagy a valós modellt próbáljuk felépíteni. A Debreceni Egyetem kutatói az utóbbi években komoly eredményeket értek el a fémhabok geometriai modellezésében és numerikus szilárdságtani vizsgálataiban.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését az Emberi Erőforrások Minisztériuma megbízásából az Emberi Erőforrás Támogatáskezelő által 2015-ben meghirdetett „Egyedi fejlesztést biztosító ösztöndíjak” (NTP-EFÖ-P-15) című pályázati kiírása alapján a Nemzeti Tehetség Program támogatta.



FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **KOZMA, I.:** *A komputertomográf ipari alkalmazásai.* A jövő járműve járműipari innováció 2006, Győr, Hungary, Volume 5/3-4, p. 8–11.
- [2] **MICHAILIDIS, N., STERGIUDI, F., OMAR, H., PAPAPOULOS, D., TSIPAS, D.N.:** *Experimental and FEM analysis of the material response of porous metals imposed to mechanical loading.* Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects, 382 (2011) 124–131.
- [3] **ZHU, X., AI, S., FANG, D., LIU, B., LU, X.:** *A novel modeling approach of aluminum foam based on MATLAB image processing.* Computational Materials Science, 82 (2014) 451–456.
- [4] **ZHU, X., AI, S., LU, X., LING, X., ZHU, L., LIU, B.:** *Thermal conductivity of closed-cell aluminum foam based on the 3D geometrical reconstruction.* International Journal of Heat and Mass Transfer, 72 (2014) 242–249.
- [5] **RAMÍREZ, J.F., CARDONA, M., VELEZ, J.A., MARIKA, I., ISAZA, J.A., MENDOZA, E., BETANCOURT, S., FERNÁNDEZ-MORALES, P.:** *Numerical modeling and simulation of uniaxial compression of aluminum foams using FEM and 3D-CT images.* Procedia Materials Science 4 (2014) 227 – 231.
- [6] **VEYHL, C., BELOVA, I.V., MURCH, G.E., FIEDLER, T.:** *Finite element analysis of the mechanical properties of cellular aluminium based on micro-computed tomography.* Materials Science and Engineering, A 528 (2011) 4550–4555.
- [7] **SAADATFAR, M., MUKHERJEE, M., MADADI, M., SCHRODER-TURK, G.E., GARCIA-MORENO, F., SCHALLER, F.M., HUTZLER, S., SHEPPAR, A.P., BANHART, J., RAMAMURTY, U.:** *Structure and deformation correlation of closed-cell aluminium foam subject to uniaxial compression.* Acta Materialia, 60 (2012) 3604–3615.
- [8] **JEON, I., ASAHINA, T., KANG, K., IM, S., LU, T. J.:** *Finite element simulation of the plastic collapse of closed-cell aluminum foams with X-ray computed tomography.* Mechanics of Materials 42 (2010) 227–236.

SZENZOROK ÉS NANOSZENZOROK ALKALMAZÁSA AZ UAV-K FEDÉLZETÉN

USE OF SENSORS AND NANOSENSORS ON BOARD OF UAV-s

VERÉB Nándor

honvéd tisztjelölt

Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar,
Katonai Repülő Intézet, Fedélzeti Rendszerek Tanszék
5008 Szolnok, Kilián u. 1. E-mail: verebnandi@gmail.com

Kivonat: Az UAV-k hajózó személyzet nélküli, többször felhasználható légi járművek, melyek táv-, fél-autonóm-, autonóm-, vagy kombinált vezérlésűek. Számos katonai és civil feladat ellátására képesek, különböző típusú hasznos terheket hordoznak, melyekkel meghatározott feladatokat hajtanak végre távirányítva, vagy előre programozottan. A haderők feladatai között említhetünk olyan feladatokat, mint például légi felderítés, megfigyelés, valós idejű információszerzés, rendszerek elektromágneses kisugárzásának felderítésére, vegyi- és sugárfelderítő vagy aknamező felderítő feladatok, stb. végrehajtása, földi és légi célok támadása vagy légi célok imitálása. A feladatok sokrétűsége indokolta teszi olyan speciális eszközök alkalmazását, amelyek bevetés után, a megfelelő fedélzeti hasznos teher cseréjével átfegyverezhetők és gyorsan újra bevetethetők, az új harc feladat sajátosságainak megfelelően. A pilóta nélküli repülőgépek ilyen eszközök. A cikkben az UAV eszközök fedélzetén alkalmazott érzékelőket és nanoérzékelőket jelenlegi és jövőbeni felhasználási lehetőségeit mutatom be.

Kulcsszavak: szenzor, nanoszenzor, automatikus repülésszabályozó rendszerek, robotpilóta, UAV, drón

Abstract: UAVs are unmanned, reusable aerial vehicles, which are remote controlled, semi-autonomously/autonomously operating, or combined. They are capable of executing military and civilian assignments, carrying various payloads to perform certain tasks. The military assignments could be aerial reconnaissance, surveillance, real time information gathering, searching a system's electromagnetic radiation, chemical- and nuclear detection, attacking, ground and air targets, imitating air targets etc. The wide variety of these tasks justifies the application of special vehicles, which after deployment – by changing the payload suiting the new task – can be quickly deployed again. The UAVs fulfill these criteria. In the article, I'll present the using capabilities of the sensors and nanosensors equipped on UAVs in the present and future.

Keywords: sensors, nanosensors, automatic flight control system, robotpilot, UAV, drone

1. BEVEZETÉS

A pilóta nélküli repülőgépek irányításához szakszemélyzetre, vagy a fedélzeti robotpilótába programozott útvonaltervre van szükség. Földről az irányító személy, fedélzeti kamera nélkül, megfelelő látási és időjárési viszonyok között is csak a látóhatár végéig képes a repülőgépet irányítani. Az UAV eszközök felhasználási lehetőségeinek ilyen irányú bővítése alapvetően a repülőeszköztől, a fedélzeti rendszereitől és a fedélzeti hasznos terhelésétől függ. A hasznos teher leggyakrabban érzékelővel, vagy érzékelőkkel ellátott információ, adatgyűjtő eszköz, melyet az adott feladat végrehajtására optimalizálják, mint például: optikai-, rádió-, rádió-technikai-, rádiólokációs-, meteorológia-, radiológiai-, kémiai- és biológiai érzékelők.

Az operátortól érkező manőver utasítások végrehajtására, illetve a külső zavarások hatásának csökkentésére robotpilóta (repülésszabályozó) rendszereket alkalmaznak. Ezeknek a rendszerek működésének alapkötelménye, hogy a külső zajok által okozott, illetve távirányítás esetén a felhasználó által kiadott manőver utasítások végrehajtása olyan mértékű legyenek, amely nem károsítja a fedélzeten elhelyezett berendezéseket, illetve biztosítják a repülési jellemzők előírt

szintentartását. A repülést szabályozó rendszerek megfelelő működésének biztosításához szintén szenzor rendszerekre van szükség [2, 15, 16, 17, 18, 29].

2. PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐGÉPEK

Egy UAS¹-t alapvetően két fő részre lehet bontani: (1) légi egységre, (2) földi egységre. A Légi egység:

(1) **Sárkány:** a drón azon rendszere, mely magában foglalja az eszköz vázát, a propulziós egységet (hajtómű), az elektromos energiaellátó rendszert, és a repülésirányító rendszert. A hasznos terhelés szintén a sárkány szerkezeten helyezkedik el, amelyet önálló alrendszernek tekintjük. A légi eszköz lehet merevszárnyú, vagy forgószárnyú.

(2) **Hasznos terhelés:** az UAV-k alkalmazásának legfőbb oka, gyakran tartalmaz nappal és éjszaka is használható szenzorokat felderítési és megfigyelési feladatok ellátására. Napjainkban azok a radar szenzorok, melyek mozgó célpont indikátorral (MTI²) és/vagy szintetikus apertúrájú radar (SAR³) technológiával vannak felszerelve a felderítő küldetések végrehajtásához elengedhetetlen hasznos terhelések.

A hasznos terhelések másik nagy csoportja az elektronikai harc (EW⁴) rendszerek. Ezekbe beletartoznak a jelfelderítő és zavaró berendezések. Más szenzorokat, - mint például a meteorológiai és kémiai érzékelő berendezések - szintén a hasznos terhelések közé soroljuk. Minden UAS kulcsfontosságú része az adatkapcsolatot biztosító funkcionális alrendszer, amely kétirányú kommunikációt biztosít az eszköz és a földi állomás között.

A földi egység:

(1) **Feladattervező és irányító állomás (MPCS⁵):** az UAV rendszer műveleti irányító központja (OCC⁶).

(2) **Indító, leszállító berendezés:** az indítás és leszállítás többféle technikával vitelezhető ki, kezdve a hagyományos fel- és leszállóhelyekkel egészen a függőleges felszállást lehetővé tevő rotoros megoldásokig. Egyes UAV-eket kézből indítanak, mintha csak játék repülőgépeket dobánának a levegőbe. A landolás elősegítéséhez befogó eszközöket (hálókat) használnak, illetve a forgószárnyas eszközök nem igényelnek bonyolult leszállító eszközöket.

(3) **Földi üzemeltető és üzemeltető állomás (GSE⁷):** Az UAV rendszerek kifinomult elektronikája és komplex mechanikája miatt ezek az állomások egyre fontosabbá válnak. Egy ilyen GSE teszt és karbantartó felszerelést, pótalkatrészeket, üzemanyag utántöltő-felszerelést, a földi szállításhoz szükséges kezelőeszközöket és a teljes készlet energiaellátását biztosító generátorokat/agregátorokat tartalmazhat [2, 17, 19, 26, 27, 29, 30].

3. AUTOMATIKUS REPÜLÉS SZABÁLYOZÓ RENDSZEREK

A drónok fejlődésével a fedélzeti berendezéseik, mint például a levegőben történő előírt minőségi paraméterek szerinti manőverezésüket biztosító robotpilóták is modernizálódnak.

¹ UAS: Unmanned Aerial System – Pilóta nélküli légi rendszer

² MTI: Moving Target Indicator – Mozgó célpont indikátor

³ SAR: Synthetic Aperture Radar – Szintetikus apertúrájú radar

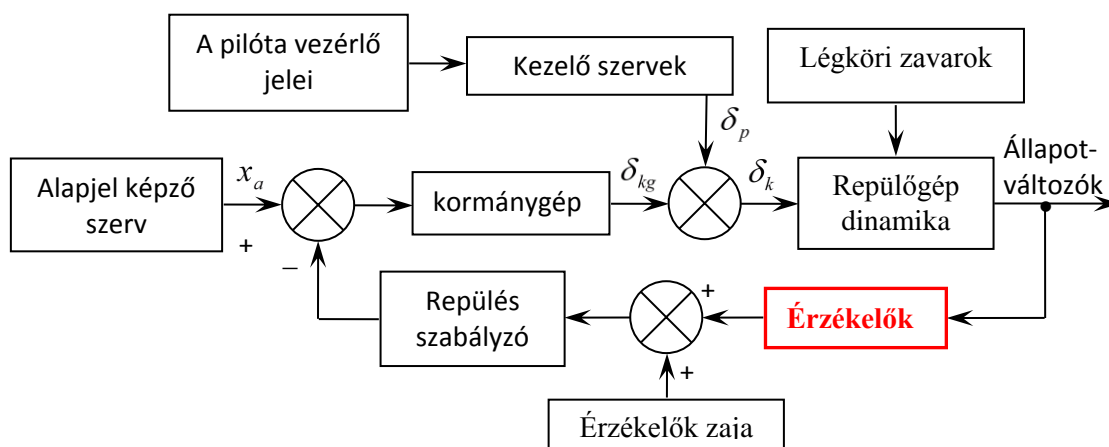
⁴ EW: Electronic Warfare – Elektronikai harc

⁵ MPCS: Mission Planning and Control Station – Feladattervező és irányító állomás

⁶ OCC: Operational Control Center – Műveleti irányító központ

⁷ GSE: Ground Support Equipment – Földi üzemeltető és üzemeltető állomás

Ezek az eszközök a légieszköz mozgásjellemzőit állandó értéken tartó, vagy előírt módon megváltoztató repülésszabályozó berendezések (1. ábra). Napjainkban a repülőeszközök irányítását, szabályozását ezek az rendszerek végzik, amelyek MIMO (Multi input, Multi output) felépítésűek. A működéssel kapcsolatosan a [7, 8, 9, 11, 12, 15, 26] irodalmakban részletesen olvashatunk. Ezek a berendezések a repülőgép mozgásjellemzőit állandó értéken tartják, vagy előírt módon változtatják. A repülőgép három dimenziós mozgásának automatizálásakor a repülőgép térbeli mozgását leíró paraméterek meghatározása és időbeli változásának ismerete alapvető. A repülő eszközök stabilizálását biztosító vezérlési törvények meghatározása (a kormánylapkitérítés és az eszköz elmozdulása közti kapcsolat), továbbá a kormánysszervek vezérlési törvények szerint kitérítése kiemelt feladat. Napjaink robotpilótái a stabilitás növelésén túl képesek előre programozott útvonalrepülésre, önálló manőverek végrehajtására, navigálásra, automatikus fel-, leszállásra, a meghatározott, ismert külső zavarok hatásainak csökkentésére, vagyis aktív repülésszabályozásra.



1. ábra. A robotpilóta rendszer általános felépítése [7]

A robotpilóta vagy inkább integrált repülésirányító rendszer működését különböző mérőadók (érzékelők) biztosítják (például: bedöntési, bólintási szög és szögsebesség adók, irányadó, túlterhelésadó, magasság-, állásszög adók), amelyek a repülőgép és a kormánysszervek helyzete függvényében keletkezett, a mért (érzékel) jellemzőkkel arányos elektromos jeleket a kidolgozó és végrehajtó berendezés bemenetére juttatják. A repülési parancsok végrehajtása a pilótától függetlenül előre programozottan, vagy a repülőgép vezető beavatkozásai hatására bekövetkező kormánykitéréseknek megfelelően megy végbe [7, 15, 19].

4. SZENZOROK

Az automatizálásban az érzékelők az emberi érzékszervekhez hasonló funkciókat látnak el, vagyis olyan átalakító eszközök, egyrésztől amelyek valamilyen fizikai mennyiséget (pl.: mechanikus, termikus, kémiai, mágneses stb.) elektromos jelekké alakítanak át, másrésztől olyan energia átalakítók, melyek jele továbbítható, erősíthető, szűrhető és feldolgozható [3, 4, 11].

A jelek feldolgozásának foka szerint megkülönböztetünk (1) egyszerű, (2) integrált és (3) intelligens szenzorokat. A mérendő mennyiség átalakítására villamos jellé több módszer áll rendelkezésre: (1) közvetett mérés, (2) közvetlen mérés, (3) integrált mérés. A jel digitális feldolgozásához az analóg kimenő jelet digitális jellé kell átalakítani, ezt a feladatot az A/D

átalakítók végzik el. A mikroelektronikai alkatrészek fejlődésével lehetővé vált, hogy a szenzorral közös házba integrálják a digitális kiértékelő egységet is (mikrokontrollert), 2. ábra.



2. ábra. Intelligens (SMART) érzékelő [19]

A drónok fedélzetén a szenzorokat többféleképpen csoportosíthatjuk. Például:

- feladatuk szerint két részre: (1) az UAV működéséhez szükséges szenzorok, melyek a repülési paraméterek rendelkezésreállításáért felelősek, (2) a feladattól függően, hasznos teherként a felfedezeten elhelyezett eszközökbe épített érzékelők.
- Működési elvük alapján: (1) analóg, (2) digitális szenzorok.

Osztályozhatók még mérendő mennyiség, illetve a jel megjelenítési formája alapján, kimeneti jel létrehozásában szereplő kölcsönhatások szerint, továbbá, hogy a működéshez szükséges-e külső energiaforrás [3, 4, 5, 6, 11, 13, 20].

4.1 Repülési paramétereket és külső hatásokat érzékelő szenzorok

A pilóta nélküli repülőgépek mérete a technológiák fejlődésének köszönhetően egyre kisebb és kisebb. Méretük csökkentésével arányosan a teherbírásuk csökken. Az automatikus repülés szabályozó rendszerek működéséhez szükséges repülési paraméterek érzékelésére szolgáló szenzorok mérete is csökken. A mikroméretű elektromechanikus technológiai eszközök kis fizikai paraméterekkel rendelkeznek, ám ennek ellenére mégis nagypontosságú műszerek. Ezen eszközök miniatürizálása rohamosan fejlődik, ezért a kisebb méretű gépek is relatíve nagyobb méretű energiaforrást képesek magukkal szállítani. Ez nagymértékben növelheti a levegőben tartózkodás idejét. Az UAV-kon található számos szenzorok közül a legfontosabbak talán azok érzékelők, melyek az irányításban, navigációban és a repülő vezetésének szabályozásában segítenek. Az ezekre a célokra leggyakrabban használt szenzorok:

- gyorsulásmérők;
- giroszkópok;
- különböző nyomásmérők;
- magnetométerek;
- GPS eszközök.

Payload szenzorok (hasznos teher): Az UAV-k jellemző feladata az információgyűjtés. Ezek végrehajtásához szükséges a fedélzetén elhelyezett információgyűjtő berendezésekben leggyakoribb érzékelők: a kamera, infravörös kamera, a radar, de előfordulnak olyanok is, amelyek radioaktív sugárzást vagy valamilyen kémiai anyagot érzékelnek [3, 6, 19, 28, 31].

5. A NANOTECHNOLÓGIA ALKALMAZÁSA A SZENZORIKÁBAN

Várhatóan a nanotechnológia sok területen fog forradalmi változásokat eredményezni, melyek nagy előnyökkel kecsegtetnek, de nagy kockázatot is rejtenek. A tudomány és technológia elért arra a pontra, ahol az anyagstruktúra szerkesztése nanométeres nagyságon is már rutinszerűvé vált. A letapogató-szonda mikroszkópok lehetővé teszik az egyes atomokról való képkészítést és felületen való mozgatásukat. Az élettudományokban a sejteken belüli molekuláris folyamatok megvilágosultak. A mikroelektronika 100 nm-es nagyságrendre zsugorodott, és az első kozmetikumok, melyek nanorészecskéket tartalmaznak már megtalálhatók a piacon. A számítógépek teljesítményének növekedése egyre jobb atom- és molekuláris anyagmodelleket tesznek elérhetővé.

A katonai kutatások és fejlesztések száma a nanotechnológiában rohamosan nő. A jövőben nagy valószínűséggel a hadviselés minden területén alkalmazzák majd ezeket. Az elektronikai eszközök és számítógépek sokkal kisebbek lesznek, de egyben gyorsabbak és kevesebb energiát fogyasztanak. Ilyen rendszereket a haderők egészében fognak alkalmazni, sőt egyes anyagok alkotórészeivé válnak (fegyver, lőszer, egyenruha, mini- és mikrorobotok). Másrészt az átfogó harcvezető és stratégia tervező rendszerek sokrétű és nagyfokú autonóm döntéshozatali képességet foglalnak magukban. A szenzorokkal, vezeték nélküli kommunikációs eszközökkel, valamint a kisméretű és könnyű kijelzőkkel együtt egy mindenütt jelenlévő hálózatot alkotnak majd. A nanotechnológia kisméretű szenzorok megalkotását teszi lehetővé, ám sok esetben a jel erőssége függ az érzékelő méretétől, így korlátozódhat a zsugorítás mértéke. Mindazonáltal az olcsó tömeggyártás lehetővé teszi több tízezer szenzor szétszórását egyes területeken [1].

6. A SZENZORIKA ÉS AZ UAV-K AUTONÓMIÁJA

John Boyd hadtudományi szakértő szerint az emberi döntés hozatal négy lépésből állt: (1) megfigyelés (Observation), (2) feldolgozás (Orient), (3) döntés (Decision) és (4) cselekvés (Act), vagyis a személy először megfigyeli a körülötte lévő világot, információt gyűjt az érzékszervei segítségével, feldolgozza a begyűjtött információt, majd mérlegeli a lehetséges kimeneteleket és döntést hoz, végül pedig végrehajtja a meghozott döntést (OODA hurok). Felmérhető egy gép autonómia szintje az alapján, hogy hogyan hajtják végre az OODA hurkot, minél jobb a megfigyelő, feldolgozó, döntő és végrehajtó képessége annál inkább nevezhetjük autonómnak.

Három főtulajdonság befolyásolja azt, hogy egy rendszer autonóm vagy csupán automatikus: (1) a szükséges kezelői beavatkozás gyakorisága, (2) a gép képessége hogy a környezeti változóktól függetlenül tudjon működni, (3) a gép asszertációs szintje (kreatív döntéshozó és kockázatfelmérő képessége).

Teljes autonómiáról, akkor beszélünk, ha a robot az indítása után önállóan képes döntést hozni arról, hogy hogyan küzdje le az akadályt és érjen célba. Egyáltalán nem rendelkezik autonómiával (pl.: egy RC távirányítású eszköz), akkor a kezelő vezeti végig az úton és hozza meg a döntéseket az útközben felmerülő akadályokkal kapcsolatban. A kettő között félúton van az autonómia szintje annak az eszköznek, amely képes önállóan haladni midaddig, amíg akadályba nem ütközik, de ott igényli a kezelői beavatkozást. Egy teljesen autonóm gép képes felmérni a környezetét és a beérkezett adatokat önállóan értékelni, elemezni, míg a másik végletnél a gép, vagy nem képes érzékelni a környezetét, vagy a beérkező információkat nem képes feldolgozni. A szenzorika fejlődésének köszönhetően az UAV-k egyre magasabb autonómiai szintre képesek eljutni. A szenzorok egyre több és jobb minőségű információt képesek gyűjteni a környezetükről, melyre alapozva a drónok egyre kisebb mértékű emberi

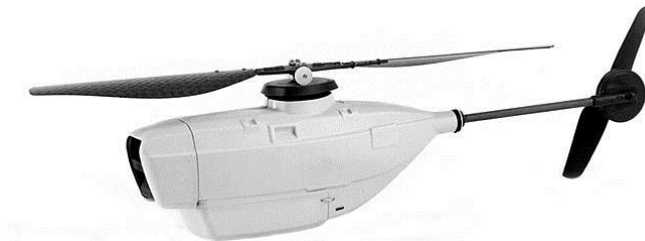
beavatkozás mellett értékeli ki a helyzetet és önállóan hoznak döntéseket a feladat végrehajtásával kapcsolatban [24, 25].

7. PD-100 BLACK HORNET PRS

A Black Hornet „nano UAS”, vagy „nano légi eszköz”, alapvetően egy az emberi tenyérben is elférő mikro-UAS, amely a gyalogos katonák számára rajszintű ISR⁸ (hírszerzés, megfigyelés és felderítés) lehetőségeket biztosít mind nappal mind éjszaka. Mivel a PD-100 Black Hornet elektromos meghajtású és elképesztően kicsi, ezért egyszerre szinte hangtalan és láthatatlan a csatatéren, főleg éjszaka. Sőt még nappal is, mert a Black Hornet szürke színsémája miatt majdhogynem észlelhetetlen vizuálisan. Ha mégis észreveszi az ellenségnek egy nagyon jól képesített lövészre vagy rádió „jammerre” (vagy hackerre) van szüksége, ahhoz hogy semlegesítse.

Teljesen feltöltve nagyjából 25 percet tudnak a levegőben tölteni, 5 m/s sebességgel repülnek, valamint 1500 méteren túli látóhatáron képes digitális adatkapcsolatot létrehozni. Az operátor választhat videón keresztül történő vizuális navigáció és a GPS navigáció között. A Black Hornet képes valós idejű videó továbbítására és állóképek készítésére egyaránt, valamint a célpont feletti lebegésre is.

A teljes rendszer összesen 1,3 kilogrammot nyom, beleértve a kontrollert, a mellkasra erősíthető képernyőt, a tartót valamint két repülőeszközt.



3. ábra. PD-100 Black Hornet [23]

A PD-100-as az első nagyközönség számára is hozzáférhető légi személyi felderítő rendszer (PRD⁹). Egy nagyon mozgékony szenzorrendszer, mely a felhasználó számára azonnali megfigyelő, felderítő és hírszerzési lehetőségeket biztosít [21, 22].

8. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben igyekeztem bemutatni az UAV-k fedélzetén alkalmazott szenzorok fontosságát széleskörű alkalmazását. A repülésstabilitás és irányítás, illetve feladatok pontos és gyors végrehajtása érdekében elengedhetetlen az érzékelők alkalmazása a légi eszközökön. Az iparág fejlődésével egyre kisebb UAV-k megépítése válik lehetővé, melyeknél fő problémaként a payloadra szánt teherbírás csökkenése jelenhet meg, ám a szintén fejlődő nanotechnológia minden bizonnyal képes lesz megoldást nyújtani erre a problémára.

⁸ ISR: Intelligence; Surveillance & Reconnaissance, Hírszerzés; Megfigyelés & Felderítés

⁹ PRD: Personal Reconnaissance System

- [16] **SZEGEDI P.:** *Szojka–III pilóta nélküli repülőgép repülésszabályozójának tervezése LQR módszerrel*, Repüléstudományi Közlemények 17:(37/1) pp. 87-102. (2005)
- [17] **SZEGEDI P.:** *Pilóta nélküli repülő eszközök*, Repüléstudományi Közlemények 16:(36/1) pp. 63-77. (2004)
- [18] **BÉKÉSI L., SZEGEDI P.:** *Pilóta nélküli repülőgép repülésszabályozó rendszerének frekvencia tartománybeli vizsgálata*, Repüléstudományi Közlemények 18:(2) pp. 1-14. (2006)
- [19] **VERÉB N.:** *Az UAV-k fedélzetén alkalmazott szenzorok és ezek működése*. Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2016/1. pp. 95-108
- [20] **BÉKÉSI B., SZEGEDI P., SZABÓ V., TÓTH J.:** *How Terrorism Can Affect Technological Aspects of the Airport Security*. Proceedings of 19th International Scientific Conference Transport Means 2015. Kaunas, Technologija, 2015.10.22-23., pp. 112-115. (ISSN: 1822-296X)
- [21] **CRANE D.:** *Prox Dynamics PD-100 Black Hornet PRS (Personal Reconnaissance System) micro helicopter drone*, (online), url: <http://www.defensereview.com/prox-dynamics-pd-100-black-hornet-prs-personal-reconnaissance-system-palm-sized-nano-uas-micro-helicopter-drone-provides-cargo-pocket-isr-capability-for-infantry-recon-ops-video/> (2016.04.28)
- [22] *PD-100 Black Hornet PRS*, (online), url: <http://www.proxdynamics.com/products/pd-100-black-hornet-prs> (2016.04.28)
- [23] **JASON COLE:** *Nano Air Vehicle, PD-100 Black Hornet*, (online), url: <http://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?t=2179030> (2016.04.28)
- [24] **PÁNYA N.:** *A pilóta nélküli légi járművek vizsgálata autonómia szempontjából*. Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2016/1. pp. 81-94.
- [25] **KORONVÁRY P.:** *Az amerikai „military leadership” elmélet rendszertana* (PhD értekezés) Zrínyi Miklós nemzetvédelmi Egyetem, Hadtudományi Doktori Iskola, Budapest, 2008.
- [26] **BÉKÉSI B., WÜHRL T.:** *Redundancy for micro uavs – control and energy system redundancy*. In: Jiří Stodola, Jiří Šťastný, David Vališ (szerk.) *Deterioration, Dependability, Diagnostics 2012*. Brno, University of Defence, 2012. pp. 123-130. (ISBN: 978-80-7231-886-5)
- [27] **BÉKÉSI B.:** *Redundancy on Board of UAVs – Energy Systems*, In: Donatas Markšaitis, Rolandas Makaras, Ovidijus Putnynas (szerk.). *Proceedings of the 16th International Conference: Transport Means 2012*. Kaunas, Technologija, 2012. pp. 158-161.
- [28] **BÉKÉSI B., PAPP I.:** *UAV future development*. In: Jiří Stodola, Jiří Šťastný, David Vališ, Vlastimil Neumann (szerk.), *Deterioration, Dependability, Diagnostics 2013*. Brno: Univerzita Obrany, 2013. pp. 63-76. (ISBN:978-80-7231-939-8)
- [29] **BÉKÉSI B.:** *Pilóta nélküli légijármű típusok sárkányszerkezeti megoldásai*. In: Pokorádi László (szerk.), *Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2013*. 518 p. Debrecen: Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Elektronikus Műszaki Füzetek 13, 2013. pp. 122-132. (ISBN:978-963-7064-30-2)
- [30] **BÉKÉSI B., PAPP I., SZEGEDI P.:** *UAV-k légi és földi üzemeltetése*, *Economica* (Szolnok), 2013/2. pp. 99–117.
- [31] **BÉKÉSI B.:** *Az UAV-k jövőbeni fejlesztési irányai*, XII. Természet-, Műszaki és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia, Nyugat-magyarországi Egyetem, Természetudományi és Műszaki Kar Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, 2013. pp. 101–113.

A TOKAJI-HEGYSÉG REGIONÁLIS ÁRAMLÁSI MODELLJÉNEK FELÉPÍTÉSE ÉS KALIBRÁLÁSA

BUILDING AND CALIBRATION OF THE REGIONAL GROUNDWATER FLOW MODEL OF TOKAJ MOUNTAINS

ZÁKÁNYI Balázs¹, FEJES Zoltán², SZÚCS Péter³, OSVÁTH Kristóf⁴, ZSUGA János⁵

egyetemi adjunktus¹, PhD hallgató², egyetemi tanár³, MSc hallgató⁴, címzetes egyetemi tanár⁵
Miskolci Egyetem,^{1,2,4}Környezetgazdálkodási Intézet,³MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport,
⁵Kőolaj és Földgáz Intézet, 3515, Miskolc-Egyetemváros
hgzb@uni-miskolc.hu

Kivonat: A Tokaji-hegység részletes vízföldtani feltárása eddig nem történt meg. A régióban erős igény mutatkozik a turisztikai fejlesztésekre, melyeket az ásvány-és termásvíz előfordulásokra kívánnak alapozni. Kutatásunk során elkészítettük a hegység regionális hidrogeológiai modelljét, amit a nyugalmi vízszintekhez igazítottunk. A modellt sikeresen pontosítottuk vízkémiai, geotermikus és izotóphidrológiai módszerekkel. Végül a termelő kutak vízszintjeinek figyelembe vételével meghatároztuk a vízadó rétegekre jellemző üzemi vízszinteket.

Kulcsszavak: Tokaji-hegység, áramlási pálya, regionális modellezés, modell kalibráció

Abstract: There is a strong demand in the region of Tokaj Mountains to develop tourism based on local mineral and thermal water resources, but there hasn't been any detailed hydrogeological research in the area yet. In our investigation we created a regional groundwater flow model which was smoothed to the static water levels. The simulation was successfully refined with water chemistry, geothermal and isotope hydrological methods. Finally, we determined the layer specific pumping water levels, taking account of the levels of water in the production wells.

Keywords: Tokaj Mountains, flowpath, regional modeling, model calibration

1. BEVEZETÉS

A Tokaji-hegység hazánk egyik legismertebb, vulkanikus eredetű hegylánca, mely az Északnyugati-Kárpátok legkeletibb tagjaként Magyarország északkeleti csücskében helyezkedik el. A területen a hidrogeológiai kutatások célja korábban főként a lakossági ivóvízellátás biztosítása volt, a hegység összetett földtani felépítése, és a nagymélységű kutatófúrások hiánya miatt ásvány- és termásvízbeszerzés céljából sokkal kevesebb vizsgálatot végeztek [1]. A hideg vizet termelő ivóvízes kutak jelentős száma miatt a területet nem tartották geotermikus alkalmazásra hasznosíthatónak. Ennek ellenére a hegység peremén számos langyos és meleg vizű kút és forrás van, melyek azt bizonyítják, hogy a vidék geotermikus potenciállal is rendelkezik.

A hegység területén található forrásokban és kutakban végzett vízkémiai mérésekkel és izotóphidrológiai vizsgálatokkal, valamint a korábbi kutatási eredmények felhasználásával elkészítettük a Tokaji-hegység vízföldtani és vízkémiai adatbázisát [2]. Ezek segítségével számos információhoz jutottunk a terület áramlási viszonyait illetően. A Groundwater Modeling System (GMS) szoftver segítségével pedig összeállítottuk a hegység regionális hidrodinamikai modelljét, melyet saját terepi méréseinkkel és számításainkkal pontosítottunk.

2. A TOKAJI-HEGYSÉG HIDRODINAMIKAI MODELLJE

2.1. A modell felépítése

A Tokaji-hegység regionális áramlási modelljének összeállításához a meglévő hidrogeológiai és vízkémiai adatbázisunkat, továbbá a területen lévő kutak vízföldtani naplóit, a korábbi geofizikai mérések eredményeit, és a kutatás során fellelt egyéb földtani és hidrogeológiai információkat használtuk fel. A modell elkészítéséhez a GMS szivárgáshidraulikai modellezési rendszert használtuk fel, az áramlási viszonyokat a programon belül működő USGS MODLFOW kóddal szimuláltuk.

A modellezett térrész alakja szabálytalan sokszög, mely egy 48 x 77 km nagyságú téglalappal fedhető le. A terület lehatárolásában a feltárások és fúrások elhelyezkedése is komoly szerepet játszott. A modell rácshálójá 200 x 200 m-es négyzetekből állt. A területet észak felől a Nagy-Milic kiemelkedése szegélyezi, a többi irányban a határvonalat a vízföldtani határként is funkcionáló felszíni vízfolyások (nyugaton a Hernád és a Sajó, délen a Tisza, keleten pedig a Bodrog) jelentik (1. ábra). A modellezett terület felszínét az SRTM műholdas digitális domborzatmodellből vettük át, mely egyben a modellünk legfelső rétegét is jelentette. A vizsgált térbeli test alsó határát, az alapkőzetet pedig geofizikai mérések alapján készítettük el, és digitalizálással vittük be a GMS programba.

A hegység általános geológiai felépítéséhez több mint 170 db fúrási adatsort használtunk fel. A fúrások rétegsorai alapján a területet vertikálisan négy földtani kőzetegységre (alapkőzet, miocén, pleisztocén és pannon) és összesen hét modellrétegre bontottuk, amivel az árapályákat is szimulálni tudtuk. Vízföldtani szempontból vízzárónak felételeztük az alapkőzetet és az arra települt tömör, miocén kőzettestet, illetve vízvezetőnek tekintettük a völgyekben kibukkanó repedezett miocén vulkanitokat, valamint a felszín közeli pleisztocén és pannon képződmények. A modellrétegek felvétele során az egyes rétegek fekvését térben változóan vettük fel. A fekvőfelületeket a fúrási rétegsorok és a kutak vízföldtani naplói alapján számított rétegvastagságokból határoztuk meg.

A földtani képződményekre jellemző, a modellezés során felhasznált input hidrogeológiai paramétereket az 1. táblázat mutatja be. A szivárgási tényezőket az egyes rétegek hidrogeológiai jellege alapján adtuk meg, figyelembe véve, hogy a vulkáni kőzeteknél az anizotrópia mértéke és szerepe relatíve kismértékű, illetve hogy a vízforgalom ezekben a kőzettömbökben szinte kizárólag a törészónák és repedési rendszerek környezetére korlátozódik. Az effektív porozitás értékeket szakirodalmi adatok alapján vettük fel.

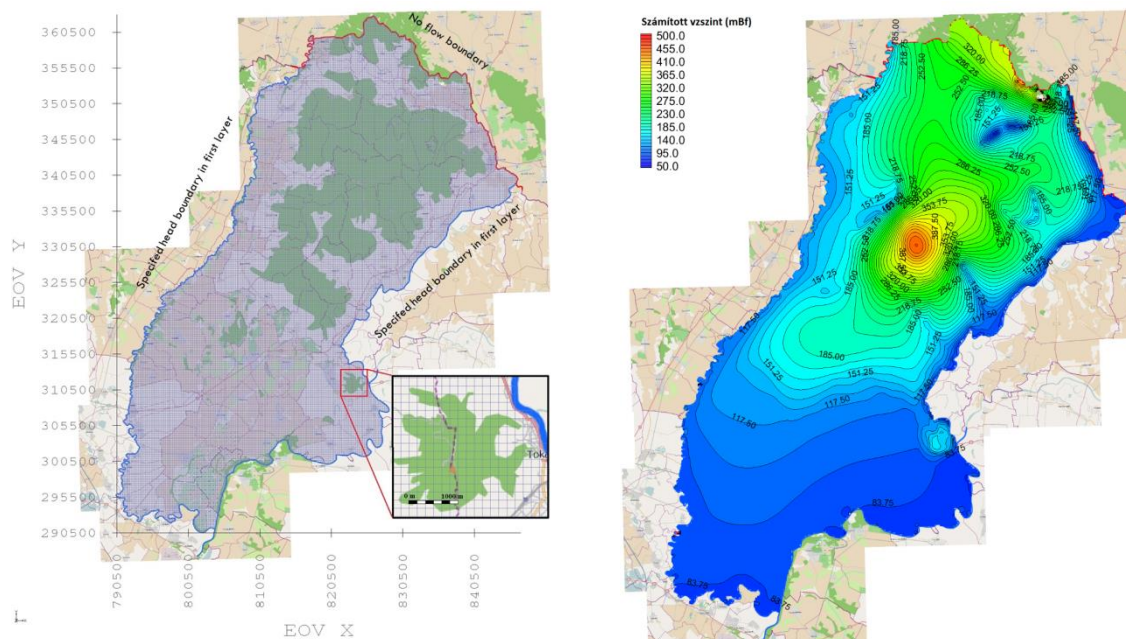
Kőzet-egység	Modell-réteg	Geológiai képződmény	K_h [m/d]	K_v [m/d]	n_0 [-]
1.	1-4.	Repedezett (vízvezető) miocén kőzetek	0,1-0,01	0,03-0,003	0,1
2.	2.	Vízvezető pleisztocén kőzetek	0,1-10	0,03-3	0,15
3.	3.	Vízvezető pannon kőzetek	0,1-20	0,03-5	0,15
4.	5-7.	Tömör (vízzáró) miocén kőzetek	0,003	0,001	0,05

1. táblázat. Modell input paraméterek [3]

Peremfeltételként a modellezett terület északi határán nem feltételeztünk áramlást, a többi határon pedig „specific head” feltételt adtunk meg. A megadott modellrétegeket technikai okokból, a modell nagyobb szabadságfoka érdekében vegyes tükrűnek vettük fel. A nyugalmi nyomásszintek számítása során figyelembe vettük a források felszínre bukkanási helyeit, illetve a kutak vízszintjeit. Minden rétegben meghatároztuk a nyugalmi nyomáseloszlást, de

mivel a termelés szinte kizárólag a miocén rétegekből történik, ezért az ebben a rétegben kialakuló vízszinteloszlásokat mutatjuk be a 1. ábrán. A számított vízszinteket „trial and error” módszerrel a mért vízszintekhez igazítottuk. Az eltérés R^2 hibája 10,12 m-re adódott, ami a modellezett terület nagysága alapján megfelelőnek tekinthető.

A vízutánpótlást adó maradó beszivárgást zónázással adtuk meg. A hegység magasabb, meredekebb területein a nagymértékű lefolyás miatt kevesebb, míg a laposabb völgyekben több beszivárgással számoltunk [4].



1. ábra. A modell alkalmazott rácshálója és peremfeltételei (bal oldal) és a miocén vízadó rétegben számított nyugalmi vízszint-eloszlás (jobb oldal) [3]

2.2. A modell kalibrációja

2.2.1. Pontosság vízkémiai adatok alapján

A terület hidrogeológiai adatbázisának és saját vízkémiai méréseink alapján megállapítottuk, hogy a hegységben felszínre lépő vizek kevés oldott ásványi anyagot tartalmaznak. A legjellemzőbbek a kalcium-szulfát-hidrogénkarbonátos vizek, a klorid és a magnéziumion tartalom általában nagyon alacsony.

A nagyobb mélységű, hosszabb áramlási pályával rendelkező vizek kémiai összetétele azonban jelentősen eltérhet ettől, melyet a mélységben változó ásványos kőzetösszetétel és a magasabb hőmérséklet által okozott nagyobb oldódási kapacitás okoz. Kutatásunk szerint az andezites területeken a hidrogénkarbonátos-kalciumos vizek, míg a riolitos területeken a szulfátos-hidrogénkarbonátos vizek a jellemzőek.

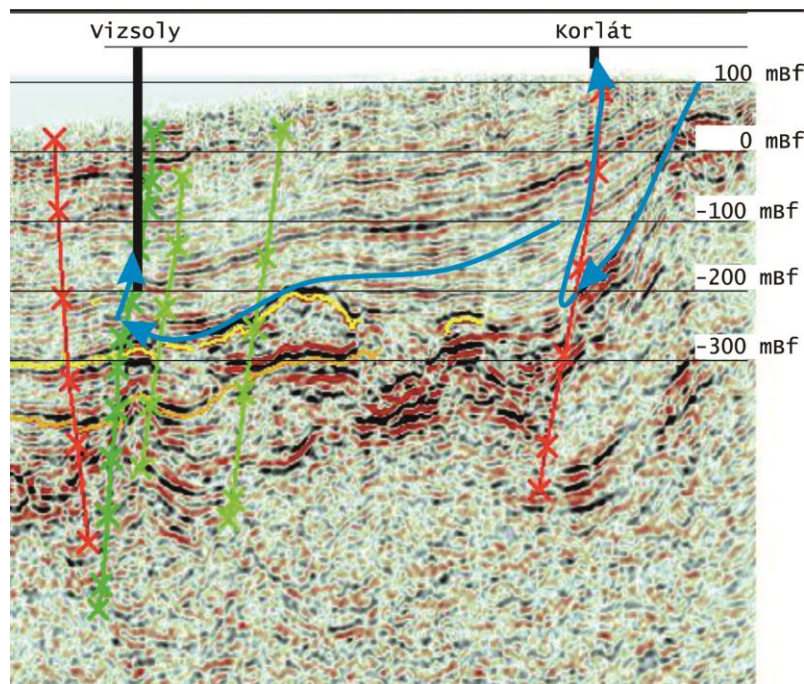
2.2.2. Pontosság geotermikus adatok alapján

A Tokaji-hegység vízföldtani adatbázisának összeállítása során számos geotermikus adatot sikerült fellelni a korábbi kutatások eredményeiből. Ezek alapján látható, hogy a hegység magasabban fekvő, belső részein főként a hideg vizes, lokális áramlási rendszerek

dominálnak, míg a peremi részeken a hosszabb, intermedier és regionális rendszerek mentén a langyos vizes anomáliák a jellemzőek.

A meglévő vízhőmérsékleti adatok alapján elmondható, hogy a langyos vizet adó kutak hőmérséklete, melyek mindegyik egy-egy törésvonal mentén található, általában nem jellemzi a vízadó rétegek geotermikus gradiensét [5]. Ezen jelenség oka, hogy a víz a vulkáni hegységben szinte kizárólag a törési és repedési rendszerek mentén áramlik, tehát a hőmérsékleti anomáliával rendelkező kutakban nagymélységből meleg víz feláramlás történik. Ez alapján a kutak vízhőmérsékletének jellemzése csupán a geotermikus gradienssel nem adható meg. Jó példák erre Vizsoly és Korlát települések langyos vizet termelő kútjai, melyekben a vízhőmérséklet jóval magasabb, mint az a geotermikus gradiens alapján várható volna.

A kutak thermájának számításával megbecsültük, hogy milyen mélyre kell a vizeknek leszivárogniuk az áramlás során, hogy az adott kifolyási hőmérséklettel rendelkezzenek. A kapott eredményeket összevetettük a terület szeizmikus geofizikai szelvényével. Ez alapján látható, hogy a kutak thermája egy mélységben található a legfelső andezites kőzetréteggel. Tehát a beszivárgó vizek csak eddig a tömör kőzetrétegig szivárognak le, majd repedések mentén a kutak szűrőjéhez áramlanak (2. ábra).



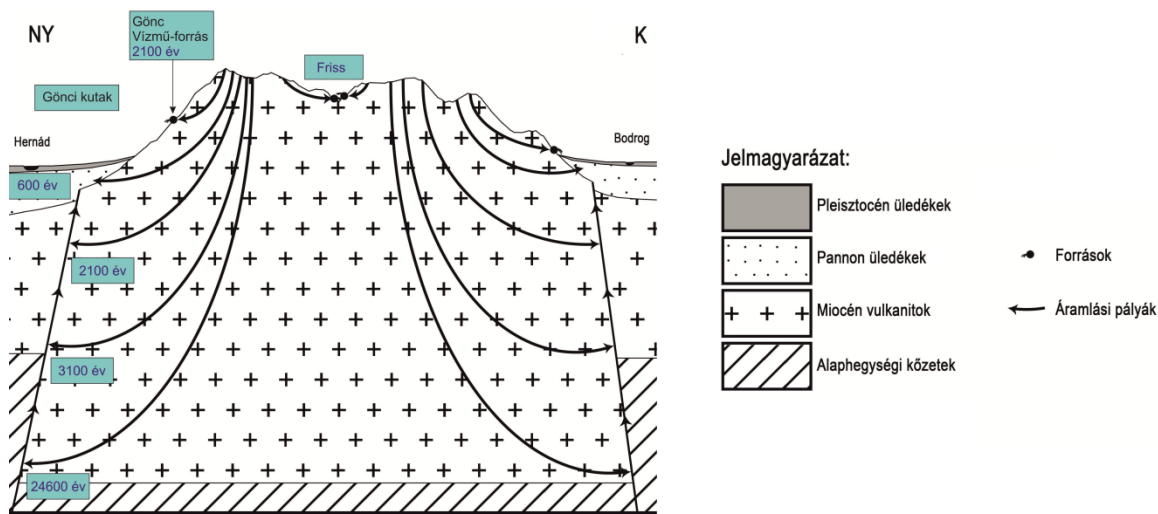
2. ábra. A vizsolyi és korláti kutak környezetének szeizmikus szelvénye a kutak árampályáival [6]

2.2.3. Pontosítás izotóphidrológiai adatok alapján

A felszín alatti vizek áramlási pályáinak hosszáról és mélységéről jó képet kaphatunk az izotópos vízkor értékek meghatározásával. A pontos korok becslése az eltérő vizek keveredése miatt szinte lehetetlen, tehát ezek az értékek mindig látszólagos vízkorokat jelentenek.

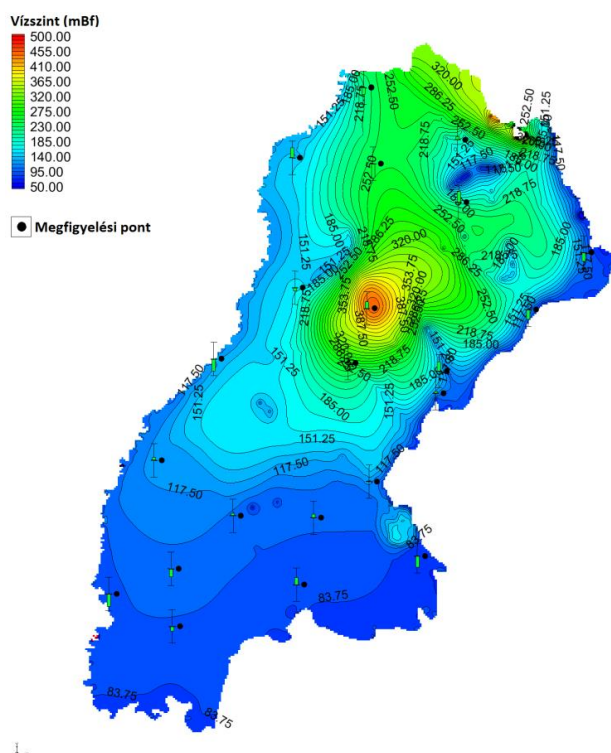
A vízkorok mélység szerinti eloszlását mutatja be a 3. ábra, melyen a Gönc településen található, egymáshoz közel elhelyezkedő, de eltérő mélységben szűrözött kutakból vett vízminták izotópos (^3H , ^{18}O , ^{14}C) kor adatai láthatók. Az ábrából is kitűnik, hogy a mélység

felé haladva egyre hosszabbak az áramlási pályák, tehát nő a vízkor. A sekély, 50 méteres kútból termelt víz kb. 600 éves, míg a nagymélységű, 900 méteres kút több mint 24000 éves vizet ad.



3. ábra. A Tokaji-hegységben mért vízkor értékek [6]

2.3. A kalibrált modellel kapott számítási eredmény



4. ábra. A modellfuttatással számított üzemi vízszintek [3]

A vízkémiai, geotermikus és izotóphidrológiai módszerekkel történő kalibrálás után meghatároztuk a vízáadó rétegek üzemi vízszintjeit, a termelési adatokat is figyelembe véve.

Sajnos nem állt rendelkezésünkre minden vízkivételi adat, így nem tudtunk minden kutat figyelembe venni a modellezés során. A miocén vízadó rétegben számított üzemi vízszinteloszlást mutatja be a 3. ábra. A kalibrált modell R^2 hibája 6,12 m-re adódott, tehát a pontosításunk sikeresnek tekinthető.

3. ÖSSZEFOGLALÁS

A Tokaji-hegység bonyolult földtani felépítése, és a kisszámú geotermikus előfordulás miatt a terület mindeddig kiesett a részletes hidrogeológiai kutatás alól. Látható azonban, hogy a hegység a feltételezettnél sokkal jelentősebb geotermikus potenciállal rendelkezik. A régióban, az utóbbi években komoly igények jelentkeztek a turisztikai fejlesztésekre, melyeket elsősorban az ásvány-és termásvíz előfordulásokra alapoznának. Összefogva a helyi döntéshozókkal, a KÚTFŐ Projekt keretein belül vizsgáltuk a terület vízföldtani és geotermikus adottságait.

Kutatásunk során összegyűjtöttük és tematizáltuk a területről fellelhető vízföldtani információkat, melyeket saját méréseinkkel is kiegészítettünk. Elkészítettük a hegység regionális hidrodinamika modelljét, mely alkalmas különböző vízgazdálkodási scenáriók szimulálására az ivóvíz, az ásvány-és gyógyvíz, valamint a termásvízre vonatkozóan. Modellünk kalibrálásához és pontosításához a kutak és források vízkémiai összetételét, geotermikus paramétereit és izotópos korbecslési adatait használtuk fel. A jövőben további kiegészítő vizsgálatok elvégzésével még tovább szeretnénk pontosítani a modellünket, különös tekintettel a szivárgási tényező eloszlásra, illetve a maradó beszivárgás értékeinek megadására.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **P. SZŰCS, Z. FEJES, B. ZÁKÁNYI, ZS. FEKETE, G. SZÁRNYA, É. HARTAI, E. TURAI, Á. GYULAI, P. SZABÓ N., T. CSERNY** (2014): *General Characterization of Mineral and Thermal Water Resources in the Tokaj Mountains*. Geosciences and Engineering: A Publication of the University of Miskolc 3:(5) pp. 77-82. (2014)
- [2] **FEKETE ZS., FEJES Z., SZŰCS P., GONDA N.** (2014): *A Tokaji-hegység vízkémiai jellemzése*. A Kárpát-medence ásványvizei: X. Nemzetközi Tudományos Konferencia. Konferencia helye, ideje: Csíkszereda, Románia, 2014.08.28-2014.08.31. Csíkszereda: Sapientia, pp. 53-62. ISBN:978-973-7625-63-2
- [3] **ZÁKÁNYI B., FEJES Z., SZŰCS P. ÉS SZÉKELY F.** (2015): *A Tokaji-hegység vízgazdálkodási célú regionális áramlási modelljének pontosítása és kalibrálása*. Zákányi - Műszaki Tudomány Az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2015. 591 p. Konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország, 2015.06.11 Debrecen: Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 2015. pp. 592-597.
- [4] **KOMPÁR L., SZŰCS P., DEÁK J., PALCSU L.** (2014): *Beszivárgás vizsgálatok terepi és laboratóriumi lehetőségei*. 10. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Konferencia helye, ideje: Kolozsvár, Románia, 2014.03.27-2014.03.29. Kolozsvár: Ábel Kiadó, pp. 136-139 ISSN 1842-9815
- [5] **SZÓFOGADÓ P.** (1961): *A göncz-szerencsi törés vízföldtani jelentősége, különös tekintettel az abaujszántói strandfürdő vizellátására*; Hidrológiai közlöny, 1961. (41. évf.) 2. sz. 145-148 o.
- [6] **FEJES Z., ZÁKÁNYI B., SZŰCS P. ÉS DEÁK J.** (2015): *Áramlási rendszerek pontosítása izotóp és vízkémiai vizsgálatokkal a Tokaji-hegység peremi részein*. Műszaki Tudomány Az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2015. 591 p. Konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország, 2015.06.11 Debrecen: Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 2015. pp. 83-88.

DIAGNOSZTIKAI ÉS KARBANTARTÁSI VIZSGÁLAT CSAPÁGYHIBA ESETÉBEN WAVELET TRANSZFORMÁCIÓ ALKALMAZÁSÁVAL

DIAGNOSIS AND MAINTENANCE METHODS USING WAVELET TRANSFORM IN BEARING PROBLEMS

DEÁK Krisztián¹, KOCSIS Imre²

¹tanársegéd, Debreceni Egyetem Műszaki Kar, deak.krisztian@eng.unideb.hu

²főiskolai tanár, Debreceni Egyetem Műszaki Kar, kocsisi@eng.unideb.hu

Kivonat: A kúpgörgős csapágycsapatok a gépek és gépjárművek fontos részét képezik. Jelen cikk csapágygyártás során keletkező csapágyhibák rezgésdiagnosztikán alapuló mérésére épül. A megmunkálási hiba jelen esetben gyártás során keletkező köszörülési hiba a csapágy külső gyűrűn. A wavelet transzformáció alkalmas arra, hogy a zajos környezetben is hatékonyan támogassa a jelfeldolgozást. A módszer alkalmas hirtelen jelváltozások kimutatására és éldetektálásra. További előnye, hogy nemstacionárius, tehát időben változó jelek diagnosztizálására is alkalmas. A mérések céljából csapágyvizsgáló próbapad került kifejlesztésre. A mérések Labview szoftver alkalmazásával történtek, amelyben waveletek segítségével frekvenciafelbontás került alkalmazásra. A mérések célja, hogy különböző előre definiált waveletek közül meghatározza a csapágy gyártási hiba leghatékonyabb detektálására alkalmas típust a mért jel energiaszintje és entrópiája alapján.

Kulcsszavak: diagnosztika, gyártás, csapágy, wavelet, karbantartás

Abstract: Tapered roller bearings are important parts of machines and automobiles. This article focuses on detection of manufacturing defects based on vibration measurement. Fault is on the outer ring of the tapered roller bearing in the form of real grinding defect. Wavelet transform was used for diagnosis that capable of determining faults in noisy environment, not only stationary but nonstationary signals their statistical parameters change in time. Bearing test rig was developed and constructed for the measurements that uses Labview software with wavelet multiresolution analysis. The purpose of the measurement is to determine the best wavelet for diagnosis on the basis of their energy and entropy value.

Keywords: diagnosis, manufacture, bearing, wavelet, maintenance

1. BEVEZETÉS

A csapágy a gépek meghatározó eleme, amely meghibásodása a gép üzemzavarához, hirtelen termelés kieséshez vezethet. Meghatározó jelentőségű, hogy az esetleges üzem közeli meghibásodások időben diagnosztizálásra kerüljenek. Jelen cikk a csapágyhibák diagnosztizálására helyezi a hangsúlyt olyan hatékony szűrési és jelfeldolgozási eljárással, amely során zajjal terhelt környezetben is hatékonyan megvalósulhat a csapágy állapotának diagnosztikája.

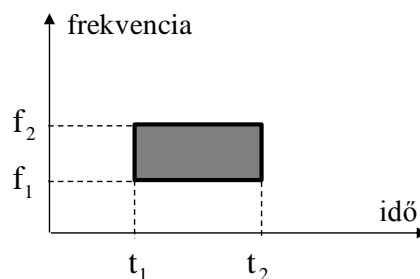
A legegyszerűbb csapágy rezgésdiagnosztikai módszer, amikor a rezgésparaméterek mérése során a mért értékek statisztikai jellemzői kerülnek meghatározásra. Ilyen értékek a négyzetes középérték, és a csúcstényező, a valószínűségi változók sűrűségfüggvénye, és továbbá a variancia, kurtózis, a ferdeség és a lapultsági együttható. A hibátlan csapágycsapatok rezgés gyorsulásának valószínűség sűrűségfüggvénye normál eloszlású (Gauss-eloszlás). A hibás csapágyé más valószínűség sűrűségfüggvénnyel rendelkezik. A rezgésértékek további statisztikai momentumai is hatékonyan felhasználhatók állapotfelügyelet, diagnosztika és prognózis céljára [5,6]. A hibátlan csapágycsapatok mérések szerinti Kurtózis értéke hozzávetőlegesen 3. A 3-asnál nagyobb érték a lehetségesen előálló meghibásodás indikátora [3]. A módszer lokális hibáknál, mint a pontszerű kipattogzódás hatékonyan működik viszont hátránya, hogy nem lokális jellegű hibáknál, vagyis a gyűrűmenti kiterjedt meghibásodások

esetében a Kurtózis értéke megmarad a 3 érték körül, amely alapján félrediaosztizálható a hibás csapágy állapota, a kezdeti meghibásodások sem minden esetben detektálhatók, ezért az ipari gyakorlatban a kurtózisfigyelés széles körben nem terjedt el.

Az itt bemutatott időtartománybeli vizsgálatot jelen alkalmazásban csak kiegészítő vizsgálatként alkalmaztuk a következő fejezetben említett wavelet transzformáció mellett.

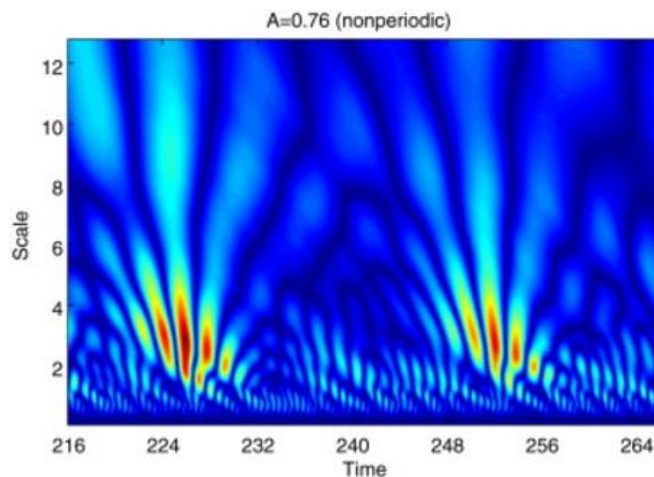
2. WAVELET TRANSZFORMÁCIÓ AZ ORSÓ CSAPÁGYHIBÁK ELEMZÉSÉRE

Az idő és frekvencia szerinti együttes vizsgálat hatékony lehetőségét a waveletek alkalmazása teremti meg. A wavelet analízis lényegében a Fourier transzformáció időben és frekvenciában lokalizált változata, ami rögzített idő és frekvenciatartományban szolgáltat információt a jelről. Egy $[t_1, t_2]$ időintervallumhoz és $[f_1, f_2]$ frekvenciatartományhoz tartozó eredmény az ún. fázistérben jeleníthető meg az 1. ábra szerint.



1. ábra. A fázistér [2]

A diszkrét wavelet transzformációk esetén a bázisfüggvények a fázistér egy-egy tartományához tartoznak, így a 2. ábrán látható felosztással érzékeltethető a scalogram segítségével a wavelet együtthatók grafikus megjelenítése.



2. ábra. A wavelet analízis scalogram [3]

A wavelet a frekvencia-idő síkot, a jel fázistérét cellákra bontja. Ebben a térben a szokásos idő- és frekvenciatartománybeli ábrázolás egy olyan speciális felbontásként fogható fel, amikor az adott cella egyik irányban végtelen kiterjedésű lesz, pontosabban lefedi a teljes megfigyelt spektrumot ill. az egész megfigyelési időt. [2]

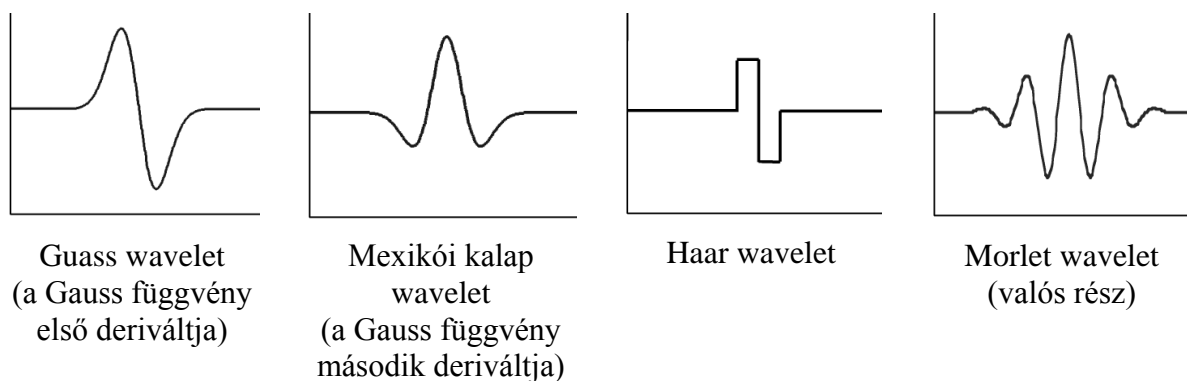
A wavelet transzformáció hasznos az aperiodikus, tranziens, illetve zajos jelek vizsgálatában. Mivel a jel egyszerre vizsgálható idő- és frekvenciatartományban, hatékonyabb a rövid idejű Fourier transzformációtól. E tulajdonsága alapján számos vizsgálati módszer

épült rá. A műszaki diagnosztikában a wavelet transzformáció célja az, hogy a jelben lokalizált hullámszerű formákat, ún. waveleteket azonosítsunk (3. ábra), melyek összefüggésbe hozhatók a kiváltó hatásokkal.

A wavelet transzformáció az idő- és a frekvenciatartománybeli leírás közt van abban az értelemben, hogy frekvenciát azonosít úgy, hogy az időbeliség is látszik. Az idő-, illetve a frekvenciatartománybeli leírás a waveletekkel való leírás két szélsőséges esetének tekinthető végtelen idő-, illetve végtelen frekvenciatartományal.

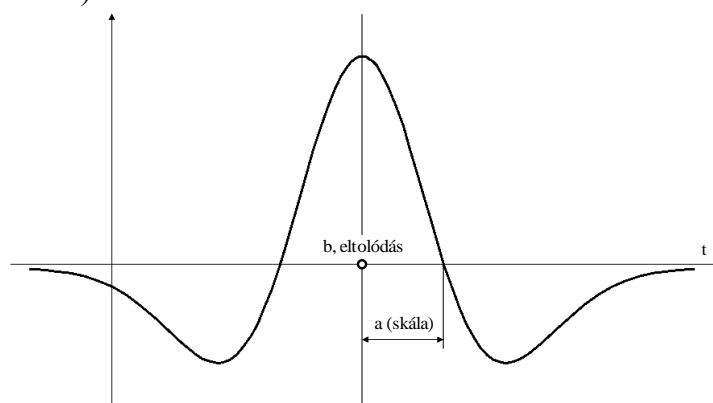
$$\text{CWT}_f(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{\mathbb{R}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) f(t) dt \quad (1)$$

A műszaki diagnosztikában a wavelet transzformáció célja az, hogy a jelben lokalizált hullámszerű formákat, ún. waveleteket azonosítsunk, melyek összefüggésbe hozhatók rövid idejű, impulzusszerű kiváltó hatásokkal.



3. ábra. Wavelet típusok [2]

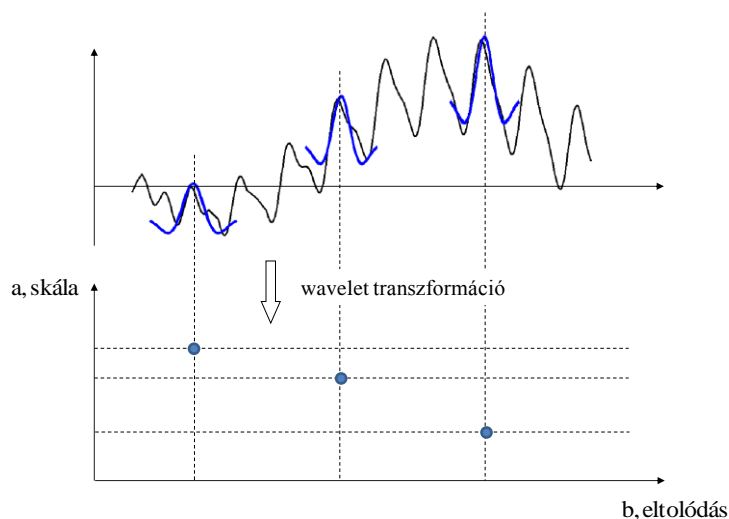
Az elemzés során az ún. anya (elemző) wavelet két paraméterét változtatjuk. Az **a** paraméter a függvény „szélességét” határozza meg, a **b** paraméter a wavelet pozícióját rögzíti az idő tengelyen (4. ábra).



4. ábra. Az a és a b paraméter jelentése a wavelet esetén [2]

Folytonos wavelet transzformálthoz jutunk, ha elvégezzük a számítást minden **a**-ra és **b**-re egy tartományban. Mivel a gyakorlatban mintavételezett jelekkel dolgozunk és diszkrét transzformációt alkalmazunk, a felbontásban diszkrét **a** és **b** értékek jelennek meg, továbbá a $(\Delta t, \Delta f)$ párban a tartományok hossza nem csökkenthető tetszőlegesen.

A cél olyan wavelet függvény választása, amely az a és b értékek változtatása után a maximális korrelációt mutatja a mért jelhez. Ebben az esetben a wavelet „belesimul” a mért jelbe (5. ábra).



5. ábra. Az a és a b paraméter változtatásával létrejövő korrelációs kapcsolat a mért jel és a wavelet között [2]

3. DIAGNOSZTIKAI ÉS SZERSZÁMGÉPORSÓ KARBANTARTÁSI MÓDSZEREK

A csapágyak mesterséges hiba okozta hibajelek diagnosztizálására, mérési céllal, kísérleti jelleggel a Debreceni Egyetem Műszaki Kar Gépészmérnöki Tanszékén csapágy vizsgáló tesztpad épült, a 6. ábra szerinti kivitelben. A tesztpad kúpgörgős csapágy vizsgálatát teszi lehetővé változtatható fordulatszám mellett, megfelelő rezgéscsillapítás és mérési pontosság mellett.



6. ábra. Csapágyvizsgáló tesztpad rezgés- és akusztikai mérésekhez

Jelen vizsgálat során előzetesen a 30205 típusú kúpgörgős csapágy külső gyűrűjén köszörülési megmunkálási hiba keletkezett. A hiba geometriai mérései szerint $631 \mu\text{m}$ átlagos szélességgel és $6.5 \mu\text{m}$ átlagos mélységgel rendelkezik, amelyen a gördülőelemek forgás közben áthaladnak és a rezgésspektrumban fellépő belső gyűrű hibát generálnak.



7. ábra. A mérés során alkalmazott 30205 típusú kúpörgős csapágy külső gyűrű a gördülópályán köszörülési hibával (631 μm szélesség)

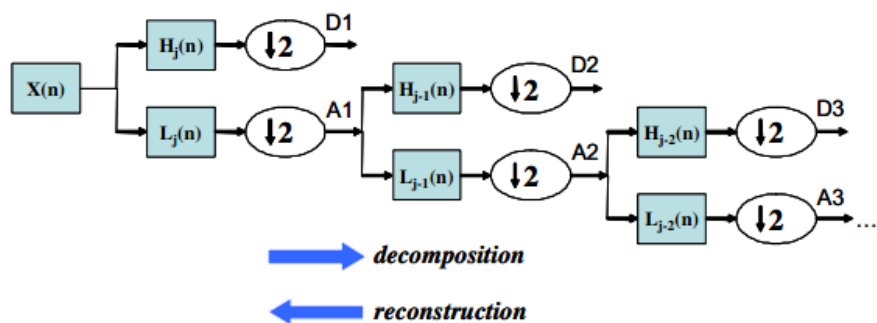
A külső gyűrű hibafrekvencia (BPFO, ball passing frequency outer race), a kosár hibafrekvencia (FTF fundamental train frequency), a gördülőelem hibafrekvencia (BSF ball spin frequency) hasonló módon kiszámításra került a kapcsolószög, fordulatszám, és a gyűrűátmérők, gördülő elemek számának ismeretében, a jelen esetben érdekes BPFO=200,61 Hz-re adódik, 1800 1/min fix vizsgálati fordulatszám mellett, amelyet a vizsgálatokban tovább használtunk.

A mérés-adatgyűjtési célra a National Instruments Labview szoftver [8] került alkalmazásra, amelyben a 9. ábrán látható program került megírásra. A National Instruments LabVIEW grafikus programozói környezete széles körben alkalmazható az egyedi célmérések esetében. A rendszer nagy előnye, hogy a programozás alapszintű elsajátítása kevés időráfordítást igényel. Jól használható olyan esetekben, amikor valamilyen egyedi dolgot kell lemérnünk, vagy speciális érzékelők jelét kell feldolgoznunk. A LabVIEW-ban a grafikus programozás mellett lehetőség van szöveges alapú programozási nyelven megírt kódok futtatására a Code Interface Node (CIN) felhasználásával.

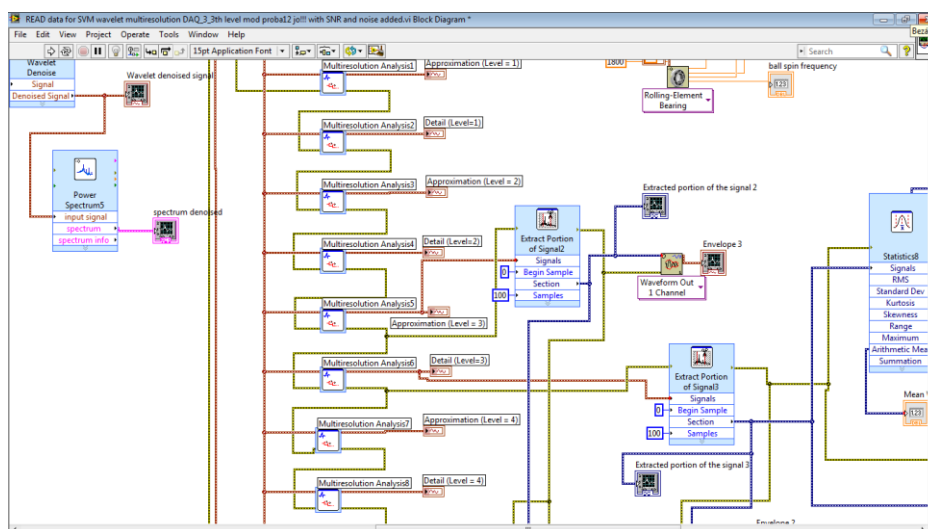
Mérés eszközei:

- Csapágyvizsgáló próbapad
- NI 9234 mérésadatgyűjtő
- PCB 603C01 típusú rezgésyorsulásmérő szenzor
- Schneider ATV32HU22M2 típusú frekvenciaváltó
- Acer 5542G laptop
- Labview szoftver

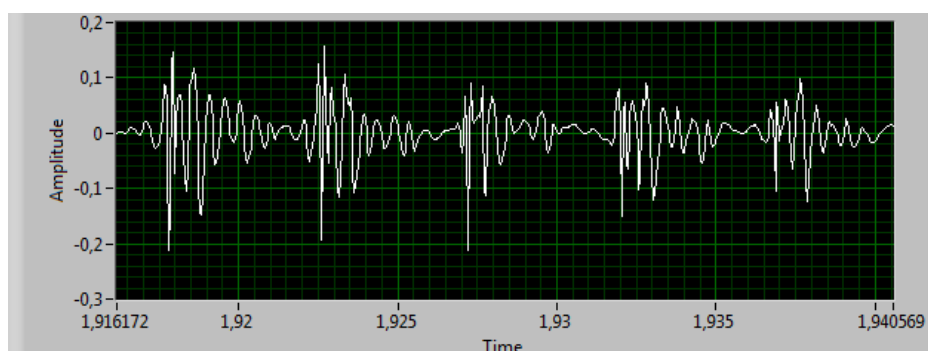
Egy jel DWT szerinti felbontása többlepcsős folyamat. A jelet (S) átvezetve egy megfelelően kiválasztott, frekvencia-sávban szeparált szűrő csoporton, az felbontható „alacsony frekvenciás” közelítés- és „nagyfrekvenciás” részlet jelkomponensekre, a 8. ábra szerint. A kezdőfrekvencia jelen mérésnél 10 kHz, amelynek a D_3 szintjét vizsgáljuk, tehát 1250-2500 Hz között.



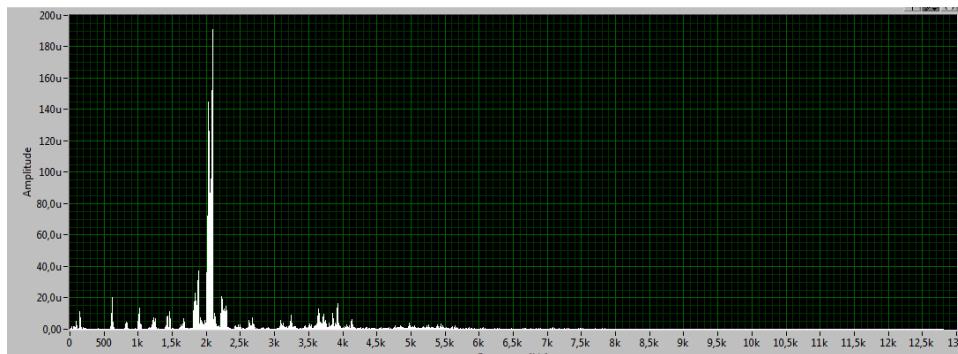
8. ábra. A változó felbontású elemzés frekvencia szerinti felbontása [3]



9. ábra. A méréshez alkalmazott Labview VI program részlete

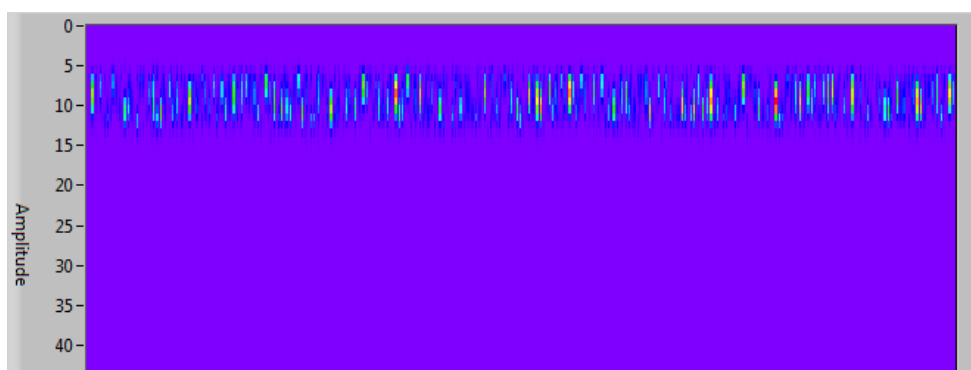


10. ábra. A mért jel időtartománybeli grafikonja (tranziensek sorozata a BPFO=200,61 Hz szerint)



11. ábra. A mért jel frekvenciatartománybeli grafikonja Fourier transzformáció után

A mérések átlagos kurtózis értéke 3,87 körül mozgott, amely a hiba egyértelmű jelenlétére utalt. A tranziens középfrekvenciája Fourier transzformáció után 2068 Hz körül alakult. (11.ábra) Erre alapozva 1500-3000 Hz között 18-ad rendű Butterworth szűrővel sávszűrést végeztünk, és ebben a tartományban vizsgáltuk során a mért jel entrópiáját. (1. táblázat) A sávszűrés célja a mérés szempontjából lényegtelen strukturális frekvenciák elkülönítése, amely hibás mérési eredményre vezethetnek. A scalogramban $sc=8$ körül adódtak a maximális wavelet együttható értékek (12. ábra), ennek megfelelően az energia és az entrópia is itt került kiszámításra.



12. ábra. A mért jel scalogramja wavelet analízis után

Wavelet típusa	Energia / Entrópia (E/S)
Symlet-2	125,78
Symlet-5	147,47
Symlet-8	163,96
Daubechies-2	125,77
Daubechies-6	153,05
Daubechies-10	164,79
Daubechies-14	168,05
Meyer	195,08
Morlet	240,91

1. Táblázat A wavelet függvények hatékonyságának összehasonlítása a vizsgálat jel entrópiaszintje alapján

4. ÖSSZEGZÉS

Jelen cikkben csapágy külső gyűrű megmunkálási hiba rezgésdiagnosztikai vizsgálata történt. A wavelet transzformáció alkalmas arra, hogy a zajos környezetben is hatékonyan támogassa a jelfeldolgozást. A módszer alkalmas hirtelen jelváltozások kimutatására és éldetektálásra. További előnye, hogy nemstacionárius, tehát időben változó jelek diagnosztizálására is alkalmas. A mérések céljából csapágyvizsgáló próbapad került kifejlesztésre. A mérések Labview szoftver alkalmazásával történtek, amelyben waveletek segítségével frekvenciafelbontás került alkalmazásra.

Az időtartománybeli vizsgálatot követően Fourier transzformáció segítségével meghatározásra került a tranziens középfrekvenciája, majd sávszűrés után az energia- és entrópiatartalom került meghatározásra, amely alapján 9 vizsgálat waveletből megállapításra került, hogy a Morlet wavelet adja a leghatékonyabb detektálást a köszörülési megmunkálási hibára.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **B. LIU, S.F. LING, R. GRIBONVAL**, *Bearing failure detection using matching pursuit*, NDT&E International, Vol. 35 (2002), pp. 255-262.
- [2] **KOCSIS, DEÁK, SZABÓ, KVASZ**: *Diagnosztika és állapotfelügyelet*, TÁMOP-4.1.1.F-13/1-2013-0004
- [3] **CLARENCE W. DE SILVA**: *Vibration and Shock Handbook*, 2005.
- [4] **S. ERICSSON, N. GRIP, E. JOHANSSON, L.-E. PERSSON, R. SJÖBERG , J.-O. STRÖMBERG**, *Towards automatic detection of local bearing defects in rotating machines*, Mechanical Systems and Signal Processing 19 (2005), pp. 509-535.
- [5] **SCHAEFFLER (UK) LTD.**, *How to detect bearing failures using vibration*, 18. May. 2007. <http://www.machinebuilding.net/ta/t0057.htm>
- [6] **SZABÓ JÓZSEF ZOLTÁN**: *Rezgésdiagnosztikai vizsgálatok és haditechnikai alkalmazhatóságuk kutatása*, PhD értekezés, 2011.

AUTÓIPARI LEMEZALAKÍTÓ SZERSZÁMOK TRIBOLÓGIAI TELJESÍTŐKÉPESSÉGÉNEK JAVÍTÁSA NAGY KEMÉNYSÉGŰ BEVONATOKKAL

IMPROVEMENT OF THE TRIBOLOGICAL PERFORMANCE OF SHEET-METAL FORMING TOOLS FOR AUTOMOTIVE INDUSTRY BY HIGH HARDNESS COATINGS

LÁSZLÓ Noémi¹, MAROSNÉ Berkes Mária²

¹PhD hallgató, metlnoe5@uni-miskolc.hu

¹Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet, Miskolci Egyetem

² egyetemi docens, metmar@uni-miskolc.hu

²Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet, Miskolci Egyetem

Kivonat: Az autóipari karosszéria- és szerkezeti elemek gyártásakor használt lemezalakító szerszámokkal szembeni lényeges követelmény, hogy a megfelelő keménység, szívósság, húzó-és nyomószilárdság mellett a megmunkálás során fellépő koptató igénybevételekkel szemben is ellenállóak legyenek. Különösen fontos ez a nagyszilárdságú acéllemezek alakítása esetén, ahol növelt alakítási teljesítményre van szükség. A különféle kopási mechanizmusok a fáradásos és korróziós károsodások mellett a szerszám tönkremenetelének leggyakoribb okai. A szerszám élettartama a különféle kemény bevonatok alkalmazásával hatékonyan növelhető. Az elterjedten használt keményfém, DLC, vagy duplex bevonatok mellett a legújabb USB-CVD szendvics bevonatok a TiC kopásállósága, valamint a szubsztrát és a bevonat között fellépő erős kötések révén biztosítják a lemezalakító szerszámanyagok abrazív és adhéziós koptató igénybevételekkel szembeni kiváló ellenálló képességét.

Kulcsszavak: lemezalakítás, szerszámanyagok, bevonatok, károsodás, kopás.

Abstract: In the automotive industry during the production of chassis and structural parts the forming tools are required to have proper hardness, toughness, tensile and compression strength, as well as to resist against tribological damages during the various manufacturing operations. These properties are of high significance specially in case of high strength steel forming where tools of increased performance are needed. Beside the corrosion and fatigue the different wear types represent one of the main causes leading to the deterioration of a tool. The lifetime of these tools can be increased by applying various hard and superhard coatings. Apart from the widely used WC/Co, DLC or duplex coatings the novel USB-CVD sandwich coatings increase the tribological and stress loadability of the forming tools through the excellent adhesive and abrasive wear resistance of the TiC upper layer and the strong bonding between the substrate and the coating base layer.

Keywords: sheet metal forming, tool materials, coatings, damage, wear.

1. BEVEZETÉS

A leggyakrabban mélyhúzással, nyújtva-húzással, hajlítással valamint kivágással kialakított autóipari alkatrészek és karosszériaelemek gyártására szolgáló lemezalakító szerszámoknak a megfelelő mechanikai tulajdonságok mellett a gyártás során fellépő kopási folyamatokkal szemben is ellenállónak kell lenniük. A hidegalakítás során a munkadarab és a szerszám között jelentős súrlódóerő és kopás lép fel [1] a szerszámok növelt kopásállóságú és keménységű szerszámanyagokból készülnek. A sokszor igen költséges szerszámanyagok mellett a nagyobb kopásállóságot biztosító korszerű hő- és felületkezelések, továbbá felületszilárdítás alkalmazásával is elősegíthetjük a szerszámok tribológiai teljesítőképességének javulását [2]. Az alakítószerszámok élettartamát gyakran PVD vagy CVD vékonybevonatok segítségével növelik. A korszerű autóipari alkatrészek esetén a

hagyományos anyagok mellett nagyszilárdságú lemezanyagokkal biztosítják a kisebb tömegű konstrukció elérését, amelyek megmunkálása további kihívásokat jelent. Emellett a lemezek alakítása során fellépő speciális és heterogén igénybevételek miatt a szerszámok megfelelő konstrukciós kialakítása is fontos az igénybevételek csökkentése érdekében.

2. LEMEZALAKÍTÓ SZERSZÁMOK JELLEMZŐ TÖNKREMENTELI FORMÁI

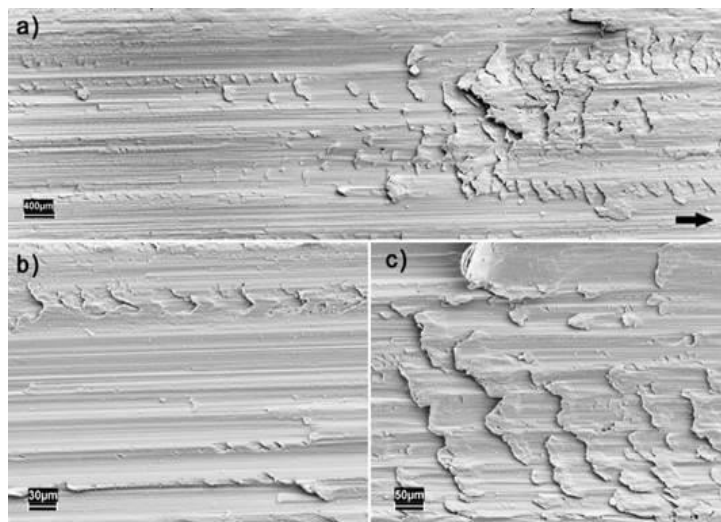
A képlékenyalakítás során a lemezalakító szerszámok élettartamát a mechanikai igénybevétel mellett a mérettartóssági követelmények, a szerszám felületével szemben támasztott elvárások, valamint a megmunkált munkadarab (lemezanyag) felületminősége jelentősen befolyásolják [1]. Az ilyen típusú kívánalmak a szerszámalapanyag metallurgiájával illetve az összetétel által meghatározott teljes keresztmetszetre kiterjedő hőkezelési eljárásokkal (nemesítés, kiválásos keményítés) gazdaságosan csak bizonyos korlátok között biztosíthatók. Emellett a szerszámokkal szemben támasztott technológiai követelmények, mind a magra (szívós), mind a felületre (kemény kopásálló), mind pedig az üzemi hőmérsékletre vonatkozóan jelentősen eltérőek lehetnek [3].

Az autóiparban a lemezeket a korrózió elkerülése érdekében általában cink réteggel vonják be. Az alakítás során a cink részecskék rátapadhatnak a szerszámra a lemezek karcolását okozva [5]. Mélyhúzás során a szerszám és a munkadarab érintkezésekor súrlódó-koptató igénybevételek jelentkeznek, ezért a mélyhúzáskor kialakuló érintkezési zónák tribológiai vizsgálata alapvető fontosságú.

A hidegalakító eljárások során fellépő kopási mechanizmusok modellezésére végeeselemes módszereket alkalmaznak [5], [7]. A Westeneng által kifejlesztett modell [7] segítségével kedvezőbb szerszám/munkadarab érintkezést biztosító konstrukció alakítható ki, csökkentve a kopási károsodásokat.

A lemezalakító szerszámok leggyakoribb károsodása az adhéziós és az abrazív, továbbá a fáradásos és a tribokémiai kopás [1-4]. A szerszámok kopással szembeni ellenállását a szerszám felületi sajátosságai mellett a megmunkálandó lemez anyaga és felületminősége is jelentősen befolyásolja.

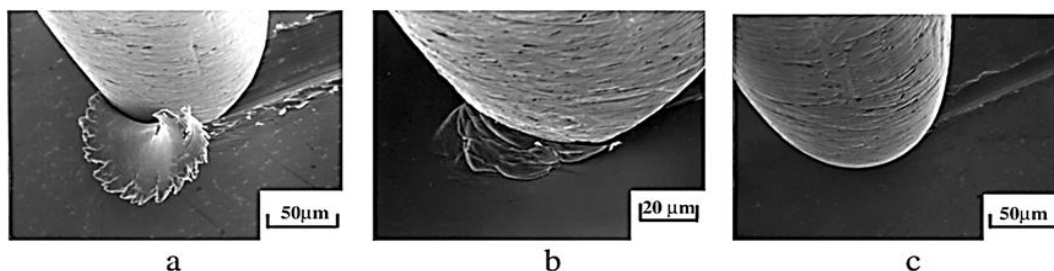
Az 1. ábra a lemezalakító szerszámok két tipikus kopási károsodási módját szemlélteti [4].



1. ábra. Különböző kopási módok SEM felvételei AHSS DP 1600 hengerelt szalagon:
a) összetett kopás megjelenése a szerszám életciklusa végén b) abrazívan kopott tartomány,
c) adhéziósan kopott tartomány; A nyíl a szerszám mozgásának irányát mutatja [1].

Abrazív kopás esetén, amely például tipikusan a nagyszilárdságú acéllemezek alakításakor lép fel, a leggyakoribb kopási mechanizmus a repedés, a barázdálódás és a kiforgácsolódás. A 2. ábra ezeket a jellemző abraszív kopási módokat foglalja össze [1].

Az adhéziós kopásforma ezzel szemben inkább alumínium lemezek vagy ausztenites acéllemezek megmunkálásakor jellemző [3]. Mélyhúzás során is elsősorban adhéziós kopás lép fel, de abraszív kopás is tapasztalható. Az egyes alakítástechnológiai lépések esetén célszerű a kopási folyamatok megkülönböztetése. A különféle gyártási eljárások során a szerszámok élettartamát többnyire az összetett kopási folyamatok határozzák meg.



2. ábra. Különböző abraszív kopási módok SEM felvételei: a) kiforgácsolódás, b) lerepedés, c) barázdálódás [8]

Állandósult súrlódási együttható esetén, az érintkező felületeken jelentkező nyomáseloszlás, elmozdulás- és sebességmező ismeretében a kopási folyamatok modellezhetők, ezáltal tervezhetők. A képlékenyalakító szerszámok élettartamának növelése céljából azonban lényeges a kopási folyamatok lassítása, amely megfelelő felületmódosító eljárások alkalmazásával lehetséges [1]-[4].

3. SZERSZÁMOK KOPÁSÁLLÓSÁGÁT JAVÍTÓ ELJÁRÁSOK

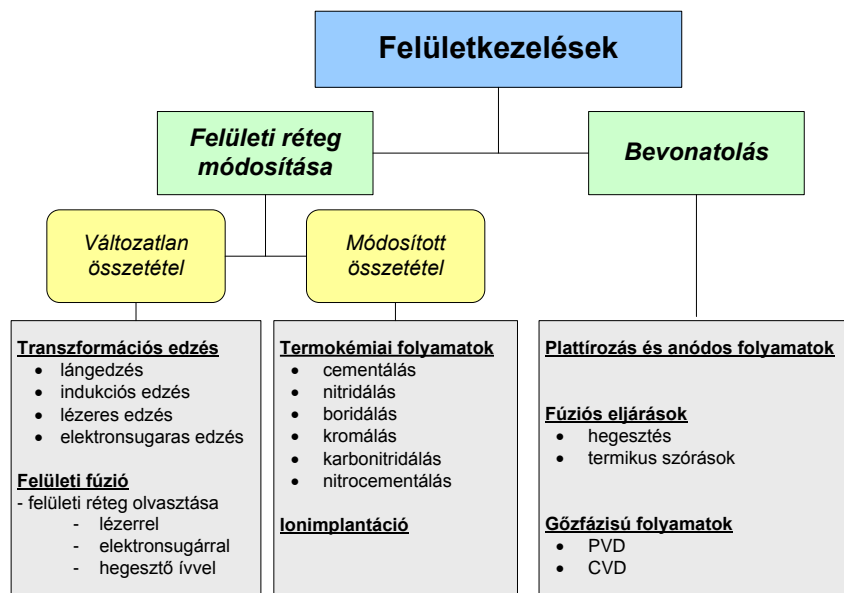
A teljes vagy lokális szerszámfelület teljesítőképességének növelése a szerszám alapanyagánál kedvezőbb kopási viselkedésű, a geometriai tartósságot biztosító bevonat(ok) kialakításával lehetséges. A különböző szerszámbevonatok kialakítása révén csökken a súrlódási együttható, javul a töréssel, fáradással szembeni ellenálló képesség, a hő- és korrózióállóság, valamint növekedhet a szerszám élettartamát. A szerszámok felületkezelése a felületi réteg átalakításával (termokémiai eljárások) vagy új réteg (bevonat) kialakításával is megvalósítható. A 3. ábra a keménybevonatok létrehozására alkalmas eljárásokat foglalja össze [9].

A különböző alakító szerszámok bevonatainak kopásvizsgálata során megállapították, hogy a CVD és PVD valamint a termikus diffúziós eljárások kedvezően befolyásolhatják a szerszám élettartamát. A szerszámbevonatok súrlódási tényezőjének csökkentése különösen hidegalakító szerszámok esetén jelentős. A bevonati eljárást a szerszám igénybevétele valamint a munkadarab minőségi követelményeinek megfelelően választott kopásálló réteg struktúrája és összetétele befolyásolja.

Ionimplantáció során a szilárd anyag felületét felgyorsított ionokkal bombázzák, hogy az ionok a felületi réteg anyagába hatoljanak. Az ionimplantáció nemcsak az összetételt, de az alkotó fázisokat, ezáltal a szövetszerkezetet tekintve is felületmódosító lehet, mivel a bevitt idegen részecskék szilárd oldatot vagy fémes vegyületet képezve új fázisokat hozhat létre [10]-[12].

A felületi kopásállóság termokémiai úton javítható [3], [13]. A hőkezelési folyamatok során a kezelendő tárgy felülete diffúzió révén fémes- és nemfémes elemmel dúsítható. A fémes elemekkel történő dúsítások közé tartozik a kromálás, titánózás, vanádiumozás, volfrámzás, míg

a nemfémes elemek bevitelét megvalósító eljárásokhoz a cementálás, nitridálás, boridálás, szulfidálás. A termokémiai eljárások során több elem egyidejű diffúziója is megvalósítható.



3. ábra. Keménybevonatok kialakítására alkalmas eljárások [9]

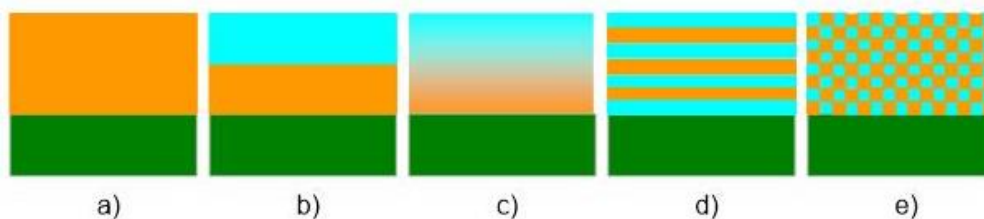
Cementálás során a kis ($C < 0,2$) karbon tartalmú acélok felületi rétegében diffúzió segítségével megnövelik a karbon tartalmat $C = 0,6-1,2\%$ -ra. Ezt követően kéregedzéssel nagy kopásállóságú kemény felület állítható elő [3].

A ferrites-perlites szövetszerkezetű, illetve nemesített állapotú acélokon végzett nitridáláskor a felületbe jutó nitrogén az alapanyaggal és a nitridképző ötvözőkkel nagy keménységű nitridvegyületeket képez, javítva a kopásállóságot.

A termokémiai eljárások más eljárásokkal is kombinálhatóak [13]. A duplex – egymást követően alkalmazott – kezelések során rendkívül kemény, a kopási igénybevételeknek különlegesen ellenálló réteg alakítható ki. Az ilyen komplex kezeléseknél a nitridált réteget valamilyen tribológiai bevonattal, így PVD vagy CVD eljárással kombinálják.

3.1. Kopásálló bevonatok kialakítása

A kopásálló bevonatok csoportosíthatóak szerkezetük szerint. A 4. ábra a bevonatok szerkezeti osztályozását szemlélteti, amely szerint megkülönböztethetünk egyrétegű (monolayer), kétrétegű (bilayer /double layer) és többrétegű (multilayer), valamint kompozit bevonatokat [32].



4. ábra. Tribológiai bevonatok jellemző szerkezetei: a) egyrétegű (monolayer), b) kétrétegű, c) gradiens, d) többrétegű (multilayer), e) kompozit bevonatok

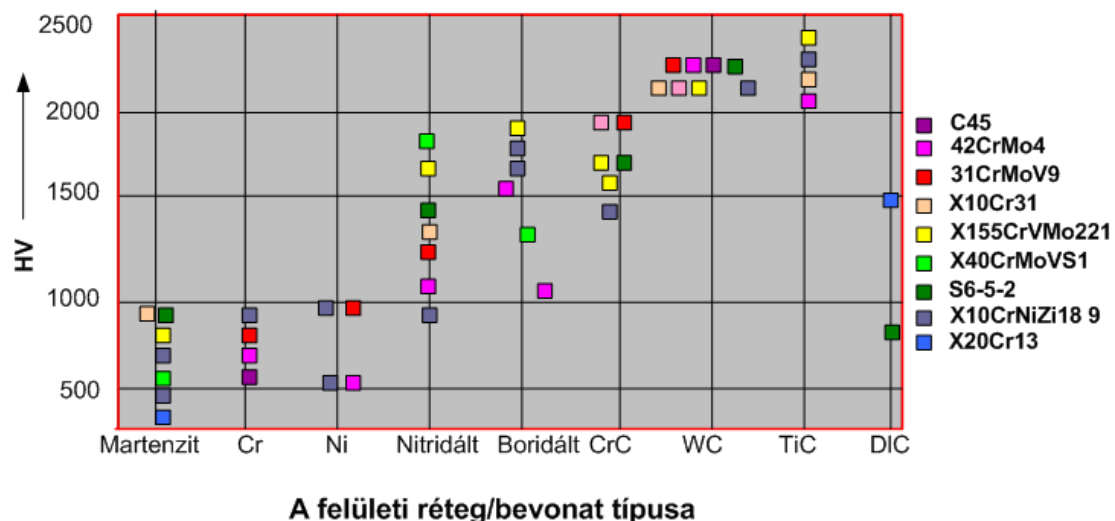
A keménybevonatok többnyire fémes elemek nitridjeiből, karbidjaiból vagy boridjaiból (TiN, TiAlN, CrN) állíthatók elő. A szuperkemény bevonatok közé a DLC (Diamond Like Carbon) és a kőbős bórnitrid (CBN) bevonatok sorolhatók.

A megfelelő kopásálló bevonat kiválasztása a tribológiai rendszer (munkadarab anyaga, megmunkálási paraméterek, szerszámanyag) függvénye. A lézerrel előállított Ni és Co alapú bevonatok nagy kopásállósággal rendelkeznek [22]. Az 1. táblázat a különböző módszerrel előállított keménybevonatok jellemző tulajdonságait foglalja össze [22]-[25].

Bevonattípus	Keménység [HV]	Alkalmazási hőmérséklet [°C]	Rétegvastagság [µm]
Stellite 6 (Cr alapú)	380-490	1000-1200	100-5000
Tribaloy 80 (Cr alapú)	800	1100-1200	100-5000
TiAlCN	3500-4000	800	3-5
Si ₃ N ₄ /AlTiN	3500-4000	900	1-7
TiC	3700-3900	450	3-4
TiN	2300-2500	500	0,22-17
Vanadizálás	3200-3800	850-1050	2-15
Kromálás	1200-1300	950-1300	100-200
Boridálás	900-2300	900-1100	5-250

1. táblázat. Lemezalakító szerszámok bevonatainak néhány jellemzője [22], [25]

Kiválasztásos keményíthető martenzites korrózióálló acélok pin-on-disc vizsgálatai során megállapították, hogy a felületi keménység és a kopásállóság között közel lineáris összefüggés van [14]. Az 5. ábra a különböző bevonatok keménységváltozásait szemlélteti az acélminőségek függvényében [20]. Jól látható, hogy az elért felületi keménységet az alapanyag is számottevően befolyásolja, ezért a bevonatanyag/szubsztrát párosítás mindig körültekintő tervezést, anyagválasztási folyamatot igényel.



5. ábra. A különböző bevonatok keménységváltozásai az acélminőségek függvényében

A lemezalakító műveletek során alkalmazott kenőanyagok mennyiségének csökkentését az egyre szigorúbb környezetvédelmi direktívák mellett a gazdaságossági szempontok is megkövetelik. Szuperkemény kerámia bevonatok segítségével száraz vagy közel száraz

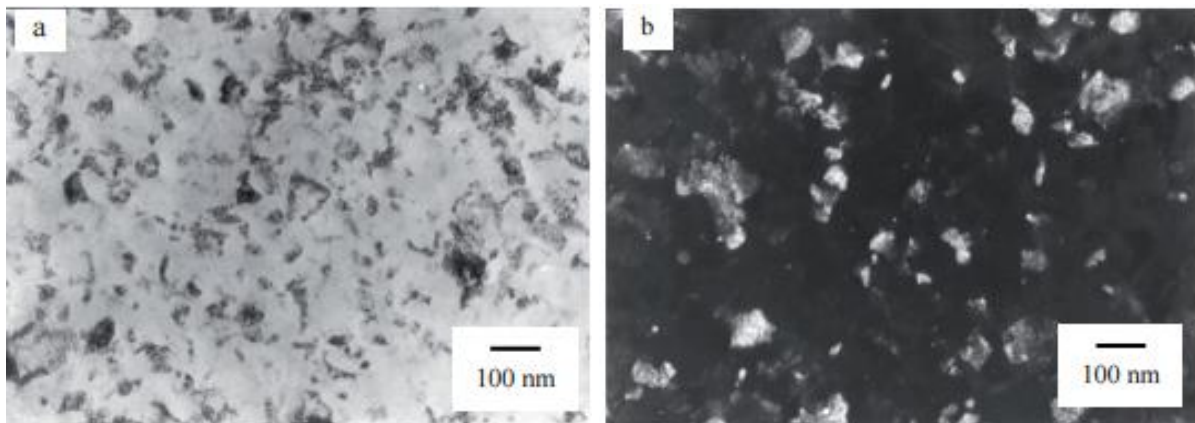
gyártási körülmények érhetőek el [4], [17]. A ball-on-disc vizsgálat során megállapították, hogy a különböző, karbidalapú bevonatok alkalmazásával a kenőanyagok mennyisége jelentősen csökkenthető, ugyanakkor, a felület egyenetlenné válhat, amely a tribológiai teljesítőképességet erőteljesen ronthatja.

A korábbiakban utaltunk arra, hogy a kopásálló bevonatok szerkezetüket tekintve egy, vagy több rétegből épülhetnek fel. Az ún. monolayer vagy egyrétegű bevonatok közé tartoznak a CrN, az AlCrN és a DLC bevonatok.

A DLC bevonatokat PVD és CVD eljárásokkal viszik fel az alapanyagra. Ezek az ún. szuperkemény bevonatok rendkívül nagy keménységűek, nagy a kémiai ellenálló képességük, kiváló kopásállósággal és igen kis súrlódási tényezővel rendelkeznek. A gyenge tapadás kiküszöbölésére a szerszám és a bevonat közé fémréteget visznek fel [1], [27]. A lemezalakítás során alkalmazott kenőanyagok mennyisége többek között ilyen DLC bevonatok alkalmazásával is mérsékelhető. Mélyhúzó szerszám felületére felvitt DLC bevonatokkal a koptató igénybevétellel szembeni ellenállás hatékonyan javítható [19]. A bevont felület topográfiája a valódi alakítási folyamatok során kritikus paraméter lehet, ezért az egyenetlen, durva felületeket el kell kerülni.

Az alábbiakban néhány további szakirodalmi példán keresztül mutatjuk be az ilyen egyrétegű bevonatokkal szerzett eddigi tapasztalatokat.

Réz szubsztrátra PVD eljárással rágózolt Zr/ZrN és Ti/TiN mikroszerkezetét szemlélteti a 6. ábra [23].



6. ábra. CuZn40Pb2 szubsztrátra PVD eljárással felvitt monolayer bevonatok mikroszerkezete: a) Zr/ZrN, b) Ti/TiN [28]

A reaktív magnetron porlasztással előállított finomkristályos struktúrájú PVD bevonat a korrózióállóság romlását okozhatja [28].

TiAlN és CrN bevonatú C67S acél tribológiai vizsgálatai alapján a [15] munka szerzői főként adhéziós kopást tapasztaltak, ahol a TiAlN bevonatú szerszámok élettartama 30%-kal nagyobb kopásállóságú volt, mint a CrN bevonatúaké.

Erősen ötvözött szerszámacélokon PVD eljárással készült TiAlN, TiN rétegek kopásvizsgálata során megállapították, hogy az adhéziós kopás a bevonat összetételétől és a bevonandó szerszámanyagtól függően igen különböző mértékű lehet [16].

Az AlCrN bevonatokat leginkább sajtólószerszámoknál használják. Az AlCrN bevonatok alkalmazási lehetőségeivel ugyancsak számos kutatás foglalkozik a kenőanyagmentes alakítási eljárások témakörében [18].

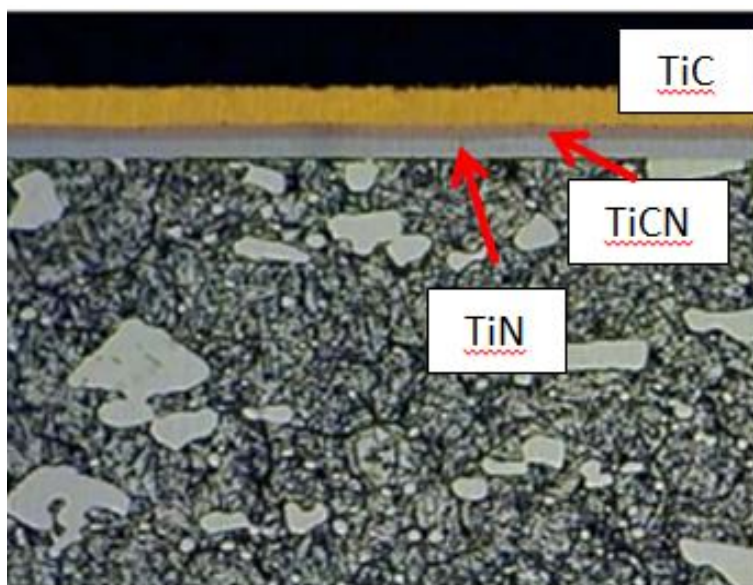
A PVD bevonatok repedéssel szembeni ellenállásának javítására többrétegű (multilayer) struktúrát alkalmaznak. A multilayer bevonatok jellemzően nagyobb keménységűek és kisebb

bennük a maradó feszültség [4]. Többrétegű TiN/CrN és CrN/TiAlN bevonatok előállítására esetén az egyes rétegek szerkezete a repedésterjedésre hatással van [29].

Magnetron porlasztásos PVD eljárással szerszámacélcra felvitt monolayer (TiN, CrN, MoN) és multilayer (Cr/CrN, W/W₂N) nitridbevonatok fázisösszetételét és tribológiai tulajdonságait vizsgálták a [30], [31] szakcikkek szerzői. Megállapították, hogy a vizsgált multilayer rétegek jobb kopásállóságot és hosszabb élettartamot mutattak, mint a monolayer bevonatok. A multilayer többkomponensű rendszerekkel olyan kopásálló illetve funkcionális bevonatok hozhatóak létre, amelyek megfelelnek a nagyobb teljesítményű alakítószerszámok igénybevételei által támasztott magas követelményeknek is [31].

A CVD-USB típusú (Umgekehrte Sandwich Beschichtung = Fordított Szendvicsszerkezetű Bevonat) rendszereket a hidegalakító szerszámok teljesítőképességének növelésére fejlesztették ki [4]. Főként abrazív kopásnak kitett szerszámok bevonataként használhatók eredményesen ausztenites vagy horganyzott lemezek hidegalakításakor. Összehasonlítva a CVD-TiC bevonatokkal az USB bevonatok révén a felületi keménység csökkenése nélkül csökkenthetők a belső feszültségek [4], [21]. Szerszámanyagok bevonataként csökkenthető általuk az abrazív és adhéziós kopást, a korróziót, és a környezetre káros kenőanyagok használata. A TiC bevonatokhoz képest nagyobb a tapadószilárdságuk, kisebb a súrlódási együtthatójuk, ami nemcsak a kopásállóság javulásában, de a bevonat tartóságának, ezáltal a szerszám élettartamának növekedésében is megnyilvánul.

A szubsztrát és a bevonat anyagának eltérő hőtágulási együtthatója döntően befolyásolja a felületi rétegekben kialakuló belső feszültségeket. A CVD-USB bevonatot azért nevezik fordított szendvics szerkezetűnek, mivel a hagyományos többrétegű bevonatok esetén a bevonat az alapanyagtól kezdve titán-karbidból, titán-karbonitridből és titán-nitridből épül fel, míg fordított szendvicsszerkezet esetén a felépítés sorrendje: titán-nitrid, titán-karbonitrid, és titánkarbid [21]. A CVD-USB szendvicsbevonatok jellegzetes szerkezetét a 7. ábra szemlélteti.



7. ábra. Az USB-CVD szendvicsbevonatok szerkezete [21]

Az USB-CVD bevonatok hidegalakító szerszámanyagok kopásálló bevonatai készítésére alkalmasak. Mivel az acél-szerszámanyag hőtágulási együtthatója a CVD-TiC réteghez viszonyítva jóval nagyobb, ezért a rétegek felvitelét követően a kemény keramikus bevonatban jelentős belső nyomófeszültség alakulhat ki.

A 2. táblázatban a szerszám-alapfém és a bevonat hőtágulási együtthatói láthatók [21].

Anyag	1.2379	TiN	TiC
Keménység [HV]	650-750	2400	3500
Hőtágulási együttható [1/°C]	10,1*10 ⁻⁶	9,3*10 ⁻⁶	7,4*10 ⁻⁶

2. táblázat. A vizsgált CVD-USB rétegek jellemzői [21]

Amint az a 2. táblázatban közölt értékekből látható a TiN bevonatok hőtágulási együtthatója – összehasonlítva a TiC bevonatokkal – közelebb áll a szerszámacélokra jellemző hőtágulási együttható értékéhez. A TiN alaprétegű CVD-USB bevonatok alkalmazásával homogénebb maradófeszültség eloszlás érhető el. A 750 HV keménységű, szubsztráton, vagyis az edzett szerszámacélon a 2400 HV keménységű TiN, míg külső réteggként a 3500 HV TiC réteg helyezkedik el. A hagyományos CVD-TiC bevonatokkal szemben az USB bevonatok esetén a szokásos alakítóerők mellett nem tapasztalható lepattogzás. A szubsztrát/bevonat kötés erőssége, a kisebb belső feszültségek, valamint a nagy kopásállóság miatt a CVD-USB bevonatok a korszerű nagyszilárdságú acéllemezek alakító műveleteinél igen előnyösen alkalmazhatók [4], [21].

ÖSSZEFOGLALÁS

Az autóiipari alkatrészek és karosszériaelemek gyártási folyamatában a lemezalakítási műveletek napjainkban igen jelentős hányadot képviselnek. A lemeztermékek előállítása során a költségtakarékosságra, valamint a minőségre vonatkozó igények mellett az alakítószerszámok tönkremenetelének megakadályozása is lényeges.

A lemezalakító műveletekre jellemző fáradásos, korróziós károsodások mellett a kopás a szerszámok egyik legszámottevőbb tönkremeneteli formája. A kopás mértékének csökkentése azért is kiemelt fontosságú ebben az iparágban, mivel az autóiipari termékek fokozott alak- és mérettűréssel készülnek, amelynek megvalósítása nemcsak a választott anyag, hanem az adott szerszám állapotának, méretpontosságának is függvénye.

A tömegcsökkentés érdekében egyre szélesebb körben használt nagyszilárdságú acéllemezek alakításához a növelt alakítási teljesítmény elviselése mellett a szerszámoknak a károsodási folyamatokkal szembeni nagyobb ellenállóképessége is hozzátartozik. A hagyományos metallurgiai megoldások, illetve a különféle hőkezelési eljárások csak korlátozottan alkalmasak a cikkben bemutatott követelményeknek megfelelő szerszámanyagok létrehozására.

A szuperkemény (DLC, CBN, TiC) keramikus bevonatok alkalmazásával a különféle károsodások és tönkremenetek jelentős része elkerülhető.

A szuperkemény bevonatrendszer egyik legújabb képviselője a CVD-USB fordított szendvicsszerkezet, amely elsősorban ausztenites és horganyzott acéllemezek bevonatolására alkalmas. A szendvicsszerkezetnek köszönhetően jelentős (3500 HV) felületi keménység, kisebb belső feszültségek, ezáltal nagyobb kopásállóság és szerszám élettartam érhető el.

Hidegalakító szerszámok bevonataként jelentősen javítja a lemezalakító szerszámokra jellemző abrazív és adhéziós kopással szembeni ellenállóképességet, hozzájárulva a szerszám élettartamának és tribológiai teljesítőképességének növeléséhez.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt eredményeire alapozva a TÁMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0029 jelű projekt részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **K. HOKKIRIGAWA, K. KATO:** *An experimental and theoretical investigation of ploughing, cutting and wedge formation during abrasive wear*, Tribology international, 21, 1988. pp. 51–57.
- [2] **TISZA, M., KISS, A., KOVÁCS, P. Z.:** *Innovatív alakító eljárások*, tanulmány, Miskolci Egyetem, 2013, p. 4-5.
- [3] **CZINEGE, I., BELINA, K.:** *Felületi kezelések*, elektronikus jegyzet, 2011
- [4] **ESCHER, C., HENKE, T.:** *New Trends in Thin Coatings for Sheet-Metal Forming Tools*, 6th International Tooling Conference, Karlstadt University, 2002, p. 919-933.
- [5] **WANG, X.Z. et. al.:** *An Investigation on Tool Wear Prediction in Automotive Sheet Metal Stamping Die Using Numerical Simulation*, International MultiConference of Engineering and Computer Scientist, 2, 2009, p.1942-1946.
- [6] **HOFFMANN, H., HWANG, C., ERSOY, K.:** *Advanced Wear Simulation in Sheet Metal Forming*, CIRP Annals-Manufacturing Technology, 54, 1, p. 217-220.
- [7] **WESTENENG, J. D.:** *Modelling of Contact and Friction in Deep Drawing Processes*, PhD thesis, University of Twente, Enschede, The Netherlands, 2001, ISBN 90 365 1549 1
- [8] **HOKKIRIGAWA, K., KATO, K.:** *An experimental and theoretical investigation of ploughing, cutting and wedge formation during abrasive wear*, Tribol. Int. 21. 1988. pp. 51–57.
- [9] **HUTCHINGS, I. M.:** *Tribology*, p. 266, 1992.
- [10] **REHN, L. E., PICRAUX, S.T.:** *In Surface Alloying by Ion, Electron and Laser Beams*, Metals Park, 1987.
- [11] **BABCSÁN, SCHUBERT, H. MAROS, B.M, WANDERKA, N., KLAFFKE, J.:** Effect of Ion-implantation on the Microstructure of Si₃N₄ Based Ceramics, Key Engineering Materials, Vol.290., 2005, pp. 234-237, ISBN / ISBN-13: 0-87849-973-3 / 978-0-87849-973-1
- [12] **GIBER J., GYULAI J., VARGÁNÉ JOSEPOVITS K., BÍRÓ L.P.:** *Diffúzió és implantáció szilárdtestekben*, Műegyetemi Kiadó, 1997.
- [13] **KOCSISNÉ BAÁN., M, MAROSNÉ BERKES, M., SZILÁGYINÉ BÍRÓ, A.:** *Nitridálás-korszerű eljárások és vizsgálati módszerek*, Miskolci Egyetem, 2015, p. 83.
- [14] **BRESSAN, J. D., DAROS, D. P., SOKOLOWSKI, A. et. al.:** *Influence of Hardness on the Wear Resistance of 17-4 PH Stainless Steel Evaluated by the pin-on-disc Testing*, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 205, (2008), 353–359
- [15] **SGARABATTO, F., GHIOTTI, A.:** *Tribological behaviour of PVD coatings for sheet metal forming-tools: laboratory and industrial evaluation*, Key Engineering Materials, 504-506, 2002, p.543-548.
- [16] **TSHINJAN, A., KLAASEN, H.:** *Wear performance of PVD coated steel*, Estonian Journal of Engineering, 18,3, 2012, p.202-210.
- [17] **SAMPATH KUMAR, t., BALASIVANANDHA s., ET. ALL.:** Comparison of TiAlN, AlCrN and AlCrN/TiAlN coatings for cutting-tool application, International Journal of Metallurgy and Materials, 2014, 21, 8, p.796-805.
- [18] **TÁLLAI, P., CSUKA, S., SIPOS, S.:** Thread forming tools with optimised coatings, Acta Polytechnica Hungarica, 12,1,2015, p.55-66.
- [19] **CARLSSON, P., OLSSON, M.:** *PVD coatings for sheet-metal forming processes-tribological evaluation*, Surface & Coatings Technology, 200, 2006, p.4654-4663.
- [20] <http://mattmixer.com/bookstores/hardness-sio2.html>
- [21] *CVD Schichtsysteme, CVD-Sandwich*, Adatlap USB szerszámbevonatokról, Dörrenberg-

- Edelstahl GMBH, Németország, 2016, p.1.
- [22] **MERKLEIN, M., SCHRADER, T., ENGEL, U.:** *Wear Behaviour of PVD-Coatings, Tribology in Industry*, Vol. 34, 2, 2012, p.51-56
- [23] **HEIDE, E.:** *Lubricant failure in Sheet-Metal Forming Processes*, PhD értekezés, Universiteit Twente, 2002, p.12-14.
- [24] <http://www.brycoat.com/surface-engineering/brycoat-pvd-coatingsolutions/brycoat-titanium-nitride-tin-coatings/brycoat-titanium-nitride-tin-coatings/>
- [25] <http://stellite.co.uk/Portals/0/Stellite%206%20Final.pdf>
- [26] **FELDIOREAN, D.I., ŢIEREAN, M.H.:** Overview on DLC layers used to increase the tribological properties, *Engineering, Transylvania University of Brasov*, 8, 57, 1-2015, p. 43-50.
- [27] **HOGMARK, S., JACOBSON, S., LARSSON, M.:** *Design and evaluation of tribological coatings*, *Wear*, 246, 2000, p. 20-33.
- [28] **DOBRZANSKI, L. A., LUKASZKOWICZ, K., LABISZ, K.:** *Structure of Monolayer Coatings Deposited by PVD Techniques*, *Journal of Achievements and Manufacturing Engineering*, 18, 1-2, 2006, p. 271-274.
- [29] **PANJAN, P., CEKADA, M., NAVINSEK, B.:** *A New Experimental Method for Studying the Cracking Behaviour of PVD Multilayer Coatings*, *Surface and Coating Technology*, 174-175, p.55-62.
- [30] **UPADHYAY, R. K., KUMARASWAMIDHAS, L.A.:** *Investigation on Monolayer-Multilayer PVD Nitride Coating*, *Surface Engineering*, 31, 2, 2015, p.123-133.
- [31] **PALDEY, S., DEVI, S. C.:** *Single Layer and Multilayer Wear resistance Coatings of (Ti, Al)N: A Review*, *Materials Science and Engineering:A*, 342, 1-2, p. 58-79.
- [32] **PANJAN P., CEKADA M.:** *Properties of PVD Hard Coating*, University of Ljubljana, 2006, p. 4-5.

FIAT STILO SZÍJFESZÍTŐ VIZSGÁLATA

PROKISCH József¹, KOZMA Ferenc²

¹egyetemi docens, igazságügyi szakértő, joe.prokisch@gmail.com
¹ Debreceni Egyetem, Agrártudományi Centrum

²okl. gépészmérnök, igazságügyi szakértő, fg.kozma@gmail.com

1. ELŐZMÉNYEK

Autószerelő műhely tulajdonosa bízott meg egy Fiat Stilo személygépkocsi vezérmű szíj feszítő görgő törésének vizsgálatával. A feladat a törés okának megállapítása volt.

A törés és a szíj feszítő nem megfelelő rögzítése miatt a szíj-feszítés megszűnt, a motor vezérlése elhangolódott. A dugattyúk felső holtponti helyzetében a szelepek egy része nyitott állapotban volt és a motor leállt. (A szelepeknek ez része és a dugattyúk megsérültek.)

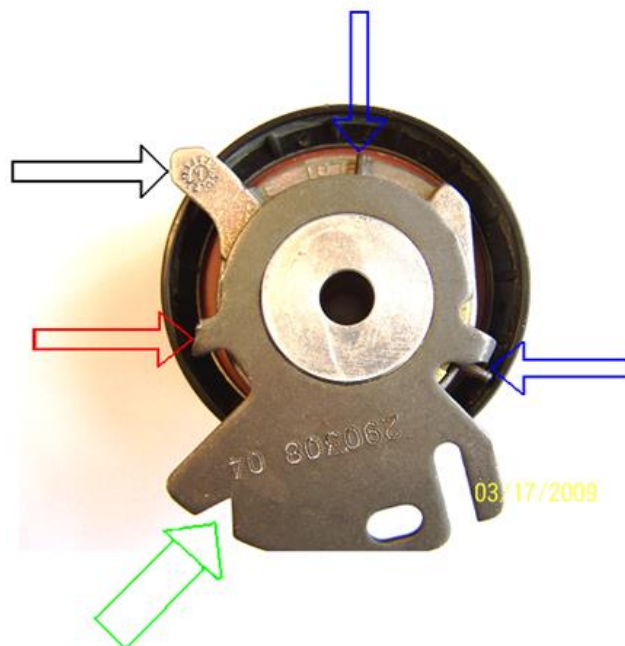
Az autószerelő a megbízáskor elmondta azt is, hogy a szíj feszítőt, a motorblokkhoz rögzítő csavar a szíj feszítő leszerelését megelőzően, fellazult állapotban volt.

2. SZAKÉRTŐI VIZSGÁLATOK

A spirális rugó egyik vége egy precíziós öntéssel készült alumínium perselyen kialakított nyílásba, a másik vége az acéllemezből kivágással és hajlítással kialakított lemezszerű alkatrész lehajtott fülébe van rögzítve (1. ábrán kék nyilakkal jelölt helyen).

A fekete színű nyíllal megjelölt elem helyes pozíciója a képen zöld nyíllal jelölt helyre való fordítással állítható be. Ezután kerül a szíj feszítő rögzítésre.

Az acéllemezből kialakított alkatrész másik füle egy határoló elemként működő része a szerkezetnek, amelybe beakadva a 1. ábrán fekete színű nyíllal megjelölt elfordítható elem megakadályozza a feszítés olyan mértékű csökkenését, amely a motor károsodásához vezetne. Ez a fül azonban a 1. számú ábrán piros nyíllal jelölt helyen letört.



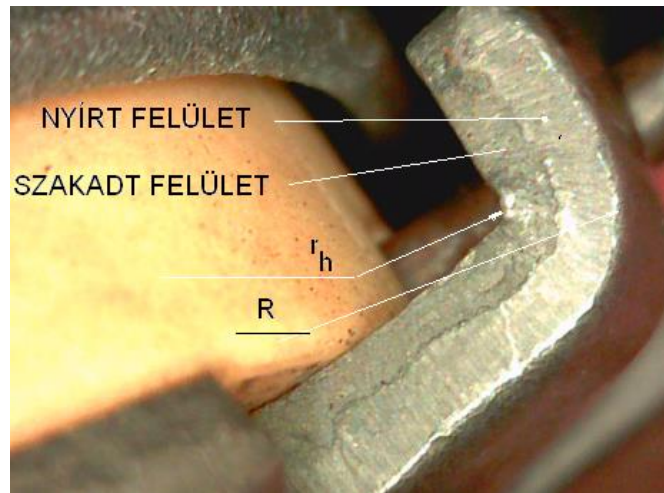
1. ábra. A meghibásodott szíj feszítő

A szíj feszítő görgő felületeinek vizsgálata alapján az alábbi megállapításokat tettem:

A lehajtott füleket is tartalmazó lemez alkatrész hidegen hengerelt lemezből készült, egy blokk szerszámban való kivágás és hajlítás végrehajtásával. A szokásos technológiai eljárás ilyen esetekben a lemezalakítás előtt a lemez felületeinek cinkfoszfáttal való bevonása. Ez a bevonat mind korrózióvédelmi, mind hajlításkor szükséges kenési feladatokat is ellát. Ennek a módszernek az alkalmazása azzal az előnnyel jár, hogy a képlékenyalakítást követően nem kell eltávolítani a kenő-anyagot, nem szükséges festeni.

Fentieket a vegyész szakvélemény teljes mértékben alátámasztotta.

A lemez vastagsága 2,2-2,4 mm. A vágott felület minősége megfelel a kivágó szerszámmal készített lemezek szokásos minőségének (≈ 1 mm szakadt felület, $\approx 1,2$ mm nyírt felület (2. ábra)).



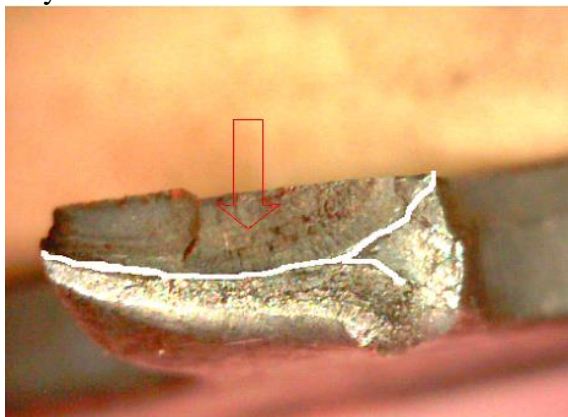
2. ábra. A letört fül vágott felülete

A hajlítás minimális sugara, amelynél még egy lépésben, biztonságosan (repedés veszélye nélkül) végrehajtható a hajlítás $r_{h,min}=1,32$ mm.

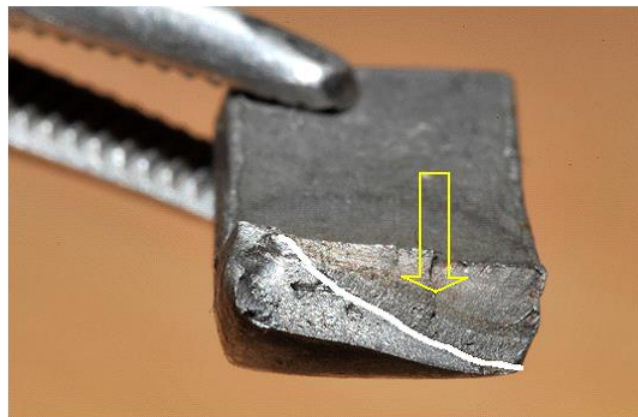
A letört fül esetében ez az érték: $r_h = 0,6$ mm, a helyes érték 46 %-a volt.

A tört felületek vizsgálata alapján megállapítható, hogy annak két jól elkülöníthető része van (3. ábra). A fehér vonaltól felfelé eső részen egy, a beépítést és a használatot megelőző időben keletkezett repedés felülete látható. A vonal alatti részen a szíj feszítő ábrán fekete nyíllal megjelölt fül ütése miatti teljes törés képe látható.

A vegyész szakértő vizsgálata alapján egyértelműen megállapítható, hogy a sárga nyíllal megjelölt részén látható sötét sáv egy szilícium kiválás, amely az alapanyag közepétáján helyezkedett el.



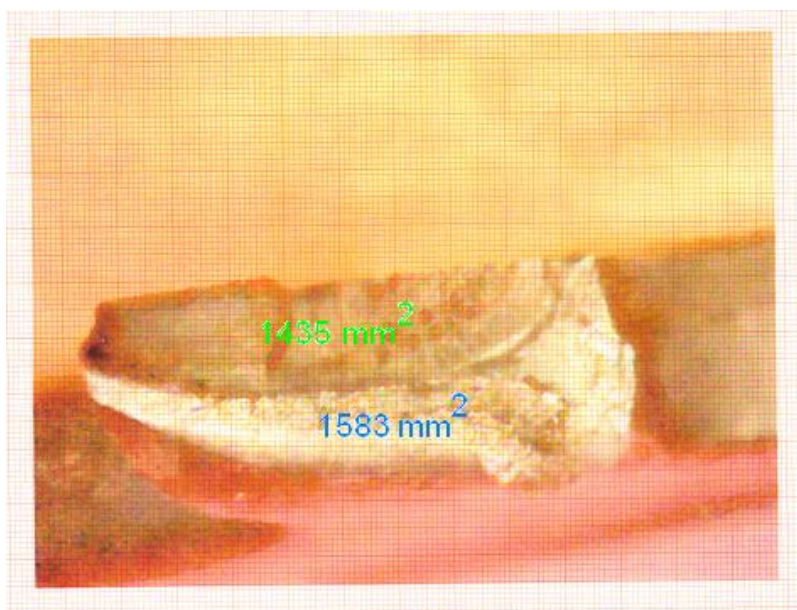
3. ábra.



4. ábra.

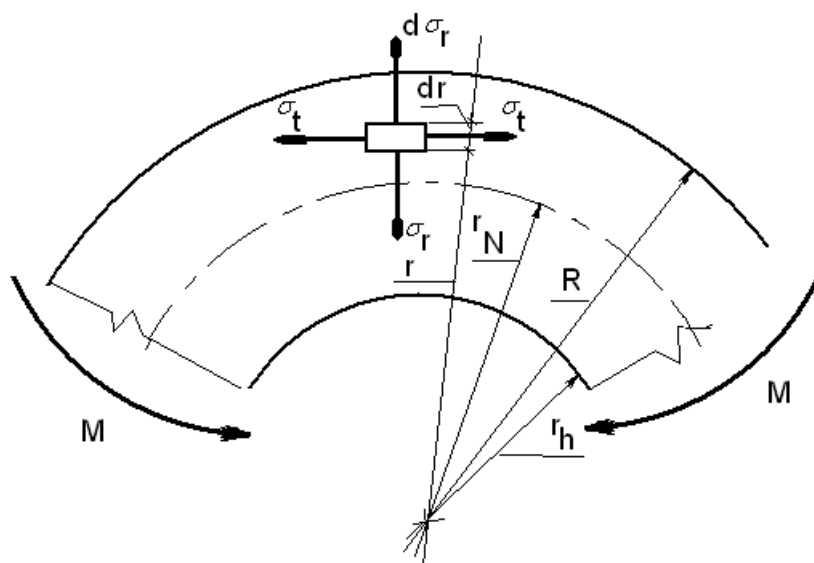
Az is biztossá vált, a vegyész szakvélemény ismeretében, hogy a repedés a cink-foszfáttal való bevonást követően keletkezett, mert a repedt felületen nem lehetett kimutatni cink-foszfát jelenlétét. (4. ábra)

A repedt és a szívos törés felületeinek arányát a tört felületet ábrázoló felnagyított képek mm-pauszra való másolása utáni felületszámlálási módszerrel határoztam meg. Ennek alapján megállapítható, hogy a fül teherviselő kereszt-metszete, a törést megelőzően, az eredeti keresztmetszet 53 %-a. (5. ábra)

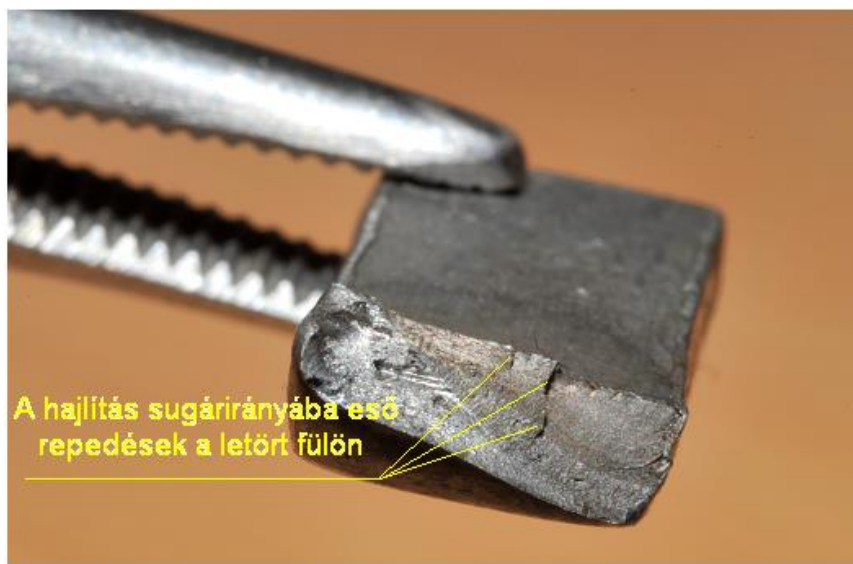


5. ábra. A repedt és a frissen tört felületek

A repedt felületek 25x nagyítású mikroszkóppal való vizsgálata alapján megállapítottam, hogy mind a szerkezeten maradó lemez tört felületén, mind a letört fül tört felületén korábban elrepedt részen a hajlítás sugarának irányában (6. ábrán σ_r és $d\sigma_r$ irányával párhuzamos) kialakult repedések láthatók. (7. ábra)



6. ábra.



7. ábra.

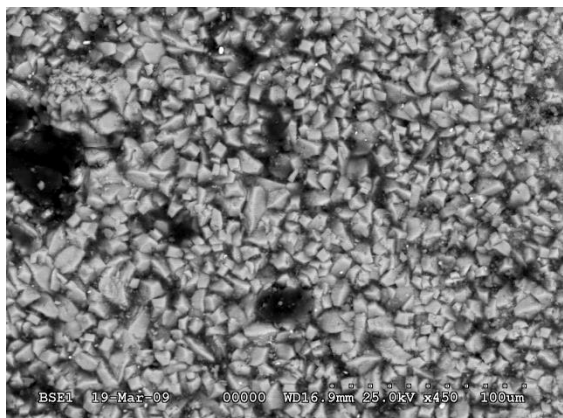
A helyesen szerelt szíjlesztítő esetében a mutató és a letört fül nem érintkeznek egymással. Ha a szíjlesztítő elfordulása olyan mértékű, hogy az eléri a letört fület, akkor a spirális rugó tulajdonságainak megfelelően annak előfeszítettsége csökken és a feszítőerő a megfelelő értéktől kisebb lesz. Ez a jelenség a vezérmű szíj nem kívánatos dinamikus lengéseit okozza, amely szintén hozzájárult a fül töréséhez.

A rugóerőt megmértem a mutató két állásában. A helyes előfeszítettség helyzetében a rugóerő 30 N volt, míg a letört fülig elfordítva a mutatót 20 N erőt mértem. Ez az erő olyan csekély értékű, hogy amennyiben nem lett volna elrepedve, a fül nem tört volna le, még akkor sem, ha a fellépő dinamikus hatással kiegészítjük az igénybevételt.

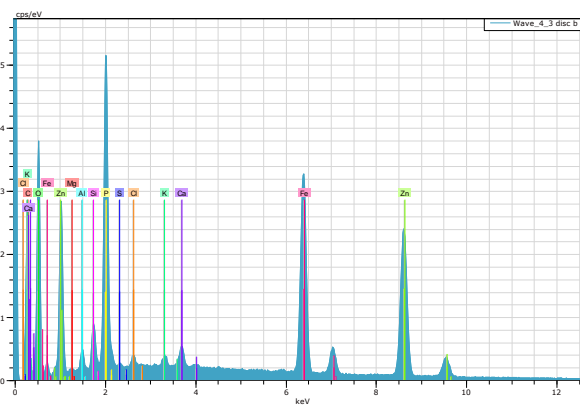
3. VEGYÉSZETI VIZSGÁLATOK

A minta felszíne és törési felülete pásztázó elektronmikroszkóppal és a hozzá kapcsolt röntgen fluoreszcencia analizátorral lett megvizsgálva. Ezzel a módszerrel lehetőség nyílt a felszín kémiai elemösszetételének értékelésére is.

A felszínen korrózióvédő anyag kristályai jól megfigyelhetők. Az elemösszetétel vizsgálatból egyértelműen kiderül, hogy a bevonat cink-foszfát (8. és 9. ábra).

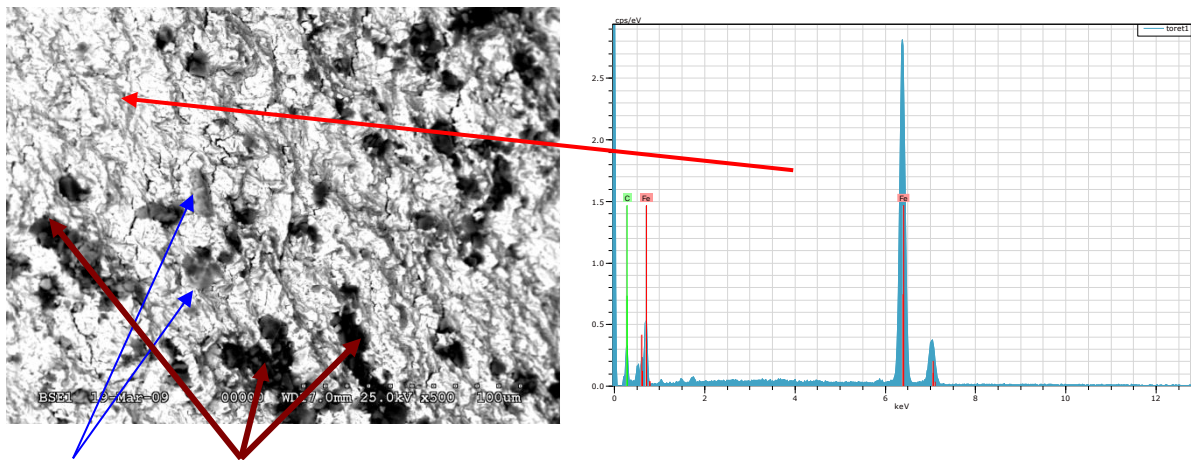


8. ábra.



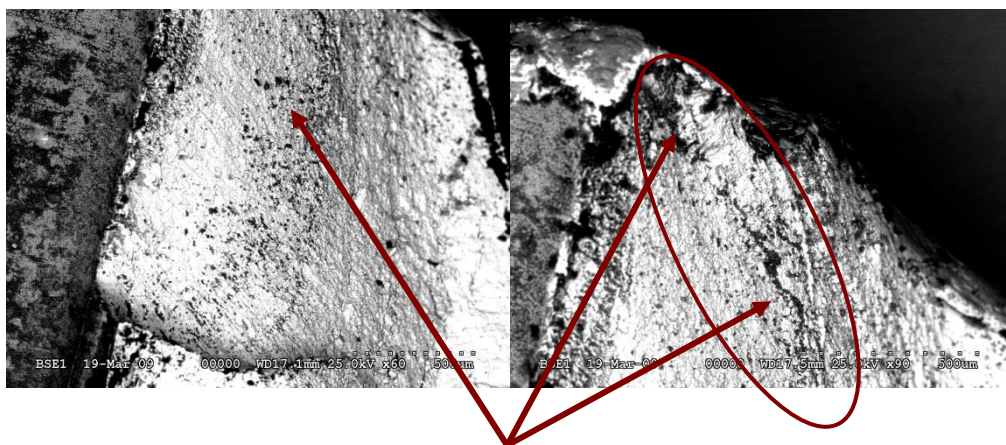
9. ábra.

A fém törésfelületének vizsgálatából jól látszik, hogy a fém alapanyaga vas, amely tartalmaz szenet, kis mennyiségű más ötvözőket és szilícium valamint alumínium kiválásokat. A baloldali elemösszetétel vizsgálat a jelölt felszínre vonatkozik. (10. ábra)



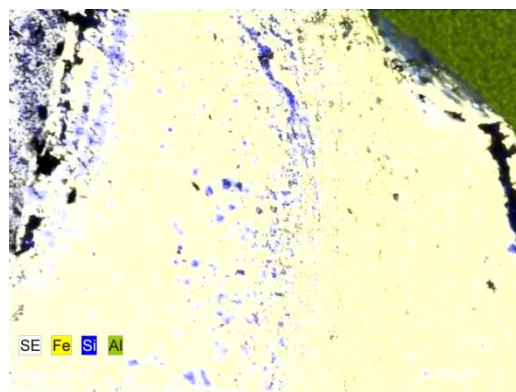
10. ábra.

A felszínen megfigyelhető üregekben szilícium kristályokat találtunk, de alumínium kiválások is megfigyelhetők a törésfelzínen. A kisebb nagyítású felvételen jól látszik, hogy a szilíciumkiválások egy vonalban sűrűsödnek, sajátos mintázatot alkotnak. (11. ábra)



11. ábra.

Ez látható az elemösszetétel alapján készített színezett képen is (12. ábra).



12. ábra.

A vegyészeti vizsgálatok alapján a következő megállapításokat tettem:

- A tárgy felszínén megfelelően kialakított cink-foszát bevonat van.
- A törésfelületen a korrózióvédő anyag nyomai nem mutathatók ki.
- A törésfelületen a fémdarab sarkából kiinduló szilícium kiválásból álló vonal mutatható ki, ami anyaghibának tekinthető.

4. VÉGKÖVETKEZTETÉSEK

A feszítőgörgő meghibásodását több hátrányosan ható ok egyidejű megléte okozta. Ezek a következők voltak:

- A feszítőgörgő előfeszítettségének nem megfelelő mértéke. (Kisebb volt a szükségesnél, a mutató nem volt a lemezen kialakított jelzőnyílás előtt.)
(Az autószerelő nyilatkozata a helyszíni szemlén)
- A jelző mutatójának elfordulását határoló fül, a lemezszerű alkatrész gyártásakor bekövetkező repedése. (kb. a teherviselő keresztmetszet felénél nem volt fémfolytonos kapcsolat)
- A repedés oka az egy lépésben végrehajtott hajlítás sugarának megengedettől kisebb értéke, valamint a lemez anyagában lévő szilícium dúsulás miatti szilárdságcsökkenése volt.

ÖSSZEFOGLALÁS

Összefoglalva megállapítható, hogy a vizsgált alkatrész meghibásodása gyártási hibák miatt következett be. Emellett a szereléskor elkövetett hiba is szerepet játszott a vizsgált alkatrész tönkremenetelében.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **Gál-Kiss-Sárvári Tisza:** *Képlékeny hidegalakítás* Tankönyvkiadó Budapest 1991.

ZEOLIT ŐRLÉSÉNEK KINETIKAI VIZSGÁLATA KEVERŐMALOMBAN

THE KINETIC STUDY OF ZEOLITE'S GRINDING IN STIRRED MEDIA MILL

BOHÁCS Katalin¹, SZUTORCSIK Lilla², MUCSI Gábor³

¹PhD hallgató, ejtbohacs@uni-miskolc.hu

¹Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárás technikai Intézet

²Előkészítéstechnikai mérnöki MSc hallgató, szutorcsiklilla@gmail.com

²Műszaki Földtudományi Kar, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárás technikai Intézet

³PhD, egyetemi docens, ejtmucsi@uni-miskolc.hu

³Műszaki Földtudományi Kar, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárás technikai Intézet

Kivonat: A zeolitok felhasználása leginkább a környezetiparban, azon belül is a víztisztítás területén jelentős [1]. Újabb kutatások alapján azonban a gyógyszeripari előkészítésben [2], a mezőgazdaságban műtrágya hordozóanyagként [3], építőiparban cementhelyettesítő anyagként [4] is kísérleteznek vele, alkalmazzák. A módszerek lényege a kis szemcseméret, nagy fajlagos felület, a reakcióképesség növekedése és a kationcsere-képesség változásán alapul [5].

Kísérleteink során Mádról származó zeolitot őrltük nedves körülmények között Netzsch MiniCer típusú kerámia béléssel ellátott keverőmalomban, és vizsgáltuk az anyag finomságában bekövetkező szemcseméret-eloszlás és fajlagos felület változást az őrlési idő függvényében (1, 3, 5, 10, 15, 30, 60, 90, 120, 180 perc). A vizsgálat célja a zeolit keverőmalmi őrlhetőségének (fajlagos őrlési energiaigényének) meghatározása és az őrlés energetikai optimalálása volt.

A kísérleti eredmények alapján megállapítottuk, hogy a minta jellemző szemcseméretei jelentős mértékben csökkennek 15 perc tartózkodási idő után ($x_{50}=0,3 \mu\text{m}$, $x_{80}=2,29 \mu\text{m}$), majd ennek intenzitása fokozatosan visszaesik. Így a 180 perces őrlés végére az anyag medián szemcsemérete $x_{50}=0,14 \mu\text{m}$, 80 %-os szemcsemérete pedig $x_{80}=0,20 \mu\text{m}$ lett. Az őrlémények sűrűségfüggvényei a rövidebb őrlési időknél bimodális jellegűek, majd az őrlési idő előrehaladtával egyre inkább unimodális alakot mutatnak.

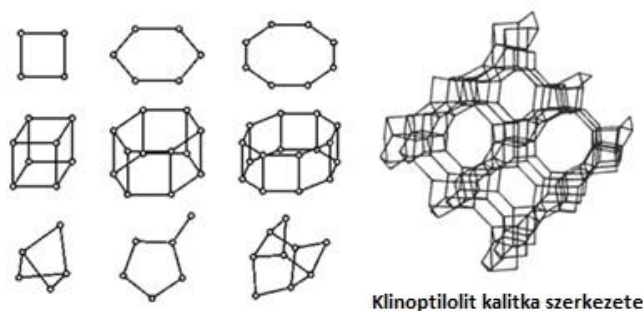
Kulcsszavak: zeolit, keverőmalom, őrlés, fajlagos felület, szemcseméret-eloszlás.

Abstract: In the present study the results of wet grinding of zeolite from Mad are presented. The laboratory experiments were carried out in a stirred media mill (Netzsch MiniCer) in circular mode for various residence time (1, 3, 5, 10, 15, 30, 60, 90, 120, 180 min), meanwhile the particle size distribution and the „outer” specific surface area of the ground samples were measured and calculated respectively by a laser particle size analyse. The energy consumption of the mill was measured as well, and then the specific grinding energy was calculated during grinding. The aim of this study was to determine the grindability of zeolite (specific grinding energy consumption) and the energetic optimisation of the grinding. As a result of the investigation it was found that the finest zeolite ($x_{50}=0,14 \mu\text{m}$, $x_{80}=0,20 \mu\text{m}$) was produced after 180 min, consumed 27000 kJ/kg energy, but significant submicron size particles are generated after 15 min ($x_{50}=0,3 \mu\text{m}$, $x_{80}=2,29 \mu\text{m}$, consumed 2300 kJ/kg energy).

Keywords: zeolite, stirred media mill, grinding, specific surface area, particle size distribution.

1. BEVEZETÉS

A zeolitok kristályos alkáli- és/vagy alkáliföldfém-alumínium-hidroszilikátok. Háromdimenziós vázuk alapjai szilícium központú SiO_4 tetraéderek, amelyeket izomorf módon AlO_4 tetraéderek helyettesíthetnek a rácsban. A tetraéderek egymáshoz közös oxigénatomokon keresztül kapcsolódnak. A három vegyértékű Al-ot tartalmazó tetraédereknek egy negatív töltése van, és ezt semlegesítik a pozitív töltésű fémionok. A tetraéderek összekapcsolódásával pedig létrejönnek a zeolitok ún. másodlagos építőelemei (1. ábra).



1. ábra. A zeolitok másodlagos építőelemei [6]

A térbeli kapcsolódás úgy jön létre, hogy a zeolitok kristályrácsa csatornákat és üregeket tartalmaz, és ezekben található a hidratált töltéskompenzáló kationok és a vízmolekulák. A kationok mozgékonyak és más kationra cserélhetők. Ez az alapja a zeolitok ioncserélőként való hasznosításának.

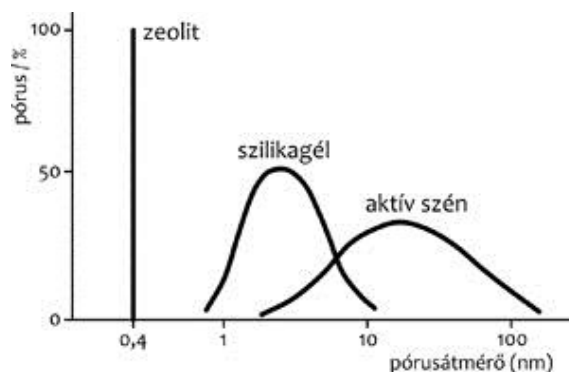
A kristályközi víz sok zeolitból melegítéssel folyamatosan és reverzibilisen eltávolítható, miáltal szabaddá válnak a molekuláris méretű üregek és pórusok, lehetővé téve idegen molekulák befogadását. Ez az alapja a szelektív adszorbensként való alkalmazásnak [6].

A zeolit családot több mint negyven ásvány alkotja. Ezek közül az ásványok közül az egyik az a klinoptilolit, amely kiválóan alkalmazható állattenyésztésnél, mint takarmányozási adalékanyag, szenny- és uszodavíz tisztításra, szennyvíziszap kezelésére és nehézfémek megkötésére, kerti tavak szűrésére, a fagyos, csúszós utak síkosság- és jégmentesítésére. Ezeket túl alkalmazzák szagelszívó anyagok gyártásánál, a benzinyártásnál, katalizálásnál, és a talaj nyomelemeinek pótlására.

A természetes zeolitok keletkezésük során sokféle fémiont kötöttek meg ioncserepozícióban, azaz nagy a nyomelem-tartalmuk. Ezen tulajdonságuk az alapja annak, hogy a nagy bányászható készletekkel rendelkező országokban (USA, Japán, Kuba stb.) talajjavítóként, illetve állati takarmányok adalékanyagaként is széles körben használják. A mezőgazdaságban továbbá műtrágya hordozóanyagként is alkalmazható [3]

A zeolitok egyik legfontosabb tulajdonsága, hogy a vázukat alkotó AlO_4 és SiO_4 tetraéderek térbeli kapcsolódása úgy jön létre, hogy a zeolitok kristályrácsa csatornákat és üregeket tartalmaz, amelyeket a természetbeni keletkezés és a mesterséges előállítás során egyaránt vízmolekulák töltenek ki. Ha a zeolitokat $300\text{--}400^\circ\text{C}$ -ra melegítve a vizet eltávolítjuk (aktiválás), több száz m^2/g felületű szelektív adszorbenshez jutunk. Az egyedülálló szelektivitás annak köszönhető, hogy egy típusú zeolitra csak egyfajta pórusméret jellemző, ellentétben más, klasszikus adszorbensekkel (például szilikagél, aktív szén), amelyekre széles pórusméret-eloszlás jellemző (2. ábra).

Ebből adódik a zeolitok szelektív adszorpciós képessége, az ún. molekulaszűrés, ugyanis az a molekula, amelyik befér az adott zeolit pórusába, ott adszorbeálódik, amelyik nem, az pedig áthalad az adszorbens szemcsék között az oszlopon.



2. ábra. A pórusok méreteloszlása különböző adszorbensek esetében [6]

Újabbban kiterjedten alkalmazzák a zeolitokat kommunálisan vagy iparilag szennyezett vizek, sőt a nukleáris ipar vizeinek tisztítására [1]. Az így koncentrált radioaktív hulladékot betonba ágyazva tárolják. Ha zeolitokkal végzik az ioncserét, akkor később a betonból való kioldódás veszélye sokkal kisebb egy alumínium-szilikát (zeolit) esetén, mint szerves ioncserélő műgyantát használva.

Különböző, zeolittartalmú patronokat használnak a hűtőszekrények hűtőfolyadékának, a járművek fékrendszerének, légkondicionáló berendezések zárt cirkulációs körében és transzformátorolajoknál az esetleg bekerülő víz megkötésére. Valamint szintén zeolitokat használnak szárító anyagként dupla falú ablakoknál is [6]. Az építőiparban cementhelyettesítő anyagként is kísérleteznek vele [4].

Mindezen felhasználási módok alapja a megfelelő finomságú, szemcseméret- eloszlású zeolit termékek előállítása, amely szemcseméret csökkentő eljárással, azaz aprítással valósítható meg. A finomórlés egy rendkívül energiaigényes folyamat, ahol a folyamat optimalása nagy kiadáscsökkenést eredményezhet [7]. Emellett, a nagy őrlési igénybevételek hatására elkerülhetetlen a malombélés és az őrlőtestek kopása. Mindezek ellenére is szükséges zeolit mikro- és nanoőrleményeket előállítani, hiszen számos iparág felhasználja ezeket; ilyen a vegyipar, gyógyszeripar, kerámiaipar, élelmiszeripar. A tervezés szempontjából lényeges az őrlés fajlagos energiaszükségletének meghatározása mellett ismerni az anyag diszperzitás állapotának jellemzőit, mint a szemcseméret, fajlagos felület, szemcsealak, valamint az anyag strukturális sajátosságait, mint a kristályszerkezet, amorfitás, szövetszerkezet, szemcsén belüli inhomogenitás, rétegzettség

A kísérletek célja a nedves üzemű keverőmalommal történő őrlés, elsősorban a szemcseméret-eloszlás, a felhasznált fajlagos energia és keletkezett fajlagos felület vizsgálata, valamint azok összefüggéseinek leírása.

2. MINTAANYAG

A mintaanyag Mádról származó zeolit volt. A szemcsesűrűsége piknométerrel mérve $2,22 \text{ g/cm}^3$, nedvességtartalma $1,6 \%$ 105°C -on tömegállandóságig mérve. A kiindulási anyag medián szemcsemérete $x_{50} = 18,03 \text{ }\mu\text{m}$, 80% -os szemcsemérete pedig $x_{80} = 57,86 \text{ }\mu\text{m}$. A

szemcseméret eloszlásból számított fajlagos felülete 0,33 m²/g. Az oxidos és ásványi összetétele a következő táblázatokban (1. a. és b.) látható.

Fázis neve	[m/m%]
Klinoptilolit	25,3
Kvarc	4,5
Szemktit 15A	12,7
Cristobalite magas hőmérsékletű	21,4
Cristobalite alacsony hőmérsékletű	11,5
Tridimit	1,0
Tridimit alacsony hőmérsékletű	2,9
Mikroklin	2,4
Albit	3,0
Kalcit	0,6
Szemktit 14A	7,7
Amorf	7,0
	100,0

Oxidok	[m/m %]	Elemek	[ppm]
SiO ₂	74,7	Cu	6
Al ₂ O ₃	13,2	Zn	67
MgO	0,96	Pb	44
CaO	1,54	Rb	194
Na ₂ O	0,19	Sr	437
K ₂ O	1,53	Ba	143
Fe ₂ O ₃	1,54	Cr	>5
MnO	0,035	Co	>5
TiO ₂	0,092	Ni	>5
P ₂ O ₅	0,017	Zr	182
Σ	93,834		

1. táblázat. a. A mintaanyag ásványi összetétele XRD vizsgálat alapján (balra)
b. A mintaanyag oxidos összetétele, XRF mérések eredményei (jobbra)

Az 1. a. táblázat tartalmazza a mintaanyag ásványi összetételét XRD vizsgálat alapján. Látható, hogy a fő ásványok a klinoptilolit 25,3 m/m%, cristobalite (alacsony és magas hőmérsékletű) 32,9 m/m% és szemktit 20,4 m/m%, valamint az amorf tartalom 7 m/m%.

3. ESZKÖZÖK, VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

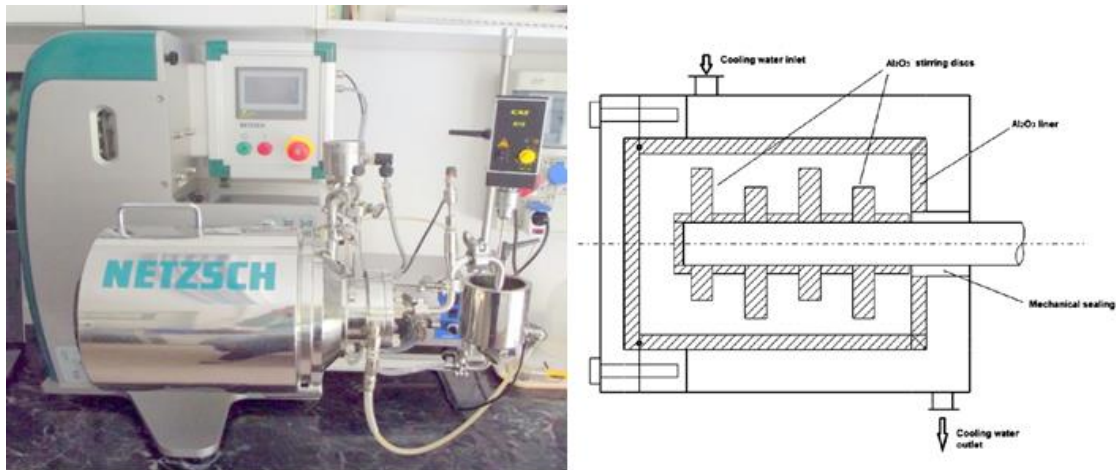
A szubmikronos és nano-mérettartományú őrlmények előállítására leggyakrabban alkalmazott berendezések egyike az ún. keverőmalom. A keverőmalom alkalmazása és felépítése viszonylag egyszerű és az energiafelhasználásuk is igen kedvező, ezért is kerültek az utóbbi években előtérbe. A keverőszerkezet és az őrlőtestek egyidejűleg működnek, ami megnöveli az aprítási eredményt és csökkenti az őrlési időt. Mivel a keverő golyósmalmokban nagyobb az energiasűrűség, így finomabb szemcseméret-eloszlást érhetünk el, mint a hagyományos golyós malmok használata során.

Az aprítási eredményt elsősorban a bevezetett fajlagos energia határozza meg. Nedves őrlés során a malmokban a szemcseaprításra fordított energiát elsősorban az őrlőtestek, ill. az őrlőtestek és az őrlendő anyag között fellépő súrlódási folyamat és részecskeütközések, valamint a folyadéksúrlódás emésztí fel.

A Netzsch MiniCer keverőmalom műszaki adatai	
Hajtómotor teljesítménye (kW)	1,5
Fordulatszám tartomány (ford./perc)	1000-4200
Őrlőtest átmérője (mm)	0,05-2,00
Őrlőtest minimális térfogata (ml)	140

Folyamatos üzem feladási térfogata (ml)	250-500
Szakaszos üzem feladási térfogata (ml)	135-140

2. táblázat. A Netzsh MiniCer keverőmalom műszaki adatai



1. ábra. A Netzsh MiniCer keverőmalom

A Netzsch Mini Series malom (3. ábra) segítségével mikro- és nano méretű szemcséket reprodukálhatunk. Mini- és Micro-Cer esetén az őrlőtér fémettől mentes oldószerben történő finomőrlésre szolgál, ahol a kamra ZrO-ból vagy SiC/Si₃N₄-ből készül. A berendezés alkalmas szerves és szervetlen pigmentek, tintasugaras nyomtatók festékpátron festékének gyártására, ill. kitűnően alkalmazható technikai és elektronikai kerámiák, LCD képernyők és többrétegű kerámia kondenzátorok alapanyagának előállítására. A készülékre jellemző technikai adatok az 2. táblázatban vannak feltüntetve.

Az alkalmazott szilárd anyagok szemcseméret eloszlását Horiba LA-950 V2 típusú lézeres szemcsenagyság elemző segítségével határoztuk meg, ami egy lézersugár elhajlason alapuló spektrométer. A szemcsét érő lézersugár a szemcsével történő találkozásakor elhajlik.

Mind száraz, mind nedves üzemben is képes mérni a készülék, ugyanis száraz közegű diszpergáló egysége is van, azonban folyadék (pl. desztillált víz) használatával, a szemcsék jobban diszpergálódnak, ebben az esetben ultrahangot és nátrium-pirofoszfát oldatot (50g/l) is alkalmazhatunk a szemcsék diszpergálására. Ha a szemcsék vízben oldódnak denaturált szeszt, vagy nagy tisztaságú alkoholt is alkalmazhatunk. A készülék mérőtartománya 10 nm és 3 mm közé esik. A berendezés térfogat szerinti szemcseméret eloszláson kívül darabszám szerinti eloszlást is képes mérni, valamint geometriai fajlagos felületet számítani. A szemcseméret eloszlásszámításához Mie-féle matematikai modellt alkalmaztuk.

4. KÍSÉRLET

A laboratóriumi kísérlet során az őrlés 180 percig tartott, mindeközben 11 időpontban vettünk mintát 1, 3, 5, 10, 15, 30, 60, 90, 120, 150 és 180 perc elteltével, majd meghatároztuk az őrlmények szemcseméret eloszlását és kiszámítottuk geometriai fajlagos felületüket. A kísérletek során mértük a felhasznált elektromos munkát. Az őrlőtestek fizikai tulajdonságait (szemcsesűrűség, halmazsűrűség, porozitás) a 3. táblázat tartalmazza. A rotor kerületi sebességét az előzetes eredményeink alapján 9,3 m/s-ra választottuk, az őrlési kísérlet további paramétereit az 4. táblázat tartalmazza.

Örlőtest mérete	Szemcsesűrűség ρ_{GM} [kg/m ³]	Halmazsűrűség [kg/m ³]	Porozitás [-]	Malom töltési fok [-]
0,5-0,6 mm	6060	3750	0,38	0,7

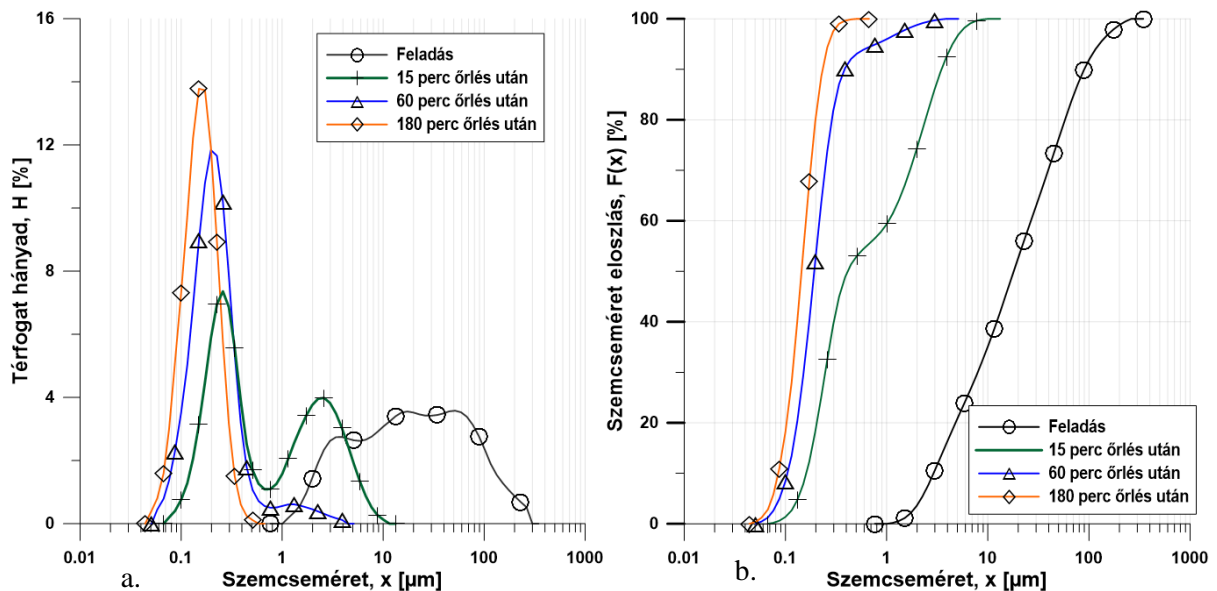
3. táblázat Az itriummal stabilizált cirkónium-oxid örlőtestek fizikai tulajdonságai

Rotor kerületi sebessége [m/s]	Zeolit szemcse sűrűsége [kg/m ³]	Feladási koncentráció [m/m%]	Feladási koncentráció [v/v%]	Örlési idő [min]
9,3	2200	10	4,8	180

4. táblázat Az örlési kísérlet főbb paraméterei

5. EREDMÉNYEK

Az őrlemények térfogathányadai kezdetben, a rövidebb örlési időknél multimodális jellegűek, majd az örlési idő előrehaladtával egyre inkább unimodális jelleget mutatnak. Ez a bimodalitás a 180. percben vett mintánál már teljesen eltűnt (4. ábra). A feladás x_{50} medián szemcsemérete 18,03 μm volt, 180 perc elteltével 0,14 μm -re csökkent. A kísérlet során az első 15 percben lezajlott a gyors szemcseméret csökkenés, majd a szemcsehalmaz egyre szűkebb szemcseméret frakcióba koncentráldott.



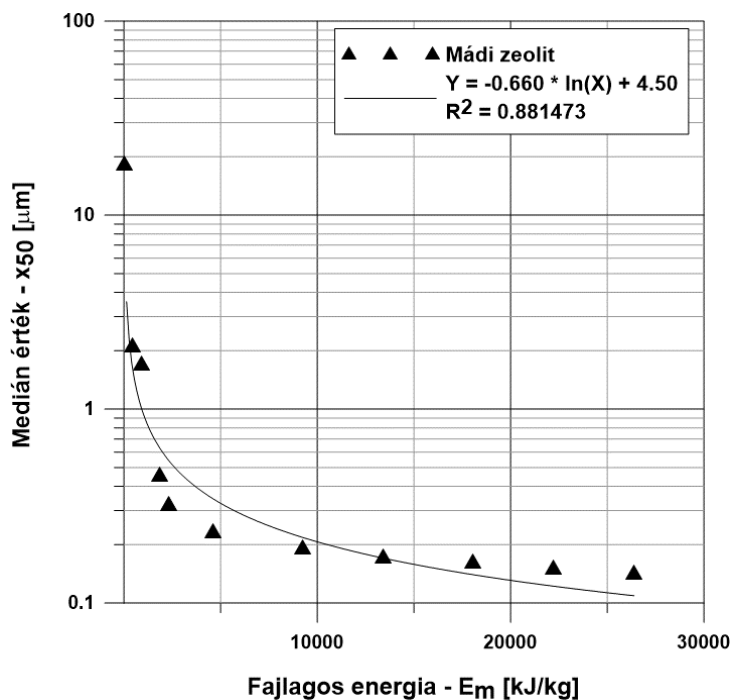
4. ábra. Térfogathányad (a.) és kumulált szemcseméret eloszlás (b.) a szemcseméret függvényében

Az 6. ábrán látható, hogy miként csökken az őrlemény medián szemcsemérete a fajlagos örlési energia növekedésével. Az örlés kezdetén kis energia befektetés hatására is jelentős a

szemcseméret csökkenés. Megállapítható, hogy 30 perc őrlés, 4600 kJ/kg fajlagos energia befektetés követően a 0,2 μm-es medián szemcseméretet elérve, további jelentős energia befektetés hatására sem csökken számottevően a medián értéke, ugyanis 180 percőrlés után a medián értéke 0,14 μm, 27 000 kJ/kg fajlagos energia befektetés árán. A medián értéke és a fajlagos energia kapcsolata az alábbi egyenlettel írható le:

$$Y = -0,660 * \ln(X) + 4,50 \quad (1)$$

ahol a korrelációs együttható értéke $R^2 = 0,88$ -ra adódott.

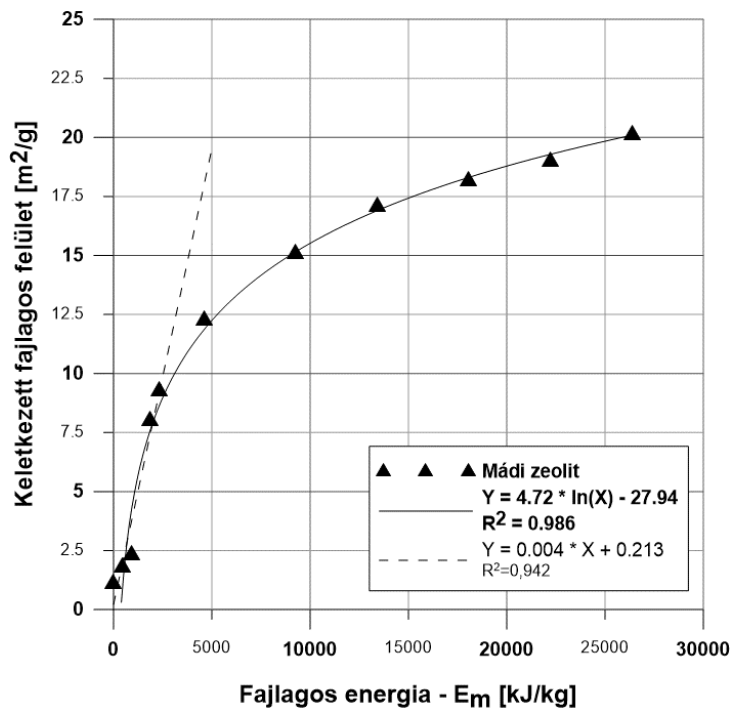


6. ábra. A termék finomság és a fajlagos energia kapcsolata

Felmerül a kérdés, hogy az őrlési szemcseméret határ őrléstechnikai, mérés technikai vagy ásványtani probléma-e. Ennek a megválaszolása a jövőben további vizsgálatokat igényel eltérő módon működő szemcseméret elemző módszerrel valamint ásványtani mérési módszerekkel (SEM, TEM, XRD, FTIR).

A medián szemcseméret mellett másik fontos paraméter, ami jellemzi az őrlés finomságát, a fajlagos felület. A fajlagos felület az egységnyi tömegű anyag felületét jelenti (esetünkben m²/g mértékegységgel szerepel). Számítását a lézeres szemcseméret elemző berendezés végzi matematikai úton a mért szemcseméret eloszlások adataiból. Jobban jellemzi az őrlés finomságát, mint a mértékadó szemcseméret, ugyanis az egész szemcsehalmazra vonatkozik.

Az őrlés megindulásakor az anyag jelentősen finomodik, az őrléshez szükséges munka megközelítőleg lineárisan arányos a létrejött új felülettel, azaz a képződő őrlemény diszperzitásfokával. Ezen a szakaszon, melyet Rittinger-szakasznak nevezünk, a részecske-kölcsönhatás elhanyagolhatóan kicsi. Az őrlés előrehaladtával, az őrlemény diszperzitásfokának növekedésével csökken az anyag hibahelysűrűsége és nő a törési szilárdság. A keletkezett fajlagos felület görbéjének laposodása arra mutat, hogy az őrléshez szükséges munka és a létrejött új felület közötti arányosság megszűnt, de a diszperzitásfok növekedése ennek ellenére még mindig jelentős [8].



7. ábra. A keletkezett fajlagos felület a fajlagos energia függvényében

Az őrlés során befektetett energia növekedésével egyre nagyobb fajlagos felületet érünk el, a folyamat elején még kisebb energiabefektetés árán (7. ábra). A Rittinger szakasz 2500 kJ/kg fajlagos energiáig, és 9 m²/g keletkezett fajlagos felületig tartott. A keletkezett fajlagos felület és a fajlagos energia kapcsolatát az alábbi egyenlet írja le:

$$Y = 4,72 \ln x - 27,94 \quad (2)$$

ahol a korrelációs együttható $R^2 = 0,986$ értéket éri el, ami kifejezetten jó egyezőséget mutat a fenti paraméterek között.

ÖSSZEFOGLALÁS

A kísérleti eredmények alapján megállapítható, hogy az őrlmények térfogat hányadai a rövidebb őrlési időknél bimodális jellegűek, majd az őrlési idő előrehaladtával egyre inkább unimodális alakot mutatnak. Az őrlés kezdetén kis energia befektetés hatására is jelentős a szemcseméret csökkenés. Megállapítható, hogy 30 perc őrlés, 4600 kJ/kg fajlagos energia befektetés követően a 0,2 μm-es medián szemcseméretet elérve, további jelentős energia befektetés hatására sem csökken számottevően a medián értéke, ugyanis 180 percőrlés után a medián értéke 0,14 μm, 27 000 kJ/kg fajlagos energia befektetés árán. A szemcseméretben elért határ jelenségének magyarázata a további terveink közt szerepel. A Rittinger szakasz 2500 kJ/kg fajlagos energiáig, és 9 m²/g keletkezett fajlagos felületig tart.

További terveink közt szerepel az anyagszerkezeti változások nyomon követése FT-IR, XRD, SEM és TEM vizsgálatokkal, továbbá a szuszpenzió reológiájának tanulmányozása a malomhoz kifejlesztett online reométerrel.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **P. MISAEELIDES**, “Application of natural zeolites in environmental remediation: A short review,” *Microporous Mesoporous Mater.*, vol. 144, no. 1–3, pp. 15–18, Oct. 2011.
- [2] **M. I. Carretero and M. Pozo**, “Clay and non-clay minerals in the pharmaceutical industry,” *Appl. Clay Sci.*, vol. 46, no. 1, pp. 73–80, Sep. 2009.
- [3] **M. REHÁKOVÁ, S. ČUVANOVÁ, M. DZIVÁK, J. RIMÁR, and Z. GAVAL’OVÁ**, “Agricultural and agrochemical uses of natural zeolite of the clinoptilolite type,” *Curr. Opin. Solid State Mater. Sci.*, vol. 8, no. 6, pp. 397–404, Dec. 2004.
- [4] **L. E. BURRIS AND M. C. G. JUENGER**, “The effect of acid treatment on the reactivity of natural zeolites used as supplementary cementitious materials,” *Cem. Concr. Res.*, pp. 1–9, 2015.
- [5] **M. I. CARRETERO AND M. POZO**, “Clay and non-clay minerals in the pharmaceutical and cosmetic industries Part II. Active ingredients,” *Appl. Clay Sci.*, vol. 47, no. 3–4, pp. 171–181, Feb. 2010.
- [6] **I. HANNUS**, “ZEOLITOK ÉS ZEOLITSZERŰ MEZOPORÓZUS ANYAGOK,” *Magy. Tudomány*, vol. 173.
- [7] **Á. RÁCZ**, “A szubmikronos száraz keverőmalmi őrlés lehetőségei és problémái,” *Építőanyag*, vol. 62, no. 2, pp. 46–49.
- [8] **Z. JUHÁSZ AND L. OPOCZKY**, *Szilikátok mechanikai aktiválása finomőrléssel*. Akadémiai Kiadó, 1982.

HIDROGEOLÓGIAI SZEMPONTOK A ZÁRT PRIMEROLDALI KIÉPÍTÉSŰ GEOTERMIKUS HŐSZIVATTYÚS RENDSZEREK TELEPÍTÉSÉBEN

HYDROGEOLOGICAL ASPECTS IN THE INSTALLATION OF CLOSED-LOOP GROUND-COUPLED HEAT PUMP SYSTEMS

BUDAY Tamás¹, KOVÁCS Réka Lilla²

¹tanársegéd, buday.tamas@science.unideb.hu
¹Debreceni Egyetem, Ásvány- és Földtani Tanszék

²hallgató, kov.reka.93@gmail.com
²Debreceni Egyetem, Ásvány- és Földtani Tanszék

Kivonat: A zárt primeroldali kiépítésű hőszivattyús rendszerek nem igényelnek speciális földtani feltételeket, így klasszikus értelemben vett (víz)rezervoárra sincsen szükség, ugyanakkor a terület geológiai viszonyai meghatározzák a méretezést. Emellett a hidrogeológiai viszonyok is jelentősen befolyásolhatják a kiépítést, bár a méretezési szabványok erre kevésbé térnek ki. Tanulmányunkban néhány ilyen jelenség (pl. horizontális vízáramlás, talajvízszint-változás, kapilláris vízemelés) hatását mutatjuk be a rendszerek működőképességére, valamint a kiépítések hatását vizsgáljuk a természetes és mesterséges vízáramlási rendszerekre.

Kulcsszavak: hidrogeológia, geotermikus hőszivattyú, hővezetési tényező, vízbázisvédelem

Abstract: Installing ground source heat pumps with closed ground loop does not require specific geological conditions, thus it does not need conventional (water) reservoir, however geological conditions of its location determine the designing. Beside these hydrogeological conditions could influence the installation, although design standards slightly contain hydrogeological aspects. In this study some hydrogeological phenomena (e.g. horizontal seepage, groundwater level oscillation, capillarity) are presented which have effect on the operation of the ground coupled heat pump systems, in addition the systems' effects on the natural and artificial flow are also presented.

Keywords: hydrogeology, ground source heat pump, thermal conductivity, water source protection

1. BEVEZETÉS

Hazánk kedvező geotermikus adottságai az átlagosnál jóval vékonyabb, mindössze 25–27 km vastag földkéregnek köszönhetőek. A geotermikus gradiens értéke Magyarország felszíne alatt elérheti a 60 °C/km-es értéket, amely világviszonylatban is jelentősnek mondható. Felszín alatti vízkészletünk, mely fontos szerepet tölt be a hő felszín felé való áramoltatásában, alapvetően triász mészkő, és felső-pannóniai homok-homokkő rétegekben tárolódik [1].

A geotermikus energiahasznosítás során a természetesen vagy mesterségesen felszínre kerülő víz/gőz energiáját használjuk fel elektromos áram termelésére, illetve közvetlen hőhasznosításra, vagyis a termálvizek fürdőkben, fűtési hálózatokban, ipari rendszereken való kiaknázására. A fosszilis energiahordozók készleteinek kimerülésével, a környezetvédelmi szempontok előtérbe kerülésével a fentiek kiegészülnek a vertikális földhőszondák és a horizontális talajkollektorok fűtési-hűtési célú alkalmazásával. Segítségükkel csökkenthető az épületek földgáz és csak nagy energia veszteségekkel szállítható távhő felhasználása [2].

A geotermikus hőszivattyús rendszerek telepítésénél azonban számos hidrogeológiai kérdés felmerülhet, amit a tervezők nem, vagy csak korlátozottan tudnak figyelembe venni. Tanulmányunk célja, hogy néhány ilyen problémára felhívjuk a figyelmet.

2. GEOTERMIKUS HŐSZIVATTYÚS RENDSZEREK MŰKÖDÉSÉNEK ÉS TELEPÍTÉSÉNEK FÖLDTANI-HIDROGEOLÓGIAI HÁTTERE

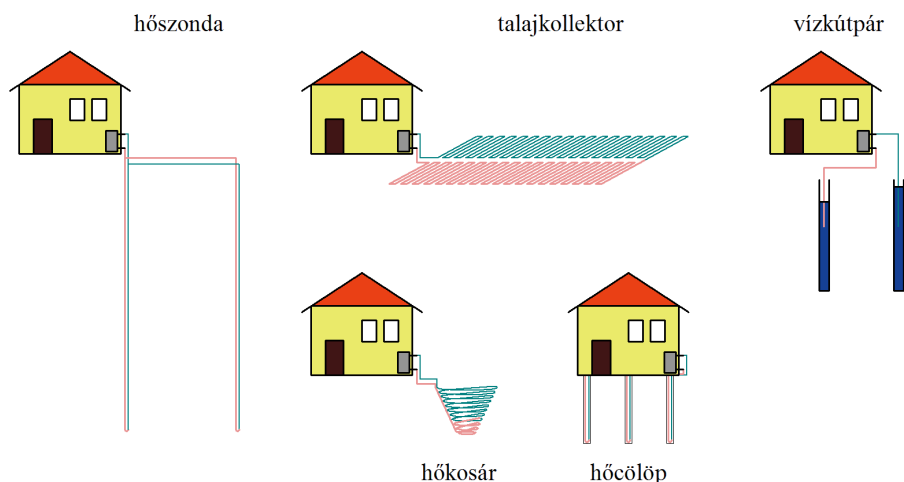
A geotermikus hőszivattyúk a talajból, kőzetekből közvetlenül nem hasznosítható hőt vonnak el, és külső energia felhasználásával alakítják hasznosítható hővé. A leggyakoribb típusok a kompresszoros hőszivattyúk, melyek munkakörének legfontosabb részei: az elpárologtató (primer oldali hőcserélő), a kompresszor, a kondenzátor (szekunderoldali hőcserélő) és az expanziós szelep. A primeroldali rendszerben vagy hőközvetítő folyadék áramlik (zárt rendszer, talajalapú hőszivattyúk), vagy nyitott rendszerek (talajvízalapú hőszivattyúk) esetében az maga a hőforrás [3].

Zárt rendszerek lehetnek vertikális, horizontális és a kettő közötti átmeneti kialakításúak. Közös jellemzőjük, hogy zárt csőkiágásokat telepítenek a felszín alá, a hőcsere ezeken keresztül történik. A hőszondák akár 100–150 m mélységig leérnek, aljukon összekapcsolt csőpárokból állnak. A talajkollektorok telepítési mélysége 1,5–3 méter, horizontális vetületük a hőigénytől függően akár több száz m² is lehet. A két típus közötti átmenetet az 5–20 méter mélységbe telepített spirálisan feltekert csövekből képzett hőkosarak, hőcölöpök adják (1. ábra).

A zárt csőkiágóhoz az energia hővezetéssel vagy hőáramlással jut el, ezért lényeges ismerni a felépítő rétegsor hővezetési tényezőjét, illetve a felszín alatti vízmozgás jellegét. Míg a hővezetés egy lassú, de a rendszer által szabályozható dinamikájú hőtánpótlódást jelent, addig az áramló víz gyorsabb, de külső körülményektől függő hőterjedés, a tervezés során hatását csak mérsékelten szokták figyelembe venni.

A geotermikus hőszivattyús rendszerek primeroldal mérete elsősorban a környező közeg hőleadó-képességétől, a maximális teljesítményigénytől és a rendszer üzemóraszámától függ [3]. Míg jó hőleadást a vízzel telített kavicsos-homokos rétegek vagy kompakt kőzetek biztosítanak, addig a háromfázisú zóna hőleadó képessége jelentősen kedvezőtlenebb.

Az egyes primeroldali kiépítéseket eltérő hidrogeológiai problémák érintenek érzékenyen, így várható, hogy a hidrogeológiai szempontok szélesebb körű beépülése a tervezői gyakorlatba azt fogja eredményezni, hogy a primeroldali kiépítési módok közötti választás nagyobb arányban hidrogeológiai szempontok figyelembevételével fog történni.



1. ábra. Geotermikus hőszivattyús rendszerek jellemző kialakításai

3. A FELSZÍN ALATTI VIZEK HATÁSA A RENDSZEREK TELEPÍTÉSÉRE

3.1. A hővezetési tényező változása a víztelítettség függvényében

A felszín alatti térrész hővezetési tényezőjét elsődlegesen a közeg alkotóinak hővezetési tulajdonságai, illetve azok térfogati aránya határozza meg. A hőkivétel időtartományát (1–50 év) figyelembe véve a szilárd alkotók összetételüket, szerkezetüket és térfogatarányukat tekintve stabilnak tekinthetők, a gyorsabb ütemű változások a pórusterben következnek be. A nyílt tükrű vízáradókban ezek közül a legfontosabb a póruster víztelítettségének változása, mely a talajvíz szintjének növekedéséhez vagy csökkenéséhez kapcsolódik.

Nyílt tükrű rendszerekben a vízszint felett kialakul a kapilláris zóna, melynek alsó részén, az úgynevezett zárt kapilláris zónában minden pórus telített, míg a nyílt kapilláris zónában a nagyobb pórusok már szárazak, sőt, a nyílt kapilláris zóna felső részében már csak a legkisebb póruscsatornában van víz [4]. Ennek megfelelően a kis pórusátmérővel rendelkező finomszemű üledékekben a legnagyobb a kapilláris vízemelés (1. táblázat). A kapilláris zóna felett már csak a függőkapillárisokban található nem szivárgó pórusvíz. Hővezetés szempontjából a zárt kapilláris zóna a talajvízszint alatti zóna paramétereivel rendelkezik, a nyílt kapilláris zóna hővezetési tényezője a víztelítettséggel, így a mélységgel változik, míg az aerációs zóna a száraz, laza üledékek kis hővezetési tényezőjével jellemezhető.

A talajvíz mozgását a kapilláris zónák határainak mozgása csak késleltetve és a változásokat mérsékelve követi, különösen a pélitekekben. Ennek oka az, hogy az agyagokban, iszapokban a kapilláris vízemelés sebessége több nagyságrenddel kisebb, mint a homokokban, ráadásul a fajlagos felület és az agyagásvány-tartalom növekedése miatt a gravitációs leürülés utáni víztelítettség is nagyobb (1. táblázat). Ennek megfelelően a víztartalmuk még a nyílt kapilláris és az aerációs zónában is 70 % felett lehet [4,5,6].

		homok	iszap	agyag
kapilláris vízemelés (cm)	5 h után	30–50	15–25	4–8
	24 h után	30–50	120–130	50–70
	600 h után	30–60	150–200	80–100
	maximális	30–60	200–300	>1500
gravitációs leürülés utáni víztelítettség (%)		10–15 %	70–90 %	100 %

1. táblázat. A kapilláris vízemelés nagysága és a gravitációsan le nem ürülő víz aránya különböző üledékek esetén [4,5,6]

A jelenséget két elméleti modell és laborkísérletek alapján vizsgáljuk. De Vries modellje [7] szerint a talaj hővezetési tényezője az öt alkotó komponensek, azaz levegő, víz és szilárd szemcsék hővezetési tényezőjének súlyozott átlaga.

$$\lambda = \frac{\sum_i k_i V_i \lambda_i}{\sum_i k_i V_i} \quad , \quad (1)$$

ahol:

- λ – az eredő hővezetési tényező [W/(m·K)];
- λ_i – az i-edik komponens hővezető képessége [W/(m·K)];
- V_i – az i-edik komponens térfogati aránya [m³/m³];
- k_i – az i-edik súlyozó faktor, melyet a hővezetési tényezők aránya és az egyes frakciók aránya határoz meg (részletesen [7]).

Johansen [8] számításai alapját a telített és a vízmentes üledék hővezetési tényezői és a víztelítettség adja:

$$\lambda_{sat} = \lambda_s^{1-n} \cdot \lambda_w^n, \quad (2)$$

$$\lambda = (1 + \lg S_w) \cdot (\lambda_{sat} - \lambda_d) + \lambda_d, \quad (3)$$

ahol:

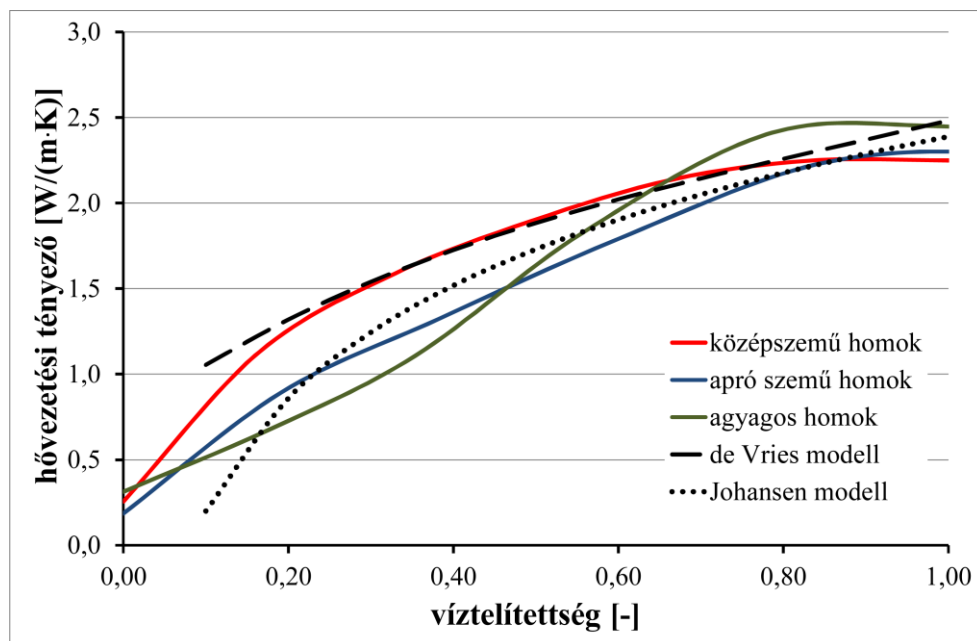
- λ – az eredő hővezetési tényező [W/(m·K)];
- λ_{sat} – a telített üledék hővezetési tényezője [W/(m·K)];
- λ_s – a szilárd fázis hővezetési tényezője [W/(m·K)];
- λ_w – a víz hővezetési tényezője [W/(m·K)];
- λ_d – a száraz üledék hővezetési tényezője [W/(m·K)];
- n – a minta teljes porozitása [-];
- S_w – a minta víztelítettsége [-].

A laboratóriumi mérések során HUKSEFLUX TP08-as túszenzort és TPSYS02 rendszert használtunk, a nem állandósult hővezetésben a fűtött túszenzor hőmérsékletének változásából automatikusan került meghatározásra a hővezetési tényező a 100 s-os mérési idő második felének adatai alapján. A mérés során felhasznált minták:

- középszemű homok, Nagykereki, homokbánya
- apró szemű homok, Napkor, homokbánya
- agyagos homok, Debrecen, sekély fűrés kevert anyaga

A homokokhoz és a homogén méretűre tört agyagos homokhoz légszáraz állapottól 10 ml-enként vizet adagoltuk, majd homogenizálás után azonos mintatartóban történt a mérés. A víztelítettség a kiindulási paramétereiből, az adagolt víz mennyiségéből és a méréssorozat után meghatározott víztartalom értékeiből lett kiszámolva.

Az elméleti modellek, szakirodalmi adatok és saját mérések alapján megállapítható, hogy a vízmentes konszolidálatlan üledékek hővezetőképessége a vízzel telített értékeknél akár egy nagyságrenddel kisebb. A kis víztelítettségű aerációs zóna homokos üledékek esetén hőleadás szempontjából tehát kedvezőtlen, a nyílt kapilláris zóna azonban már kb. 50 %-os víztelítettség mellett a maximális hővezető-képesség 70–80 %-ával rendelkezik (2. ábra) [9]. Ez a víztelítettség a pélitekben gravitációs leürülés után is megmarad, tehát a víztelítettségük és hővezetési tényezőjük a talajvízszint-ingadozásra kevésbé érzékeny (1. táblázat). A jelenségkör elsősorban a talajkollektorok telepítését és működését érinti. A teljesen telített zárt kapilláris zóna és talajvízszint alatti zóna hőkivételbe történő bevonása esetén a felszínközeli primeroldali rendszerek is kedvező feltételek mellett építhetők ki, míg a nagyobb mélységű rendszerek hőcserélő felülete jellemzően a telített zónában található, így csupán a szondák felső részén kell minimális hatékonyságcsökkenéssel számolni.



2. ábra. A hővezetési tényező értékének függése a víztartalomtól, modellezett és a mért értékek

(A modellszámításainkban felhasznált értékek: $\lambda_w=0,6$ (W/m·K), $\lambda_s=6$ W/(m·K), $\lambda_d=0,5$ W/(m·K) és $n=0,4$) [9 alapján]

3.2. A felszín alatti vízmozgás szerepe a rendszerek hőleadó-képességében, a regenerációban és a hőraktározásban

A hőszondák környezetében kialakuló hőmérsékleteloszlás módosulását több hazai kutatócsoport is vizsgálja [10,11]. Kutatásaik elsősorban numerikus modellezésen alapulnak, részletesen megadva az intenzív vízáramlás hatását a hőszonda környezetének hőmérsékletére. Tartósan egyirányú vízmozgás elősegíti a kivett hő viszonylag gyorsan utánpótlódását, kavicsos üledékekben, nagy hidraulikus gradiens mellett előállhat az a jelenség is, hogy magányos szondák hőteljesítménye a csak hővezetéssel utánpótlódó rendszerekkel ellentétben nem romlik. Az ehhez szükséges földtani-hidrogeológiai feltételek viszonylag ritkák, így általában csak hővezetéssel dominált vagy vegyes utánpótlódással kell számolni. Ráadásul a harántolt rétegsorokban kialakuló szivárgási sebességek az agyag- és homokrétegekben több nagyságrenddel eltérnek egymástól – szemben a hővezetési paraméterekkel, melyek egy nagyságrendbe esnek –, azaz a szonda különböző részein eltérő a hővezetés dinamikája, összetett hőmérséklet-eloszlásokat kialakítva. Ennek következtében a hőkivétel során kialakuló hűlési mező nem hengersizmetrikusan alakul ki a szonda körül, hanem az áramlás által mind vertikális, mind horizontális irányban deformáltan.

Magányos szondák esetén fűtési és hűtési szempontból is kedvező a jelenős felszín alatti vízáramlás. Azonban szondamezők kialakítása esetén (illetve a kutatásokban ritkábban vizsgált nagy horizontális kiterjedésű, például talajkollektoros rendszerekben) a hőkivétel miatt lehűlő térrész mozgása érinthet más szondákat, vagy a talajkollektoros mező egyes részeit, hatékonyságsökkenést okozva. Ezekben az esetekben a szondák megfelelő kiosztása, az áramlás sebességéből meghatározott szondatávolság, illetve a nyári hővisszatáplálás segítheti a rendszer regenerálódását. Összességében tehát intenzív felszín alatti vízáramlás esetén mindenképpen kapcsolt hidrodinamikai és hőtranszport modelleket kell használni a méretezés során.

4. A KIÉPÍTÉSEK HATÁSA A TERMÉSZETES ÉS MESTERSÉGES ÁRAMLÁSI RENDSZEREKRE

4.1. A vertikális vízmozgás elősegítése

A felszín alatti víztestekbe, így az azokban kialakuló áramlási rendszerekbe elsősorban a nagyobb mélységbe telepített hőszondák érnek le. Zárt rendszerek lévén a vízmennyiséget, illetőleg a hidraulikus potenciált közvetlenül nem befolyásolják, azaz a horizontális vízáramlási képet csak minimálisan változtatják meg, ugyanakkor a szondák tömedékelésének minőségétől függően szerepük lehet a vertikális vízmozgás elősegítésében. A vertikális vízmozgás beindulásának feltétele, hogy a felszínközeli és mélységi rétegek hidraulikus emelkedési magassága eltérjen, és ne legyenek horizontális kiterjedésű vízzáró rétegek. Ha a felszín közeli zónában magasabb a hidraulikus emelkedési magasság, akkor lefelé irányul a vízmozgás, míg ha alacsonyabb, akkor felfelé történik a vízszivárgás.

A szondák elhelyezésére kialakított lyukat többféle módszerrel szokás tömedékelni [3]. Szabványok és ajánlások szerint laza üledékes környezetben a fűróiszappal kitöltött lyukba kell a nehezekkel ellátott és vízzel feltöltött, távtartókkal ellátott hőcserélő csöveket beengedni, ügyelve arra, hogy törés és karcolás ne kerülhessen a csőpalástra, majd a lyukat (termikusan javított) tömedékelő anyaggal egy segédcsövön keresztül alulról fölfelé kell feltölteni. Hazai viszonyok között 20 méternél mélyebben elhelyezett zárt hőcserélők esetén a kiépítés engedélyköteles, melyben ezeket a feltételeket előír(hat)ják. Ezzel szemben előfordul(hat), hogy a kiépítés gyorsítása és olcsóbbá tétele miatt a kiépítés során a csöveket letolják a lyukba távtartók nélkül, és a tömedékelés felülről, a kifűrt üledékből készített zaggyal történik.

A tömedékeléssel szemben elvárás a jó hővezetési tényező, mely kvarchomok adagolásával, illetve a vízzáró képesség, mely az agyagtartalom növelésével érhető el, azaz egyszerre mindkét feltételnek nem lehet megfelelni. Ráadásul a felülről történő tömedékelés esetén a tömedékelő anyag folytonossága is megszakadhat, ami lerontja a hőcserét, ráadásul könnyebbé teszi a vertikális vízmozgást és a későbbi tömörödés statikai problémákat is okozhat. Homogén tömedékelés esetén a hőszondák környezetének szivárgási tényezője termikusan javított tömedékelő anyag és a fűrés során felhozott anyag kevert visszajuttatása esetén is jellemzően 10^{-7} – 10^{-5} m/s nagyságrendű, azaz lehetővé teszi a lassú szivárgást, a vízzáró rétegek folytonosságát pedig megszakítja. A kiépítés alternatívájaként megjelenhetne a bélésű cső beépítése és a bélésű csövön belül termikusan javított tömedékelő anyag használata, ugyanakkor ez jelentősen megdrágítja a kiépítést és a bélésű cső nem megfelelő cementezése miatt hasonló probléma alakulhat ki, mint a bélésű cső nélküli változatoknál.

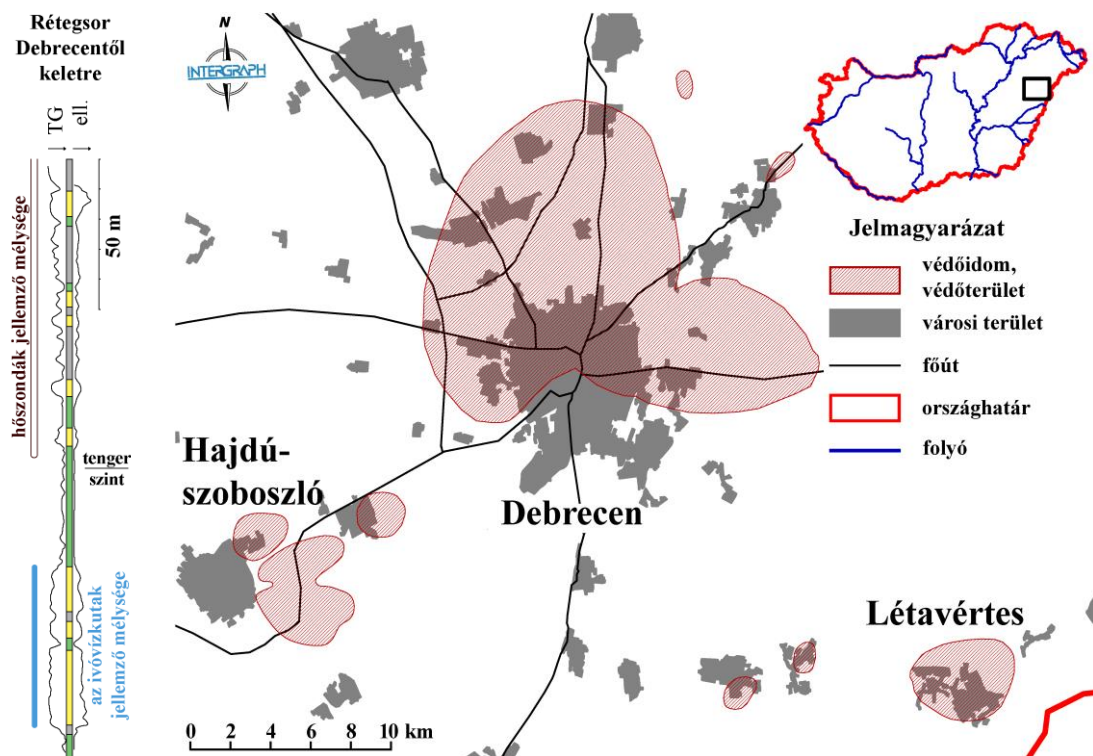
4.2. Vízbázisvédelmi kérdések

A felszínhez legközelebb eső rétegek vizei fokozottan szennyezésérzékenyek, az ipari, urbanogén és mezőgazdasági eredetű anyagok egyaránt veszélyt jelentenek rájuk. Az 1995. évi LVII. törvény a vízgazdálkodásról kimondja, hogy vizeket a vízkivétel védőidomainak, védőterületének kijelölésével és fenntartásával fokozott védelemben és biztonságban kell tartani (14. §), továbbá a felszín alatti vizet csak úgy szabad igénybe venni, hogy a vízkivétel és a vízutánpótlás egyensúlya minőségi károsodás nélkül megmaradjon, és teljesüljenek a vizek jó állapotát biztosító követelmények (15. §). A vízbázisok védelméről szóló 123/1997. kormányrendelet részletesen leírja a vízbázisvédelmi zónák és területek kialakítására vonatkozó szabályokat, illetve az adott területeken feltételekkel végezhető, illetve tiltott

tevékenységeket. Ezek alapján a vízbázisvédelmi B védőövezetekben a fúrási tevékenységek „Új vagy meglévő létesítménynél, tevékenységnél a környezeti hatásvizsgálat, illetve a környezetvédelmi felülvizsgálat, illetve az ezeknek megfelelő tartalmú egyedi vizsgálat eredményétől függően megengedhető” kategóriába esnek.

A vízbázisvédelmi területek az ivóvíztermelő kutak környezetében jelennek meg. A rezervoároknak a termelés következtében nyomáscsökkenés következik be. Ez elősegítheti a lefelé irányuló hidraulikus gradiens kialakulását, illetőleg a gradiens értékének növekedését, így a talajvíz felől áramlás indulhat a rétegvizek felé (pl. Debrecen területén [11]). A vízmozgás elősegítheti a szennyezéseknek a rezervoár irányába történő migrációját. Emellett probléma lehet a szondában keringtetett folyadék haváriaesemény során történő kijutása is. Ennek tükrében a vízbázisvédelmi területeken a hőszondák kiépítése jelentősen korlátozódik.

A települések belterületének és a vízbázisvédelmi területeknek az elhelyezkedése alapján a települések több csoportba oszthatók. A hőszivattyús hasznosítás szempontjából kedvező esetben a településen nincs ivóvíz-kivétel, vagy csak a település kis részét érinti. Ez utóbbira példa Hajdúszoboszló (3. ábra). Kedvezőtlen esetben a település nagy részét, vagy a teljes területét érinti a vízbázisvédelmi korlátozás (pl. Debrecen, illetve Létavértes).



3. ábra. A vízbázisvédelmi területek elhelyezkedése Debrecen környezetében és egy jellegzetes rétegsor

A jogszabályok alapján lényeges lehet, hogy a hőszonda kiépítés eléri-e a rezervoár fedőjét. Kutatási területünkön a középső-pleisztocén finomabb szemű rétegek tekinthetők a vízműrétegek fedőjének, tetőszintjük mélysége a kifejlődéstől függően 50–100 m mélyen található, abban a zónában, amit általában a hőszondatelepítésre még felhasználnak [13].

ÖSSZEFOGLALÁS

A hőszivattyús rendszerek kiépítési lehetőségeit és üzemeltetését számos hidrogeológiai jelenség befolyásolja. Ezek közül a jelenleg használt méretezési módszerek közvetlenül csak

az intenzív (talaj)vízmozgást veszik figyelembe, ez azonban teljes rétegsorban hazai viszonyok között nem jelenik meg. A telítetlen zóna kiterjedésének változása elsősorban a kis mélységű rendszereknél lehet problémás, különösen ott, ahol a mély talajvíz mérnökgeológiai szempontból kívánatos (pl. a hőcserélő felületeket az épület alatt akarják kialakítani). Hőszondák esetén a telítetlen zóna kiterjedése a szonda hosszának jellemzően kevesebb, mint 5 %-a, így ez csak kis hatékonyságcsökkenést okoz.

A hőszondás hőszivattyús rendszerek telepítésénél fellépő legjelentősebb problémának a vízbázisvédelmi szabályozással való összhang hiánya tűnik, ugyanis általában az ivóvízigény és a hőigény azonos helyen jelentkezik, és a jelenlegi szabályozás ellehetetleníti a hőszondás rendszerek telepítését, félve a nem megfelelő kiépítés miatti szennyezési lehetőségektől.

A geotermikus hőszivattyús rendszerek nagyobb arányú elterjedéséhez szükséges lenne kialakítani a hazai viszonyokhoz jobban illeszkedő, a hidrogeológiai viszonyokat minél inkább figyelembe vevő tervezési és telepítési gyakorlatot. Ezzel elkerülhető az alulméretezett rendszerekre jellemző drága működés, illetve a túlméretezett rendszerek drágább kiépítése, növelhető az üzembiztonság és ezzel csökkenne a megtérülési idő és pozitívan változna a geotermikus rendszerekkel kapcsolatos attitűd.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **KOZÁK M., MIKÓ L.:** *Geotermikus potenciál hasznosításának lehetőségei Kelet-Magyarországon*, MSZET Kiadványai 2., 11–19, 2003.
- [2] **MÁDLNÉ SZÖNYI J., RYBACH L., LENKEY L., HÁMOR T., ZSEMLE F.:** *A geotermikus energiahasznosítás nemzetközi és hazai helyzete, jövőbeni lehetőségei Magyarországon, Ajánlások a hasznosítást előmozdító kormányzati lépésekre és háttér tanulmány*, MTA, Budapest, 107 p., 2008
- [3] **BANKS, D.:** *An Introduction to Thermogeology: Ground Source Heating and Cooling*, Blackwell Publishing, Oxford, 339 p., 2008
- [4] **JUHÁSZ J.:** *Hidrogeológia*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 972 p., 1987
- [5] **STEFANOVITS P.:** *Talajtan*, Mezőgazdasági Kiadó, 351 p., 1975
- [6] **PÉTERFALVI J.:** *Talajmechanika*, egyetemi jegyzet, 103 p.
- [7] **DE VRIES, D.A.:** *The Thermal Conductivity of Soil*, In W.R. van Wijk (ed.) *Physics of Plant Environment*. North-Holland Publishing Company, Amsterdam, pp. 210–235., 1963
- [8] **JOHANSEN, O.:** *Thermal Conductivity of Soils*, Ph.D. thesis, Trondheim, Norway, (CRREL Draft Translation 637, 1977) ADA 044002, 1975.
- [9] **KOVÁCS R. L., BUDAY T.:** *A telítetlen zóna hatása a geotermikus hőszivattyúk zárt primeroldali körének telepítésére és üzemeltetésére*, poszter, IV. Környezet- és Energia Konferencia – II. Energia a mindennapokban konferencia és verseny. Debrecen, 2016. március 11-12., 2016
- [10] **MERÉNYI L.:** *Felszín alatti hőáram- és hőmérséklet-monitoring rendszer és számítógépes modellező szoftver bemutatása*, előadás, Geotermikus fűrés tervezése és művezetése Budapest, 2010. február 1.
- [11] **TARI CS.:** *Földhőszondás hőszivattyús rendszerek primer oldali hőtranszport folyamatainak vizsgálata numerikus modellezéssel*, Ph.D. értekezés, Szegedi Egyetem, 167 p., 2015
- [12] **MARTON L., SZANYI J.:** *A talajvíztükör helyzete és a rétegvíztermelés kapcsolata Debrecen térségében*, Hidrológiai Közöny 80, 3–13., 2000
- [13] **BUDAY T.:** *A felső kéregbeli hőterjedés modellezése és alkalmazási lehetőségei Kelet-Magyarországon*, Ph.D. értekezés, Debreceni Egyetem, 130 p., 2015

KELET-MAGYARORSZÁGI PANNÓNIAI HÉVÍZREZERVOÁROK MEGJELENÉSE SZEIZMIKUS ÉS MÉLYFŰRÁSI GEOFIZIKAI ADATOK ALAPJÁN ÉS ENNEK HIDROGEOLOGIAI-VÍZTERMELÉSI VONATKOZÁSAI

PANNONIAN THERMAL WATER RESERVOIRS OF NE HUNGARY ON SEISMIC SECTIONS AND WELL LOGS AND THEIR IMPLICATIONS FOR HYDROGEOLOGY AND PRODUCTION

BUDAYNÉ BÓDI Erika¹, BUDAY Tamás², KUBIK Lajos³, KOVÁCS Réka Lilla⁴

¹abszolvált PhD hallgató, bodi.erika@unideb.hu
¹Debreceni Egyetem, Ásvány- és Földtani Tanszék

²tanársegéd, buday.tamas@unideb.hu
²Debreceni Egyetem, Ásvány- és Földtani Tanszék

³hallgató, lacika1492@gmail.com
³Debreceni Egyetem, Ásvány- és Földtani Tanszék

⁴hallgató, kov.reka.93@gmail.com
⁴Debreceni Egyetem, Ásvány- és Földtani Tanszék

Kivonat: A pannóniai hévízrezervoárok az ország jelentős részén viszonylag egységesek, az előrenyomuló partvonal mentén lerakódott nagy kiterjedésű, gyakran laterális megjelenésű homokos deltafront üledékekben alakultak ki. Azonban egyes területeken az üledékfelhalmozódás lokális feltételeinek változatossága, a pre-, szün- és posztt tektonikus hatások a rezervoárokból jelentős változásokat okoztak, melyek kihatnak a rétegek termelhetőségére, általában rontva a hévíztermelés feltételeit. A tanulmány kelet-magyarországi mintaterületek geofizikai felmérései alapján mutatja be a fenti változatosság hatását a felszín alatti vízáramlási viszonyokra és a termálvíztermelés lehetőségeire.

Kulcsszavak: pannóniai s.l., termálvíz rezervoár, üledékfelhalmozódás, szeizmikus szelvény, mélyfúrás görbe

Abstract: Pannonian thermal water reservoirs have an occurrence countrywide with a fairly general characteristic and were formed in the lateral sandy units of the delta front along the prograding shoreline. Nevertheless, locally some reservoirs were affected both by varying conditions of sedimentation and (pre-, syn- and post-) tectonic movements resulting in remarkable changes contrary to the general expectations. These local differences are associated with different production characteristics and all things considered, also with worse thermal water production conditions. Current study presents the impacts of these differences on groundwater flow and possibilities of thermal water production using geophysical surveys of study areas in E Hungary.

Keywords: Pannonian s.l., thermal water reservoirs, sedimentation, seismic sections, well logs

1. BEVEZETÉS

A termálvíztermelés közel 90 éves múltra tekint vissza az Alföld keleti részén. Az I. világháború után szénhidrogénkutató fúrások tárták fel a termálvízben gazdag pannóniai rétegeket, s a meddő kutatófúrások víztermelő kutakká alakítása számos hazai fürdő alapját lerakta. A rezervoárok feltárására alkalmas eszköztár a XX. század közepére szeizmikus, gravitációs és mélyfúrás geofizikai mérésekkel bővült, jelentős lökést adva a szénhidrogénbányászatnak és víztermelésnek, míg a mért adatok interpretációjához kapcsolódó szemlélet és módszerek folyamatosan formálódtak az elmúlt évtizedekben is.

A kutatócsoportunk által e korszerű sztratigráfiai módszerekkel vizsgált rezervoárok a Pannon-tó feltöltődése során jöttek létre, tengerparti-tavi fáciesekben, a világtengerektől többnyire elzártan [1,2]. Ennek a geológiai értelemben vett rövid, pár millió éves folyamatnak a tektonikailag aktív, mozaikos felépítésű Kárpát-medence adta keretét, mely lokálisan is változatossá tette mind az üledékképződést, mind a rétegsorok későbbi fejlődését. Ennek jelentős következményei lettek a rezervoárok geometriájára, így a víztermelésre is, melyeket kelet-magyarországi példákon keresztül mutatunk be.

2. PANNÓNIAI S.L. REZERVOÁROK ÁLTALÁNOS FÖLDTANI JELLEMZÉSE

A Pannon-tó általános feltöltődési modellje szerint bazális márgák, turbiditek, deltalejtő, deltafront és deltasíksági üledékek jelennek meg egy teljes pannóniai rétegsorban [1,2]. A delta épülésével a partvonal folyamatosan a medence belseje felé nyomul, az egyes fáciesekben lerakódott üledékek így épülnek egymásra.

Vizsgálati területünkön a rétegsor részben a miocén vulkáni összletekre, részben a kréta-paleogén flis üledékekre, részben a paleo-mezozoós aljzatra települ. A medence mélyebb, parttávoli részein finomszemű üledékek: mész, márga, agyag rakódott le lassú ütemben, így az üledékek összvastagsága csak akkor lett jelentősebb, ha az ülepedés hosszabb időn át zavartalanul folyhatott (Endrődi Fm.). Ez viszont a kelet-magyarországi vizsgálati területeken nem volt jellemző. A partközélemben deltalejtő alakult ki, melynek anyaga már viszonylag kis lejtőszög esetén is könnyen mozgásnak indult. A gyors tömegmozgás következtében felfele finomodó rétegsorral jellemezhető üledékek halmozódtak át a lejtő aljának érintett szakaszán (Szolnoki Fm.). A helyben maradó üledékek anyaga szürke agyag, iszap, kisebb részben homok (Algyői Fm.). Feljűk a deltafront viszonylag egységes homoktestjei települnek (Újfalu Fm.), végül a deltasíksághoz (Zagyvai Formáció) és az alluviális síksághoz köthető változatos fáciesek zárják a sort.

A feltöltődési sémán legmarkánsabban a medence egyes részeinek egymáshoz viszonyított vertikális helyzete és azok változásai (süllyedés, emelkedés) módosíthatnak. A már lerakódott és tömörödő üledékes rétegsort posztszedimentációs is érik tektonikai hatások, melyek eredményeképp gyűrődések és vetők alakulhatnak ki. Ezek szintén nem egységesen, nem mindenhol ugyanúgy érintik a pannóniai képződményeket [3,4].

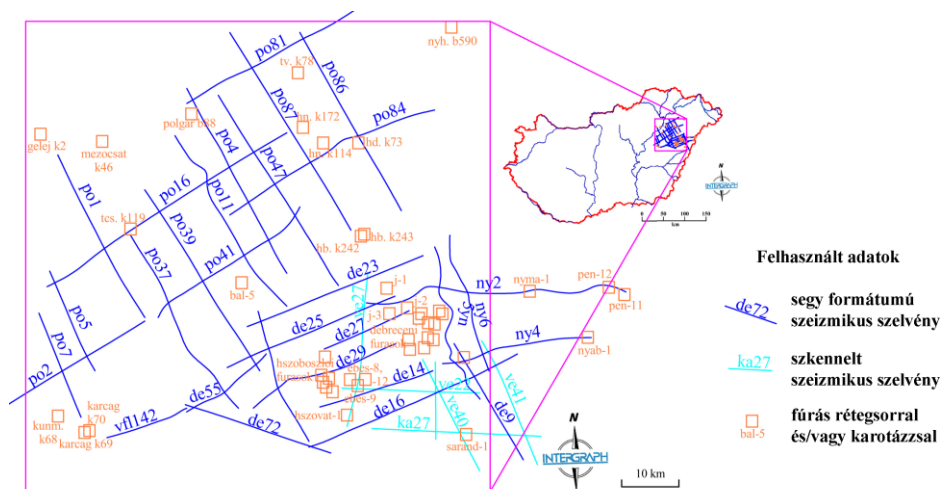
Minden egyes szekvencia, azaz üledékfelhalmozódási ciklus hasonló mintázat szerint, mégis a konkrét körülmények változatosságából adódóan egyedien zajlik le. Mivel a világtengerektől való elzártág jellemezte az üledékképződés időszakának fő részét, a hagyományos értelemben vett szekvencia sztratigráfiai modellben szereplő, a ciklust befolyásoló tényezők közül, mint az euszatikus vízszintváltozás, a geoszinklinális süllyedésének mértéke, az üledékbehordás üteme valamint az éghajlati tényezők változása [2], a feltöltődésben túlnyomórészt az utóbbi három játszott főbb szerepet. A pannóniai emeletet évtizedeken át kutató szakemberek a medence feltöltődését négy nagy szekvenciára bontják: Pa-1 (12–11 Ma), Pa-2 (11–9,1 Ma), Pa-3 (9,1–6,8 Ma), Pa-4 (6,8 Ma – ?) [5]. Ezek közül a Pa-1 és Pa-2 során fokozott turbiditképződés és sorozatos süllyedések voltak jellemezők. A Pa-3 és Pa-4 során fokozott intra-pannon tektonizmus és a medence inverziója, vízszintsüllyedések és erózió voltak a főbb földtani események, a vizsgált üledékek nagyrészt ekkor rakódtak le.

Ezért ezek a regressziót és akkomodációt befolyásoló tényezők mind kvalitatív, mind kvantitatív vizsgálatokban is fontosak [3,4]. Hidrogeológiai szempontból a felhalmozódott üledékes csomagoknak – ha úgy tetszik 3D tömböknek – viszont nem csupán térbeli

kiterjedése, hanem az egyes tömbök közti kapcsolat valamint a tömbökön belüli felépítés, azok „szerkezete” is lényeges.

2. MÓDSZEREK

A kutatás kiindulópontját a 2013-ban vásárolt, segy formátumú szeizmikus szelvények, korábban beszerzett szkennelt szelvények, a szakirodalomban szereplő, az előzőeknél kisebb felbontású szeizmikus szelvények, valamint korábbi tanszéki kutatásokhoz kapcsolódó mélyfúrási adatbázis adták, melyet további mélyfúrási leírásokkal bővítettük 2013 és 2014-ben. Az interpretációk több lépcsőben és különböző mélységben történtek. A fő kutatás terület Debrecentől nyugatra húzódik, a Hajdúság és Hortobágy területét érinti (1. ábra).



1. ábra. Az elsődleges kutatási terület határai és a földtani értelmezéshez felhasznált geofizikai adatok [3]

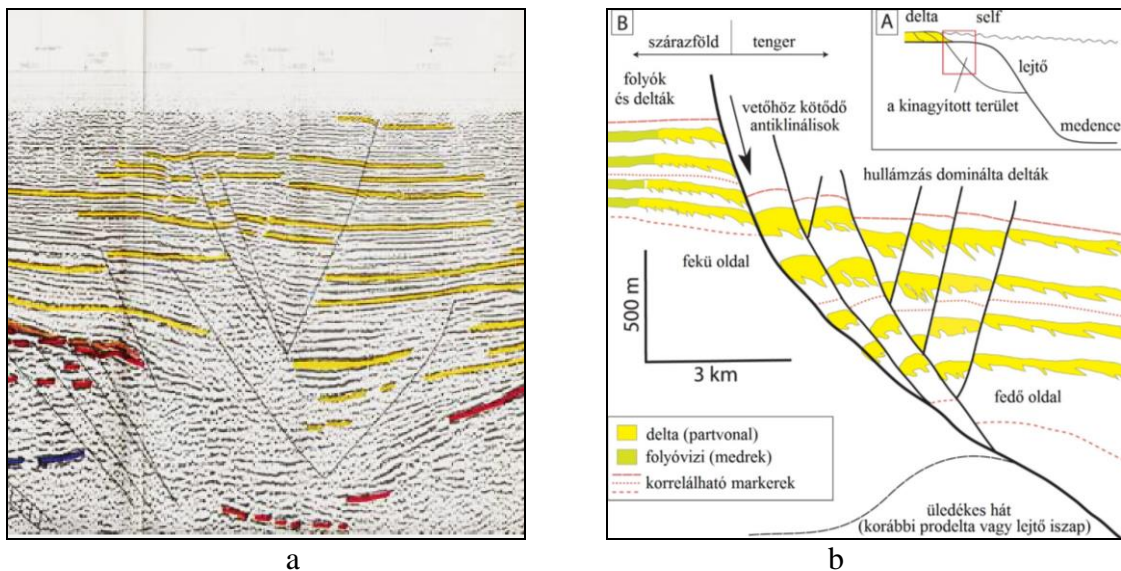
A szeizmikus szelvények vizsgálata során reflexiós mintázatok felismerése történik. Ilyenkor a reflexiók markáns változásai, elvégződésük, mintázatok keresése, felismerése és interpretációja történik.

TIPIKUS REFLEXIÓS MINTÁZAT	SZEKVEN- CIA	ŐSKÖRNYEZET, FÁCIÉS
	V (LMT)	Deltasik (sekély tavi, mocsári, szárazföldi üledékek)
	IV B	Deltasik (j) és deltafront
	IV A	Deltafront (jobbra), prodelta (balra)
	III	Zagyarak üledékei felül, prodelta fácies alul
	II	Mélymedence üledékek márga, agyag, turbidit rétegekkel
	I	Turbiditek és márgák
		Aljzat

2. ábra. Jellegzetes szeizmikus fácies képek és a hozzájuk kapcsolódó fáciesek pannóniai üledékösszletben ([6] alapján)

Meghatározásra kerülnek a fekü és a pannóniai rétegsorok határa, a fedőképződmények annyira sekély mélységben húzódnak, hogy sok esetben nem is látszódnak a szelvényeken. A formációk kijelölése esetén nagyobb, jól követhető, jól meghatározható határfelületekkel rendelkező, nem szükségszerűen homogén egységeket keresünk. Szekvencia sztratigráfiai határok azonosításakor a markánsan kirajzolódó, hosszan követhető, feltételezhetően izokrón reflexiós kötegek a lehatárolások alapjai. A fáciesek meghatározásához pedig az egyes szekvenciákon belüli reflexiós minták, ún. szeizmikus fácieseket azonosítjuk (2. ábra).

A régió szerkezetföldtani dinamikája már az üledékfelhalmozódás előtt befolyásolja annak mennyiségi és minőségi alakulását, amelyeket a folyamat közbeni és utólagos változások is alakítanak. A töréses tektonikai elemek közül általában normál vetők alakulnak ki, de megjelennek oldaleltolódásos szerkezetek is. Kialakulásuk kapcsolódhat az aljzatban a kompresszió hatására létrejövő elemekhez, de az üledékek egyenlőtlen tömörödése és diagenezise során kialakuló feszültségek kioldódásához, illetve a laza üledékek egyes tömegmozgásaihoz is. A tektonikai elemek azonosítása a reflexiós felületek megszakadása, a reflexiókötegek vertikális távolsága segítségével történik (3. ábra).



3. ábra. Tektonikai elemek hatása a rétegsorok folytonosságára

a., Az aljzatban és a fiatal medencekitöltő üledékben megjelenő tektonikai elemek Létvértés környékén [7]; b., deltalejtőn kialakuló csuszamlások által okozott tektonikai elemek [8] alapján



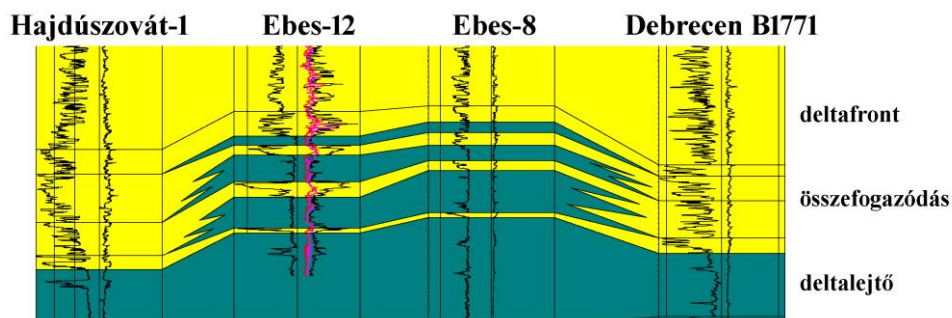
4. ábra. Jellegzetes karotázsképek és képződési fáciesek az egyes formációkban ([1] alapján)

A mélyfúrási geofizikai szelvények értelmezése elsősorban a természetes gamma, a természetes potenciál és az ellenállás göbök alakjának elemzésével történik (4. ábra) [1,9]. Első lépésként a formáció szintű elhatárolást tettük meg, amit esetenként a fácies szintű beosztás követett. A mélyfúrásokat a szeizmikus szelvényekbe vetítve és a mélység-idő átszámítást elvégezve közös interpretáció is készült.

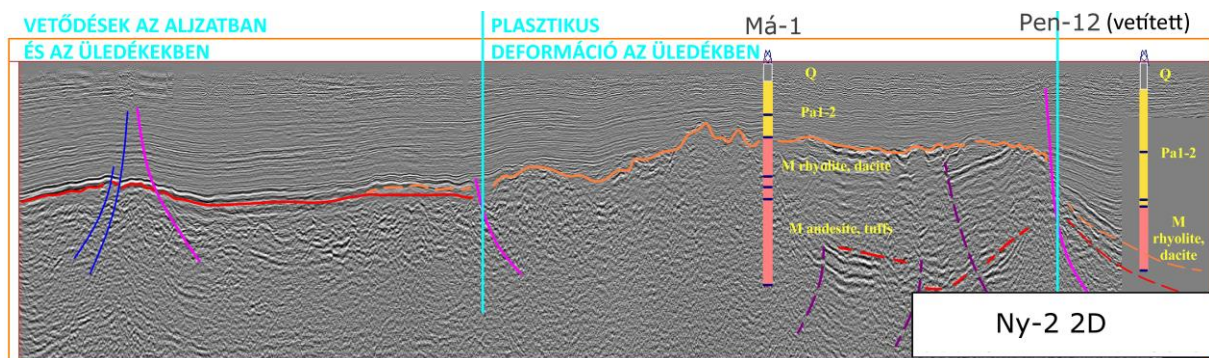
3. EREDMÉNYEK

3.1. Földtani eredmények

A Pannon-medence alföldi részmedencéjének feltöltődése ÉNy-i és ÉK-i irányból történt [10]. Az aljzat jelentős tagoltsága és a tagoltságot okozó szerkezeti vályúk ÉK–DNy-i csapásiránya miatt egyes területeken a feltöltődési irány többször is változott. Kutatási területünkön a szeizmikus szelvények alapján az ÉK-i irány dominált. A regionális feltöltődés az ÉNy–DK-i irányú szelvények alapján a kezdeti időszakban konstans relatív vízszintű normál regresszió során ment végbe, ennek köszönhető, hogy az ún. felső-pannóniai üledékek hasonló mélységekben, közel horizontálisan települnek. A lokális változások a regressziót megzavarhatták, a többszöri ciklikus transzgresszió miatt kialakultak az ún. fácies-összefogazódási zónák. Ilyen zóna jelenik meg a területünkön, ahol az Algyői és Újfalui Formációk üledékei ismétlődnek ciklikusan (5. ábra), aggradációs jellegű rétegsorként. Ez egyúttal azt is jelenti, hogy az itt kifejlődött homoktestek vertikális és horizontális hidraulikus kapcsolatai korlátozottabbak, mint a regresszióban egymás mellé és egymásra települő homoktestek esetében [11].



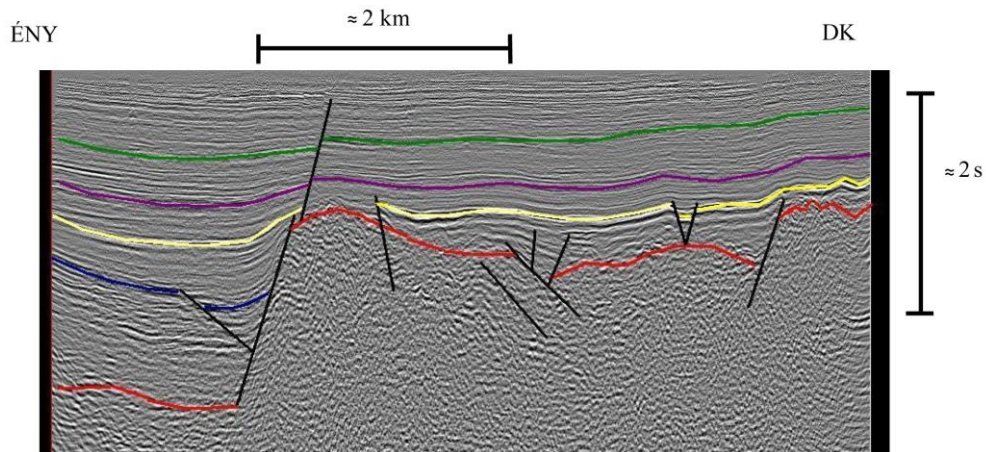
5. ábra. Fáciesösszefogazódás megjelenése mélyfúrási geofizikai szelvényeken Ebes környezetében



6. ábra. Tektonikai elemek és rétegsorok megjelenése a kutatási terület keleti részén az Ny-2 szeizmikus szelvényen [3]

Miocén vulkanit fekére települt pannóniai rétegsorok a preneogén kristályos aljzat fekével rendelkezőekétől eltérő szeizmikus képet adnak. A rétegek szinuszoidális, gyűredezett jellegűek, töréses tektonikai elemek nem jellemzőek bennük, viszont kivékonyodnak (6. ábra) [3]. Előbbi pozitív, utóbbi negatív hatással van a rezervoárra.

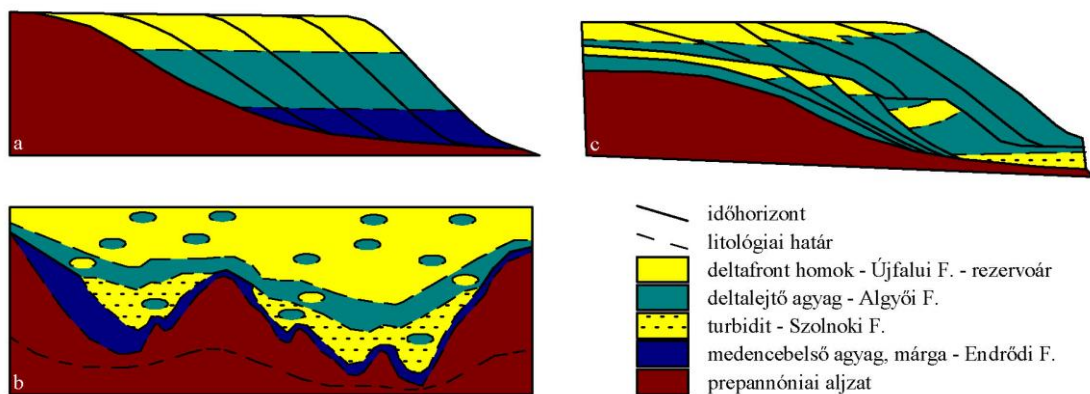
A geoszinclinális tagoltságából adódóan a medence mélyebb részein vastagabb, a kiemeltebb, sekély részein vékonyabb rétegsor halmozódott fel. Utóbbiak elsősorban a vetők mentén kiemelt formák, háta területén alakultak ki, amelyek felett sokszor szekvenciahiátus figyelhető meg és kvázi rezervoárválasztó szerepük van (7. ábra) [12,3,4].



7. ábra. Tektonikai elemek és reflexiók megjelenése a kutatási terület északi részén (po-4) [12]

3.2. Hidrogeológiai eredmények

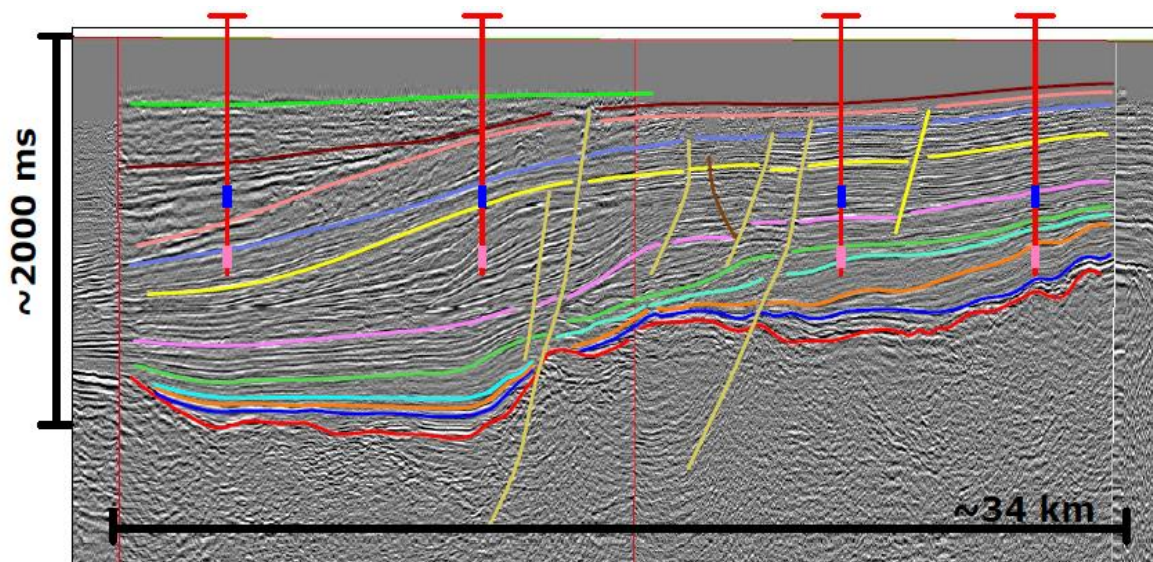
A hévíztermelésre alkalmas rétegek elterjedtsége miatt az az általános tévhit, hogy szinte mindenhol azonos adottságok állnak a termásvíz kitermelésére. A valóság ennél sokkal árnyaltabb, amit a hidrogeológiai modellek közetváz alapjainak tudni kell megfelelő részletességgel leírni. A pannóniai üledékeket legegyszerűbben jellemző modell követi a konstans relatív vízszintű retrográd üledékképződés sémáját, azaz a deltafront homoktestek horizontálisan jól összekapcsoltak és határfelületeik laterálisak (8. ábra).



8. ábra. Különböző bonyolultságú hidrosztratigráfiai modellek a., konstans relatív vízszintű retrográd üledékképződés; b., a Pannon-medence É-D irányú metszete [13 alapján]; c., ciklikus regresszió és transzgresszió

Az egyes fáciesek határfelületeinek meghatározása [1,10] és a Tóth József vezette nagyléptékű vízföldtani adatfeldolgozás eredményeképpen változatosabb geometriájú, de vertikálisan kisebb felbontású hidrosztratigráfiai egységek kerültek lehatárolásra [13]. A lokális problémák elemzésére azonban hidrosztratigráfiai szemléletű, de részletesebb, lito-, szeizmikus és szekvenciasztratigráfiai alapú beosztások szükségesek (8. ábra).

A medencekitöltő üledékösszletben számos mélységszinten kialakulhatnak rezervoárok. Az ezek közötti hidraulikus kapcsolatokat elsősorban a vetők menti rétegmegszakítások és az üledékképződési fáciesek határozzák meg: a folyóvízi meder és övzátóny, illetőleg a deltalejtőn kialakuló mederkitöltések lineáris jellegű formák, míg a deltafronthoz kapcsolódó torkolati zátonyok, illetve mederkitöltések hazai képződési környezetben gyakran jelentős vastagságban és nagy vertikális kiterjedésben jelennek meg. Ezek a kapcsolatok határozzák meg, hogy mekkora egy rezervoár utánpótlódási területe, azaz közvetve a kitermelhető vízmennyiség, mely kutak között alakulhat ki hidraulikus kapcsolat. A szeizmikus és szekvenciasztratigráfiai elemzések rámutathatnak arra is, hogy az azonos mélységben egymás közelében települő homoktestek egy időben keletkeztek-e, vagy eltérő időhorizontban, mely szintén informatív lehet az egymásrahatások szempontjából (9. ábra).



9. ábra. Azonos mélységben, eltérő sztratigráfiai egységben szűrőzött elméleti kutak a kutatási terület nyugati részén [3]

ÖSSZEFOGLALÁS

A világtengerektől való elzártság miatt az eusztatikus vízszintváltozások aligha lehettek a Pannon-medence feltöltődésére közvetlenül hatással, helyi tényezők markánsabban alakították azt. Így a geofizikai módszerekkel történő feltárások (mélyfúrások, szeizmikus szelvények) értelmezése során nagy hangsúlyt kell fektetni ezekre a lokális sajátosságokra, ugyanis a „várható”-tól eltérő tulajdonságú rezervoárok a víztermelést negatívan befolyásolhatják.

Kutatási területünkön a legjelentősebb lokális befolyásoló faktorként a viszonylag jelentős tektonikai aktivitást, a részben ehhez köthető fáciesösszefogazódást, valamint a viszonylag kis mélységű aljzatot lehet megemlíteni. Ennek megfelelően a termásvízhasznosítás mélysége a medence déli területeihez képest kisebb, minden fácies kisebb vastagsággal jellemezhető. A több szintű rezervoároknak köszönhetően azonban különböző hőmérsékletű, egymással csak gyenge hidraulikus kapcsolatban levő rezervoárokból is folytatható termelés, mely a

fenntartható vízkivétel kulcsa.

A tapasztalatok alapján a korábbi hévíztermelési gyakorlatok hosszútávon jelentős problémákat okozhatnak. Csak hidrogeológiai elvek használatával nem minden esetben lehet ezeket megoldani, komplex rétegtani-hidrogeológiai szemléletmód szükséges.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **JUHÁSZ, GY.:** *A pannóniai s.l. formációk térképezése az Alföldön: elterjedés, fácies és üledékes környezet,* Földtani Közlöny 122, 133–165., 1992
- [2] **MAGYAR, I.:** *A Pannon-medence ösföldrajza és környezeti viszonyai a késő miocénben,* Geolitera Kiadó, Szeged, 2010
- [3] **BÓDI, E., BUDAY, T., KOVÁCS, R. L., MCINTOSH, R. W.:** *Sequence stratigraphic based modeling and geothermal potential estimation in the case of Neogene thermal water reservoirs, central Trans Tisza Region, Hungary,* poszter, 2015
- [4] **BUDAY-BÓDI, E., BUDAY, T., MCINTOSH, R. W., KOVÁCS, R. L., KOZÁK, M.:** *Developing stratigraphic and facies based divisions of thermal water reservoirs for sustainable utilization,* poszter, 2015
- [5] **VAKARCS, G.:** *Sequence Stratigraphy of the Cenozoic Pannonian Basin, Hungary,* Ph.D. értekezés, Rice University, 1997
- [6] **MATTICK, R. E., PHILLIPS, R. L., RUMPLER, J.:** *Seismic Stratigraphy and Depositional Framework of Sedimentary Rocks in the Pannonian Basin in Southeastern Hungary,* In: The Pannonian Basin AAPG – MÁFI, 117–145., 1988
- [7] **ALBU, I., TIMÁR, Z.:** *Hajdúsági szeizmikus mérések újrafeldolgozásának eredményei,* MÁELGI 1982. évi jelentése, 87–88., 1983
- [8] **OLARIU, M. I., OLARIU, C.:** *Ubiquity of Wave-Dominated Deltas In Outer-Shelf Growth-Faulted Compartment,* Journal of Sedimentary Research 85, 768–779., 2015
- [9] **JUHÁSZ, GY., MAGYAR, I.:** *A pannóniai (s.l.) litofáciesek és molluszka-biofáciesek jellemzése és korrelációja az Alföldön,* Földtani Közlöny, 122, 167–194., 1992
- [10] **JUHÁSZ, GY., POGÁCSÁS, GY., MAGYAR, I., VAKARCS, G.:** *Integrált-sztratiográfiai és fejlődéstörténeti vizsgálatok az Alföld pannóniai s.l. rétegsorában,* Földtani Közlöny, 136, 51–86., 2006
- [11] **BUDAY, T., PÜSPÖKI, Z.:** *Facies Variations Detected by Well Log Correlation in a Geothermal Reservoir (Újfalú Formation) around Debrecen, Hungary,* 6th Congress of Balkan Geophysical Society – Budapest, Hungary, 3-6 October 2011, 5 p., 2011
- [12] **KOVÁCS, R. L.:** *Felső-pannóniai rétegek geometriájának vizsgálata geofizikai adatok alapján az Észak-Hortobágy, Hajdúhát és Nyugati-Nyírség területén,* szakdolgozat, Debreceni Egyetem, 2015
- [13] **TÓTH, J., ALMÁSI, I.:** *Interpretation of observed fluid potential patterns in a deep sedimentary basin under tectonic compression,* Geofluids, 1, 11–36., 2001

DIMENZIÓTLAN PÁROLGÁSI SEBESSÉG SZABAD FOLYADÉKFELSZÍN PÁROLGÁSÁNÁL

DIMENSIONLESS EVAPORATION RATE AT FREE EVAPORATED SURFACE

POÓS Tibor¹, VARJU Evelin², SZABÓ Viktor³

¹adjunktus, poos@mail.bme.hu

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék

²MSc hallgató, varjuevelin93@gmail.com

²Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék

³PhD hallgató, szabo.viktor@mail.bme.hu

³Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék

Kivonat: Az épületgépészeti alkalmazások, fürdőmedencék mellett, számos ipari létesítményben találhatóak nyílt felszíni folyadéktározók, melyeket különböző technológiai célokra alkalmaznak. A szabad vízfelszínen hő- és anyagátadás történik, mely során a vízgőz a környezeti levegőbe diffundál, emiatt az elpárologtatott vizet pótolni kell. A párolgással eltávozott víz mennyiségének meghatározására számos empirikus összefüggés található, melyek meglehetősen nagy eltérést mutatnak. A párolgás intenzitása változhat annak függvényében, hogy a folyadék-gáz között tisztán nedvességtartalom különbség vagy emellett hőmérséklet különbség hajtóerő is jelen van. További problémát jelent az irodalmi modelleknél, hogy attól függően, mekkora a környezeti levegő hőmérséklete és sebessége, valamint a párolgó folyadék hőmérséklete, más és más összefüggéseket kell alkalmazni, melyek értelmezési tartománya sokszor nem ismert. Munkánk során dimenziótlan egyenleteket ismertetünk a párolgási intenzitás meghatározására természetes és kényszerített, azon belül a két hajtóerő és azok irányának figyelembe vételével.

Kulcsszavak: párolgási sebesség, Sherwood szám, hő- és anyagátadás

Abstract: Besides building services employments and swimming pools there are many industrial facilities with free surface water reservoir for different technological purposes. On the free surface heat transfer and diffusion occur, whereby the vapour diffuses into the ambient air. Therefore, the water loss should be replaced. There are many empirical correlations for calculating the quantity of the evaporated water which methods largely differ from each other. The evaporation rate can be varied depending on attendance of clear humidity-based driving forces between gas and liquid or in addition attendance of temperature-based driving forces too. At the literary models another problem is that different correlations should be used depending on the temperature and velocity of ambient air and the temperature of the evaporating liquid. Furthermore the range of interpretation of these correlations in many cases is often not known. In our work dimensionless equations will be described the evaporation rate for natural and forced convection taking in account the direction of the two driving forces.

Keywords: evaporation rate, Sherwood number, heat- and mass transfer

1. BEVEZETÉS

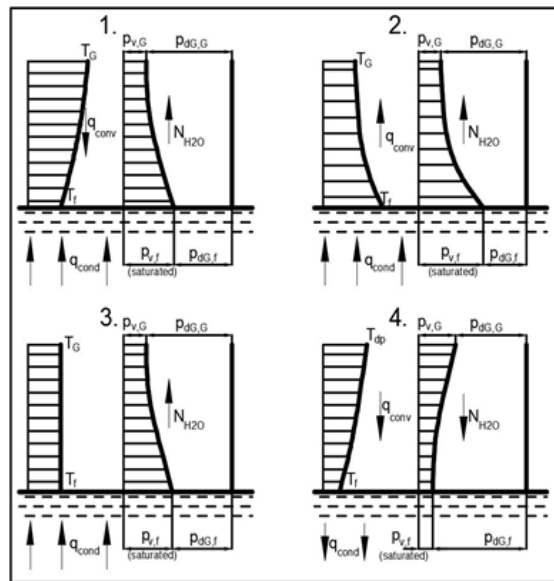
Szabad folyadékfelszín és levegő érintkezésekor a két közeg határán hő- és anyagátadás jön létre [1, 2], mely során a telített vízfelszínről vízgőz diffundál a telítetlen levegőbe, ezt a folyamatot párolgásnak nevezünk. Ez a jelenség az 1. ábra jelöléseivel, az alább ismertetett egyenletekkel írható le. Az 1. ábrán látható négy eset közül az első kettőnél hőmérsékletkülönbség hajtóerő indukálja a diffúziót, a harmadiknál a nedvességtartalom különbség, míg a negyediknél is fellép a diffúzió jelensége, de a harmatpontnál alacsonyabb hőmérséklet miatt lecsapódás formájában.

A vízfelszín és a telítetlen levegő közötti hőmérséklet-különbség hőáramot indukál, mely a hőáram-sűrűséggel írható fel:

$$q_{conv} = \alpha |T_f - T_G|. \quad (1)$$

ahol:

- q_{conv} konvektív hőáram;
- α – hőátadási tényező;
- T_f – folyadékfelszín hőmérséklete;
- T_G – gázhőmérséklet.



1. ábra. A négy esetre értelmezett parciális nyomáskülönbség és hőmérsékletkülönbség hajtóerő folyadék párolgásánál

A vízgőz a felületről a telítetlen levegőbe diffúzióval jut, mely az anyagáram sűrűséggel írható fel:

$$N_{H_2O} = k_G M_{H_2O} (p_{v,f} - p_{v,G}). \quad (2)$$

ahol:

- N_{H_2O} párolgási sebesség;
- k_G – parciális nyomáskülönbség alapján értelmezett anyagátadási tényező;
- M_{H_2O} víz molekula tömege;
- $p_{v,f}$ folyadékfelszínen értelmezett parciális nyomás;
- $p_{v,G}$ gáz parciális nyomás.

Hőmérsékletkülönbség hajtóerő szempontjából, Sartori [3] hármas kategorizálását kiegészítve, négy esetet különböztethetünk meg, aminek függvényében az egyes esetekhez a párolgási sebesség felírható:

$$1: N_{H_2O} = \frac{q_{conv} + q_{cond}}{r_{H_2O}}, \text{ ha } T_G > T_f \quad (3)$$

$$2: N_{H_2O} = \frac{q_{conv} - q_{cond}}{r_{H_2O}}, \text{ ha } T_G < T_f \quad (4)$$

$$3: N_{H_2O} = \sigma(Y_f - Y_G), \text{ ha } T_G = T_f \quad (5)$$

$$4: N_{H_2O} < 0 \text{ (kondenzáció), ha } T_{dp} > T_f \quad (6)$$

ahol:

q_{cond}	konduktív hőáram;
r_{H_2O}	víz párolgási hője;
σ	párolgási tényező;
Y_f	folyadékfelszínen értelmezett abszolút nedvességtartalom;
Y_G	gáz főtömegén értelmezett abszolút nedvességtartalom;
T_{dp}	harmatponti hőmérséklet.

Folyadékfelszínről történő párolgás számos esetben előfordul, ezzel a jelenséggel találkozhatunk szabadban elhelyezett víztározóknál, medencéknél és uszodáknál is. A levegő mozgásának két mechanizmusa van: épületen belüli légtechnika által vagy kültéren a szél által kényszerített áramlás, illetve a koncentrációkülönbségen alapuló természetes áramlás. Különböző mértékű lehet a párolgás intenzitása nyugalomban lévő, vagy hullámzó folyadékfelszín esetén is. A folyadékfelszínről történő párolgás meghatározásával számos publikáció foglalkozik, melyekben a közölt eredmények kísérleteken alapulnak.

A kísérletek alapján regresszió analízissel határozzák meg a jelenséget legjobban leíró összefüggéseket, melyek általában csak korlátozott körülmények között alkalmazhatóak. Elsők között Dalton 1802-ben foglalkozott a problémával és empirikus hidrodinamikai közelítéssel írta le a párolgás fogalmát. Munkája során megállapította, hogy a párolgás intenzitása arányos a folyadékfelszín és a levegő főtömegén értelmezett parciális nyomáskülönbséggel, valamint a levegő áramlási sebességével.

Korábbi munkánkban [4] részletesen összefoglaltuk a témában leginkább ismert munkákat. A munka során készített táblázat tartalmazza a publikációkban javasolt összefüggéseket párolgási sebesség meghatározására. A felsorolt egyenletek különböző értelmezési tartományok (különböző gáz és folyadék hőmérséklet tartományok, felületnagyság) és feltételek (természetes vagy kényszerített áramlás) mellett érvényesek, melyek az általános érvényű használhatóságukat csökkentik. Emellett ezek az egyenletek csupán víz esetére érvényesek, de az iparban számos olyan eset előfordul, ahol más, illékony komponens (pl. tisztításhoz használt etilalkohol, eróművi bórsavas oldat stb.) juthat párolgással a levegőbe, és egy adott koncentrációt meghaladva környezetvédelmi és egészségügyi előírásokba ütközhet. A párolgás jelenségének ismerete az említett egészségügyi és környezetvédelmi területeken túl az energiavisszanyerő rendszereknél [5] is fontos szerepet tölt be. Cikkünkben a (3), (4) és (5) egyenletekben ismertetett kategóriákra mutatunk be mérési eredményeket, és az abból számított párolgási sebességeket.

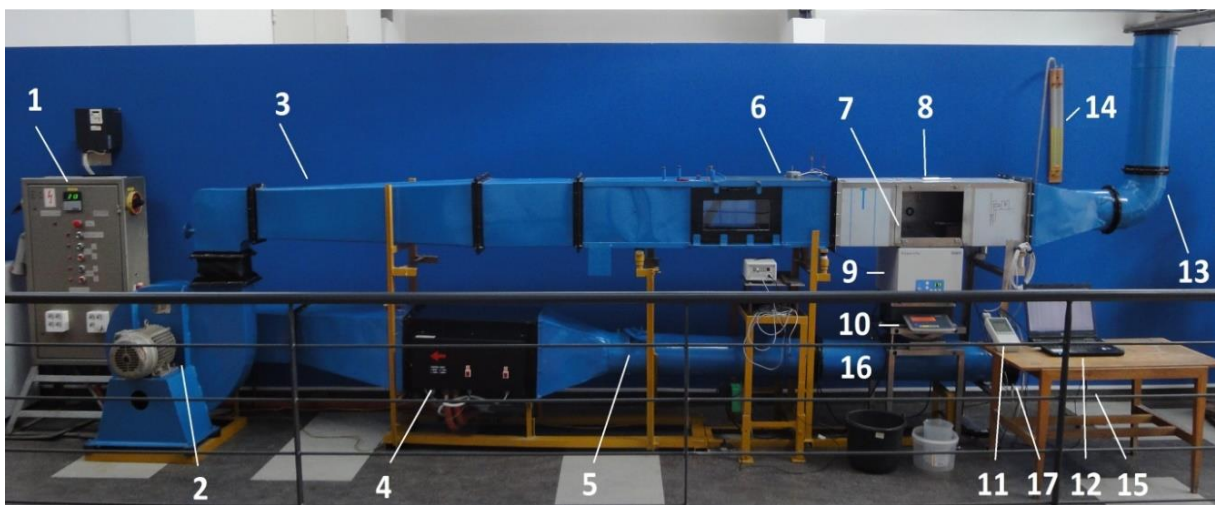
2. MÉRŐBERENDEZÉS ÉS MÉRÉSI MÓDSZER

A mérések során az Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszéken található párolgás mérésére alkalmas berendezést használtuk.

2.1. A mérőberendezés

A mérőberendezés a 2. ábrán látható. A levegő mozgatásáért egy EVIG gyártmányú VZ 32/2 típusú 4 kW-os villanymotorral hajtott NVH50 radiális ventilátor (P-101-01) felel (2890 1/min-es maximális fordulatszám). A szívószakasz 200 mm átmérőjű, az elején szabványos

mérőperem rácsatlakoztatással indul (O-101-01). A mérőperemen fellépő nyomáskülönbség egy U-csöves manométerrel mérhető. A légsebesség beállítása a ventilátorra kapcsolt frekvenciaváltó és pillangószelep (V-101-01) együttes alkalmazásával történik. A levegő fűtésére egy Thermo-Team LF-36 típusú elektromos melegítő (H-101-01) áll rendelkezésre, amely 21 kW szabályozható és 9+6 kW fix, kiegészítő teljesítményű fűtésre képes, amit 0,5 °C pontossággal lehet beállítani. A párolgásmérő szakaszon (E-102-01) egy Grant GLS Aqua 12 Plus thermo edény (T-102-01) van beépítve, melyben található a párologtatásra használt folyadék. A thermo edény $T_{amb} \div 99$ °C között 0,1 °C pontossággal képes a párologtatott folyadék hőmérsékletének beállítására. Maximális térfogata 5 dm³, párologtató felülete 325 mm x 300 mm. A thermo edény és az alatta található mérleg egy manuálisan állítható emelőn (L-102-01) helyezkedik el, mely magasságának állításával a folyadékszint illeszthető a légcsatorna alsó síkjához. A párás levegő egy kéményen (F-102-01) keresztül távozik a környezetbe.



2. ábra. A mérőállomás főbb részei

(1 – Kapcsolószekrény; 2 – Ventilátor; 3 – Diffúzor és áramlás simítók; 4 – Elektromos fűtőegység; 5 – Pillangószelep; 6 – Áramló gáz hőmérsékletének mérése; 7 – Víz főtömeg hőmérsékletének mérése; 8 – Vízfelszín hőmérsékletének mérése; 9 – Szigetelt thermo edény; 10 - Mérleg; 11 – Adatgyűjtő; 12 – Számítógép; 13 – Kémény; 14 – U-csöves manométer; 15 – Környezeti légnedvességmérő; 16 – Emelő; 17 – Mérőperem)

A mérés során gyűjtött környezeti és gáz jellemzők mellett mértük a víz párolgásából származtatott időegységenkénti tömegváltozást. A párolgó felületről eltávozó víz mennyisége az idő függvényében határozza meg a párolgási sebességet:

$$N_{H_2O} = -\frac{dm_{H_2O}}{dt} \frac{1}{A} \quad (7)$$

ahol:

m_{H_2O} elpárolgott folyadék mennyisége;
 t idő;
 A párolgó folyadékfelszín nagysága.

A dimenziótlan számok közötti összefüggés:

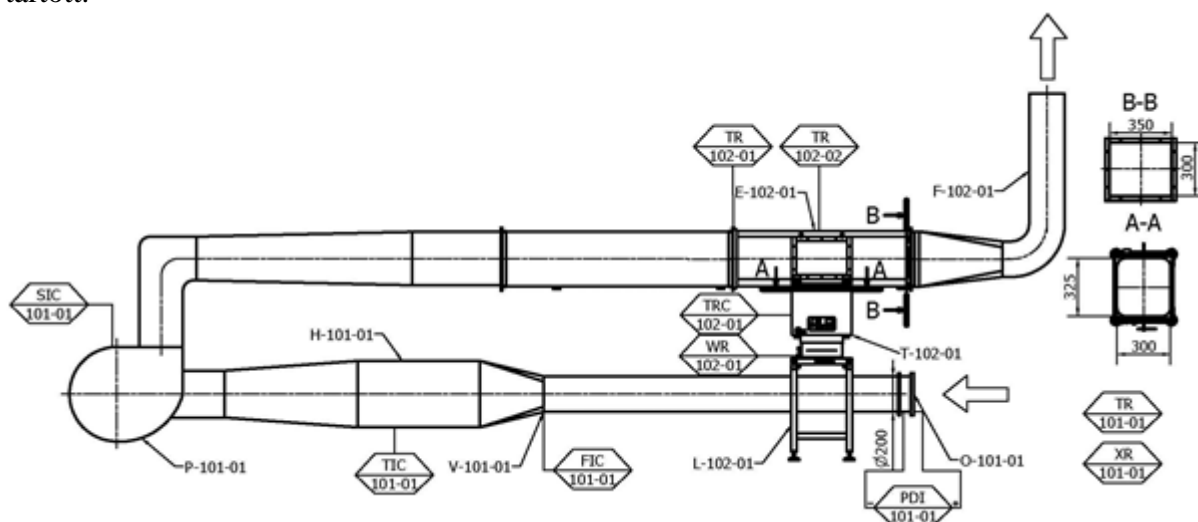
$$Sh = A \cdot Re^B \cdot Sc^C \quad (13)$$

ahol:

A,B,C konstansok;
 Re Reynolds-szám;
 Sc Schmidt-szám;
 Sh Sherwood-szám.

2.3. Műszerezés és a mérés menete

A mérés a thermo edény vízzel való feltöltésével indul, majd a fűtés bekapcsolása után a kívánt folyadék hőmérséklet (TRC-102-01) beállítása történik. Ezután a ventilátort egy adott fordulatszámom (SIC-101-01) elindítva, az elektromos légmelegítő segítségével beállítjuk a kívánt levegő hőmérsékletet (TIC-101-01). A párolgás mérés megkezdése előtt a berendezést a stacioner állapot eléréséig (amíg a hőmérők által mért értékek stabilizálódnak) üresen kell járattani. A légsebesség beállítása pillangószeleppel (FIC-101-01) történik a megfelelő értékre, amit mérőperemen mért nyomáskülönbség (PDI-101-01) segítségével ellenőrizzük. A mérés indítása előtt a thermo edényből elpárolgott folyadék mennyiségét pótoljuk, míg a légszatórna alsó síkjával egy vonalba nem kerül. A mérés elején rögzítjük a környezeti hőmérsékletet (TR-101-01) és nedvességtartalmat (XR-101-01). A párolgási jellemzők regisztrálására az érzékelők egy Ahlborn Almemo 2590-9 típusú adatgyűjtőhöz vannak kapcsolva. Az elpárolgott folyadék tömegének mérésére (WR-102-01) egy 1 g pontosságú mérleg (S-102-01), a víz felületi hőmérsékletének mérésére a thermo edény fölé helyezett AMiR 7842 típusú infrahőmérő (TR-102-02), a gáz hőmérsékletének mérésére egy T-típusú thermoelem (TR-102-01) szolgál. Az értékeket egy egyedi fejlesztésű szoftver rögzíti, melyen szabadon állítható a mintavételezés rögzítésének gyakorisága. A mérés időtartama legalább két órán át tartott.

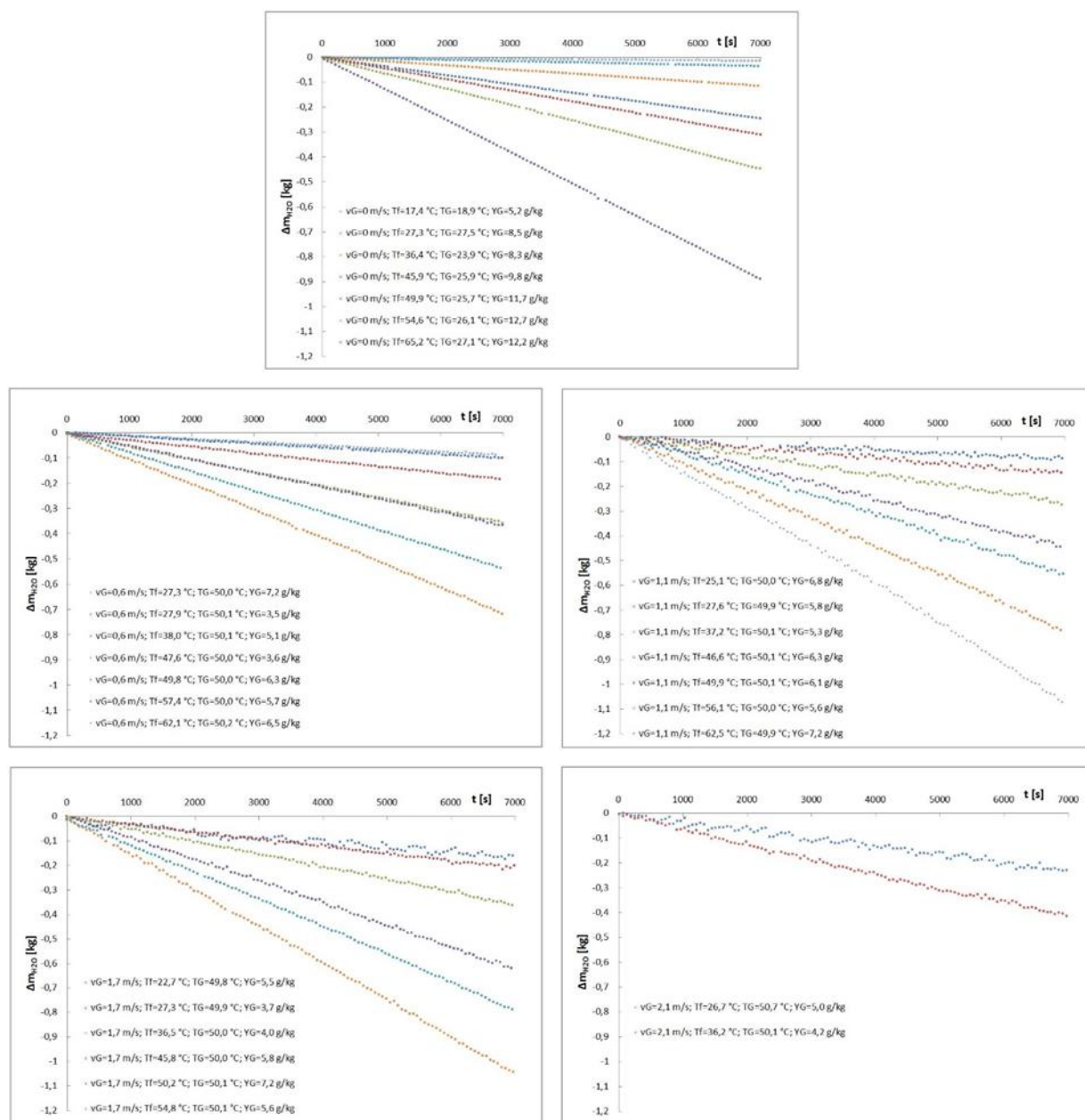


3. ábra. A mérőállomás műszerezett folyamatábrája

3. EREDMÉNYEK

A méréseink során a levegő sebességét (v_{dG}), hőmérsékletét (T_{dG}) és a víz hőmérsékletét (T_{H_2O}), ezáltal a víz felszíni hőmérsékletét (T_f) változtattuk. Párolgásnál fontos két hajtóerő közül a hőmérséklet hajtóerőt (ΔT) tudtuk változtatni, a nedvességtartalom hajtóerőt (ΔY) nem. Kutatásunk során az 1. ábrán megjelent négy eset közül az első hárommal

foglalkoztunk. A konvektív hőáram iránya különböző, míg az anyagáram iránya megegyező volt.



4. ábra. Az elpárolgott folyadék mennyisége az idő függvényében különböző hőmérséklet hajtóerők mellett

Méréseink során vizet párologtattunk különböző levegősebesség és vízhőmérséklet mellett. Három esetet vizsgáltunk állandó levegő hőmérséklet mellett: a víz hőmérséklete magasabb, azonos és alacsonyabb, mint a levegő hőmérséklete. Mindhárom esetet négy különböző légsebesség mellett végeztük el. A 4. ábra a méréseink során elpárolgott víz mennyiségét mutatja az eltelt idő függvényében. A diagramokon jól látható a víz hőmérsékletének és a levegő sebességének hatása a párolgási sebességre.

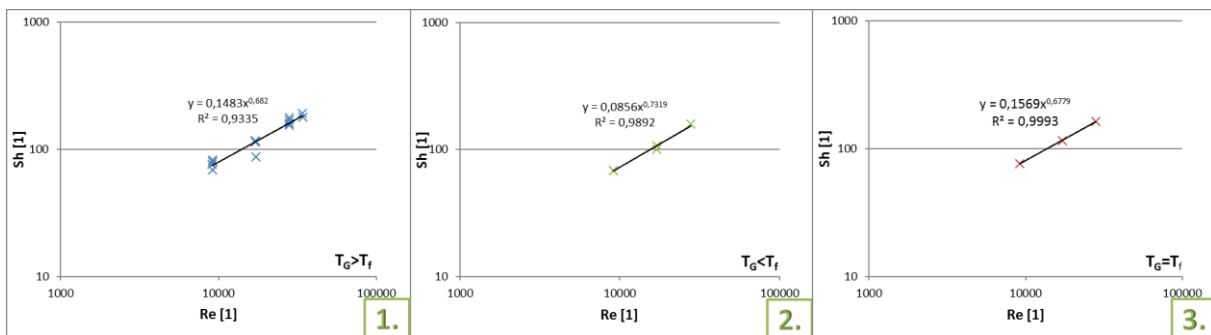
A 4. ábra felső diagramja a kikapcsolt ventilátor (természetes áramlás) mellett végzett kísérleti mérések eredményét lehet látni. Ha az első két mérést nézzük (vízfelszín hőmérséklet = 17,4 °C és 27,3 °C), akkor az látható, hogy a hőmérséklet hajtóerő a gáz-folyadék között

szinte elhanyagolható, a második esetben ráadásul a gáz nedvességtartalma nagyobb, mégis a 27,3 °C-os víz esetén láthatóan nagyobb párolgási sebesség adódott. Ugyanígy, ha a 4-5. mérést tekintjük (vízfelszín hőmérséklet = 45,9 °C és 49,9 °C), azt látjuk, hogy a 4 °C-os gáz-folyadék hőmérsékletkülönbség releváns eltérést mutat a párolgási sebességek között, noha az 5. esetben a levegő nedvességtartalma szintén magasabb, ami lassabb párolgást enged feltételezni.

A további diagramokon a kényszerített áramlás eredményei láthatóak. Mivel a mérési eredmények mind 50 °C-os szárító levegő mellett történtek, a tömegváltozás-idő görbék meredeksége összehasonlítható. Elmondható, hogy azonos hőmérséklet és nedvességtartalom különbség hajtóerők mellett, a nagyobb légsebesség magasabb párolgási sebesség értéket is eredményezett.

A következőkben a dimenziótlan számok közötti összefüggéseket ábrázoltuk. A Sherwood-Reynolds kapcsolatokat a hőáram irányok szerinti három esetre külön ábrázoltuk. A pontokra illesztett egyenesek egyenleteiből látszik, hogy a meredekségük szinte azonos, csak az y tengellyel való metszéspontjuk tér el egymástól.

A természetes áramlás során létrejövő párolgás jelenségét leíró Sh-Ra egyenletek meghatározásához nem elegendő mérést végeztünk, így azok ábrázolása és a pontokra illesztett görbe egyenletének meghatározása még további kutatást igényel.



5. ábra. Dimenziótlan számok ábrázolása logaritmusos léptékben, különböző hajtóerők esetén, kényszerített áramlásnál

A Reynolds-szám és a Sherwood-szám közötti kapcsolat, abban az esetben, ha a folyadékfelszín hőmérséklete magasabb, mint a vele érintkező levegő hőmérséklete:

$$Sh = 0,086 Re^{0,73}; \quad (14)$$

ha a folyadékfelszín hőmérséklete megegyezik a vele érintkező levegőjével:

$$Sh = 0,16 Re^{0,68}; \quad (15)$$

ha a folyadékfelszín hőmérséklete alacsonyabb, mint a vele érintkező levegő hőmérséklete:

$$Sh = 0,15 Re^{0,68}; \quad (16)$$

A (14)-(16) egyenletek érvényességi tartománya: $9000 < Re < 34000$.

ÖSSZEFOGLALÁS

A folyadékfelszínről történő párolgást vizsgáltuk, amihez az irodalomkutatásunk során összegyűjtöttük a szabad folyadékfelszínről történő párolgási sebességeket leíró egyenleteket mind az elméleti, mind az empirikus összefüggéseket.

Munkánkban ismertettünk egy mérőállomást, mely alkalmas a párolgási sebesség meghatározására különböző folyadékok esetén. A mérőállomásnál változtatható és szabályozható paraméter a páragózt magával ragadó gáz sebessége és hőmérséklete, valamint a párolgó folyadék hőmérséklete, adott intervallumban. Így a vizsgált esetekben a folyadék párolgása nem csak a környezeti hatások következtében történt, hanem a folyadékkal közölt hőforrás is segítette. Irodalomkutatás során talált munkák nagy része a magára hagyott folyadékok párolgásával foglalkoztak, kevés olyan eset volt, ahol a folyadékkal hőt is közöltek.

A berendezés jelenleg az említett négy hajtóerő közül az első három vizsgálatára alkalmas, melyeknél a hagyományos értelemben vett párolgás is jelentkezik. Kutatási méréseket végeztünk három esetre: amikor a gáz hőmérséklete magasabb, mint a folyadéké, azonos, valamint fordított esetre. A mérési eredményeket diagramokon ábrázoltuk. Kutatásunk további célja egy olyan egyenletrendszernek a megállapítása, ami széles értelmezési tartományban leírja a párolgás jelenségét a különböző kategóriák figyelembe vételével.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **S. SZENTGYÖRGYI, K. MOLNÁR ÉS M. PARTI**, *Transzportfolyamatok*, Budapest: Tankönyvkiadó, 1986.
- [2] **E. R. TREYBAL**, *Mass-transfer operations*, Third Edition, USA: McGraw-Hill Company, 1981.
- [3] **E. SARTORI**, *A critical review on equations employed for the calculation of the evaporation rate from free water surfaces*, Solar Energy 68-1, pp. 77-89, 2000.
- [4] **M. KASSAI, N. R. MOHAMMAD ÉS S. J. CAREY**, *A developed procedure to predict annual heating energy by heat and energy recovery technologies in different climate European countries*, Energy and Buildings 109, pp. 267-273, 2015.
- [5] **T. POÓS ÉS E. VARJU**, *Determination of evaporation rate at free water surface*, in 8th International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Resources, Subotica, 2016.

EGYSZERŰ BOLYGÓMŰ FOGAZATI INTERFERENCIÁI

THE INTERFERENCES OF PLANETARY GEAR DRIVES

TOMORI Zoltán¹, VADÁSZNÉ Dr. Bognár Gabriella²

¹Ph.D. hallgató és okleveles gépészmérnök, nordker94@t-online.hu

¹Nordker - M kft., 3525 Miskolc, Kerpely Antal u. 1.

²intézetigazgató, egyetemi tanár, v.bognar.gabriella@uni-miskolc.hu

²3515 Miskolc – Egyetemváros

Kivonat: Az egyszerű bolygóművek tervezése, illetve gyártásakor előfordulhatnak olyan esetek, amikor a működés és a gyártás során valamilyen az elkészített fogazati geometriából adódó probléma lép fel (sérült fogalak kerül kialakításra – alámetszés, egyenetlen járás valósul meg – elégtelen kapcsolószám). A lehetséges problémákat elemezve, azok kialakulásának körülményei alapján, osztályozhatjuk az interferencia jelenségeket. Vizsgálatuk minden esetben indokolt, hiszen csak a fogazati interferenciáktól mentes geometriával rendelkező fogaskerekek képesek a helyes és megfelelő, zavaroktól mentes működésre. [1], [2].

Kulcsszavak: egyszerű bolygómű, gyártási interferencia, működési interferencia

Abstract: In the design and the production of simple planetary gear drives, it can happen that difficulties appear during the productional or operational processes caused by the geometry of the gears. For example harmed tooth is produced, undercut, or unstable rotation occurs due to the too small contact value. The interferences can be classified(see [1], [2]). The investigation of these phenomena is important as the gear drives can properly run with interference free profile geometry.

Production interference can be described during the machining of the involute gear, the tool during the gear machining movement harms the normal geometry of the tooth profile (overcut or allowance created).

Operational interference in this case one of the gears requires such kind of profile which cannot be produced or it has not been produced.

Keywords: simple planetary gear drive, production interferences, operational interferences

1. AZ EGYSZERŰ BOLYGÓMŰ EVOLVENS FOGAZATAINAK INTERFERENCIÁI

Egy fogaskerék kapcsolódás esetén a kapcsolódási problémák osztályozása szempontjából az alábbi csoportosítást célszerű figyelembe venni:

Gyártási interferencia, ha gyártáskor a szerszám lefejtő mozgása közben a normális geometriájú fogalak sérül (vagy lemetszés vagy ráhagyás keletkezik azon).

Működési interferencia, ha a normálisan kialakított geometriájú fogaskerék a vele kapcsolódó ellenkerékkel nem képes zavartalanul kapcsolódni (az ellenkerék olyan geometriát kíván meg, ami nem alakítható ki vagy nem készült el illetve nem biztosítja egyenletes szögsebesség átvitelt).

A szakirodalom gyakran rendszerezés nélkül vagy egymással vegyítve említi, illetve ellenőrzi a lehetséges interferencia jelenségek előfordulását [3] – [6]. Ehelyett egy szisztematikusan végrehajtott, az interferencia jelenségek mindegyikét ellenőrző vizsgálatosorozat elvégzése célszerű. Ellenőrizni szükséges, hogy a létrehozott fogazati kapcsolat ténylegesen mentes minden akár a gyártás, akár a működés során előforduló zavartól és problémától.

1.1. Az egyszerű bolygómű evolvens fogazatainak gyártási interferenciái

Ide tartoznak azok az interferencia jelenségek, amelyek esetén nem helyes fogalak kerül kialakításra.

Belső fogazatú kerek gyártási interferenciái:

- Belső fogtő-interferencia

Adódhat olyan geometriai viszony a belső fogazatú fogaskerék és a metszőkerék között, hogy a metszőkerék lábrésze a belső fogazatú kerék fejéleit lemetszi. Ezt a jelenséget belső fogtő-interferenciának nevezzük.

- Külső fogtő-interferencia

Előfordulhat olyan eset a gyakorlatban, hogy a belső fogazatú kerék fogazatának lábrészén az evolvens profil nem készül el olyan mélységig, mint amilyen mélyen a vele kapcsolódó külső fogazatú kerék fejrésze kapcsolódáskor benyúlik. Ilyen esetben a külső fogazatú kerék az evolvens profillal való kapcsolódás helyett a kialakított fogtőgörbébe ütközik. Ezt a jelenséget külső fogtő-interferenciának nevezzük.

- Előállítási evolvens - interferencia vagy radiális interferencia

A belső fogazatú kerék megmunkálásakor a metszőkereket, a fogazandó kerék és a szerszám tengelyének transzverzálisán radikális előtolással mozgatjuk fogásvétel céljából. Előfordulhat az a kellemetlen eset, hogy a szerszám előtolás közben a fogak felületéből lenyes olyan részeket, amelyek hozzátartoznak a geometriailag helyes fogalakhoz. Ezt a jelenséget előállítási evolvens-interferenciának, vagy radikális gyártási interferenciának nevezzük.

- Előtolási interferencia vagy fogakadás

Az előállítási evolvens-interferencia kiküszöbölésével általában biztosított a másodlagos interferencia jelenségnek, az előtolási interferenciának vagy másnéven a fogakadásnak az elkerülése. Kis $z_3 - z_{s3}$ (ahol a $z_3 - z_{s3}$ fogszám különbség a belső fogazatú fogaskerék fogszámának és az azt fogazó metszőkerék szerszám fogszámának különbsége) esetében azonban célszerű ezt az interferencia jelenséget is ellenőrizni.

- Fogfej vastagság

A fogfej vastagság vizsgálatánál arra törekszünk, hogy megállapítsuk, a belső fogazatú kerék fogfeje nem vékonyabb-e egy, a szakirodalmi ajánlásokban megtalálható, számításokkal meghatározott vagy csak becsült értéknél. Ennél a számításnál általában a modulra vonatkoztatott (esetleg annak százalékában kifejezett) fogfej vastagságot szokás kiszámítani.

Külső fogazatú kerek gyártási interferenciái:

- Fogtő interferencia

A külső fogazatú kerek fogtő interferenciája lényegét tekintve megegyezik a felső fogazatú kerek külső fogtő interferenciájával. Az a jelenség, amely a kapcsolódó kerek között akkor lép fel, ha az egyik kerék fogának fejele az ellenkerék fogtő felületével, tehát a fogfelületnek az egyenletes szögsebesség-átvitelre alkalmatlan részével kapcsolódik.

- Alámetszés

Azt a gyártási interferencia jelenséget, amikor a lefejtő szerszám a használható fogprofil a lábrészen alámetszi és ezáltal a fogtövet szilárdságilag gyengíti, alámetszésnek nevezzük.

- Fogfej vastagság

A fogfej vastagság vizsgálatánál arra törekszünk, hogy megállapítsuk, a külső fogazatú kerék fogfeje nem vékonyabb-e egy, a szakirodalmi ajánlásokban megtalálható, számításokkal meghatározott vagy csak becsült értéknél. Ennél a számításnál általában a modulra vonatkoztatott (esetleg annak százalékában kifejezett) fogfej vastagságot szokás kiszámítani.

1.2 Az egyszerű bolygómű evolvens fogazatainak működési interferenciái

Ide tartoznak azok az interferencia fajták, amelyek esetén nem helyes kapcsolódás valósul vagy valósulna meg.

Belső fogazatú kerek működési interferenciái:

- Működési belső fogtő interferencia

Helytelen tervezés vagy hibás gyártás esetén előfordulhat az az est, hogy a külső fogazatú kerék fogazatának lábrésze a belső fogazatú kerék fej élével akar kapcsolódni. Ezt a jelenséget nevezzük működési belső fogtő interferenciának.

- Kapcsolószám ε_α

A kapcsolószám, $\varepsilon_\alpha \geq 1$ kell legyen, mert ellenkező esetben megszűnik a folyamatos kapcsolódás. A gyakorlatban a nagy pontosságú fogaskerékpárok esetén $\varepsilon_{\alpha min} = 1.15$ is lehet. Általában azonban értéke 1,3...1,4 szokott lenni. Nagyon lényeges tehát értékének vizsgálata, mert alapvetően befolyásolja a gyártott kerékpár használhatóságát és a kapcsolódás minőségét.

Külső fogazatú kerek működési interferenciái:

- Kapcsolószám ε_α

A kapcsolószám, $\varepsilon_\alpha \geq 1$ kell legyen, mert ellenkező esetben megszűnik a folyamatos kapcsolódás, azaz a fordulatszám átvitel lüktetővé válik. A gyakorlatban a nagy pontosságú fogaskerékpárok esetén $\varepsilon_{\alpha min} = 1.15$ kell legyen. Általában azonban értéke 1,3...1,4 szokott lenni. Nagyon lényeges tehát értékének vizsgálata, mert alapvetően befolyásolja a gyártott kerékpár használhatóságát és a kapcsolódás minőségét.

2. KÖVETKEZTETÉSEK

2.1 A különféle gyártási és működési interferenciákat megvizsgálva, mindegyik esetén meghatározhatóak azok a geometriai adatok, amelyek biztosítják az adott fogazat és alkalmazott fogazószerszám esetén az interferencia elkerülését.

2.2 Az összes interferenciajelenség vizsgálata alapján meghatározhatók az interferencia jelenségektől mentes fogazati tartományok határértékei.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **DROBNI, J.** *Metszőkerék tervezése belső fogazatú fogaskerékhez.* Tervezési segédlet. Gé. 79-2067. NME. Miskolc. 1979. 10-29.
- [2] **TOMORI, Z.** *Relatív csúszásra optimalizált kb típusú fogaskerék-bolygóművek tervezése.* Kézirat. Az NME Gépészmérnöki Karára benyújtott és elfogadott egyetemi doktori értekezés. Miskolc. 1985. 1/69.
- [3] **COLBOURNE, J. R.** *The Geometric Design of Internal Gear Pairs.* Gear Technology. May/June 1990. 28-37.
- [4] **YU, D. D.** *On The Interference of Internal Gearing.* Gear Technology. July / August 1989. 12-44.
- [5] **ERRICHELLO, R. L. – HEWETTE, C. – ECKERT, R.** *Point – Surface - Origin Macropitting Caused b The Geometric Stress Concentration.* Gear Technology. January / February 2011. 54-59.
- [6] **KAPELEVICH A. – SHEKHTMAN Y.** *Area of Existence of Involute Gears.* Gear Technology. January / February 2010. 64-69.

AZ EGYÉNI DÖNTÉSHOZATAL ÉS AZ ÉLETHOSSZIGTARTÓ TANULÁS KAPCSOLATA

CONNECTION BETWEEN INDIVIDUAL DECISION MAKING PROCESS AND LIFE LONG LEARNING

KUCSMA Daniella

tanársegéd, szvkd@uni-miskolc.hu

¹Miskolci Egyetem, Gazdaságtudományi Kar, Vezetéstudományi Intézet

Kivonat: A cikk bemutatja az élethosszig tartó tanulás és egyéni döntéshozatal összefüggéseit. Ahhoz, hogy egy egyén jó döntést hozzon az általa kiválasztott szakma eléréséig fontos megvizsgálni a két terület összefüggéseit. A fontosabb elemeket egy kapcsolat mátrix segítségével rendeztem, ami megmutatja melyek azok a tényezők, amik a hatékonyságot elősegítik az egyén szellemi fejlődését.

Kulcsszavak: élethosszig tartó tanulás, egyéni döntéshozatal, kapcsolatmátrix, hatékonyság

Abstract: This article introduces the connections between individual decision making process and life long learning. In order to reach his/her choice he/she has to make several good decisions and examine a lot of situations. With the help of a connection matrix I present the connection of important facts between decision making process and life long learning. This matrix will make the decision easier in the future and it will be useful for several people.

Keywords: life long learning, decision making process, connection matrix

1. BEVEZETÉS

Számos publikációt olvashatunk az élethosszig tartó tanulással és az egyéni döntéshozattal kapcsolatban is, azonban ennek a két területnek az összefüggéseiről nem sok írásos anyag, tanulmány számol be. Fontosnak érzem megvizsgálni az összefüggéseket, hiszen ahhoz, hogy egy ember jó döntést hozzon az általa választott hivatás eléréséig számtalan olyan tényezőt kell megvizsgálni és számításba venni, ami a siker könnyebb elérése érdekében elengedhetetlen. Azt gondolom, hogy a döntéseink és az élethosszig tartó tanulás kapcsolatban vannak egymással, azaz az egyik elem a hatást gyakorol a másikra; és írásos anyagom végére ezt kellőképpen alá is kívánom támasztani.

Mindennap találkozunk döntési helyzetekkel, hogy egy egyszerű példát említsek:” milyen ruhába menjek dolgozni vagy éppen milyen ételt válasszak a reggelim alapanyagául?”. Az egyszerű döntések is befolyásolják az életünket, hiszen ezáltal vagyunk valahol, vagyunk valakik. Ha döntésinket csoportosítani akarjuk, akkor meglehetősen könnyű dolgunk van, hiszen vannak mindennapos kis, rutinszerű döntéseink és vannak olyan döntések, amik ettől sokkal komplexebbek, amiket rövid idő alatt nem tudunk meghozni. Viszont egy másik irányból számtalan olyan oldalt kell megvizsgálnunk ahhoz, hogy a jelenlegi helyzetünknek, képességeinknek megfelelő, legelőnyösebbet döntést hozhassuk, mely már egy tényező, hanem életünket befolyásoló komplex döntés.

2. DÖNTÉSEINK FŐBB ELEMEI

A döntés csoportosításának bemutatását követően célszerű a döntést befolyásoló tényezőket megismerni. Szakirodalmi vizsgálódás után két olyan elemmel találkozunk, melyek alapjaiban meghatározzák a döntéseinket. [1]

- Gondolkodásmódunk: talán ez a tényező a legfontosabb abban a tekintetben, hogy a világról való elképzelésünket, a hozzáállásunkat és az emberekről alkotott véleményünket formálja.
- Érzelmi állapotunk: Az érzelmi állapot hatással van a döntéseinkre, ha jó kedvünk van adott dolgokban sokkal pozitívabban tudunk döntést hozni. Viszont, ha betegek vagyunk, aggasztó gondolatok járnak az eszünkben nem tudunk mindig pozitív és reális döntéseket hozni.

Ez a két fő elem segítséget nyújt a kis és nagy döntésekben is. Az összetett döntéseink meghozatalához még számos tényező hozzájárul. Elemek sokaságát leszűrve fókuszáljunk három tényezőre: a döntéshozó kultúrája, a döntés kockázata és a motiváció. Ezek a tényezők véleményem szerint óriási hatással vannak döntéseinkre. A szakirodalom az alábbi tényezőket emeli ki, mint döntést befolyásoló elemek:

- Kultúra hatása a döntéshozatalra :A kultúra sokszínűsége mindennapi életünkben egyre jobban kifejti hatását. Számos kutatás megmutatja, hogy a kultúra, hogyan gyakorol hatást a folyamat hatékonyságára, így a döntéseinkre is. Nem mindegy milyen kulturális normák vannak a környezetünkbe vagy milyen kulturális elemek vannak hatással mindennapjainkra. A jelenkorra jellemző, hogy egyre jobban interkulturális jegyek fedezhetőek fel, egyre nagyobb trendek alakulnak ki, melyek nem csak a mindennapos döntéseinket, hanem a tanuláshoz való hozzáállásunkat is befolyásolják. [2] [3]
- Döntési kockázatok: Az életben a legnagyobb érték, hogy letězünk, így törekszünk az életminőség javításra azonban a megvalósítási módban nem feltétlenül értünk egyet. Számtalan olyan döntéssel találkozunk, amik kockázatot jelentenek a jövőnkre. Egy hétköznapi példán bemutatom mit jelent a kockázat. Számtalanszor elhangzott már egy vizsga előtt, hogy bár nem teljesen tudom az anyagot, de megpróbálok elmenni a vizsgára és sikeresen egy elégséges vagy annál jobb érdemjeggyel távozni. Itt a cél a túlélés, hiszen a hallgató tudta, hogy miből kell készülni azonban tisztában volt azzal a ténnyel is, hogy nem biztos, hogy a jelenlegi tudása elegendő ahhoz, hogy sikeresen abszolválja a vizsgát. Ezt a folyamatot döntési kockázatnak nevezzük, hiszen két lehetséges alternatíva áll fent : vagy sikeres vagy a sikertelen vizsga megszerzése. [4]
- Társadalmi döntések és elvárások hatása: Kis mértékben kapcsolódik a kultúrához, hiszen itt is egy olyan külső tényezőt kell megvizsgálunk, ez a döntések és elvárások hatása. Egy egyszerű példán bemutatom, hogyan működik a gyakorlatban ez az elem. A középiskolában a tanuló végig kitűnő eredménnyel végzett így a társadalom azt várja, hogy az egyén a felsőfokú tanulmányok mellett döntsön. Persze figyelembe kell vennünk azt a tényezőt, hogy az embernek önálló akarat van, azonban hatással lehet a döntés meghozatalára, például ha ránehezedik egy külső, társadalmi esetleg családi, iskolai nyomás, így nem feltétlen lesz az egyén kiváló tanulmányai ellenére egyetemista. [5]

A döntés főbb tényezői után fontosnak tartom bemutatni, azon tanulási tényezőket is röviden, amikkel a későbbiekben egy összehasonlítást, pontosabban egy kapcsolati mátrix felállítását fogom elvégezni.

3. TANULÁST BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

Az összehasonlíthatóság és a mátrix elrendezése miatt ebben a témában is öt tényezőt sorolok fel. Ebben az esetben is az alapvető tényezőktől a komplexebb elemek felé haladok.

- Adottságok képességek: Legjelentősebben befolyásolja, az egyén irányultságát, hiszen egy jobb képességű tanuló gimnáziumba fog tovább tanulni, még a kevésbé jó

kepeségekkel rendelkező egy szakközépiskolába vagy szakmunkásképzőbe fog járni. [6]

- **Környezet hatása:** Ezt a blokkot az alapvető tényezők közé sorolom, mert a véleményem szerint a szülők, rokonok vannak a legnagyobb hatással arra, hogy a későbbiekben mit választunk. Ezenfelül, sokban befolyásolja a tanulási irányunkat, más emberek véleménye az adott intézményről : Valamint a munkaerőpiacon való elhelyezkedési lehetőségek. Talál –e munkát az adott iskola elvégzése után, avagy újabb tanulmányokba kell kezdeni.

A továbbiakban még három olyan tényezővel egészítem ki, a már felsoroltakat.

- **Meglévő tudás:** A már elsajátított ismeretek is hatással vannak, hiszen még általános iskolában, illetve középiskola után szüleink segítenek választani, később, például az egyetemi alapképzés után kellő információ és tudás birtokában áll az egyén már meglévő ismeretei alapján hozza a döntéseit.
- **Kompetencia:** Ez egy abszolút fejleszthető elem, azonban ezen tényezőnek is hatalmas szerepe van hiszen alapvető kompetenciák megléte nélkül nem könnyű egy- egy tanulási folyamat végére érni. [7]
- **Motiváció:** Ez a tényező, ami egy belső kényszert is jelent, hiszen az egyén tudja ismételtelen befolyásolni, hogy milyen irányba halad, számára milyen dolgok fontosak és adnak indíttatást, erőt a cél és a döntés meghozatalához; illetve az az irány a későbbiekben mennyire lesz kedvező számára. [8]

4. KAPCSOLATOK

Mindezen tényezők ismeretében felrajzolok egy kapcsolati mátrixot, ami segítségül szolgál feltárni azt, hogy adott elemek között milyen kapcsolat fedezhető fel, illetve, hogy melyek azon elemek, amelyekre figyelniük kell, hogy egy hatékony döntést meg tudjunk hozni.

Tanulás / Döntés	Környezet hatása	Adottság	Meglévő tudás	Kompetencia	Motiváció
Gondolkodás mód	X	X	X	X	X
Érzelmi állapot	X				X
Kultúra	X		X		X
Kockázat		X	X		
Társadalmi elvárások	X				X

1. táblázat. Kapcsolat a döntés és a tanulás főbb elemei között (saját készítés)

Könnyebb áttekinthetőség érdekében készítettem egy összegző táblázatot is, ahol látható, hogy adott elem és elem között milyen kapcsolat van. A kapcsolatok erősségét az jellemzi, hogy hány elemmel tudom összekapcsolni, tehát minél nagyobb elem számmal kapcsolom össze, annál erősebb a tényező hatása a tanulást meghatározó döntéseinkre, így érdemes ezen kiválasztott tényezőkre nagyobb hangsúlyt fektetni. [9] Összefüggések vizsgálata a következő tényezők alapján történt meg:

- Információ tartalom-adott tényezők közötti tartalmi összekapcsolódások.
- Egymásba illeszthetőség: a két tényező összeilleszthetősége.
- Gyakorlati alkalmazhatóság: nem csak az elmélet ismerete a lényeges, hanem két elem kölcsönhatása.
- Hatékonyság: két elem együtt kezelése.

Tanulás Döntés	Környezet hatása	Adottság	Meglévő tudás	Kompetencia	Motiváció	Összesen
Gondolkodás mód	X	X	X	X	X	5
Érzelmi állapot	X				X	2
Kultúra	X		X		X	3
Kockázat		X	X			2
Társadalmi elvárások	X				X	2
Összesen	4	2	3	1	4	

2. táblázat. Kapcsolat a döntés és a tanulás főbb elemei közötti összefüggés értékelése (saját készítés)

Táblázat alapján a következő rangsor állapítható meg a legerősebb tényező a gondolkodásmód, hiszen a tanulás minden egyes elemével kapcsolatban áll. A gondolkodásmód mindennek az alapja, azt gondolom ez a „leghálásabb” elem, hiszen a befolyásolható az, hogy egy embernek milyen elképzelései vannak. Az alakíthatáshoz azonban egy olyan környezetre van szükség, ami tud egy jó irányt mutatni az egyén számára. Ha már környezetet említettem a gondolkodásmóddal kapcsolatban, akkor megállapítható, hogy ez a tényező is kiemelkedő. A harmadik tényező, ami nagyon fontos szerepet tölt be, a motiváció az úgynevezett belső kényszer, ami segít az egyénnek az előrehaladásban, ami készíti arra, hogy új célokat tűzzön ki önmaga számára, ami sokkal sikeresebbé tud tenni egy embert. Azt gondolom a többi tényező szerepe sem elhanyagolható azonban erre a háromszögre figyelniük kell, hogy jobb eredményekkel és nagyobb céltudatossággal menjünk az álmaink felé.

ÖSSZEFOGLALÁS

Céljaim között szerepel ennek a mátrixnak a gyakorlatban való vizsgálata, hiszen azt hiszem, hogy a fent említett tényezők mellett fontos egy olyan környezetben megvizsgálni a modellt, ahol speciális körülmények között lehet egy-egy vizsgálatot folytatni. Kiemelten érdemes figyelni a három magas pontszámot elért tényezőre és elmélkedni azon, hogy gondolkodásmódot és a motivációt lehet fejleszteni. Azonban nem elhanyagolandó a kultúra, avagy a környezet. Az írásom elején feltettem a kérdést, : valóban fontos a két terület együttes vizsgálata? A leírtak után megállíthatom, hogy bátran azt mondhatunk, igent. A világunk egyre gyorsabban fejlődik, ami számos folyamatot felgyorsít és egyben megpróbálja leegyszerűsíteni, a megkönnyíteni az emberek életét, illetve ösztönözni az egész életen át tartó tanulás támogatására. Fontos, hogy ne csak egy divatos kifejezés legyen az élethosszig tartó

tanulás, hanem a mögöttes tartalmat is megértse a társadalom minden tagja, hiszen ez a nemzeti megítélésben is nagy szerepet játszik.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **ZOLTAYNÉ PAPRIKA Z.:** *Döntéelmélet*, Aliena Kiadó Budapest, 2005.
- [2] **CHILD J.-KIESER A.:** *Organizational and Managerial Roles in British and West german Companies: An Examination of Culture-free Thesisin*, Weinshall 1993. Berlin
- [3] **FUKUYAMA F.:** *Bizalom – A társadalmi erények és jólét megteremtése-*, Európa Könyvkiadó 1997. Budapest
- [4] **KEREKES S.- SZLÁVIK J. :** *A környezeti menedzsment közgazdasági eszközei*, KJK Kerszöv 2002. Budapest
- [5] **MOON C. J. – WOOLIAM S. P.:** *Managing Cross Cultural Bussiness Ethics*, Journal BussinesEtihcs 2000.
- [6] http://www.knok.adatpark.hu/letoltesek/dokumentumok/Modinfo_Keszsegek_kepessegek_kompetenciak_fejlesztese.pdf
- [7] **BOKOR A.:** *Szervezeti kultúra és tudás integráció* Vezetés szervezés Tanszék Budapest
- [8] http://old.ektf.hu/hefoppalyazat/pszielmal/a_motivci_fogalma.html
- [9] http://penzugysziget.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=331&Itemid=133

MŰANYAGOK EGÉSZSÉGÜGYI VÉLT ÉS VALÓS HATÁSA

PUTATIVED AND REAL HEALTHY EFFECT OF THE PLASTICS

TAMÁSI Kinga¹, ZSOLDOS Gabriella²

¹ME-MAK, MSc., hallgató, anyag1988@gmail.com

¹Miskolci Egyetem, Műszaki Anyagtudományi Kar, Kerámia és Polimermérnöki Intézet

²ME-MAK, PhD, adjunktus, femzsgab@uni-miskolc.hu

²Miskolci Egyetem, Műszaki Anyagtudományi Kar, Kerámia és Polimermérnöki Intézet

Kivonat: Az Európai Unióban forgalmazott termékeknek a minőségi követelményeken túl bizonyos fogyasztóvédelmi előírásokkal szemben is meg kell felelniük, amelyek célja annak biztosítása, hogy csak megbízható fogyasztói termékek kerüljenek a piacra. Ezek az általános nemzetközi követelmények tartalmazzák 2001/95/EC (GPSD, RoHS I-II, REACH) azon előírásokat, amelyek lehatárolják a termék előállításánál alkalmazható illetve nem alkalmazható kemikáliákat, mennyiségüket termelési ág-és termék specifikus csoportosítások szerint, ugyanis az elmúlt években a kemikáliáknak voltak második leggyakrabban definiált egészségügyi kockázatos hatása. Ilyen, a leggyakrabban ellenőrzött csoportok: a polimerek, textilek, gyermekjátékok és detergensek a számos egyéb piacon még előforduló termék közül. Munkánk során ezen kérdéses vegyületek és polimerek és komponenseik elemzésével és jövőbeni hatásaikkal foglalkoztunk.

Kulcsszavak: kémiai biztonság, GPSD, RoHS I-II, REACH jogszabály, kockázatos polimerek

Abstract: Products placed on the market in the EU are subject to general safety requirements. These requirements are included in the General Product Safety Directive 2001/95/EC (GPSD, RoHS I-II, REACH) which aims at ensuring that only safe consumer products are sold in the EU. Apart from the general provisions, certain categories of products are covered by sector specific legislation and product specific provision. Over the last few years, chemicals have been the second most notified risk for polymer-plastic products, textiles, toys, and detergents are just examples of such notified products. In our work these compounds and polymers were tested and we have analyzed the effects of these.

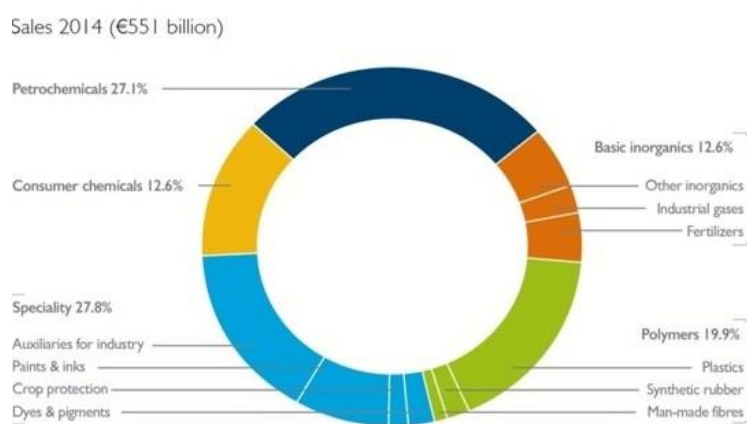
Keywords: chemical safety, GPSD, RoHS I-II, REACH directives, hazardous plastics

1. A MŰANYAGIPAR TÖRTÉNETE

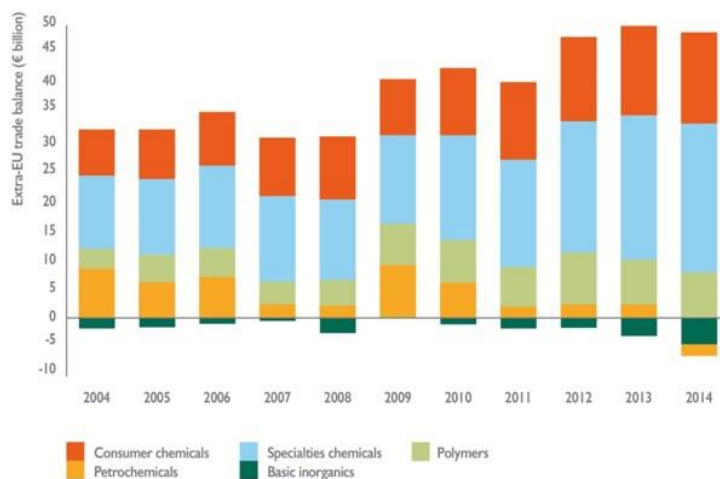
A műanyagok mesterséges úton előállított, vagy átalakított óriásmolekulájú anyagok, szerves polimerek. Jelen vannak életünk szinte minden fontos területén, például a háztartásokban, a járművekben, az egészségügyben, az elektronikában, vagy az űrkutatásban, gyakorlatilag körül vesznek minket.

Történetük legnagyobb mérföldköve legnagyobb mérföldkö ezektől függetlenül az 1838-ban Victor Regnault által vinil-kloridból előállított PVC (polivinilklorid) volt. Közel egy évvel később a Charles Goodyear által felfedezett vulkanizált kaucsuk (gumi, illetve a későbbiekben a fia által létrehozott nagykeménységű gumi, másnéven ebonit) következett. Az első műanyagokat hamarosan követték a többiek: 1844-ben lett ismert a linóleum, nem sokkal később a műbőr, majd a vulkánfibre, 1865 óta ismerjük a celluloidot, 1897 óta a galalitot és a század végén jelentek meg az első műselymek. A mesterséges anyagok tömeges előállításának igénye az első világháború éveiben merült fel, a növekvő szénhidrogén termelés, az -olaj, -vegyi és hadiipar robbanásszerű fejlődése miatt, azonban ebben a periódusban ezek az igények a kutatás kezdeti stádiumában lévő műanyagipar, és az általa előállított műanyagok teljesítőképességét ekkor még jóval felülmúlták. Hazai vonatkozásban az 1929-ben épült formaldehid és műgyanta gyár, későbbi nevén a Kőbányai Műanyaggyár volt az úttörő [1].

A már említett iparágak fejlődésének segítségével a műanyagipar hozadékaként megjelentek a kőolaj alapú, ideális gyártási és felhasználási tulajdonságokkal rendelkező műanyag árucikkek, amelyek a korábban addig használt számos társukkal szemben sokkal népszerűbbek lettek a kereskedelmi piacon. Ennek eredményeként napjainkig a polimer anyagszerkezeti, technológiai kutatások száma; a műanyagok termelési kapacitása és a társadalmi fogyasztói igények számai is folyamatosan növekedő tendenciát mutatnak. Ezt nagyon szemléletesen támasztja alá a CEFIC³ felmérése 2014-ben, amely szerint az EU-ban értékesített ágspecifikus vegyipari termékek közül a polimerek az egész európai kontinens termelésének közel 20%-át teszi ki (1. ábra) illetve, ha az elmúlt tizenkét év távlatában vizsgáljuk a vegyipar különböző, műanyaggyártáshoz kapcsolódó szegmenseinek közreműködését, akkor megállapíthatjuk, hogy az utóbbi években kimagasló pozíciót foglalnak el az értékesített petrol- és polimer kémiai termékek (2. ábra):



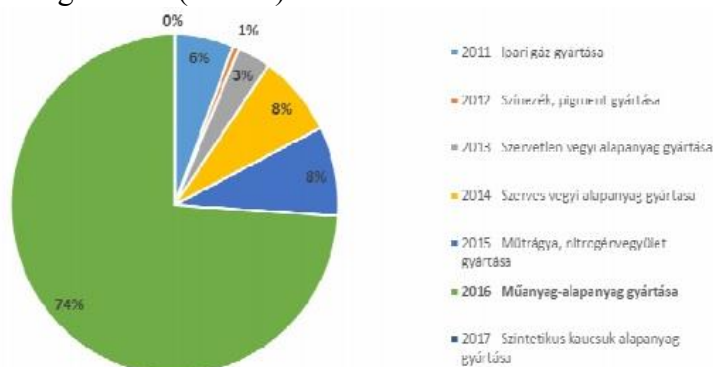
1. ábra. Az EU területén történő vegyipari termékek értékesítése ág specifikusan [2]



2. ábra. Az EU területén történő vegyipari termékek értékesítése 2004-2014 között [2]

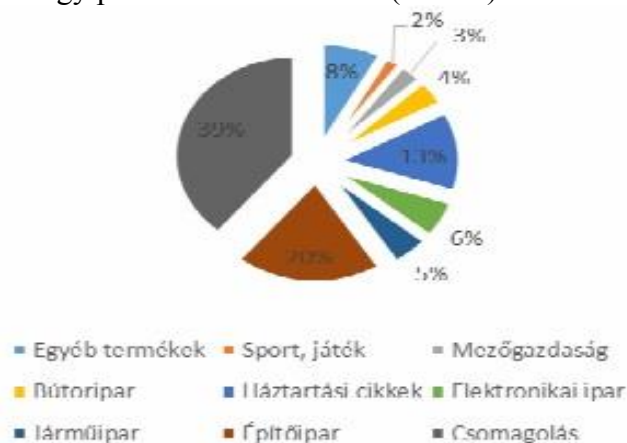
A vegyi anyag gyártása magába foglalja a vegyi alapanyagok, mezőgazdasági vegyi termékek, festék, tisztítószer egyéb vegyi termékek gyártását. Az ágazat termelését a vegyi alapanyagok gyártása dominálja. A KSH 2015. évi adatai szerint a hazai viszonylatban meghatározó súlyú műanyag alapanyag-gyártás, valamint a teljes vegyipar szakágazatai közül 2015-ben a vegyi anyagok és termékek gyártói érték el a legmagasabb nettó árbevételt (1522

mrd Ft), ezt követte a gumi- és műanyag termékek gyártása (1448 mrd Ft), a kőolajfeldolgozás (1151 mrd Ft). Ha a gumi- és műanyagtermékek ágazat termeléséből kiemeljük a gumibroncs gyártását, akkor a műanyag termékek gyártása válik az ágazat meghatározó súlyú szakágazatává (3. ábra):



3. ábra. A vegyipari alapanyaggyártás termelésének megoszlása szakágazatonként, 2014. év I. negyedév [3]

A vegyi alapanyaggyártáson belül a műanyag-alapanyaggyártás szakágazatnak van meghatározó szerepe. A műanyag alapanyaggyártás és a műanyag termékek gyártása együttesen a teljes vegyipari termelés 2/3-át teszi ki. Magyarországon a műanyagipar (szakszóval petrokémia) 74%-kal részesedik a vegyi alapanyaggyártás termeléséből. Ez az érték az Unióban 47%. Érdekes azonban, hogy a műanyag eszközök gyártása jellemzően háttérpár, amelynek termékei elsősorban alkatrészként, részelemként jelennek meg a legkülönbözőbb ipari termékekben. Ily módon az alágazat konjunktúrája szorosan összefügg más iparágakéval. A végtermékeket (pl. háztartási cikkek, sportszerek, játékok) előállító szakágazatok csak a hazai vegyipar kis részét teszik ki (4. ábra):



4. ábra. A műanyagok felhasználása Magyarországon, 2014.

A legnagyobb részarányú felhasználási terület a nemzetközi tapasztalatokkal megegyezően a csomagolás, ugyanakkor munkánk során a műanyag csomagolóanyagok egészségügyi kockázatait nem, hanem az egyéb, a mindennapi életünk során alkalmazott, szervezetünket vélhetően hosszas expozíciónak kitett műanyagtermékek (sporteszközök, gyermekjátékok) vélhetően kémiai kockázatos adalék vagy szennyező komponenseinek hatását vizsgáltuk, hangsúlyozva ezzel az érintett felhasználók számának nagyságát, illetve az általunk is

aggodalomra okot adó, polimerekben és műanyagokban vélhetően előforduló vegyületek szerkezetbe jutását követően okozott egészségügyi károsodások következményeit.

2. A MŰANYAGIPAR A KÉMIAI BIZTONSÁGI JOGI SZABÁLYOZÁS HÁTTERE

A műanyaggyártás az egyik legsúlyosabban környezetterhelő iparág, a javarészt le nem bomló, keletkező hulladékok mellett számos olyan tudomány is napvilágot látott már, amelyben bizonyos műanyag adalék illetve szennyezőanyagok hatása az élő szervezetre hosszas expozíció során kifejezetten veszélyes. Ezért az ágazatot érintő hazai és nemzetközi környezetvédelmi előírások jelentős hatással vannak mind az ágazat növekedési, mind pedig gazdaságossági perspektíváira.

2.1. Az RoHS I. és RoHS II. nemzetközi jogszabályok

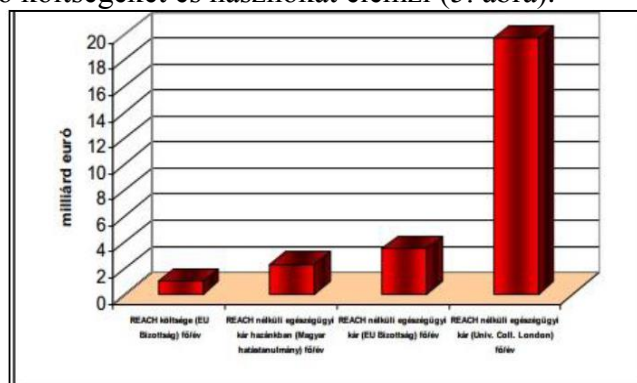
Veszélyes anyagok korlátozásának irányelve. Az Európai Parlament és a Tanács 2003. január 27-én elfogadta az egyes veszélyes anyagok elektromos és elektronikus berendezésekben való alkalmazásának korlátozásáról szóló európai parlamenti és tanácsi irányelvet, amely hivatott volt biztosítani, hogy az elektronikai termékek mentesek legyenek többféle veszélyes anyagtól, megkönnyítve a hulladékáram újrahasznosítását.

Az irányelv tilalmat rendelt el számos nehézfém, például az ólom (Pb^{82}), a higany (Hg^{80}), a kadmium (Cd^{48}), a hat vegyértékű króm ($Cr^{24(VI)}$), a polibrómozott bifenilek (PBB) és a polibrómozott difenil-éterek (PBDE) alkalmazására a 2006. július 1-jétől forgalomba hozott elektromos és elektronikus berendezésekben. A mentességek időszakonként felülvizsgálatra kerültek a tudományos és műszaki fejlődés mentén, de a gyors technológiai fejlődés és a magasabb szintű tudományos ismeretekhez való igazítás miatt, valamint a jobb áttekinthetőség érdekében szükségessé vált az irányelv átdolgozása, amely az RoHS II., amely 2011. június 8-án elfogadásra került az Európai Parlament és a Tanács által az egyes veszélyes anyagok elektromos és elektronikus berendezésekben való alkalmazásának korlátozásáról.

2.2. A REACH nemzetközi jogszabály

Az Európai Parlament és Európai Tanács 1907/2006/EK Rendelete a vegyi anyagok regisztrálásáról, értékeléséről, engedélyezéséről és korlátozásáról (REACH) 2007. június 1-jén lépett hatályba, és amelynek célkitűzése az emberi egészség és környezet védelmének legmagasabb szintű biztosítása jelenleg Európában. Az előírások szerint a vállalatok a szabályozó szerv számára hozzáférhetővé teszik a vegyi anyagok kezelésére, tárolására és összeállítására vonatkozó információkat. Tekintettel arra, hogy a REACH bevezetési a vegyipar éves árbevételéhez viszonyítva jelentős értéket jelentett és így a versenyképességi célkitűzést veszélyeztette; a Bizottság a REACH tervezet előterjesztésekor a regisztrálási folyamat 11 évre történő szétbontásáról döntött. E szerint a a regisztrálási dokumentációt a hatályba lépést követően három éven belül az ún. CMR-ra (*rákkeltő, mutagén, reprodukciót károsító*) és a 1000 t/ év; hat éven belül a 100t/év; a tizenegyedik év végéig az 1 t/év mennyiséget meghaladóan gyártott illetve importált anyagokra kell benyújtani. Ez a kötelezettség mintegy 30000 vegyi anyagot érint. A REACH bevezetésének időbeli elnyújtásával, ennek költsége az EU vegyipar éves árbevételének kb. egy ezrelékére csökken és az esetleges továbbhárításából adódó infláció, az árszintnövekedés is hasonló nagyságrendű lehet, illetve az Európai Unió felkérésére minden tagállam, így hazánk is

elkészítette az egyes országokra vonatkozó hatástanulmányt, mely az új jogszabály bevezetésével felmerülő költségeket és hasznokat elemzi (5. ábra).



5. ábra. A REACH bevezetésével felmerülő költségek és hasznok országonként

Ahogy az ábrán is látható, a felmérés igazolja, hogy a REACH haszna sokkal nagyobb, mint annak költsége. Ezért a Bizottság eredeti javaslatának bármiféle enyhítése gazdasági szempontból is hátrányos, mert rontja az EU – és benne Magyarország – versenyképességét, érintve az összes sportpiaci szereplőt is. Az innováció jelentőségét a vegyipar számára mégis az a tény adja, hogy eredményeként egyrészt új alapanyagok és fogyasztási javak jönnek létre, másrészt pedig olyan technológiák, amelyek az energia, a nyersanyagok vagy a víz hatékonyabb felhasználásával környezetkímélővé teszik a termelési folyamatokat. Az innováció fontos versenyképességi tényező. A versenytársak – különösen az Európán kívül működő vállalkozások – kevésbé szigorú és bürokratikus szabályozási környezetben, és nagyobb arányú kutatás-fejlesztési ráfordításokkal működve alacsonyabb költség szinttel működhetnek, kontrollálva ezáltal a piacon szereplő műanyag termékeket és folyamatokat [4]. A REACH, RoHS-II. direktívák számos vegyipari anyagot érint, közöttük néhány műanyagipari adalékanyag, például a lágyítóként használt ftalát-észterek és policiklusos aromás szénhidrogének sem.

3. A KÉMIAI BIZTONSÁG ÖSSZEFÜGGÉSE A MŰANYAGIPARRAL

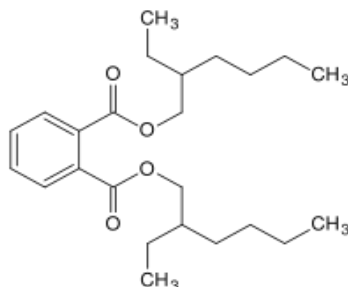
A műanyagok sokféleségét, tulajdonságaik széles tartományát nem csak az alappolimer határozza meg, hanem a hozzákevert adalékok (illetve szennyező anyagok is). Ezek választéka egyre jobban bővül, és egyre inkább alkalmasak arra, hogy segítsék a felhasználó igényeinek legjobban megfelelő, „testre szabott” termék előállítását. A világon ma az egy év alatt kb. 280 millió tonna műanyag felhasználása és ennek évi 5%-os növekedése nem következett volna be a polimerek tulajdonságait kedvezően módosító adalékok nélkül, amelyeknek bekeverésének többféle célja lehet, például pigmentek, töltőanyagok, égésgátlók, de a legnagyobb mennyiséget a lágyítók teszik ki. Egészségügyi szempontból kiemelt figyelmet érdemelnek a ftalát-észter alapú lágyítók illetve policiklusos aromás vegyületek, illetve a műanyag előállítás során katalizátorként alkalmazott nehézfémek és sóik. A hagyományos adalékok fejlesztésében a fő célkitűzés egyrészt a korszerű feldolgozás igényeinek (nagyobb teljesítmény, kisebb szükséges koncentráció; jobb ár/teljesítmény viszony) kielégítése, másrészt a környezet megóvása. De erőteljesen kutatják az olyanok gyártásának lehetőségeit is, amelyek teljesen új tulajdonságokat adhatnak a műanyagoknak [5].

Az elmúlt időszakban heves vita alakult ki néhány ftalát-észter alapú lágyító egészségre gyakorolt hatásáról, elsősorban a di-2-etil-hexil-ftalátot (DEHP) gyanúsították azzal, hogy

káros az emberi egészségre és a környezetre. Emiatt 1999-2004 között 20%-kal csökkent ennek a lágyítónak a felhasználása, a C10-ftalátoké [di-izodecil-ftalát (DIDP) és di-2-propilheptil-ftalát (DPHP)] ezzel szemben 35–58%-kal nőtt. Bizonyos csoportok ma is gyanakodva tekintenek a lágyítókra, és legszívesebben kisöpörnék a PVC-t a piacról annak ellenére, hogy tudományos vizsgálatokkal nem tudták károsító hatását bizonyítani. 2006 áprilisában az EU deklaráta, hogy a két legnagyobb mennyiségben felhasznált PVC-lágyító, a di-izononil-ftalát (DINP) és a DIDP nem tekinthető veszélyes anyagnak és nem jelent kockázatot sem az emberi egészségre, sem a környezetre nézve. Ezért semmiféle korlátozásuk nem indokolt. Ezzel azonban még nem lehet levenni a lágyítók problémáját a napirendről, a gyártóknak a megfelelő lágyítók kiválasztása mellett ugyanakkor meg kell oldani a nehézfém-tartalmú katalizátorok, stabilizátorok helyettesítését is, mivel bizonyos tanulmányok szerint ezek az anyagcsoportok is vélhetően kockáztatják a velük közvetve érintkezőket [6, 7].

3.1. A ftalát-észterek és egészségügyi hatásuk

A ftalát-észterek olyan szerves vegyületek, melyek nem képeznek erős kémiai kötéseket és lassú, hosszú ideig tartó párolgással szabadulnak fel a különböző termékekből (6. ábra). A PVC lágyítására alkalmazzák ezeket az anyagokat, megtalálhatók padlóknban, lambériában, használják az egészségügyben (oxigénmaszkok, katéterek, vértasakok), és többek között gyermekjátékok készítéséhez is. Továbbá megtalálhatók az élelmiszerekben, flakonokban, ruhákban és műszaki cikkekben egyaránt, a számítógép műanyag alkatrészeitől kezdve a telefonkábelben át a szigetelésekig, valamint csövek, autóalkatrészek, adalékanyagok, festékek, lőszerek és szerszámok műanyag részeiben is, a legelterjedtebb szennyező anyagok, gyakorlatilag minden ember vérében, a hazai élővizekben és a házi porban is kimutathatunk ftalát szennyezést.



6. ábra. A di-2-etil-hexil-ftalát (DEHP) szerkezeti képlete

A ftalátok használatát az Európai Unióban a szaporodási képességet (DEHP, BBP, DBP, DIBP), ill. a gyermek fejlődését károsító hatásai (DEHP, DBP, BBP, DINP, DIDP és DNOP) miatt korlátozzák. Egyes ftalátok a hormonrendszerbe avatkozva korai pubertást okoznak, károsítják a férfiak szaporodási képességét és csökkentik a serdülő hímneműek tesztoszteronszintjét, ami alacsony spermaszámhoz vezet, ezért összefüggésbe hozhatók a férfiak termékenységi problémáival. A ftalátok át tudnak jutni a placentán, és a gyermeket már az anyaméhben is károsítják [8]. A kisebb molekulatömegű ftalátok kozmetikumok, testápoló termékek (pl. bőrhidratáló krémek), parfümök, hajlakk, szappan, sampon, körömlakkok és gyógyszerek adalékanyagai lehetnek még, gyakoriak az olyan fogyasztói termékekben, mint például a rugalmas műanyagjátékok, zuhanyzó függöny, tapéták, kenőanyagok, élelmiszer- és műanyag csomagolások, rovarirtó szerek, de használják bútorok (pl. felületkezelés) és textilek előállításánál is. A ftalátok a hazai élővizekből is könnyen kimutathatók [8, 9, 10, 11]. Egyes ftalátok a hormonrendszerbe avatkozva korai pubertást

okoznak, károsítják a férfiak szaporodási képességét és csökkentik a serdülő hímneműek tesztoszteronszintjét, ami alacsony spermaszámhoz vezet, ezért összefüggésbe hozhatók a férfiak termékenységi problémáival. A ftalátok át tudnak jutni a placentán, és a gyermeket már az anyaméhben is károsítják [12]. Összefüggésbe hozták például a DEHP-et az asztmával és az allergiával is [13, 14]. A Rochester Egyetem vizsgálatai szerint két gyakran használt ftalát, a DEHP és a DBP nagyobb koncentrációja kisfiúk esetében nagymértékben csökkentette az olyan „fiús” játékok használatát, mint például a kisautó vagy a vonat, míg kislányoknál nem figyeltek meg eltéréseket [15].

Bis(2-etilhexil)ftalát (DEHP)-kitettség esetén a belégzés nincs káros hatással az egészségre, lenyelve viszont gyomorirritációt, hasmenést okozhat. A bőrrel való érintkezés hatásairól kevés az adat. Állatkísérletekben minimális vagy enyhe bőr- és szemirritációt okozott. Néhány esetben embereknél bőrirritációt, bőrérzékenységet írtak le, de ez nagyon ritkán fordult elő. A legtöbb vizsgálatban, a májban és a vesében nem mutattak ki káros klinikai kémiai vagy kórszövettani elváltozásokat, bár rágcső esetében a máj és a vese csekély súlynövekedését írták le az orális expozíció után [16]. Nem számoltak be káros immunológiai vagy neurológiai hatásról az általános toxicitási vizsgálatokban. Mint említettük, a legújabb eredmények szerint a DEHP összefüggésbe hozható az asztmával és az allergiával, mivel a nagy koncentráció egy adott helyiségben növeli az asztmás és allergiás megbetegedések rizikóját [17].

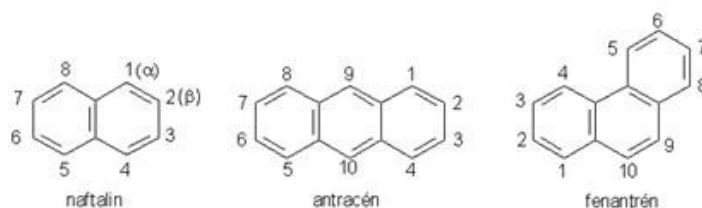
A ftalátok hatásairól döntően állatkísérletekből származó adatok állnak rendelkezésre, kevés tanulmány vizsgálta a ftalátok emberekre gyakorolt egészségügyi hatásait. A laboratóriumi állatokon végzett kísérletekben viszont már megállapították, hogy számos reprodukció, egészségügyi és fejlődési probléma fűződik a ftalátokhoz. Ilyenek például a korai pubertás, vagy az, hogy az anyagok zavarják a hím reprodukció traktus fejlődését és a hormonrendszer természetes működését, serdülő hímek esetében alacsony tesztoszteronszintet okozhatnak, felnőtt hímeknél pedig alacsony spermaszám jelentkezhet [18]. Ausztria volt az egyik első ország, ahol rendeletbe foglalták, hogy a 3 éves kor alatti gyermek játékszerek nem tartalmazhatnak ftalátokat [19]. Azóta az alábbi országok is megtiltották az egészségre káros ftalátok használatát gyermekjátékokban: Argentína, Ausztria, Ciprus, Csehország, Dánia, Fiji-szigetek, Finnország, Németország, Görögország, Olaszország, Japán, Mexikó, Norvégia és Svédország, valamint a legtöbb uniós ország elfogadott korlátozásokat, vagy tilalmakat a ftalát tartalmú játékokkal kapcsolatban [20].

Az EU-jogszabályok tehát kiemelten foglalkoznak a gyerekek kitettségével, hiszen ők nagy mennyiséget vesznek fel a gyerekjátékok és termékek anyagából. Mivel éppen a gyerekek fejlődő szervezete különösen érzékeny a reprodukciót károsító anyagokra, egy ezzel foglalkozó EU irányelvet fogadtak el 2005-ben (2005/84 EK). Az EU irányelv megtiltja három egészségkárosító ftalát, a DEHP, a DBP és a BBP jelenlétét a játékszerekben, hogy az ilyen tartalmú játékok ne kerülhessenek 36 hónaposnál fiatalabb gyermekek szájába [21].

3.2. A policiklusos aromás szénhidrogének és egészségügyi hatásuk

A policiklusos aromás szénhidrogének, az angol „Polycyclic Aromatic Hydrocarbons”-ból eredő mozaikszó alapján a „PAH” elnevezést kapták, amelyek közé több mint 100 különböző vegyület tartozik. E vegyületek összekapcsolódó aromás gyűrűkből állnak, és nem tartalmaznak heteroatomot (7. ábra). A PAH vegyületek általában nem önmagukban, hanem azok keverékeként jelennek meg a környezetben. A PAH-kat egészen 2010-ig lehetett Európában gumibroncsba lágyító anyagként tenni, így a gumik kopása során igen nagy mennyiség található a légkörben is, de előfordulnak különösen a füstölt, vagy túlsütött

ételekben, margarinokban, pörkölt kávéban, kolbászokban, gabonákban, többször felhasznált étolajban, lisztben, tengeri ételekben, és gyümölcsökben [22].



7. ábra. Policiklusos aromás szénhidrogének szerkezeti képlete

A PAH vegyületek közül párat biokémiai, orvos biológiai laboratóriumokban rákkutatásban használnak, így például a dibenzo[a,h]pirénnek, dibenzo[a,a]pirénnek és 5-metilkrizénnek nincs más ismert felhasználási módja. Sok policiklikus aromás szénhidrogén jelen van a kőszénkátrányban, amelynek párlatából előállítanak számos terméket, köztük a kőszénkátrány-szurkot és a kreozotot. Ezeket elsősorban kötőanyagként használják az alumíniumgyártásnál, tetőfedők, felületi bevonatok, a szurok, koksztermelés során, továbbá vasúti talpfák, tengerészeti cölöpök, telefonoszlopok védelmére továbbá a bitumenekben, aszfaltban, valamint bizonyos hang- és vízszigetelésben és azok bevonatához használt burkolatokban. Városi levegőben jellemzően a gépjárművek kipufogógázai okozzák a PAH szennyezést. A kipufogó gázokból mintegy 30féle PAH vegyületet izoláltak, ebből 10 bizonyítottan rákkeltő [23]. A PAH vegyületek a szervezetbe kerülhetnek szennyezett levegő (fatüzelés, dohányfüst, városi levegő) belélegzésével, szennyezett táplálékkal, ivóvízzel és bizonyos műanyag termékek (abroncsok) használatával. A városok PAH szennyezettsége komoly problémát jelent. A benzo[a]pirén az egyik legveszélyesebb vegyület, a WHO IARC szerint az 1. rákkeltő kategóriába tartozik, egészségügyi éves határértéke 1 nanogramm/m³, mert szerkezeten belül károsítja a vörösvérsejteket [24].

Az egészségkárosító hatások megismerése érdekében számos vizsgálatot végeztek kísérleti állatokon, melyek alapján a benz[a]antracén papillómákat (a laphám jóindulatú daganatai, amelyek többnyire papillomavírus-fertőzés következtében alakul ki) okozott a gyomorban, továbbá tüdőadenómákat (tumort) idézett elő. Helyileg adagolva a benzo[j]fluorantén a bőr felszínén papillomát és karcinómát (tumort) okozott a nőstény egerekben. A tüdő szöveteiben nőstény patkányoknál, a benzo[j]fluoroantén és benzo[k]fluorantén laphám rákot indukált, a benzo[a]pirén kitétség szintén tüdő papillomát és tüdőrákot okozott, illetve bőr karcinómát. Belégzéssel légső papillomát és karcinómát idézett elő hörcsögökben, pikkelysejt karcinómát patkányokban. Amikor vemhes egereknek a vemhesség 11. 13. és 15. napján benzo[a]pirén injekciót adtak, nőtt a tüdőadenóma gyakorisága és az utódokban a bőrrákra való hajlam [25].

A naftalin belélegzése okozhat fejfájást, hányingert, hányást, kiterjedt izzadást, és dezorientációt. Elsődleges reakció a vérszegénység, láz, sárgaság, valamint vese- vagy májkárosodás, de éren belüli hemolízis is előfordulhat tünetként. A vesetubulusok blokkolásával kicsapja a hemoglobint. Májnekrózis (szövetelhalás) alakulhat ki. Hemolízis nagyobb valószínűséggel fordul elő olyan egyéneknél, akik örökletesen glükóz-6-foszfát dehidrogenáz hiányosak vagy sarlósejtes vérszegénységben szenvednek [26]. Lenyelés esetén mérgező. Okozhat fejfájást, bő izzadást, levertséget, sötét vizeletet, hányingert, hányást és dezorientációt a belégzés során. Súlyos esetben okozhat kómát, görcsöket, vagy vese elégtelenséget, ami végső esetben halálos is lehet [27]. A naftalin irritálhatja a bőrt, a tartós érintkezés okozhat bőrkiütést és allergiát. A "fényérzékeny" egyének súlyos bőrgyulladást

szenvedhetnek. Szembe kerülve gőz illetve szilárd formájában irritációt, fájdalmat okoz. A nagyon magas expozíció károsíthatja a szem idegeit.

A környezeti levegőben a PAH-ok közül az egészségre legnagyobb veszélyt jelentő 3,4-benz(a)pirénre [CAS 50-32-8] ír elő a 14/2001 KöM-EüM-FVM együttes rendelet nagyon szigorú 1 nanogramm/köbméteres határértéket [24].

Több PAH, így például a 3,4-benz (a) pirén [CAS 50-32-8] is szerepel, mint elsőbbségi vízszennyező, mely anyagok kibocsátása tilos vizekbe [28]. PAH-okat tilos gumiabroncsokba tenni 2010-től, a 2005-ös 2005/69/EK irányelv alapján [29]. A korlátozást jelenleg a már említett REACH-rendelet tartalmazza, amely elmondható, hogy Európa egyik legkomolyabb kémiai biztonsági szabályozása.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **CVIKOVSKY, T., NAGY, P., GAÁL, J.,** *A polimertechnika alapjai*, 2007.
- [2] <http://kornyezetbarat.hulladekboltermek.hu/hulladek/hulladekfajtak/muanyag-hulladek/>
- [3] http://www.hetsigma.hu/honlap2014agazati_minta.pdf
- [4] <http://kockazatos.hu/hatteranyag/reach>
- [5] **PFAENDER, R.**, *Additive heute und in der Zukunft*, *Kunststoffe*, 96. k. 6. sz. 2006. p. 64–71.
- [6] **GOLDBERRY, C.:** *Additive brings flexibility in multiple applications. Plasticizers are one of the most commonly used additives found in plastics.* *Modern Plastics Worldwide*, *World Encyclopedia*, 2006. 40041885. sz. p. 74–75.
- [7] EU clears two plasticizers. *European Plastics News*, 33. k. 5. sz. 2006. p. 6.
- [8] <http://www.phthalates.com/index.asp?page=8>
- [9] <http://www.ecpi.org/upload/documents/document10.pdf>
- [10] http://index.hu/belfold/paradicsom/2009/07/20/novenyvedo_szerek_noiesitik_a_vila...
- [11] http://toxstown.nlm.nih.gov/text_version/chemicals.php?id=24
- [12] <http://www.zerobreastcancer.org/research/phthalates.pdf>
- [13] <http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/umweltanalytik/schadstoff/pvcweichma>
c...
- [14] http://www.epitesiportal.hu/cikkek/rejtett-ellensegeink_200.php#ixzz0vYJEakIB
- [15] <http://news.bbc.co.uk/2/hi/health/8361863.stm>
- [16] <http://www.hpa.org.uk/Topics/ChemicalsAndPoisons/CompendiumOfChemicalHazards/Pht...>
- [17] <http://www.inchem.org/documents/cicads/cicads/cicad52.htm#1.0>
- [18] http://ketesaruk.hu/elelmiszer_es_kereskedelmi_adatbazis_elemzesek/indexes-hir-l...
- [19] Szövetségi Jogi Közlöny II No. 255/1998
- [20] <http://www.zerobreastcancer.org/research/phthalates.pdf>
- [21] http://www.foeeurope.org/publications/2008/Bisphenol_A_in_plastics_is_it_making...
- [22] <http://ntp.niehs.nih.gov/ntp/roc/elevnth/profiles/s150pah.pdf>
- [23] <http://www.jtbaker.com/msds/englishhtml/n0090.htm>
- [24] http://www.kvvm.hu/cimg/documents/14_2001_K_M_E_M_FVM.doc
- [25] <http://ntp.niehs.nih.gov/ntp/roc/elevnth/profiles/s150pah.pdf>
- [26] <http://www.inchem.org/documents/pims/chemical/pim363.htm>
- [27] <http://www.jtbaker.com/msds/englishhtml/n0090.htm>
- [28] http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/priority_substances.htm
- [29] <http://europa.eu.int/eur-lex/lex/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ%3AL%3A2005%3A32...>

HOGYAN MÉRHETJÜK A VÁLLALATOK ÁLTAL MEGVALÓSÍTOTT INNOVÁCIÓ EREDMÉNYESSÉGÉT?

HOW CAN WE MEASURE COMPANY'S INNOVATION PERFORMANCE?

TÓTHNÉ KISS Anett

egyetemi tanársegéd, kiss.anett@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Gazdaságtudományi Kar, Vezetéstudományi Intézet

Kivonat: A gazdaság fejlődésének, a vállalatok hosszú távon nyújtott magas színvonalú teljesítményének meghatározó tényezője lehet a vállalati innováció. A cikk különböző innovációs projektek sikerességének vizsgálati lehetőségeit tekinti át, összegezve a meglévő módszertanokat az innováció mérésére vonatkozóan és kapcsolatát a vállalati teljesítménnyel. A kutatás körbejárja a nemzetközi szakirodalomban használatos mutatókat, faktorokat, melyekkel az innováció hatását mérhetjük a vállalati teljesítmény és termelékenység viszonylatában. A kutatási hipotézisem, hogy a sikeres innováció pozitívan hat a vállalati teljesítményre.

Kulcsszavak: innováció, vállalat, teljesítmény, innovációs teljesítménymérés

Abstract: Corporate innovation may be a determining factor of the economy's development and the corporations' high-quality performance in the long term. The article provides an overview of the examination options of the various innovation projects' success, summarizing the existing methodologies for the measurement of innovation and its relationship with corporate performance. The research comes round the indicators, factors used in the international literature, the help of which the impact of innovation can be measured in relation to business performance and productivity. My research hypothesis is that the successful innovation has a positive effect on corporate performance.

Keywords: innovation, company, performance, innovation performance measurement

1. BEVEZETÉS

A vállalatok sikerességének legfontosabb tényezője az innováció, magasabb rendű versenyelőnyökhöz innovációra van szükség. (Lengyel, 2000.) Az innovációt egyre inkább a modern gazdaságok versenyelőnyeinek egyik legfontosabb forrásaként tartják számon. (Holbrook–Wolfe, 2002). A tudás megszerzésének, adaptálásának, létrehozásának képessége meghatározza a vállalatok innovációs lehetőségeit, és ezen keresztül azok versenyképességét. Az Sundquist-jelentés (1988.) szerint a technológiai, gazdasági és társadalmi változások kölcsönösen egymástól függenek, és a technológiai innováció hosszú távon pozitív hatással van a gazdasági fejlődésre. (Wolfe–Creutzberg, 2003). A vállalati innováció sok szakember szemében képvisel magas prioritást, mégis csak kevesen elégedettek vállalatuk jelenlegi innováció mérési gyakorlatával. Ahhoz viszont, hogy kimutathassuk, hogy az innováció megvalósítása pozitív hatással van a vállalati teljesítményre, ezáltal a versenyképességre, elengedhetetlen az innovációk mérése. A 2008-as BCG által készített jelentés szerint, mely az innovációt méri, a vállalatok alulértékelnek, rosszul mérnek, néhány esetben a mérés nem teljes körű, ami által szegényesek az információk a az innovációk értékeléséhez és a vállalati döntéshozáshoz.

A az innováció fogalmához köthető szakirodalmakat áttekintve (Lundvall, 1995, Lengyel - Rechnitzer, 2004, Kotler, 2004), véleményem szerint a 20. század végéig a legteljesebb meghatározás Schumpeter nevéhez kötődik. Ezt definíciót alkalmaztam a kutatásomban is. „Az innováció új, vagy jelentősen javított termék (áru vagy szolgáltatás) vagy eljárás, új marketing módszer, vagy új szervezési-szervezeti módszer bevezetése az üzleti gyakorlatba,

munkahelyi szervezetbe, vagy a külső kapcsolatokba.” (Oslo Kézikönyv, 2005, Katona, 2006). Viszont az innováció definícióinak a tanulmányozása rávilágít egy fontos problémára, az innováció relativitásának a kérdésére. Kotler (2004) szerint „Innovációnak tekintünk minden olyan árut, szolgáltatást vagy ötletet, amelyet valaki újnak észlel. Az ötletnek már hosszú története lehet, de annak, aki azt újnak látja, innovációnak számít.”

Az innováció térben és időben eltérő megjelenése relativává teszi annak újdonság tartalmát. Tehát fontos, hogy a vállalat számára új legyen, de nem kell szükségszerűen újnak lennie az ágazatban vagy a piacon. Ezáltal az értelmezés túlmutat az innováció „újítás” követelményén, azaz adott helyen az adott időben kell újdonságnak számítani, akkor ez már innováció. Véleményem szerint ez az értelmezés elfogadható, és helytálló, és meggyőződésem, hogy ez biztosíthatja az innováció gondolatának, társadalmasításának a sikerét és a vállalati teljesítményéhez történő hozzájárulásának kimutathatóságát.

2. INNOVÁCIÓ-VERSENYELŐNY

A vállalatok versenyképességének növelésében kiemelten fontos az innováció, melyőstönzése mind hazánkban, mind nemzetközi szinten kiemelkedő helyet foglal el. A statikus, egyensúlyt hangsúlyozó szemléletekkel szemben egyre nagyobb szerepet kapnak a nyereségről, folyamatos fejlődésről, versenyelőnyről szóló elméletek és újra a figyelem központjába kerülnek. Fontos kihívás, kérdés, hogyan tud a vállalat versenyelőnyt kiépíteni? A versenyelőny forrásainak megértésére több paradigma is született. (Teece, Pisano, Shuen, 1997). Napjainkra két fő minta jelent meg azt magyarázandó, melyek a versenyelőny forrásai. Az egyik Porter versenytényezők elmélete (1980), amely az industrial organisation elméleten alapul. Az elmélet szerint a vállalt profitja két tényezőtől függ: egyrészt az iparág helyzetétől, másrészt attól, hogy a vállalat milyen pozíciót épít ki magának az iparágon belül. Porter elemzési kerete az iparág, a versenyelőnyöket alapvetően külső tényezők függvényének tekinti, és nem veszi figyelembe a belső tényezőket (vállalati képességek, erőforrások, szervezet). A másik az 1990-re megerősödött a versenyelőnyök erőforrás alapú megközelítése, mely napjainkban a releváns nézetet képezi. Penrose szerint a vállalat termelő erőforrások kollektívja, nagy fontosságot tulajdonít a szervezeten belüli tanulási folyamatnak. Penrose víziója egy bizonytalan, egyensúlytalan környezetben tevékenykedő vállalatról szól. Eszerint versenyelőnyt az erőforrások és képességek fejlesztésén és innovációján keresztül elérni, mint bűvőhelyet keresni a verseny vihara elől a vállalati stratégia fő célja kell, hogy legyen. (Grant, 2008) A gyorsan fejlődő üzleti környezetben, ahol a vállalatok nem zárkoznak el a globális verseny elől, a versenyelőny többet jelent, mint birtokolni valamilyen nehezen lemásolható terméket. Szintén elvárás, hogy folyamatosan fejlesszük, produkáljuk, előállítsuk, védjük, és fenntartsuk a vállalat különleges eszközének értékét, értékességét. (Teece, 2007) Ez a folyamatközpontú megközelítés.

Tehát az innováció a folyamatközpontú megközelítés alapjain építkezik. Vagyis az innováció lehetővé teszi, hogy erőforrás alapú működésen keresztül egy vállalat számára, hogy új tudás hozzáadásával alakítsa, újjáalakítsa a meglévőket új terméké, szolgáltatássá, folyamattá, technológiává vagy új üzleti modellé.

3. INNOVÁCIÓ MÉRÉS

Az innováció mérését célul kitűző kutatások az 1970-es évek végén jelentek meg. Ezek a vizsgálatok az innovációt szűken értelmezve, kizárólag a kutatás-fejlesztésre (K+F) koncentráltak. Ennek az az oka, hogy akkoriban még az innováció lineáris modellje volt

széles körben elfogadott. A modell szerint az innováció kiindulópontja az alapkutatás a végpontja pedig a termékek értékesítése.



1. ábra. A lineáris innovációs modell

Gyakorlati tapasztalat alapján kijelenthető, hogy a lineáris modell már túlhaladott és erőltetett, nem hatékony. Sokkal szorosabb az elemek közötti kölcsönös összefüggés, különösen a technológiai ciklus felgyorsulásával.

Napjainkra az innováció nem lineáris modellje mérvadó, amelyben az innováció négy fázisa interaktív (oda-visszacsatolós) módon kapcsolódik (2. ábra).



2. ábra. A nemlineáris innovációs modell

Az innováció folyamatmodellben való vizsgálata új megvilágításba helyezi a kapcsolódó szervezési /szervezeti, finanszírozási/ érdekeltségi kérdéseket.

A nem lineáris modell megjelenése óta szakirodalomban az innovációs teljesítményének mérése kapcsán két markánsan elkülönülő megközelítéssel lehet találkozni.

- Az egyik irányzat fókuszja az innovációs rendszer elemein és a köztük lévő kapcsolatokon van. Európában ez az irányzat a hangsúlyosabb. Ezen kísérletek erőssége mindenképpen az innováció komplex értelmezésében, az innovációs rendszer elméletek eredményeinek alkalmazásában rejlik, gyengesége viszont az indikátorok kiválasztásának és esetleges súlyozásának problematikája.

Fő eredményei: az „European Trend Chart on Innovation” keretében zajló vizsgálatok: a különböző Scoreboard jelentések, valamint ezek módszertani háttér tanulmányai (Arundel—Hollanders 2005; Hollanders 2006; Kanerva et al. 2006; EIS 2007). Ennek az irányzatnak a képviselői többek között: Csizmadia és Rechnitzer (2005) hazai nagyvárosokra irányuló felmérésükkel, és a rendszeresen megjelenő „Innováció a Nyugat-Dunántúlon” jelentések (Csizmadia, 2008).

- A másik irányzat az innovációs képességet egy relevánsnak tartott mutatóra redukálja. Fő eredményei: Porter és Stern (2003) „Nemzeti Innovációs Kapacitás” indexe. A megközelítés erőssége az indikátorok kiválasztásának és súlyozásának modellen belüli viszonylagos objektivitása, gyengesége, a problematikus függő változó kiválasztás. E miatt például Porter és Stern munkája a kritikák kereszttüzeiben áll.

A vállalati innováció mérés alapjainak kidolgozása az OECD-ez köthető. 1989-ben az OECD NESTI (National Experts on Science and Technology Indicators) csoportja az OECD Titkárságával együttműködve elkészítette az innovációs adatfelvételek módszertani alapjainak

tekinthető Oslo Kézikönyvet. Ennek első kiadása 1992-ben jelent meg, és alapvetően csak a feldolgozóiparban működő vállalkozásoknál megvalósuló technológiai – termék és eljárás – innováció mérésére szorítkozott, a szolgáltatási szektor vizsgálatára nem volt alkalmas, holott annak gazdaságban betöltött szerepe mind jelentősebbé vált. Elsősorban ez indokolta a kézikönyv átdolgozását, amelynek eredményeként 1997-ben napvilágot látott a második változat (OECD, 1997). Ezzel egyidejűleg elkészült egy harmonizált kérdőív, melynek kidolgozásába az Európai Bizottság és az EUROSTAT munkacsoportja is bekapcsolódott. Az OECD 2005-re készítette el az Európai Bizottság együttműködésével az Oslo Kézikönyv átdolgozott, harmadik kiadását, (OECD, 2005). Ebben már az innováció mérését kiterjesztette a szervezet és a marketing területére is, és a termék- és eljárás-innovációt sem korlátozta a technológiai újításokra. Az Oslo Kézikönyv jelenleg is érvényben levő változata az innováció fogalmát tágabban értelmezve, a következőképpen határozza meg: „Az innováció új vagy jelentősen tovább fejlesztett termék (áru vagy szolgáltatás) vagy eljárás, új marketingmódszer, vagy új szervezési-szervezeti módszer bevezetése az üzleti gyakorlatban, munkahelyi szervezetben vagy a külső kapcsolatokban.”

Tehát mint láthatjuk a szakirodalomban számos kísérlet történt innováció valamilyen szempont szerinti mérésére, ezek zöme a vállalati felmérés módszerét használta. A következőkben néhány, jelentősebb innovációs vizsgálati módszertanról adok rövid áttekintést, amelyeket a vizsgálati módszer kialakításánál figyelembe vettem:

Összehasonlítási szempontok/Felmérések	Földrajzi lehatárolás	Módszertan, lebonyolítás	Eredmény
Community Innovation Survey (CIS)	EU tagállamok	Saját kérdőíves reprezentatív felmérés. Kétévente ismétlődik. Behatárolt ágazatban tevékenykedő cégek.	EUROSTAT által publikált kutatási jelentés a vállalati innovációról. A CIS felmérés adataiból az EU Bizottsága Vállalkozási és Ipari Főigazgatósága készíti el az INNO-Policy Trendchartot.
Európai Innovációs Eredménytábla (European Innovation Scorecard)	EU tagállamok mellett más fejlett országok is (USA, Kanada, Ausztrália, Japán)	A CIS felmérés adataira is épülő ismétlődő kibővített kérdőíves felmérés.	Összesített Innovációs Index
Innobarométer	EU tagállamok	Nem reprezentatív felmérés, innovatívnak feltételezett iparág vezetőit kérdezik meg, Gallup Intézet Eurobarométer megkérdezése	Kutatási jelentés
Economic Intelligence Unit innovációs felmérése	EU tagállamok	Kérdőív és vezetői interjú. Saját innovációs mérési módszertan (statisztikai adatok és véleményindikátorok)	Kutatási jelentés
Boston Consulting Group innovációs felmérése	Amerikai vállalatok	170 megkérdezett vállalat, kérdőíves megkérdezés.	Kutatási jelentés
KSH innovációs felmérése	Magyarország	EU harmonizált innovációs felmérés, CIS kérdőíveken alapul, reprezentatív, kötelező kitöltésű.	KSH- Statisztikai Évkönyv
Magyarországi GEM kutatás	Magyarországi kutatás egy 35 országot átfogó kutatás részeként	A bostoni Babson College és a London Business School vezette Global Entrepreneurship Monitor (GEM) nemzetközi kutatás, kérdőíves eljárás	Kutatási jelentés
Versenyben a világgal kutatási program	Magyarország	BCE Versenyképességi Kutató Központ 10 éve tartó 3 alkalommal elvégzett nem reprezentatív kérdőíves megkérdezése, mely CIS kérdőívre is alapoz.	Kutatási jelentés

1. táblázat. Innováció mérési módszertanok összehasonlítása

Összességében elmondható, hogy mind hazánkban, mind nemzetközileg is egyre több kutatás irányul a vállalatok innovációs tevékenységének feltérképezésére. Különböző kutatóintézetek szerveznek e témában adatfelvételeket, amelyek mind hozzájárulnak a hazai vállalatok innovatív magatartásának megismeréséhez.

4. INNOVÁCIÓ-VÁLLALATI TELJESÍTMÉNY

Számos kutatást találhatunk arra vonatkozóan, milyen hatást gyakorol az innovációs tevékenység megvalósítása a vállalati teljesítményre. A nemzetközi szakirodalomban az Oslo Kézikönyvön (OECD–Eurostat, 2005.) alapuló országos kiterjedésű nagymintás felmérések tették lehetővé az innováció és a vállalati teljesítmény közötti oksági összefüggés vizsgálatát, melyhez a Crepon– Duguet–Mairesse-féle modell (Crepon és szerzőtársai, 1998.) és ennek kissé módosított változata, a Griffith–Huergo–Mairesse–Peters-féle modell (Griffith és szerzőtársai 2006.) nyújt módszertani háttérrel. Dwyer, Mellor (1993.); és Bone and Saxon (2000.) szerzők munkáikban megállapítják, hogy pozitív kapcsolat van a vállalati teljesítmény és a vállalat által véghezvitt innováció között, és az innováció a fő forrása a versenyelőnynek.

Magyarországon a nemzetközi összehasonlításra lehetőséget adó innovációval kapcsolatos kísérleti felmérések Magyarországon a kilencvenes évek elején kezdődtek meg. Az első, nemzetközi módszertanra épülő adatfelvételekre az Innovációs Kutató Központ (IKU) keretében Inzelt Annamária vezetésével került sor, amelyek célja az innováció statisztikai megragadhatósága, az Oslo Kézikönyvre épülő innovációs felvétel módszerének magyarországi kipróbálása volt (Inzelt, 1995., 2001.). Inzelt–Szerb (2003.) A Baranya megyei vállalkozások példáján keresztül elsőként mutatták be az ökonometriai módszerek alkalmazásának lehetőségeit a hazai innovációs szakirodalomban.

Az MTA Regionális Kutatások Központjának (MTA RKK) Nyugat-magyarországi Tudományos Intézete 2001-ben készített egy felmérést a hazai ipari parkokban működő vállalkozások innováció alapú kapcsolatairól (Csizmadia–Grosz, 2002.). A kutatás eredményei rendkívül alacsonynak mutatták az innovációs összefonódásokat, csak minden harmadik ipari park kapcsolathálózatában fordultak elő kutatás-fejlesztésben és marketing innovációban érintett vállalkozások.

A kis- és közepes vállalkozások innovációs tevékenységének és nemzetköziesedésének összefüggését vizsgáló, 2010-ben végzett, Inzelt Annamária nevéhez köthető KKVNT kutatás arra hívja fel a figyelmet, hogy annak ellenére, hogy a hazai innovációs környezet továbbra sem eléggé támogató, a kis- és középvállalatoknak egy szűk körére a határok nélküli nyitott innovációs modell szerinti működés jellemző (Inzelt, 2011.).

Halpern László és Muraközy Balázs (2010.) a hazai vállalatok innovativitását az EU által harmonizált és a tagországokban rendszeresen elvégzett közösségi innovációs felmérés (Community Innovation Survey – CIS) magyar adatainak segítségével vizsgálta.

A szerzők a 2004. és 2006. évi felmérések legalább 20 főt foglalkoztató cégekre vonatkozó adatai alapján elemzik a vállalatok innovációs aktivitását meghatározó tényezőket, valamint az innováció és a vállalati termelékenység közötti oksági kapcsolatot. Eredményeik alapján a vállalatok K+F-ráfordításait egyértelműen befolyásolja a vállalat mérete, a nemzetközi verseny, a szellemi tulajdonjogi védelem használata és az iparág – legnagyobb mértékű K+F-intenzitást a vegyiparban regisztráltak –, továbbá az is igazolódott, hogy az innovatív vállalatok jelentősen termelékenyebbek a többiekhez képest. Korábbi kutatások tapasztalatait megerősítve kimutatták, hogy az innováció erős pozitív hatással van az exportálás valószínűségére és intenzitására.

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk összegzéseként megállapíthatjuk, hogy a 21. századi globális versenyben a siker kulcsa az innováció: az országok és vállalatok az innovációk révén lehetnek sikeresek. Ez különösen fontos figyelembe venni Magyarországon, ahol a méretgazdaságossági szempontokat nem lehet fő eszközként tekinteni a versenyben. Az ismertett innováció mérések eredményei alapján elmondhatjuk, hogy a magyar vállalatok sokféle innovációt hajtanak végre, elsősorban versenyképességük javítása és kínálatuk bővítése céljából vágnak bele az újításokba, az ehhez felhasznált tudásnak csak viszonylag kis része származik közvetlenül a kutatószférából. A verseny körülményei, feltételei erősen hatnak a vállalatok innovációs magtartására, hiszen ott a cégek innovációik céljaként leggyakrabban a versenyben való jobb helyállást jelölték meg, az innováció sikereként pedig a versenyképesség javulását.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **CREPON, B.–DUGUET, E.–MAIRESSE, J.** (1998). *Research, innovation and productivity: An econometric analysis at firm level*. Economics of Innovation and New Technology, Vol. 7. No. 2. 115–158. o.
- [2] **CSIZMADIA, Z. – ERDŐS, F. – GROSZ, A. – SMAHÓ, M. – TILINGER, A.** (2008). *Innováció a Nyugat-Dunántúlon*. MTA- RKK, Pécs- Győr.
- [3] **DOBÁK, M. – HORTOVÁNYI, L. – SZABÓ, ZS.** (2012): *A sikeres növekedés és innováció feltételei*. Vezetéstudomány XLIII. évf. 2012. 12. szám
- [4] **EIS.** (2007). *European Innovation Scoreboard 2007. Comparative Analysis of Innovation Performance*. European Commission DG for Enterprise and Industry. Pro Inno Europe. Letölthető: www.proinno-europe.eu
- [5] **GÖRÖRG, M.** (2003): *A projektvezetés mestersége a projektsiker tükrében*. Vezetéstudomány 2003.02 szám 39-47 oldal
- [6] **GRANT, R.M.** (2008). *Contemporary strategy analysis*, 6th ed. Oxford: Blackwell Publishing Ltd.
- [7] **GRIFFITH, R.–HUERGO, E.–MAIRESSE, J.–PETERS, B.** (2006). *Innovation and productivity across four European countries*. Oxford Review of Economic Policy, Vol. 22. No. 4. 483–498. o.
- [8] **HALPERN, L.–MURAKÖZY, B.** (2010). *Innováció és vállalati teljesítmény Magyarországon*. Közgazdasági Szemle, 57. évf. 4. sz. 293–317. o.
- [9] **HOLBROOK, A. – WOLFE, D.A.** (eds.). *Knowledge, Clusters, and Regional Innovation: Economic Development in Canada*. Kingston Queen’s School of Policy Studies and McGill-Queen’s University Press. Toronto.1-8. o.
- [10] **HOLLANDERS, H. – ARUNDEL, A.** (2007): *Differences in socio-economic conditions and regulatory environment: explaining variations in national performance and policy implications*. INNO-Metrics Thematic Paper, December 2007. Letölthető: http://www.proinno-europe.eu/admin/uploaded_documents/eis_2007_Socio-economic_conditions.pdf
- [11] **HOLLANDERS, H. – CRUYSEN, A.** (2008). *Rethinking the European Innovation Scoreboard: A New Methodolgy for 2008-2010*. Pro Inn Europe Inno Metrics, 2008. September
- [12] **INZELT, A.** (1995). *Az Oslo kézikönyv magyarországi alkalmazhatóságának értékelése az 1994. évi innovációs felvétel alapján*. OMF B, Budapest.
- [13] **INZELT, A.–SZERB, L.** (2003). *Az innovációs aktivitás vizsgálata ökonometriai módszerekkel*. Közgazdasági Szemle, 50. évf. 11. sz. 2002–2021. o.

- [14] **KATONA, J.** összeáll. (2006). *Az innováció értelmezése a 2005. évben kiadott Oslo Kézikönyv 3. Kiadása alapján. Az NKTH megbízása alapján készült tanulmány összefoglalója.* Közreadta a Magyar Innovációs Szövetség. 2006. p.3. www.innovacio.hu
- [15] **KOTLER, P.** (2004). *Marketing menedzsment*, Budapest, Műszaki K., pp.381-383.
- [16] **LENGYEL, I.** – Rechnitzer, J. (2004). *Regionális gazdaságtan.* Budapest-Pécs, Dialóg Campus, p.250.
- [17] **LENGYEL, I.** (2000). *Porter-rombusz: a regionális gazdaságfejlesztési stratégiák alap-modellje.* Tér és Társadalom. 14, 4, 39-86. o.
- [18] **LUNDVALL, B. - A.** (1995). *National Systems of Innovation – Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning.* London. Biddles Ltd., p.8.
- [19] **MATZLER, K. - BAILOM, F. – ANSCHÖBER, M. – RICHARDSON, S.** (2010): *Sustaining corporate success: what drives the top performers?* Journal of Business Strategy. Vol. 31 No. 5 2010, pp. 4-13.
- [20] **NÉMETHNÉ PÁL, K.-PAPANEK, G.** (2014) *Kisvállalati siker a nemzetközi szakirodalomban.* GKI, Gazdaságkutató Zrt.
- [21] **OECD** (1995). *National Systems for Financing Innovation.* Ed.: Guinet, J. Paris.
- [22] **OECD** (2005). *Oslo Manual. 3rd Edition. OECD-European Commission.* Letölthető: <http://www.nkth.gov.hu/hivatal/elemezések-hatteranyagok/oecd-oslo-kezikonyv>
- [23] **OECD** (2009). *Innovációpolitikai országtanulmányok: Magyarország.* OECD-NKTH, Budapest, 2009. augusztus. Letölthető: <http://www.nkth.gov.hu/innovaciopolitika/publikaciok-tanulmanyok/oecd-innovaciopolitikai-090831>
- [24] **OECD-EUROSTAT OSLO KÉZIKÖNYV** (2005). 3. kiad. Párizs. Eredeti cím: Oslo Manual Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data. Third edition.
- [25] **PENROSE, E.** (1995). *The Theory of the Growth of the Firm.* Oxford University Press. Oxford
- [26] **PORTER, M. E.** (1985). *Competitive Strategy.* Harvard University Press., Boston, USA, idézi Buzás, 2007, p.15.
- [27] **STEHR, N.** (2007). *A modern társadalmak törekenysége. Tudás és kockázat az információ korában,* Budapest, Gondolat- Infonia., 204 p.,p.65
- [28] **SZABÓ L. – MÁRKUS G.** (2008): *Nemzetköziesedési tendenciák a kis- és közepes méretű vállalatok körében Magyarországon a 2000-es évek közepén.* Vállalkozás és innováció. 2. sz.
- [29] **TEECE, D.-PISANO, G.-SHUEN, A.** (1997). *Dynamic Capabilities and Strategic Management.* Strategic Management Journal 18:509-533)
- [30] **WOLFE, D.A. – CREUTZBERG, T.** (2003). *Community Participation and Multilevel Governance in Economic Development Policy,* <http://www.lib.utoronto.ca/investing/reports/rp28.pdf>. Letöltve: 2015 szeptember 3.