KÖZOKTATÁSI KUTATÁSOK

MARX GYÖRGY

Szép új világunk

– Természettudomány a gimnáziumban –

AKADÉMIAI KIADÓ

NAGY BUMM

UFO

FEKETE LYUK

ÓZONLYUK

E.T.

SAVASESŐ

KOMPAKTDISZK

CSILLAGHÁBORÚ

ÜVEGHÁZHATÁS

BHOPAL

DDT

LÉZER

RADON

COMPUTER

SZÉP ÚJ VILÁGUNK

PARABOLAANTENNA

DESZKTOP

IBM

VIDEO

GÉNSEBÉSZET

SZMOG

MODEM

BASIC

DOSZ

FAX

URH

KVARK

HI-TECH

ATOMERÖMŰ

HI-FI

ESP

LSD

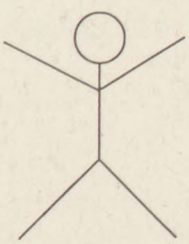
CSIP

DNS

CSERNOBIL

AIDS

VÍRUS



ROBOT

VIDEO

FOGAMZÁSGÁTLÓ

HIBRIDCSIRKE

7748

Marx György

SZÉP ÚJ VILÁGUNK

– Természettudomány a gimnáziumban –

Akadémiai Kiadó, Budapest
1992

MTA
KIK

690915

Megjelenik az Akadémiai Kiadó és a Közoktatási Kutatások Titkárságának gondozásában a Közoktatási és Művelődési Minisztérium tárcakutatási alapjának támogatásával.

Sorozatszerkesztők: Gellériné Lázár Márta és Rét Rózsa

Szerkesztette: Marx György

Bírálták: Csányi Vilmos
Kontra György

MAGYAR
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
KÖNYVTÁRA

A kötet tanulmányai a *Magyar Tudományos Akadémia Elnökségi Köznevelési Bizottságának keretében*, majd *A világgazdasági korszakváltás következményei a természettudományos nevelésben* című – az OTTKT 6-os főiránya, illetve a Ts-4/1. program támogatásával végzett – kutatások alapján íródtak.

Szerzőik: **Gecső Ervin**, az Országos Közoktatási Intézet főmunkatársa, **Marx György** akadémikus, az ELTE tanszékvezető egyetemi tanára, **Papp Katalin**, a JATE adjunktusa, **Tóth Eszter**, a József Attila Gimnázium, majd a Lauder Javne Zsidó Közösségi Iskola tanára.

© Marx György

A kiadásért felelős az Akadémiai Kiadó és Nyomda főigazgatója
A szedés a Közoktatási Kutatások Titkárságán készült
Nyomták az Alfaprint Nyomdában
Felelős kiadó: Akadémiai Kiadó
Felelős szerkesztő: Róbert Zsófia
Terjedelem: 10 A/5 ív
ISSN szám 0238-6577
ISBN szám 96305 6336 3

M. TUD. AKADÉMIA KÖNYVTÁRA
Könyvtár 7930 /19 92 sz.

Tartalom

Marx György: Nem félünk az autótól 7
Kivédeni vagy kiteljesíteni 7
Költők és technokraták 8
Maszek műszaki forradalom 9

Marx György: Nevelni az ismeretlen jövő számára 12
Természettudományos nevelés 16
Korszakváltás 18

Marx György – Tóth Eszter: Modellalkotás a természettudományos nevelésben 21
Az ember és modelljei 21
Modellek az iskolában 22
Modellalkotási gyakorlatok 23
Modellek mint nevelők 25
Függelék 28

Marx György: Informatikai kultúra 30
Az információ kora 30
Elektronok és demokrácia 32
Computer literacy 35
Rutin vagy matematika 37
Fizika, kémia: Tanulhatóvá tenni az eddig tanulhatatlant 38
Kontroll: technika 39
Önként gyarapodó információ: biológia 40
Az ember irányítja a gépet vagy a gép irányítja az embert? 41

Tóth Eszter: Tohu va Bohu 42
Nő a rendetlenség 42
Munka és veszteség 47
Tohu va Bohu 52
Függelék 54

Marx György: Hajnali zápor után 57
Múlt és jövő 57
Az atommag energiája 59
Napfény 62
Energiafogyasztás 63

Marx György: Hosszú menetelés egy dönteni képes társadalom felé 69
Honnan jön az energia? 69
Savanyú esők 72
Miért félünk az atomtól? 72

Hol terem a kukorica? 74
Ki fog dönteni? 75

Tóth Eszter: Aktivitás az iskolában 77
Csernobil üzenete 77
Radon az iskolában 78
Új értékek 79
Kutatás és felfedezések 80
Országos hálózat 82
Radon nevelde 83
Mátraderecskén is mértünk 86

Marx György: Kockázat 89
Az aggódás kora 89
Kémiai kockázatok 92
Napozni jó 93
Radioaktivitás 95
Számolj saját aktivitásoddal! 98
Lélegezni veszélyes 100
Csak egy fogröntgen 101
Jót tenne egy kis sugárzás? 102
Számítsd ki saját évi sugárdózisod! 105
Atomerőmű 107
Csernobil 107
Légköri atomfegyverkísérletek 110

Papp Katalin: Dönteni tudni kell 112
A játék 112
A döntés 112
Esettanulmány 113
Döntésjátékok 114
Döntésjátékok a komfortról 116
Döntésjátékok az energiaellátásról 118
Gazdasági döntésjátékok 122
Biológiai döntésjátékok 127
Zárógondolatok 131

Gecső Ervin – Marx György: Mit ér az iskola, ha magyar? 133
Történelmi kihívás 133
Nemzetközi felmérések 135
Matematika 136
Természettudomány 141
Diákolimpiák 151
Következtetések 154

Irodalom 158

MARX GYÖRGY

Nem félünk az autótól

A haladás ellen nincs orvosság
Neumann János

Kivédeni vagy kiteljesíteni

A Neander-völgyinek már legalább akkora koponyája volt, mint nekünk. Tüzet rakott, szerszámot készített. Kedvenc mindenttudó eszköze a szakóca, ez a kőből alakított készség, amelyet fog és köröm, kés és fejsze helyett egyaránt használt. Hosszú évezredeken át pattintgatta a szakócákat. Egyre tökéletesebben, egyre pontosabban közelítette meg az ideális formát, amelynek merev mintája a fejében rögződött, amit távoli ősök célszerű gyakorlata örökített reá.

Sok egymásra hasonlító évezred után, százezer esztendővel ezelőtt egy új mutáció robbant be a Neander-völgyi Ember világába. Új faj öltött testet, az, amelyet ma Értelmes Embernek mondunk. Több nemzedéke élt együtt a Neander-völgyi Emberrrel, a palesztinai Karmel-hegyen talán közös utódokat is nemzettek. Nemsokára azonban a Homo Sapiens mellől eltűnt a Homo Neanderthalensis. Az Értelmes Ember maga maradt a fejlődés színpadán.

A macskaféléknek ma is számos faja él egy időben, egymás mellett: vadmacska és hiúz, tigris és párduc, puma és jaguár. Az emberfélék egyetlen fajra szűkültek be. A mi fajunk kiküszöbölt minden konkurrens rokont. Mi lehetett az a többlet, amely a Föld urává emelte ezt a ritka nagyvadat? Miben különbözött a Sapiens a többi embertől, miben volt más mint a Neander-völgyi? A régészek mondják, hogy a Homo sapiens az eszközök változékonyságával tűnt ki: a megmerevedett szakóca helyét a szerszámok és fegyverek széles spektruma foglalta el. A kőbalták, dárdák, szúró-vágó szerszámok funkciója törzsről törzsre, évszázadról évszázadra módosult. Fellobbant a mágikus művészet. A fennmaradásért folytatott küzdelem mindig egyforma évezredeit megtörte a vállalkozó kezdeményezés, a dinamikus expanzió. Az Értelmes Ember egy technikai forradalommal indult el a világ meghódítására.

A konzervatív Neander-völgyiek értetlen félelemmel nézhették a türelmetlen jövevény terjeszkedését. Golding írta meg, mit gondolt a már eszes, de a „régi szép időket" visszasóvárgó Neander-völgyi agresszív örökéséről, a Homo Sapiensről. Harcolt, míg bele nem pusztult az egyenlőtlen esélyű küzdelembe.

Golding könyve egy ankéton jutott eszembe, amelyet írók és mérnökök rendeztek. „Veszély vagy szintézis?" Szintézist kerestek, de mintha még különböző nyelveken beszéltek volna. Kivédeni vagy kiteljesíteni kell a tudományos forradalmat?

A történelem ezt a kérdést nem teszi fel nekünk. A természettudomány és a technika jelenléte életünkben társadalmi adottság. Lesznek népek, amelyek magukévá teszik a termelőeszközök új forradalmát, ők törnek az élre a 21. században, ők lépnek a 19–20. század nagyhatalmainak helyére. Lesznek művészek, akik

továbbra is integrálni tudják a társadalmi valóság teljes spektrumát. Őket ítéli majd a kialakuló olvasóközönség és az eljövendő történetírás olyanoknak, mint akik kifejezték koruk problémáit, segítettek azok humánus feloldásában. Ismételten megmondottuk: a tudományos-technikai forradalom alapvetően demokratikus: a munkára tekint és a munkás emberre. Nem tiszteli a születési előjogokat (sem a népeknél, sem az egyéneknél). Dinamizmusa nem kedvez az évtizedekkel korábban gyűjtött, de azóta nem gyümölcsöztetett vagyonnak, sem az egyének tartós monopóliumának (sem a tánczenében, sem az iparban, sem a szellemi életben). Technikailag lehetővé, végre lehetővé teszi, hogy a Homo sapiens mindenütt kiemelje fejét az elnyomottság és kizsákmányoltság állati mocsarából. Olyan életet állít elénk elérendő célként, amilyenre ez a kezdeményező, alkotó faj született. Azáltal éri ezt el, hogy nem tűri a sablont, a berozsdásodott agyat. Nem tiszteli az előítéletet és a kényelmet. Súlyos tragikai vétség volna, ha éppen az egyik jó helyezés esélyese, az egyik kis nép, vagy annak valamelyik rétege ábrándozná el a start versenyt eldöntő pillanatát.

„De mit tegyünk? Csak a beavatottak érthetik meg a számítógépek vagy a dezoxiribonukleinsav titkos kódrendszerét. Számunkra mindez homályos, mintha idegen nyelven lenne írva!" – hangzik a felnőttek, iskolapadot rég elhagyottak aggódó szava.

Költők és technokraták

A matematikus Rényi Alfréd mutatott rá a *Nagyvilág*ban egy kibernetikai paradoxonra: a jó vers információtartalma sokkal gazdagabb, mint az ugyanannyi szóval legszabatosabban és legtömörebben megfogalmazott távirati szövegé. A rejtvényt meg is fejtette: a közös kultúra a magyarázat, amelyben költő és olvasója együtt élnek. Hiába tanult meg valaki magyarul; ha nem ismeri a magyarság és Európa történelmét, meséit és művészetét, aligha érti Vörösmartyt vagy Adyt. Idegen marad számára a mai vers is, ha annak képeire, szavaira nem indul el agyában az a gondolatsor, amelyet a költő megálmodott, megtervezett.

Sok fiatal értelmiségi beszédében bukkannak fel már olyan kifejezések, mint „integrálni" és „differenciálni", „áramkör" és „visszacsatolás", „katalizátor" és „fekete doboz". E szavak hallatán meghatározott és tartalmas fogalomrendszer ugrik be fejükbe akkor is, ha nem műszaki kérdésekről vitatkoznak, hanem politikáról vagy szerelemről. Közvetlenebbül szólnak hozzájuk e kifejezések, mintha Orpheus vagy Moloch, a csalogány vagy a pegazus betűképe kerülne elébük. Másoknak üresen csengenek ezek a technikából kölcsönzött szavak. Nem akarom nyelvéből megítélni a mondanivalót, de jelezni szeretném: a kultúrával együtt a kifejezésmódot is óvnunk kell a széttöredezéstől. Ha a képek idegenek egyik vagy másik réteg szemében, nem lesz érthető a társadalmi vagy lélektani mondanivaló sem. Vajon nem ez a kulturális „integráció" egyik akadálya a sok közül? Nem ezért nehéz a természettudományos ismeretterjesztés? Nem ezért áll értetlenül a hivatásos kritika a science fiction előtt? A másik oldalra is pillantva: nem ezért alacsony egyes költők példányszáma?

Hogy melyik az arisztokratikusabb nyelv, amelyik kibernetikai fordulatokat használ vagy amelyik klasszika-filológiából kölcsönöz, nem akarom itt vitatni. (Tessék létszám- és tendenciastatisztikát csinálni!)

A dilemmát nem tűrhetjük. Humánumban és árucikkekben gazdag társadalmat akarunk felépíteni egy nép számára: nem mondhatunk le semmi értékről. A szintézis szükségszerű. Nézzünk mélyebbre, a szavak mögé.

Maszek műszaki forradalom

Tekintsünk a tudományos-technikai forradalomra egy miniatűr modellt: az autóvezetést.

Egy emberöltővel ezelőtt a személyautó nem játszott számottevő szerepet Magyarországon. Néhány ezer fekete szolgálati kocsi szaladgált az utakon, hivatásos autóvezetők ültek a kormánynál, kiemelt vezetők a hátsó ülésen. Ma más a helyzet. Két és fél millió magánautónk van, még több a jogosítványok száma. Az autó hovatovább minden magyar családban megjelent a maga fokozott mozgáslehetőségével. A Balaton már Pest környékének számít. Kezdjük személyesebben megismerni a szomszéd országokat és még saját kis hazánkat is.

A számok alacsonyak, ha a fejlett országokhoz mérjük. A differenciálhányados óriási. Az autók duplázódási ideje nálunk négy év körül van. Kétszer akkora a nyüzsgés az utcákon és utakon, mint négy éve. Gyorsan szaporodó, félig ember, félig gép kentaurok ezrei üldözik-előzik-keresztezik egymást a keskeny aszfaltsávokon. Vegyük már észre: nem bántják egymást. Tessék olvasni a fekete krónikát: a legtöbb balesetet és halált nem a jogosított autóvezetők okozzák, hanem a kívülrekedtek: jogosítatlan alkalmi hősök vagy meggondolatlan lábonjárók. A technika által kitenyésztett, kéz és lábmozdulatra engedelmeskedő sokmázsás, több tucat lóerős, percenként egy-két kilométert felfaló lények végül is felelősségre nevelték az embert. A valamire való autóvezető inkább árokba rohan, minthogy féktávon belül elüssön egy labdáját kergetve eléugró gyereket. Új közösség alakult ki az országutakon, tagjai ismeretlenül is segítik-tanítják-óvják egymást. Az autóközlekedéshez szükséges feltétel, hogy bárki figyelemmel legyen az összes többire.

Nem könnyű mesterség kocsit vezetni. A buszvezető többet is keres, mint az egyetemi adjunktus. De nemcsak profik, hanem a „mazsolák" milliói is megértették a motor működésének mechanikai-kémiai-villamos alapelveit. Újra kellett tanulnunk a kéz és láb mozdulatait, hiszen egy hatalmas végtagot csatoltak testünkhöz: a kocsit. Határozott impulzusokkal kell irányítanunk viselkedését, figyeljük, utasításainkra miként válaszol. Értenünk kell ezt a mutatókkal, fény- és hangjelekkel, könyörtelen mozdulatokkal reagáló partnert: erősebb nálunk, mégis engedelmeskedésre kényszerítjük, hiszen ember hozta a világra. Közben szakadatlanul olvasnunk kell az utcák KRESZ-hieroglifáit, és olvasnunk kell a gyalogosok, járművezetők, rendőrök gondolatait. Nincs sok idő: a megértésre és döntésre legfeljebb másodperc adatik...

Az autóvezetést nem lehet szórakoztató elbeszélésből, szellemes esszéből megtanulni. Hosszú hetek-hónapok verítékes gyakorlata szükséges. Egy kormány mellett eltöltött óra alatt jobban kimerül a tanulóvezető, mint a hivatal egész kényelmes munkanapja során. Átéltük még egyszer az első év, a tipegő-orrabukó-újra elinduló kisbaba boldog szenvedéseit: járni tanulunk a technika hetvenmérföldes csizmájában, hogy jobban magunk alá gyűrhessük ezt a nagyvilágot. Minden évben sokezren vállalják boldogan a kemény leckét, deresedő hajjal és merevedő idegrendszerrel is, mert vonz a mozgás, a lehetőség, a szabadság emberi kalandja.

Igaz, csupán példabeszéd az autó, akárcsak a kőbalta. A kőbalta a neolit forradalmat készítette elő. Az autó az ipari forradalom jelensége. Nálunk most teljesedik be az ipari forradalom, de közben elszabadult a termelőeszközök újabb forradalma. A tudományos-technikai forradalom többet ígér és többet követel. Felszabadulást ígér a robot alól, és megköveteli idegrendszerünk átállását. Ezzel birkóznak már mérnökök és kutatók. Ezt szeretnék érteni újságírók és szociográfusok. Ennek kihívására figyeltek fel költők és közgazdászok.

A tudományos forradalom mind többünknek – ipari munkásnak, földművelőnek, értelmiséginek – ad fel leckét az egzakt tudományokból. Kémiakönyvet nyom a mezőgazdász, fizikakönyvet a gépipari szakmunkás kezébe. Információelméletből vizsgáztatja a mérnököt, operációkutatásból a közgazdászt. A kvantumbiokémia nyelvén szólítja meg az orvost, kibernetikául a pszichológust. A kormeghatározás atomfizikát kérdez a régésztől, a strukturalizmus algebrát vár el a nyelvésztől és az irodalomkritikustól. A természetfilozófusnak meg a relativitáselméletet kell tanulnia a szakfolyóiratokból. Egyre kevesebbre elegendők a használati utasítások, egyre többek előtt merül fel sürgetően az egységes természettudomány elvi megismerésének feladata. Hiszen az autó a lábunkat egészíti ki, a számítógép viszont az agyunkat.

Az autóvezetést megtanulni gyötrelmes munka. „De bárcsak mi is ott tartanánk!" – irigykednek a gyalogjárók. Igen, vállalnák idegrendszerük újraprogramozását, ha már lenne kocsi. Munkaidő után, akár munkaidő helyett... (Nemes hagyományai vannak hazánkban a fusizásnak.)

Maszek műszaki forradalomra szívesen vállalkozunk. Ha a tudományos forradalom eléri a munkahelyünket, mégis megadóan tárjuk szét kezünket. Pedig a kocsivezetést megtanulni nem könnyebb, mint mondjuk: a differenciál- és integrálszámítást vagy akár a relativitáselméletet. Egy-két hónapos kemény munkával elsajátíthatnánk egy idegen nép nyelvének alapjait is, vagy magunkévá tehetnénk az elektronikus számítógépek szűkszavúbb és következetesebb, de hibát nem tűrő nyelvét. Alig lehet élményszerűbb találkozás a megérkezett jövővel, mint elkészíteni egy számítógépi programot, megetetni a komputerrel, hallgatni az ezreket helyettesítő gépagy gondolkodó sustorgását, végül kézbe venni a kinyomtatott eredményt, ami nekünk hónapokba került volna – vagy pedig olvasni a visszautasító választ: hibás volt a beadott program, ellentmondásos utasítást fogalmaztunk meg.

Természetesen nem kell mindenkinek angolul beszélnie vagy kvantummechanikát tanulnia. De nehezen bízunk az olyan professzionista kritikus véleményé-

ben, aki úgy mérlegeli a mai lengyel, francia vagy magyar szépprózát, hogy nem olvas egy vagy két idegen nyelven is a kortárs világirodalomból. Ugyanígy, aligha lehet kompetensen nyilatkozni a tudományos forradalom problémáiról, aligha lehet részt kérni áldásaiból, ha nem kezdjük az ábécénél: nem tanulunk meg semmit annak nyelvéből. Túlzott maximalizmus? Már Magyarországon is gimnazisták tízezrei tanulnak molekuláris biológiát és számítógépi programozást. Nem fárasztóbb az sem, mint megtanulni az autóvezetést.

Esszékkel lehet hangulatot kelteni, felskiccelhetjük az új Kánaánt, ahová belépnünk történelmi szükségszerűség. De az aperitif nem pótolja a főétkezést.

Lesznek népek és emberek, akik nem csupán ankét-csevegés vagy munkaidő utáni hobbi erejéig vállalják a tudományos forradalmat, de ha kell, teljes munkaidőben is.

És mindig vannak, akik inkább maradnak a megszokott szakócánál.

MARX GYÖRGY

Nevelni az ismeretlen jövő számára

A jövőt nem lehet megjósolni.
Azt feltalálni, megalkotni kell.
Gábor Dénes

„Ha jó volt öregapámnak és apámnak, meg nekem is, akkor a fiam is elégedjen meg ennyivel." – De sokszor mondták nekünk, és mondtunk mi is valami hasonlót kócos, ötletektől lelkes fiataloknak. Ez a megállapítás társadalmi bölcsességet fejez ki. Generációk követik egymást, a műveltséget (az emberi együttélés évszázadok során kialakult normáit) tovább kell adni nemzedékről nemzedékre.

A társadalmi tapasztalat átvételének tradicionális módja a szülők követése, a családi nevelés. Ez jól működött évezredeken át. Az ipari forradalom azonban évszázadokról évtizedekre gyorsította a haladás lépéseinek ütemét. Emberek tódultak tanyákról városokba. Új technológiákat vezettek be. Az apáktól ellesett fogások többé nem voltak elegendők a fiúk munkájához. Ezóta emlegetik a nagyapák: „Bezzeg az én időmben!"

Az iskola társadalmi vállalkozás a szociális reprodukció hatékonyabb megvalósítására. A válogatott korszerű ismereteket az általános közoktatásban adták át a belépő nemzedéknek. A tanárok követése révén a haladás üteme elérhette a nemzedékváltás ritmusát. Az iskola a társadalmi haladás motorjává vált. Vagy talán az iskola lett a fék? Hogy is működik ez a társadalmi reprodukció?

1. A *professzorok* – hivatalos felkérésre – kiválogatják a természettudomány azon elemeit, amelyeket szükségesnek és elegendőnek ítélnek a polgárok számára azok egész élete során.
2. A *tankönyvszerzők* megrágják és leírják ezeket az ismereteket. Céljuk a reprodukció, ezért fő forrásmintájuk az előző tankönyv.
3. A *tanárok* a tényszerű ismeretek eme kiválasztott halmazát átadják tanítványaiknak előadás formájában. Az információ egyirányú: tanártól diák felé.
4. A *diákok* ezeket az ismereteket passzívan elfogadják és memorizálják. A feleltetés és a vizsga során reprodukálják a tanár és a tankönyv mondatait. Utána mindezt gyorsan elfelejtik, hogy agyukban helyet teremtsenek a következő év tranziens ismeretelemei számára. A végén diplomát kapnak, amely jogosítvány arra, hogy ne kelljen tovább tanulniok.
5. A *kutatás* azonban gyorsítja a műszaki haladást. Ipari és tudományos forradalmak zajlanak le, befolyásolva a politikát és a gazdaságot. A tankönyvszerzők keményen igyekeznek, hogy lépést tartsanak az igényekkel. Új meg új oldalakat csatolnak a tankönyvhöz, de ez nem okoz komoly pedagógiai gondot, hiszen úgysem jut idő azok megtanítására. Így szakadék nyílik aktív tudomány és iskolás tudomány között. A fiatalok elavultnak és

érdektelennek találják az iskolai fizikát, csökken az érdeklődésük a természettudomány iránt.

6. A *professzorok* az egyetemi felvételik és államvizsgák után mind többet panaszkodnak, hogy az egyetemi hallgatók egyre kevesebbet tudnak, és egyre kedvetlenebbek. Amit tudnak, az is elavult. Ezután kezdődik minden elölről: új tanterv, vastagabb tankönyv.

Századunk második felében kritikus helyzet alakult ki. A műszaki-természettudományos ismeretek teljes mennyiségének megduplázódásához rövidebb idő kell, mint egy évtized. A fejlett mezőgazdaság és a magas fokú technika (de még a modern városi háztartás is) műszaki jártasságot és természettudományos ismereteket igényel. A döntéshozóknak racionálisan kellene mérlegelni a jövőben várható fordulatokat, de hiányzik az ehhez szükséges egzakt tudás. Sok helyütt szakadék támadt politikusok és technokraták közt. A következmény: nem kevesen elidegenedtek mind a társadalomtól, mind a tudománytól. Sok fiatal vált egy „nagy kulturális forradalom" (és más irracionális, antiszociális szubkultúrák) hívévé, miközben helyét kereste a Földön.

„Non scolae, sed vitae discimus." Nem az iskolának, hanem az életnek tanulunk. Tudjuk-e, milyen lesz az élet anno 2000? A 21. század, a gyermekeinket, tanítványainkat váró világ alig évezrednyi távolságra van. De vajon sejtettük-e az 1980-as évek problémáit az 1970-es években? Előre látta-e akkor bárki is az energiagondokat, a tízszeres-hússzoros benzinárakat? Hogy az Egyesült Államoknak vámokkal kell majd védekeznie Japán ellen, épp a magas fokú technika területén? Hogy a forradalmakat – mint 1989-ben Bukarestben – nem barrikádokon vívják, hanem képernyőn? Hogy a háborúban a győztes kevesebb halottat veszít, mint egy nagyobb közlekedési balesetben? Hogy a hidegháború 1990-re végetér, és az igazi nyertesek Japán és Németország? Hogy az egyéni izlés szerint kiválasztott filmeket nem a moziban, hanem otthonunkban nézzük videon? Hogy a túltermelés lesz a magyar acélipar fő gondja? Hogy 1970-ben almafákat ültettünk, majd 1990-ben almafákat vágtunk ki? Hogy 1990-ben több számítógép van Magyarországon, mint amennyivel 1970-ben az egész világ rendelkezett? Hogy hovatovább autó van minden magyar családban? Hogy a magyar középiskolák nagyobb százalékában lesz számítógép, mint Amerikában? Hogy egyesek a túl hirtelen komputeráradattól féltik az iskolát? Hogy a BASIC-tudás általánosabb lesz, mint pl. a német nyelv tudása? Az 1970-es évek iskolája nem láthatott el bennünket receptekkel arra vonatkozóan, miként oldjuk meg a problémákat, amelyekkel az 1990-es években szembe kell néznünk. A természettudományos nevelés számára nem az az igazi kihívás, hogy a 2000 után szükséges ismereteknek nem tudunk helyet szorítani a tantervben. A probléma az, hogy ezek az ismeretek még meg sem születtek.

Legyen *N* akármilyen szám, ami egy társadalom állapotát jellemzi. Pl. a világ népessége, a könyvek vagy televíziókészülékek vagy fizikusok száma egy országban.

1970-ben az *N(t)* görbe meredeksége pozitív volt és növekvő tendenciát mutatott. (Ha *N(t)* változási sebessége N(t)-vel arányos, akkor exponenciális növekedés adódik, (*1. ábra)*. Ez idő tájt korlátlan fejlődésről tanítottunk.

1980-ban *N(t)* meredeksége még mindig pozitív volt, de már lassuló mértékben (*2. ábra*). A hetvenes években a görbe inflexiót szenvedett. A világnépesség görbéjének inflexiója – egyszeri esemény a világtörténelemben – 1978-ban történt. Ezzel a fordulattal a társadalom dinamikusan lereagálta a földgolyó végességét. (Ezt a telítődési jelenséget jól ismeri a populációbiológia. *2. modell*).

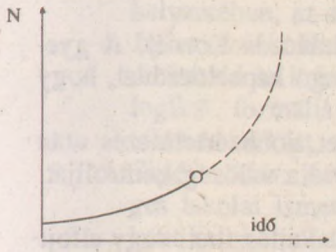
Idegrendszerünk a változásokra érzékeny. Ha *N* helyett a változás *dN/dt* ütemét ábrázoljuk grafikusan (*3. ábra*), akkor a görbe határozott csúcsot mutat. Ábránkon a vízszintes tengely jelentse – mondjuk a 20. század éveit, a függőleges tengely az évenkénti benzinfogyasztást. A görbe alatti területnek feltétlenül végesnek kell lennie, mert bolygónk kőolajkészletei korlátosak, így a leszálló ág elkerülhetetlen! Tradicionális iskolakönyveink a felszálló ágon íródtak. Most élünk a tetőn. Tanítványainkra a leszálló ágat hagyjuk örökül, ők tapasztalni fogják: a növekedésnek határai vannak. Ez a minőségi fordulat elavulttá teszi a nevelés hagyományos céljait, a tudás és értékrend puszta reprodukcióját.

A NÖVEKEDÉS MODELLJEI

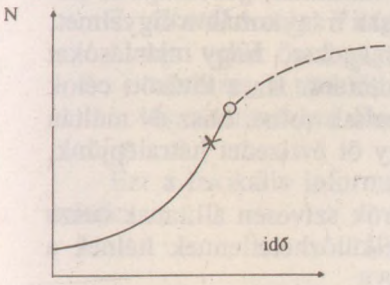
1. modell: a népességszám korlátlan exponenciális növekedése időben:
$N(t+1) = N(t) + T \cdot N(t)$,
ahol a T termékenységi állandó. Exponenciális megoldás:
$N(t) = (1+T)^{t} N(0)$.

2. modell: a növekedés határai:
$N(t+1) = N(t) + T(t) \cdot N(t)$,
ahol $T(t) = A\,[1-N(t)/K]$.
A környezet K hordozóképessége állandó.
Megoldás: N(t) aszimptotikusan növekszik K-ig.

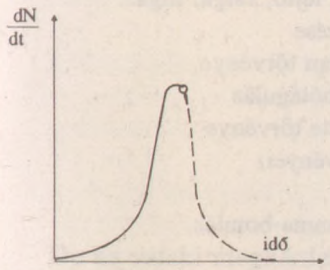
3. modell: túlnépesedés esetére környezetromlás.
$N(t+1) = N(t) + T(t) \cdot N(t)$,
$T(t) = A\,[1-N(t)/K(t)]$,
$K(t+1) = K(t)$, amíg $N(t) < K(t)$,
$K(t+1) = K(t) - B \cdot N(t)$, ha $N(t) > K(t)$.
Nagy A állandó esetén N és K egyaránt letörik.



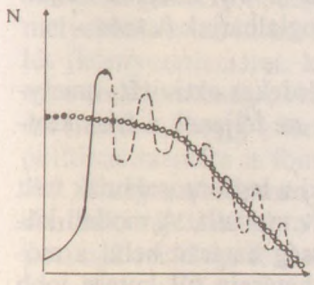
1. ábra: Exponenciális



2. ábra: Inflexió



3. ábra: A növekedés üteme



4. ábra: Környezetromlás

A hetvenes évek nagy számítógépein árnyaltabb világmodelleket dolgoztak ki, figyelembe véve az *N* népesség és *K* környezet kapcsolódását. Növekvő *N* népességszám esetén *N* görbéjének meredeksége egy idő után csökkenni kezd, így veszi figyelembe a környezet *K* hordozókapacitásának korlátos voltát. Végeredmény a *2. ábra* által mutatott sima görbe. Ha azonban a növekedés ütemét megszabó A együtthatót túlságosan nagyra választjuk, az *N(t)* népességgörbe túllő az optimális *K* értéken, ami lerombolja a környezetet, csökkenti annak *K(t)* hordképességét (*3. modell*). E szerint a 21. század közepe táján (unokáink életében) a K környezet és az N népesség katasztrofális degradálódása várható. Ennek fő okozója a modell szerint a társadalom inerciája: a telítési értékhez tartva nem méltatjuk figyelemre a növekedés természetes határait, nem reagáljuk le e határ közelségét életmódunk és értékrendszerünk megfelelő módosításával. Az *N(t)* görbe átszeli a *K(t)* görbét, ezáltal *K(t)* letörik. Csakhamar *N(t)* is arra kényszerül, hogy kövesse *K(t)* zuhanását (*4. ábra*).

Választék

A cápák örökléstanilag nagyon konzervatívak, mert a változatlanul langyos óceánban élnek. Az influenzavírus gyakran mutál, így a képződött választékból valamelyik új változat felveszi a harcot az ember immunrendszerével és védőoltásaival, ennek következtében minden télen sikeresen szaporodik a zsúfolt nagyvárosokban.

A *tradíciók* átvitele szelekciós előny *stabil* gazdasági-társadalmi viszonyok között. A konformista nevelési stratégia viszont késleltetheti a társadalom illeszkedését *változó* követelményekhez. Nem véletlen, hogy az emberi kultúrák legnagyobb lángelméi a tér és idő olyan tartományaiban születtek, ahol bizonyos tradicionális értékeket kétségessé tett a gyors társadalmi haladás, ahol új értékrend kialakítására volt szükség. Példa rá az ókori Athén, a reneszánsz Firenze, London az ipari forradalom idején. Ilyen volt Magyarország a reformkor vagy a fényes szellők korában.

Természettudományos nevelés

„A lángészhez a gyerek van legközelebb" – írta Lánczos Kornél. A gyerekek azért kérdezősködnek és azért játszanak olyan csillogó képzelőerővel, hogy felkészüljenek a felnőtt életre.

A kutatók kísérletekkel döntenek meg régi nézeteket, jobb értelmezés után kutatnak a próba szerencse módszerével, mindig igényelve a valóság kontrollját. Csak a legjobb tudományos modellek maradnak életben.

A gyerekkor és a kutatóintézet közt ott van az iskola. Fejlesztheti vagy elfojthatja a velünk született kíváncsiságot. Minden bizonnyal engedelmeskedünk kell a társadalmi normáknak, de versenyképes mezőgazdaság és ipar létrehozása elképzelhetetlen újítók nélkül. A hetvenes évek mély technikai, gazdasági és társadalmi változásai az iparosodott országban az oktatásra irányították a figyelmet. Oktatásügyünk 1970-ben hoztott létre reformbizottságokat, hogy ajánlásokat készítsenek elő. 1978/79-ben lépett életbe az utolsó tanterv. Ha a kitűzött célok mind tökéletesek lettek volna és tökéletesen megvalósultak volna, húsz év múltán akkor is újra kellene gondolni őket. Nem azért, hogy öt évtizedet hátralépjünk, hanem hármat előre.

Hagyománytisztelő tantervkészítők és tankönyvírók szívesen állítanak össze listát azokról a tudományos fogalmakról, amiket nélkülözhetetlennek ítélnek a művelt emberek számára, így pl.

Gyümölcsök,háziállatok,
testrészek elnevezése.
Elemek, szervetlen vegyületek, szerves
anyagok nevei, tulajdonságai.
Növények, állatok taxonómiája és morfológiája.
Sejtek, szervek szerkezetének leírása.

Hooke-törvény, lejtő, csiga, inga.
Lencsék leképezése
Coulomb, és Ohm törvénye.
Kalória, joule, hőtágulás
Boyle és Mariotte törvénye
Gay-Lussac törvényei.
Balmer-képlet.
Alfa-, béta-, gamma-bomlás.
Madame Curie
Ciklotron

Előrelátóknak bizonyultak az MTA *Fehér Könyv*ének (1976) nevelési céljai. Ezeknek a természettudományokra vonatkozó részét így foglalhatjuk össze:

1. *Motiváció*: A természet szép. A természetkutatás érdekes aktivitás, amelynek eredményében érdekeltek vagyunk. A fiatalok ne féljenek a friss kihívásoktól, hanem örömmel vállalják azokat.
2. *Kutatás*: Figyeld és tiszteld a valóságot. Válaszd ki a legfontosabbnak ítélt változókat. Keresd kapcsolatukat, alkoss predikatív modellt. A modell következtetéseit kísérletileg ellenőrizd. Az érvényesség határán belül a modellt alkalmazd a gyakorlatban. Az érvényesség határain túl kutass jobb modellek után.

3. *Elvek*: Tanuld meg a valóban univerzális alapelvet (irányított felfedezés helyzetében, az alkalmazási képesség szintjéig).
4. *Információk*: Használd az információ társadalmilag kialakított forrásait is, de kezeld az információkat kritikusan. (Ehhez használni kell a matematikai logikát, formális nyelveket, valószínűségszámítást és statisztikát, középértéket és szórást, a hiba és kockázat megbecsülését.)
5. *Tájékozódás*: Kémleld ki az ismeretlent a fentiek segítségével. (A szükséges iskolai ismeretanyagot nem dogmaként, hanem a tájékozódás példáiként kell bemutatni. A tanterv modernizálása nem a nevelési cél változtatását, hanem a tájékozódás példáinak cseréjét jelenti.)
6. *Világkép*: Az ember nem idegen jövevény egy rosszindulatú világban, hanem a Természet és Társadalom édes gyermeke.
7. *Alkotókészség*: Világodat emberibbé nem a Természet törvényei ellen, hanem velük összhangban akard formálni. Ennek módja lehet az irodalom, a művészet, a többiféle kommunikáció, de a termelőmunka, a műszaki alkotás, a társadalmi döntés, gyermekeid és tanítványaid nevelése is.

Ezt a lexikális információt tantárgyakká csoportosították és órarendbe préselték:

Környezetismeret
Kémia
Biológia
Fizika, azon belül: Mechanika
Hőtan
Elektromosság
Atomfizika
Magfizika

De ha valaki megkérdez bennünket, miért is kell egy leendő ügyvédnek, üzletembernek vagy politikusnak megtanulnia Gay-Lussac törvényeit, mit feleljünk? (Ők nem fognak felvételi példákat megoldani ideális gázból!) Mi, fizikusok-kémikusok-biológusok jól tudjuk, hogy a természettudomány valóban fontos fogalmai mélyebbek és az itt következő fogalmakat tekintjük a természettudományos nevelés (környezetismeret, kémia, biológia, fizika tantárgyak, utóbbin belül a mechanika-elektromosság-, hőtan-, atomfizika-, magfizika-tanítás) céljainak, joggal érvelhetünk, hogy a természettudományos műveltség az ügyvéd, a kereskedő, a politikus számára is fontos.

Elvégre a tudomány a leghatékonyabb módszer, amit az ember az ismeretlenben való tájékozódásra eddig kidolgozott. A jövőt nem ismerjük, tehát minden fiatalnak szüksége lesz az ismeretlenben történő tájékozódás stratégiájára.

Megfigyelés
Mérés
Kísérlet
Vonatkoztatási rendszer
Relativitás
Egyed és környezete

Összetétel
Szerkezet
Tulajdonság
Funkció

Szaporodás
Öröklődés
Mutáció
Változatosság
Illeszkedés
Kiválasztás
Fejlődés

Állapot/megmaradás ideális gázból
Kölcsönhatás/változás
Előrelátás/technika

Energia/információ kezelése
Pozitív/negatív visszacsatolás
Stabilizáció/erősítés

Rendetlenség/rend
Szerveződés/bomlás
Alkotás/szennyeződés

Tárgy/megfigyelő
Komplementer modellek
Modellek: a kutatás lépcsőfokai

Növekedés/stabilitás
Kockázat
Döntés - felelősség

Korszakváltás

A valóság tisztelete, a lényeges adatok kiválasztása, alternatív modellek használata a jövő előrelátása érdekében, a modellek ellenőrzése és javítása – mindez olyan tevékenység, amelyet a tudomány fejlesztett ki az ismeretlenben való eligazodásra törekedve.

Nem túlzott a célkitűzés: arra nevelni a gyerekeket, hogy kutató és felfedező váljék belőlük, hogy azt tegyék, amit a nagy felfedezők, feltalálók, tudósok tettek? Ne felejtsük el, hogy minden kisgyereknek felfedezővé kellett válnia, hogy túlélje gyerekkora első nehéz éveit! Ők a legkíváncsibbak, ők kérdezik a legtöbbet, hogy „mi ez?", majd „miért?", szeretnek ismeretlen utcákon csatangolni, alászállni feltáratlan barlangokba, autóstoppal indulni kitűzetlen célok felé. Az oktatás nagy dilemmája: irtsuk vagy műveljük tanítványaink korlátlan kíváncsiságát? Miként valósítható meg a reprodukció és invenció érzékeny egyensúlya?

Az oktatásban két komplementer tendenciát tapasztalunk. Mindkettő igaz, noha egymásnak ellentétei (akárcsak a fény korpuszkulamodellje és hullámmodellje).

Normatív iskola	Kreatív iskola
egyértelmű instrukciókat kínál,	alternatív modelleket mutat be,
zárt végű feladatokat tűz ki,	nyílt végű feladatokat vet fel,
olyan gyereket dícsér meg,	eltűri az olyan gyereket is,
aki a várt feleletet adja;	aki váratlan kérdéseket tesz fel.

Nem szeretnék az egyoldalúság hibájába esni. A sorból kiváló nem feltétlenül zseni. Díszszemlét nehéz volna csupa József Attilából összeállított századdal szervezni. Egy nagyüzem alkatrészgyártásának szabvány meóját nem bíznám Rubik Ernőre. Űrhajóscsapatnak nem választottam volna az Illés-együttest, ők talán az időzített űrrandevúra is idő előtt érkeztek volna. Szükség van fegyelemre, rutinra, specializációra, kategorizálásra. De most, korszakváltáskor, el kell tűrnünk a kreatív, mindent másként csináló fiatalokat, hátha közülük az egyik találja majd meg a jövő kulcsát. Az atomenergia hasznosításának eszméje – másokat évekkel megelőzve – Szilárd Leó fejében fogant meg. Őt jellemezte így Teller Ede: „Szilárd Leó egy dologra ügyelt, arra, hogy soha ne mondja azt, amit vártak tőle." Egyik volt fizikus tanítványom könyvet írt a kockázatról, mottóként vitorlás versenyedzőjének tanácsát idézve: „Ha le vagy maradva, egyet nem szabad tenned: nem utánozhatod az élen haladókat. Ha ezt teszed, csak hátrányodat őrizheted meg."

Álló világban kétségkívül hasznos a normatív iskola. Mozgó világban azonban aktív megközelítésre támad igény.

Ma a tanár nem mehet biztosra, amikor szóbajön az órán:

a kicsi	vagy	a nagy a szép?
extenzív	vagy	intenzív a hasznos?
zérus növekedés	vagy	szűzföldek hódítása?
nosztalgia	vagy	avantgard?
zöld és virág	vagy	magastechnika?
tanyasi	vagy	városi élet?
Mozart	vagy	beatles?
vissza a klasszikusokhoz	vagy	előre az ismeretlenbe?

A mai nevelők nem vállalhatják annak felelősségét, hogy egyértelműen közöljék, miként kell majd viselkedni egy olyan korban, ahol még senki nem járt. De ma a tanárok privilégiuma és felelőssége, hogy segítsék a fiatalokat: *önmaguk* legyenek képesek tájékozódni, dönteni, cselekedni a majdan rájuk váró szép új világban.

Meredeknek tűnik mindez? Legyen szabad egy archív dokumentumból idéznem: „Nem adhatunk befejezett műveltségképet az iskolának, nem úgy kell válaszolni a tudomány gyors fejlődésére, hogy a változó ismeretek mind szélesebb

tömegét tanítja, szüntelenül bővítve tananyagát. A tudományos technikai fejlődés mai szakaszán csak úgy felelhetünk meg a társadalmi követelményeknek, ha az alapvető ismeretek tanítására törekszünk, ha a tanulók gondolkodását kibontakoztatva kialakítjuk a továbbtanulás igényét, és képessé tesszük őket a folyamatos önművelésre." Ezt az oktatási határozatot Budapesten az olajárrobbanás, a világgazdasági korszakváltás előtt hozták, 1972-ben.

Ugyanazt a tananyagot fel lehet dolgozni *A* tankönyvben normatív módon, minden megengedett kérdésre csalhatatlanul igaz választ leírva és *B* tankönyvben alternatív modelleket kínálva, a tudományt mint a szukcesszív közelítés folyamatát mutatva be. Született már nálunk *A* tankönyv és *B* tankönyv, és óriási vita robbant ki belőle, ami „meglepte" a tanügyi illetékeseket. Pedig valamikor régen azt tanultuk, hogy a fejlődés egyenlőtlen, ez ellentmondásokat szül, ezek az ellentétek pedig a haladás motorjai. A biológiai evolúció is geológiai katasztrófák idején ugrik előre. Egyik apuka erre a tankönyvre, másik arra esküszik. Pedig a maga nemében talán mindkettő egészen jó tankönyv! Csak a magyar társadalom még nem szokott hozzá a fair play-hez, most kezdi tanulni a fejlődés dialektikáját. A maszekot azért támogatták, hogy lépjen versenyre az állami vállalattal, hogy az utóbbinak is javuljon a termelékenysége. A tankönyvvitákban nincs semmi meglepő, az ortodoxok és neológusok összecsapásai minden korszakváltás természetes velejárói. Nem a szaktanácsadásra kell tekinteni, hogy ő döntse el: melyik a „jó" tankönyv. Döntsön a gyakorlat! Nem a könyvzuzda vezet az egyre jobb megoldások felé – lépésről-lépésre – csak a még jobb tankönyv, az, amit szívesebben forgat a tanár, még inkább a diák.

Papp Katalin (JATE) felmérései szépen megmutatták, változó korunkban melyik tankönyvet választják a jobb eredményt elérő iskolák; melyik tankönyv tanulói tekintenek kezdeményezőbben a jövőbe.

Magától értetődő igazság mindez, amit a közgazdászok már felfedeztek? Akkor korszakváltás idején eszerint viselkedjünk az oktatásban is. Ne felejtsük: utólag visszatekintve a történelem mindig a korszakváltás (közelről oly nehéz) éveit ítéli a legdicsőbb kornak.

MARX GYÖRGY – TÓTH ESZTER

Modellalkotás a természettudományos nevelésben

A jó modell hasznosabb ezer adatnál.
V. Malina

Az ember és modelljei

Az ember modellalkotó állat. Az állati idegrendszernek modellezési funkciója van: feldolgozza a beérkező ingereket, anticipálja az eseményeket, erre támaszkodva vezérli a szervezetet. A modellhasználat legfejlettebb szintre az embernél jutott. Kiemelkedő predikciós képessége által tett szert szelekciós előnyre izomerősebb vetélytársaival szemben.

A gyerek játszani szeret. Hüllők soha nem játszanak, de fiatal madarak és emlősök igen. Annál változatosabb a játék, minél értelmesebb a faj; legmesszebb a csimpánzok jutottak. A játék modellezési gyakorlat. Az embergyerek játékszerei is a felnőtt világ objektumainak tárgyi modelljei. A leányok főzőcskeedényeinél és öltöztető babáinál, a fiúk játéktrombitáinál és lendkerekes autóinál nem a valósághű színezés a fontos, (ezt legfeljebb a játékgyárak és nagynénik hiszik,) de a funkcionális használhatóság. Tudja minden gyerek, hogy a matchbox-kocsi nem azonos a valódi autóval, a baba sem az élő csecsemővel, mégis élvezik a játékot. Így készülnek a felnőtt viselkedésformákra.

A természettudományban kiterjedten alkalmaznak modelleket. A tudomány történetét nem tudnánk elképzelni az égi szférák, a merev test, az oszthatatlan atom, a rezgő éter, a vegyértékkar, a kettős csavar, a részecseke-hullám-dualizmus nélkül. A külvilág-tudat és én-tudat hatékony evolúciós vívmány, az egységes valóság eme modellszerű kettéválasztásáért érdemes vállalnunk a kvantummechanikai méréselmélet logikai csapdáit. Pierre Aigrain egy nemzetközi fizikatanítási konferencián így fogalmazott: „A fizikus célja, hogy egyszerű modellek jövő viselkedéséről tegyen kvantitatív előrejelzést. E modelleknek elég realisztikusaknak kell lenniök ahhoz, hogy tükrözzék a valóság szemügyre vett aspektusát. Ugyanakkor elég egyszerűre kell szabni a modellt, hogy azt kvantitatívan megérthessük."

Ha a modell jól illeszkedik a valósághoz, jóslatai nagymértékben beválnak. A sikeres modellt könnyű összetéveszteni a valósággal. A siker gyakran szülőanyja a dogmatikának. A geocentrikus világrend, a távolbaható erő, a fényhordozó éter, az elektronpályák olyan meggyőzőek voltak, hogy időn túl rabjuk maradt az akadémikus megítélés, a közvélemény, sőt saját agyunk is. A megdöntésükért vívott tudományos forradalmak az emberi történelem fényes lapjaira vannak feljegyezve.

Az univerzumnak is, egyetlen atomnak is potenciálisan végtelen sok szabadsági foka van. Agyunkban véges a neuronok száma. Korlátos agyunkkal, korláto-

zott számítógépeinkkel egyszerre véges számú változót vagyunk képesek figyelembe venni. A kimeríthetetlen mindenség helyett annak koponyánkba, komputerünkbe férő modelljeit használjuk predikcióra. Modelljeink változnak, fejlődnek, sokasodnak. Válogatva közülük, válogatva őket mind jobban megértjük a világot, előbbre látjuk eseményeit, emberibbé alakítjuk azt. A kutatás ugyan végtelen, de konvergens szukcesszív approximáció. Tézis-antitézis-szintézis lépcsőfokain emelkedünk egyre magasabbra.

Modellek az iskolában

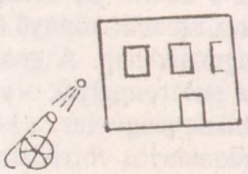
Az iskoláskorú gyerekek konkréten gondolkoznak. Ha a tanár két vagylagos eset közül megcáfolja az egyiket, tanítványai még nem fogadják el a másikat, míg azt agyukban lepergetett szemléletes mozifilmként meg nem jelenítik. Amit elképzelnek, azt szeretik megfogdosni-felépíteni-szétszedni is. Öntudatlanul veszik elő és váltogatják modelljeiket; absztrakt logika csak a középiskola vége felé érik meg bennük, akkor sem mindegyiküknél. Ezért a természettudomány tanításában legalább olyan fontos szerepet játszanak, mint a tapogatódzva induló kutatásban.

Az iskolai tananyag (az órarend, a pszichológiai-fejlettség, az előismeret-korlátok szorításában) néhány hatékony modellen keresztül mutatja be a természettudományt. A tömegpont és merev test, összenyomhatatlan folyadék és ideális gáz, oszthatatlan atom és egész számú vegyértékkar, Mendel-öröklődés és változatlan faj modelljeire korlátozódtunk. Megszerettük a modelleket, ezeket használtuk tételekben és példákban, végül valóságként fogadtattuk el tanítványainkkal.

Pedagógiai probléma abból adódik, hogy ugyanarról különböző modellek gyűlnek és ütköznek össze tanítványaink fejében. (*1. ábra*)

A felsőtagozatos kémia anyagszerkezeti alapon kívánja tárgyalni a periódusos rendszert és a kémiai kötést. A fizika ugyanekkor a gázok korpuszkuláris modelljét tanítja, amelyben merev golyók röpködnek. A plakátok ikonográfiájában atommag köré írt ellipszisként jelenik meg az elektron; egyik gimnazista tankönyvben golyó, másikban hullám; ambiciózus szerző már valószínűségi felhőről ír. Ez mind egyszerre „tudományos igazság"? Ha egy diákot megkérdezünk, mi az atom, cinikusan visszakérdezhet: „Fizika, kémia vagy filozófia órán?" Nekünk is hol egyik, hol másik modellábrázolás ötlik eszünkbe, az alkalomtól függően. De

1. ábra



2. ábra

mi tudjuk, hogy ezek vagylagos modellek, és ott van mögöttük a Schrödinger- és Dirac-egyenlet absztrakt fogalomrendszere.

Konfliktus akkor támad, ha tanári kényelemből végső igazsággá dermesztjük a modellt, ezáltal dialektikus gondolkodásra, fokozatos világképépítésre képtelenné tesszük tanítványainkat. Olyan évszázadokban és évtizedekben, amikor állni látszott a csillagászati és társadalmi univerzum, praktikus szociális haszna lehetett a dogmáknak, a rájuk alapozott skolasztikus pedagógiának. Ma már sajnáljuk, hogy a lemerevedett gondolkodás elnevezése – a skolasztika – éppen az iskola szótőből származik. Változó világban élünk, ahol illeszkedésre, rugalmas modellváltásra van szükségünk. A társadalmi és technikai haladás sokban épp a politikai és tudományos forradalmaknak tudható be. Amíg az iskolában alaptételként tanított Hooke-törvényt és Ohm-törvényt nem első közelítésként mutatjuk be, hanem alaptételként verjük tanítványaink fejébe, és erre alapozzuk az erő és ellenállás definícióját, addig szinte logikailag tagadjuk a linearitástól való eltérés lehetőségét. Pedig a linearitás sem a mikroelektronikában, sem a világgazdaságban nem működik. Goery Delacote mondta 1980-ban Triesztben, a Nemzetközi Fizikai Unió fizikatanárképzést tárgyaló konferenciáján: „Egy lineáris-reverzibilis világ képét kínáljuk a valóság egymásba fonódó szabadsági fokai, a táguló és fejlődő mindenség helyett." A gyorsulva változó környezetben az iskola és valóság konfliktusára döbbennek rá a skolasztikusan tanított fiatalok. Ezért kell őket a modellek kanonizálása helyett a modellalkotás művészetére nevelnünk.

Modellalkotási gyakorlatok

„Tégy egy pohárba hideg vizet, egy másikba forró vizet! Mindegyikbe ejts egy-egy kockacukrot! Figyeld, mi történik a két kockacukorral!" – Így kezdődik a gimnazisták új elsősosztályos fizikakönyve. A megfigyelés, annak szabatos megfogalmazása után önként következik a kérdés: „Miért oldódik a kockacukor melegvízben másképp, mint a hidegben?" Sokféle válasz képzelhető el. „Talán melegben szétolvad a kockacukrot összetartó ragasztó." – „Esetleg a meleg víz szaporábban bombázza a kockacukrot, akár a lelkes tüzérség a várat." És így tovább. A tanár hajlamos arra, hogy a várt feleletet szuggerálja, sőt maga mondja ki: „Melegben nagyobb a molekuláris hőmozgás sebessége." De ezáltal elveszne a játék és felfedezés öröme. A tekintéllyel kikényszerített konvergencia bénítólag hat a fantáziára és a kíváncsiságra. A kreatív gondolkodásnak divergenciára is szüksége van, hiszen csak a modellek alternatíváit látva tehetjük fel a következő kérdést: melyik modellt érdemes választanunk?

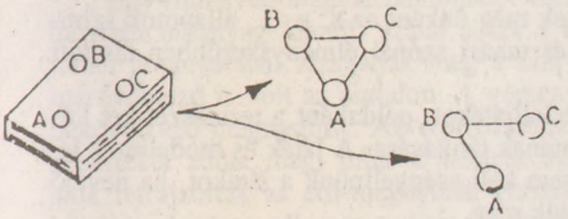
Mese következik a tankönyvben a kíváncsi marslakóról, aki szeretné megismerni az embereket, de azok (fertőzésveszély miatt) nem találkozhatnak vele. Egyikük, a szabó, maga helyett egy próbababát küld neki, a másik, egy gyógyszerész, fehéregeret, mint az ember tanulságos modelljét. A szegény marslakó nem sok közöset talál a két mintában, csak a bajuszt. De a mese nyomán kialakuló osztálybeszélgetés elvezet a tanulsághoz: Akit az alak érdekel, annak próbababát érdemes az ember modelljéül választani. Akit az anyagcsere, annak fehéregeret.

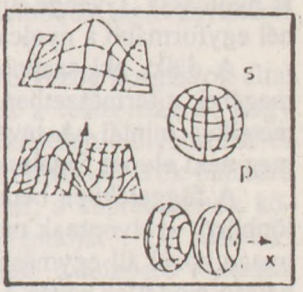
Már szinte a komplementaritás felismerésének közelében járunk. Egy könyvünk a kétéltűek ebihal-béka komplementaritásához hasonlítja az elektron jellegzetes részecske-hullám dualizmusát. Valóban: az anyagszerkezet tanítása (az elsős gimnáziumi fizika-kémia) a legalkalmasabb iskolapéldákat kínálja a modellalkotásra való neveléshez. Itt a legegyszerűbb golyó-modellektől a tapasztalat és a logika dialektikája vezet az egyre használhatóbb atomfogalmak felé. De az is nyilvánvaló lesz, hogy a felfedező expedíció nem ér véget az iskolában, marad kutatnivaló a jövő nemzedék számára is. A természettudomány nem a felnőttek által összehordott (ezért kicsit unalmas) ismerethalmaz, hanem izgalmas cselekvés.

Addig azonban hosszú az út. A tanár megkérdezheti: milyen gyerekeket szoktak „modellezni" a következő állatokkal: szamár, koca, szarka, lajhár, strucc, csiga, miskolci kocsonyában a béka? A tankönyv egyik első kérdése: „Milyen szempontból hasonlítanak egymáshoz a következő dolgok: szitakötő és helikopter; kisleány és játékbaba; fényképezőgép és szem; ló és autó? Melyik megértéséhez kell több adat? Melyiket érdemes a másikkal magyaráznunk?" Később Wenham-Dorling-Snell-Taylor tankönyvéből (*Fizika: fogalmak és modellek*) átvett példa következik: „Az ókorban Eukleidész és mások úgy képzelték el a látást, hogy a szemből látósugarak indulnak a tárgy felé és letapogatják azt (*2. ábra*). Ezt az elképzelést őrzik az ilyen kifejezések: simogat a szemével, szemmel verték stb. Működtesd a látás most leírt modelljét, és mondj olyan kísérletet, tapasztalatot, amelyet magyaráz a modell! Ezután olyanokat, amelyek már nem magyarázhatók a modellel!"

A modellalkotásos megismerési stratégiára való nevelést egyszerű szituációval érdemes kezdeni, mielőtt valódi bonyolult anyaghalmazok vizsgálatához fognánk. Robert Karplus (Berkeley Egyetem, Kalifornia) tízéves gyerekek részére vezette be a „zörgetős fekete dobozt" (*3. ábra*). A leragasztott doboz felbontása nélkül kell kitalálnunk, milyen akadályok korlátozzák a dobozba tett kavics- vagy sörétszemek mozgását.

Az „elektromos fekete doboz" fémes kivezetései között néhány rejtett vezető összeköttetés van, amiket szintén a doboz kinyitása nélkül, pusztán a zsebtelep és zsebizzó segítségével kell kitalálni. A gyerekek dobozt cserélnek. Egymástól függetlenül dolgozva különböző modelleket gondolhatnak ki. (Illusztrációnak leegyszerűsített példa: ha egy három kivezetésű doboz mindhárom pár kivezetése – AB, BC, CA – zárja az áramkört, és világít az izzó, akkor lehetséges, hogy az A, B, C kivezetések háromszögalakban kölcsönösen össze vannak kötve, de az is lehet, hogy pl. csak AB és BC kapcsolat létezik. A gyerekek egymással vitatják meg, milyen modelleket dolgoztak ki ugyanarra a dobozra. Néha rádöbbennek, hogy a számukra elérhető információkat egyformán többféle modell magyarázza. Megesik, hogy egy „gondos" tanár a gyerekek eredményét saját jegyzete alapján ellenőrzi, mégpedig a gyerekek szeme láttára. Számára az a tanuló dolgozott jól, aki azt találta ki, ami az ő füzetében van. A másik tanulónak megjegyzi: „A te megoldásod is ugyanazt az eredményt adja, de igazából csak AB és AC van összekötve." Így a tanár néhány óra alatt azt érheti el, hogy tanítványai őt tiszteljék, ne





3. ábra *4. ábra*

a valóságot. Önálló modellalkotásra akkor nevelünk hatékonyan, ha a tanuló, tanár és a valóság összjátékában a tanuló és a valóság válnak főszereplőkké.

Felsőbbéves gimnazistáknak versenyfeladatként rafináltabb fekete dobozokat adunk, ez már kondenzátort is tartalmaz, ami csupán váltóáramot enged át, vagy egyenirányító diódát, ez pedig csak megfelelő polaritásnál vezeti az egyenáramot. Ilyen felépítésű fekete dobozok belsejének egy órás méréssorozat után kigondolt modelljeit mutatták be a diákok. Hárman ellenőrző mérések sorára támaszkodva bizonyították a belső szerkezetről alkotott bonyolult elképzeléseiket. A professzori zsűri elégedetten bólogatott. A negyedik versenyző válasza egyszerűbb volt: „A D és E kivezetések közt van egy 1000 ohmos ellenállás, a többi kivezetés közt semmi." A zsűri elnéző mosollyal csóválta a fejét. Erre a tanuló elővette fekete dobozát, hogy megvédje modelljét. A közönség előtt megismételt mérés végül a tanulót igazolta. (A dobozt később titokban felnyitottuk. Kiderült, hogy szállítás közben néhány összeköttetés szétrázódott.) A zsűri becsületére legyen mondva, hogy ez a versenyző maximális pontszámot kapott. Nem a logikai teljesítményéért, hanem a realitást – felnőtt tekintéllyel szemben is – határozottan tisztelő objektivitásáért.

Modellek mint nevelők

A távoli kedvest fényképe is felidézi. Körözött bűnöző üldözésénél hasznos segítség lehet egy mozaikarckép.

Az atomszerkezetet tanító könyvekben megtalálható az s, p ... elektronállapotok rajza (*4. ábra*). Szobrot is gyárthatunk róluk drágán, kínosan ügyelve a kvantummechanikailag számított sűrűségkontúrok pontos visszaadására. Informatív ez az ábrázolás, mégsem mond sokat arról, hogyan működik a természet. Többre becsüljük, ha a tanuló egy kör alakú drótkeretet szappanoldatba márt, majd a keretet megfelelő szaporasággal mozgatva maga figyeli meg, miként alakul ki csomómentes állóhullám, ezután alkalmas magasabb frekvencián egy csomóegyenes.

Ha összeforrasztjuk egy rugalmas acéldrót két végét, az önként köralakot ölt magára. Nehéz volna pl. háromszögalakot kényszeríteni rá, de könnyen alakítható

át nyolcassá. Gyenge ujjszorításra annál szívesebben marad nyolcas alakban, minél egyformább a nyolcas két fele.

A diák, aki szappanhártyával és drótkarikával már szöszmötölt egy kicsit, megérzi: a természetben miként születnek meg önként az s, p, ... állapotok szimmetrikus mintái. A tevékeny modellezés tanári szónál élményszerűbben tanított meg neki elvont fogalmakat.

A függelékben bemutatunk egy modelljátékot, példaként a természet két különböző – elvontnak mondott – arculatának tanítására. A játék és modellezés lényege közel áll egymáshoz. Iskolában sem kell szégyellnünk a játékot, ha nevelő hatású modellek révén a természetet értjük meg.

Gyermekeinket, tanítványainkat egy változó világ felé indítjuk el, amelynek felnőtt korukra fontossá érő tényanyagát – energiaforrásait, technológiáját, mérnöki genetikáját, a velük összefüggő társadalmi problémákat – nem tudjuk megtanítani, hiszen magunk sem ismerjük. Útravalóul az ismeretlen területen történő tájékozódás stratégiáját adhatjuk, amelyet a múltban is sikerrel alkalmazott a természetkutatás:

1. *A valóság tisztelete és megfigyelése.*
2. *A lényeges vonások, a fontos adatok kiválasztása.*
3. *Modellalkotás: a kérdéses adatok változását értelmező, kevés szabadsági foka és szemléletessége folytán nyomon követhető rendszer szerkesztése.*
4. *A modell működtetése: további jelenségek előrelátása a modell alapján.*
5. *A modell ellenőrzése kísérletekkel, érvényességi határainak letapogatása.*
6. *A modell magabiztos gyakorlati alkalmazása annak érvényességi határain belül.*
7. *Az érvényesség határán túl a modell javítása, gazdagítása, kutatás újabb modell után. GOTO 3.*

Ez a hét tézis nem felmondandó iskolai tananyag, hanem cselekvésformává érlelendő nevelési cél, ami hasznos lehet azoknak a fiataloknak a számára is, akikből végül nem természetbúvár válik.

A valóság elfogulatlan szemlélete magyarázatra ösztönöz. A működő modellnek örülünk, még többet akarunk vele magyarázni, amíg el nem érjük annak határait. A kedvenc modell határainak első felbukkanása mégsem gyászos pillanat, hanem újra víg izgalom: friss kihívással találkozunk! Ezek az élmények tartják örökifjan a természetkutatást (Michelson–kísérlet, hősugárzás színképe). Ilyen intellektuális sokkhatások óvhatják meg gondolkodásunkat a lemerevedéstől.

A tanulók látták az általános iskolában, hogy a megdörzsölt (pozitív) üvegrúd vonzza a megdörzsölt (negatív) műanyagvonalzót, és taszítja a másik (pozitív) üvegrudat. Ezután a megdörzsölt üvegrudat csapból vékonyan csurgó vízsugár mellé tartjuk. A vízsugár az üvegrúd felé hajlik. „A vízben biztosan negatív ionok vannak", – következtet bátran a gyerek és rutinszerűen hozzáfog az ellenőrzéshez: „Ekkor a vonalzónak taszítania kell." Elképed, amikor az általa elvégzett kísérlet mást mutat: a vízsugarat a (negatív) vonalzó is vonzza. Ha maga döbben a

vízmolekulák dipólusjellegére, nem fogja azt elfelejteni. Érdemes minél több ilyen sokkhelyzetet szervezni az iskolai órán. Általuk nevelhetjük tanítványainkat problémavállalásra.

Egy finn-svéd-magyar tanulmányi versenyen a finn szervezők horgászok által használt műanyag (damil) szálat adtak a diákoknak, azzal a felszólítással, hogy minél pontosabban vizsgálják meg a szál rugalmas viselkedését. Súlysorozat és mérővonalzó is volt az asztalon. A versenyzők mérték a különböző erők hatására bekövetkező megnyúlást. Az erőt osztották a megnyúlással, a kapott adatok középértékét adták meg, mint a méteres damilszál „rugóállandóját". De akadtak, akik felrajzolták az erő-megnyúlás grafikont és észrevették: a húzóerő fokozása bizonyos határon túl nem nyújtja a fonalat. (A műanyag gubancos láncmolekulái kiegyenesednek, de nem szakadnak el.) A megtanult lineáris Hooke-törvény és a konkrét tapasztalat ütközése konfliktushelyzetet teremtett, amelyben érdekes volt megfigyelni a diákok – a különböző hozzáállású tanárok által nevelt tanítványok – viselkedését. Egyesek „kijavították" a tapasztalatot a Hooke-törvény érdekében, mások viszont a hiszterizist is felfedezték.

Egy hazai versenyen ártatlan arccal párhuzamosan, illetve sorbakapcsolt ellenállások eredőjének meghatározására szólítottuk fel a versenyzőket. A kiosztott ellenállások zseblámpaizzók voltak. A diákok tanulták a párhuzamosan és sorosan kapcsolt ellenállások eredőjének a képletét, de a zsebizzók nem. A párhuzamosan kapcsolt izzókon erősebb áram folyt át, azok jobban felmelegedtek, mint a sorbakötött izzók, bennük a rácsionok hevesebb hőmozgása miatt megnőtt a wolframszál ellenállása. Akárhogy mérték a gyerekek, nem jött a várt eredmény. Sok szorgalmas diák mégis „kihozta" azt jegyzőkönyvében. (Mi felnőttek is csináltunk hasonlót tervbeszámolók statisztikai adtaival, de a történelem már kezd leszoktatni róla.)

Egy humán érdeklődésű tanuló végül fizikusi pályát választott. Meglepett kérdésünkre így indokolta választását: „A fizika törvényei érvényesek a legszélesebb körben. Mégis egyedül a fizikaórán ismerhettük meg e törvények határait."

Függelék: Statisztikus modelljátékok

1. Ehrenfest egy játékot talált ki, hogy megmutassa: sok-sok véletlen esemény miként vezethet jól meghatározott végállapothoz. Két kutya találkozik. Az egyik, a fehér kutya rendes és tiszta, épp a fürdésből jött. A másik kutyaólban lakik, amelyet évek óta nem takarítottak. Ez a fekete kutya tele van bolhával. A két kutya megörül egymásnak, szagolgatják egymást és összedörgölődznek. A bolhák is örülnek a megnövekedett élettérnek. Vaktában ugrálnak egyik kutyáról a másikra. Tartós barátkozás után melyik kutya fog erősebben vakaródzni?

   Egy papírlapra két érintkező kört (két kutyát) rajzolunk. Az egyiket befeketítjük. A fekete körre 1-től 6-ig számozott gombokat (hat bolhát) helyezünk. Kockával dobunk, sokszor egymás után. Minden kidobott szám kijelöl egy gombot. Ezt a gombot áttesszük a másik körbe.

   Azt tapasztaljuk, hogy eleinte több bolha áramlik a fehér kutya felé, mint fordítva. Fogynak a bolhák a fekete kutyán. Amint azonban egyenlővé kezd válni a bolhák száma a két kutyán, ugyanolyan intenzív lesz a visszaáramlás a fekete kutya felé. Így egy idő után körülbelül egyenlő bolhaszám alakul ki mindkét kutyán, a fekete kutya bolháinak száma egy egyensúlyi érték körül ingadozik. Érdekes kipróbálni: a beálló végállapot független a kezdeti eloszlás választásától. A játék azt szemlélteti, miért oszlik el a levegő a két összenyitott szobában egyenletesen, vagy miként keveredik el (és nem válik szét) a málnaszörp a vízben.

2. Hat gyerek ül egy széles lépcső fokain: a hat számozott gombot párhuzamosan, kottavonalakhoz hasonlítható egyenesekre helyezzük el tetszőlegesen. Két kockával dobunk egyszerre. A fekete kocka által kiválasztott gomb egy lépcsőfokkal lejjebb kerül, a fehér kockával kiválasztott gomb egy lépcsőfokkal feljebb. Így az energia végső soron megmarad. (A legalsó lépcsőfokról nyilván nem lehet lejjebb menni, ez a dobás hatástalan.) Sok dobás után milyen lesz az egyes lépcsőfokokon a gyerekek eloszlása?

   Ismét azt találjuk, hogy egyensúlyi eloszlás áll be, ami most felfelé ritkul, elvileg mértani sorozat szerint. Hogy milyen mértékben, azt a „kezdeti energia", az indulási elhelyezkedés magasságainak összege determinálja.

   A gyerekek és a gombok molekulákat modelleznek, a kockadobálások pedig a véletlen ütközések energiacseréit. Az előző játékhoz képest változást jelentő megszorítás az energia megmaradása. Ez a játék nyilván a levegősűrűség barometrikus magasságeloszlását szemlélteti, vagy Gürney, Black és Ogborn nyomán absztraktabbul: egy Einstein-kristályban az energiakvantumok egyensúlyi Boltzmann-eloszlását. A modell még tanulságosabbá válik, ha a kockázást számítógépes szimuláció követi, hat helyett akár több száz gombbal.

3. Rajzoljunk egymás mellé hat négyzetet, ezek a dzsungel hat vadászterületét jelölik. Számozzuk meg az egyes négyzeteket. A dzsungelben farkasok és párducok élnek, egy vadászterületen egy, mindegyikük egyformán erős. Ha valamelyikük váratlanul rajtaüt a másik faj egyik példányán elpusztítja azt. Az áldozat vadászterületét a győztes kölyke foglalja el.

A hat mezőre rakjunk ki pl. három rózsaszín gombot (párducok) és három szürkét (farkasok). Szimmetrikus kiindulási állapot. Ismét két kockával dobunk. A fekete kockával mutatott szám kijelöl egy négyzetet. Ezen él az áldozat, az ott levő gombot eltávolítjuk. A fehér kocka által adott szám mutatja a győztest. Vele egyező színű új gomb kerül a megürült négyzetre.

A játék első fázisában szabálytalanul ingadozik a két faj egyedszáma. De az ingadozások egyszer csak azt eredményezik, hogy minden négyzetet ugyanaz a faj népesít be. Ilyenkor a másik faj kipusztulása végleges. Ez az Eigen és Winkler által kitalált játék példát mutat a szimmetria spontán megsérülésére. A kiindulás és játékszabály pártatlan volt, mégis csak az egyik faj lesz a túlélő, de nem látható előre, hogy melyik. Ritkán az is előfordulhat, hogy 5 farkas + 1 párduc kiindulás is a farkasok eltűnéséhez vezet. A játék az osztályban valódi izgalmat kelt!

Ez a modell oldja az előreláthatóan egyértelmű egyensúlyra vezető előző játékok tanulságának lemerevedését. A biológiában különösen fontos lehet a történetiség. Így küszöbölhette ki pl. a kémiailag egyenrangú jobbkezes aminosavakat a biokémiai evolúció. Ma minden élőlény balkezes aminosav-molekulákból építi fel fehérjéit.

MARX GYÖRGY

Informatikai kultúra

Ha majd a szellem napvilága
Ragyog be minden ház ablakán
Petőfi Sándor

Az információ kora

Lassúbb sodrású történelmi korokban észrevehetetlen volt a változás üteme. Az ember időtlen modelleket alkotott a világról, mint a geometria, statika, merev testek és változatlan fajok. A művészet is ezt az érzést fejezte ki az építészetben, szobrászatban. Az ember modellje a **szobor** volt.

A középkor múltával a természettudományos-műszaki felfedezések, az ipari forradalom átalakították világképünket. Az *erő* fogalma pontos menyiségértelmet nyert, amelyre alapozva gépeket lehetett konstruálni. Az anatómia, a vérkeringés megértése arra ösztönzött, hogy az embert **gépnek** tekintsék, azzal modellezzék. Az univerzum is mint egy fenséges **óramű** bontakozott ki a megértésre vágyók szemei előtt: *Be van fejezve a nagy mű, igen. A gép forog, az alkotó pihen. Évmilliókig eljár tengelyén, míg egy kerékfogát újítani kell.* (Madách)

A 19. században mindinkább gőzgépek vették át a korábbi emberi-állati munkavégzés szerepét. Ásványi fűtőanyagok – szén, olaj – működtették a hőgépeket. Felismerték az energia fogalmát. Úgy vélték, hogy ez az a konvertibilis valuta, amely egységbe kapcsolja a természettudományokat. Az ember **hőgép** lett.

Ma néhány sziliciumkristályból olyan szerkezetet lehet összekapcsolni, amely nem képes erőkifejtésre, amelynek nincs jelentős energiafogyasztása, mégis keresettebb a világpiacon és itthon is, mint a szerszámgépek és mozdonyok. A számítógép alakítja korunk arculatát, formálja jövőnket. Egy új fogalom vált közkeletűvé: az **információ**, amelyet nem newtonban (kilopondban), vagy joule-ban (kalóriában) mérnek, hanem bit egységekben: az, *igen-nem* válaszok, még kifejezőbben az igen-nem *döntések* számában. Azt írják a gazdasági vezetők, hogy a korszerű terméket nem a beépített (kilogramm) tömeg, a felhasznált (joule) energia, hanem a benne testet öltött (bit) információ mennyisége teszi érdekessé. Neumann János írt először könyvet ilyen címmel: *A számítógép és az agy*. A mai szemlélet az embert szerszámgép vagy gőzgép helyett **számítógéphez** *szereti hasonlítani*. Joggal beszélünk tehát az *információ koráról*.

Mi tehát az *információ*: divatcikk vagy klasszikusan időtlen érték?

A mechanikai világkép is, az energetikai világkép is visszavonhatatlanul átszabta műveltségünket, testet öltött tárgyi környezetünkben, helyet kapott az iskolai tananyagban. Ezt elmondhatjuk az informatikáról is. Egy jó szerszám vagy szerszámgép kezünk képességét sokszorozza meg, az autó és a repülőgép lábunknak ad szárnyakat.A jó gőzgép, belső égésű motor vagy atomerőmű a

munkavégző képességet, az emberi-állati anyagcsere intenzitását sokszorozza. A számítógép viszont agyprotézis: a memóriát támogatja, főleg pedig a gondolkodást gyorsítja fel. Az informatikai forradalom tehát éppúgy minőségi átalakulás, mint amilyen volt a gépek forradalma (szövőgép stb.), amilyen volt az energetikai forradalom (gőzgép, vonat, erősáramú elektrotechnika). Az informatikai forradalom most és itt játszódik le! Nekünk kell elszenvedni, túlélni, kihasználni, hazánkban is diadalra vinni.

Az ipari forradalom birodalmakat dobott a történelem selejtraktárába. Velencei Köztársaság, Ozmán Birodalom. India a világ intellektuális nagyhatalma volt, a nulla nem európai, hanem indiai találmány. De pár száz éve olyan kasztrendszer fejlődött ott ki, amely a gondolkodókat elszigetelte a kézművesektől. Így vált Indiából béna szellemóriás. Angliában energiaválság tört ki, a ködös-esős szigetország fázós lakói eltüzelték az erdők fáit. Kényszerhelyzetben rászoktak a szénbányászatra, amitől vaskohók támadtak, gépek, Newton és Shakespeare, Faraday és Watt, Darwin és Rutherford, Watson és Crick.

Nem szelídebb az a forradalom sem, ami most megy végbe a világban. Ma már a napilapokban is megírják, hogy a katonai hatalom elsősorban nem páncélvastagságon, TNT-tonnákon, tolóerőkön méretik, hanem informatikai rendszerekben. A magát felülmúlhatatlannak gondoló óriást, az Egyesült Államokat épp az informatika területén hívta ki versenyre a világ egyik – területileg, mezőgazdaságilag, ércekben és fűtőanyagokban – legszegényebb országa, Japán.

Hazánk nem esélytelenül érkezett ehhez a fordulóhoz. Önbizalmat adhatott, hogy a számítógép jövőalakító lehetőségeire hazánkfia, *Neumann János* hívta fel a világ figyelmét, ő nemesítette azt társadalomformáló eszközzé. A személyi számítógépek és az átlagember kommunikációját egyszerű, mégis emberszabású nyelv tette lehetővé: a basic, *Kemény János* alkotása. A holográfiát, az optikai információ szemnél teljesebb rögzítését *Gábor Dénes* ismerte fel. Szűkebb európai környezetünkben a 70-es években mi szállítottuk a TPA miniszámítógépeket KGST-partnereinknek tudományos célokra. Mi építettük ki a nyomottvizes erőművi reaktorok komplett számítógépes szimulációját. A 80-as években a Halley-üstököst megközelítő űrszonda fedélzetén magyar számítógép gyűjtötte, tárolta és küldte haza a Földre azokat a képeket, amelyeken először látta meg ember egy üstökös magját. A *Recognita* pedig, ez a Budán született software, megtanította a számítógépet a kézírás elolvasására.

Nem rajtolt rosszul a magyar iskola sem. Az angol oktatási számítógép televízió és elektronikai gyárak által támogatott (BBC) programjával vagy a sok tantárgyat átfogó francia iskolai-postai hálózattal (terminált minden lakásba!) kellett versenyre kelnünk. 1983-ban számítógépek kerültek minden magyar középiskolába, azóta nagyot változott sok diák iskolához való kapcsolata – előnyére. Ma már az általános iskolákba is megérkeztek a számítógépek. Ausztria csak 1987-ben tudott adni számítógépet az iskoláknak. Több szomszédunk szorgalmasan elkezdte az informatika külön tantárgyként való tanítását – számítógépek nélkül.

A gépromboló luddíták összetörték az első szövőgépeket. Volt, aki a frizsidertől óvta a társadalmat. Néhány éve széplelkek még a Coca-Colától, az autótól

féltették kis hazánkat. Köztünk is vannak modern luddíták, akiket felingerel, ha megveri őket a számítógép sakkban, ha tanítványaik náluk otthonosabbak a gépbillentyűzet előtt. Az egyszeregyet féltik, a videojátékokat küldenék máglyára. A Vörös Brigádok számítógépeket rombolnak Nyugaton. A szenvedélyek hevesen csaptak össze, ami az igazi forradalmak jellemzője.

Elektronok és demokrácia

Az állati idegrendszer feladata információk szerzése a környezet állapotáról, azok gyors feldolgozása és a megfelelő reakció kiváltása. Állatoknál ezek a viselkedésmodellek a védekezés-támadás, üldözés-menekülés, zsákmányszerzés-táplálkozás, szex és utódgondozás, amelyek többnyire genetikailag véglegesen beprogramozottak.

Az embernek az állatokénál fejlettebb központi idegrendszere adott evolúciós előnyt. Tanulásra képes agya tette az állatok királyává.

A kommunikációt, vele a tanulást, jó néhány tízezer évvel ezelőtt egy informatikai forradalom tette hatékonnyá: a *beszéd*. Néhány ezer évvel ezelőtt különböző nemzedékek, városok, országok közt valósította meg a távkommunikációt egy másik informatikai forradalom: az *írás*. A szövegben lejegyzett információt nagy példányszámban terjesztette, így demokratizálta egy harmadik informatikai forradalom: a *könyvnyomtatás*. A nyomtatott, tehát olcsó és hozzáférhető Biblia, a forradalmi költemények, újságok politikát alakítottak, végső soron demokratikusabb irányba terelték az emberi történelmet. Ezt még akkor is elmondhatjuk, ha a könyv, újság, röplap gyűlöletet, elvakultságot, manipulációt is terjesztett. A betű egy újszerű *digitális* információs technikát jelentett, amely véges számú jel megfelelő kombinálásával fejezett ki képeket, helyzeteket, eszméket, cselekvéseket. A tanult emberek a beszédnek, írásbeliségnek köszönhetően, azok által kényszerítve, az absztrakt fogalomalkotás, alkotó képzelet magas fokára emelkedtek. Költészet támadt, irodalom, filozófia és matematika. A tankönyvek új és új generációk millióit vezették be az elvont gondolkodásba. Az ember *Homo sapiensnek* nevezte el magát.

Ilyen előzmények után a mi életünkben következett be az *elektronika* által kiváltott negyedik informatikai forradalom. Az idegrendszerben, agyunkban a „gondolatokat" kálium-ionok transzportja közvetíti, a számítógépben pedig elektronoké. Az elektronok tömege százezerszer kisebb, ezért a számítógépek százezerszer gyorsabbak az emberi agynál.

Az elektronikus informatikai forradalomban a távíró, telefon, gramofon, rádió, televízió, fax versenyre kelt a levéllel, újsággal, könyvvel: *elektronok a betűvel*. Egy régi táncdalfesztiválon úgy lehetett szavazni, hogy aki igent mondott, bekapcsolta lakása villanylámpáit. A központnak csak le kellett olvasnia a fogyasztásnövekedést.

A 20. század második felében az anyagtudomány eredményeiből kibontakozott a *mikroelektronika* forradalma.

A *tranzisztor* és a zsebrádiók, meg a rockkoncertek erősítői hónapok alatt terjesztették el a rockslágereket, átlépve óceánokon és határokon. Korábban a zene kiváltságos koncertlátogatók privilégiuma volt, vagy a kottából történő reprodukciót igényelte. Ma már „magas hűséggel" (hi-fi) halljuk a világ legkiválóbb előadóit, az alkotó művészeket, a legeredetibb improvizációkat. A tranzisztoros rádió szükséges feltétel volt ahhoz, hogy a harmadik világ napilapokkal el nem érhető, részben írástudatlan, elektromos hálózattal sem rendelkező népei közt elterjedjen, végül diadalra jusson a nemzeti felszabadulás eszméje. Nasszer rádión hallgatott beszédei váltották ki az arab nacionalizmust, Khomeini magnóról lejátszott és rádión sugárzott prédikációi megdöntöttek egy állig felfegyverkezett császárságot, nem kis izgalmat keltve Nyugaton a nagyhatalmaknál. Arafat arcát minden magyar gyerek ismeri. (Egy közvéleménykutatás Arafatot hatalmasabbnak ítélte Reagannél, „hiszen többet mutatta a televízió".) A fejlett országokban százmilliók figyelmét ejti rabul a televízió, hogy sokdimenzióban – hangban, képben, színben – tápláljon agyunkba korábban elérhetetlen tömegű információt múltról és jövőről, hazánkról és a tengerentúlról, olykor saját korunkról és jelen tudományunkról is. Ez az információáradat még *egyirányú*. Az állampolgár passzívan befogad. Ő élvez és ő *manipulálható*. Ez volt a mikroelektronikai forradalom *első fázisa*.

Közben a mikroelektronikai forradalom haladt tovább. A magnó, a videokazetta (a kábeltévé révén is) megingatja a rádió és tévé egyeduralmát. A *mágneses memória* már *választékot* kínál, válogatást tesz lehetővé, a választást igényli. A slágerek magnóról magnóra, egyik napról a másikra terjednek el. 1000 filmkazetta közt válogathat a honpolgár, hogy melyiket vigye mozijegynél olcsóbban otthonába, maga és gyermekei számára. Választhat művészetet vagy giccset, borzalmat vagy tudást. Nem kényszerítheti rá a tévé a meccset vagy a klasszikus koncertet vagy a krimit, ahogy a műsorfüzet hozza, ahogy valaki helyettünk eldöntötte. Az információbőséget választékbőség követi, ami lassan a válogatás képességére, az igényességre nevelhet. Ez már a második fázis. 1970-ben *Emberek és elektronok* című írásomban így fogalmaztam: Hiszem, hogy az elektronika fogalma végül nem a ponyvához és giccshez asszociálódik majd, hanem a kulturált alkotáshoz és a demokráciához.

A mikroelektronika fejlődésének kiugró eseménye volt a *mikroprocesszor* megalkotása a 70-es évek elején. Ez olcsósága révén milliók számára tette lehetővé az *aktív részvételt*. Emlékszünk még az első kalkulátorok varázsára, amikor játszani kezdtünk számokkal és műveletekkel. Sok tizenéves kritizálja tévénéző szüleit. Az ilyen fiatalok idegrendszere szenved a passzivitástól. Játéktermekben viszont kétirányú szimultán kapcsolat alakul ki a kihívást kínáló *videojáték* és agyát a feladatra összpontosító *tizenéves* között. Az információcsere lenyűgözően gyors és intenzív oda-vissza. A játékos nem csupán külső szemlélője a kalandnak, hanem annak résztvevője, aki tájékozódik, dönt, kockáztat, szenved vagy győz. Innen már egyenes út vezet új komputergrafikák, új animációk, új játékok: új *programok* írásához. Akiknek a gátlásait feloldotta a videojáték, az már nem hagyatkozik csupán reflexeire: a *számítógép*, ez a legokosabb és legkihívóbb

játékszer mind tökéletesebb – gyorsabb, látványosabb, meglepőbb – programok megalkotására ösztönzi használóját. A mai elektronika már aktivitásra, gyors helyzetfelmérésre, racionális döntésre, alkotásra nevel, amely erények a gazdasági életben is keresettek. Ez már a harmadik fázis.

Amikor az Európa Parlament az informatikát tárgyalta, a téma francia előadója így fogalmazott: *A 19. század végén azok az országok törtek előre a világgazdaságban, amelyek csatlakozni tudtak az internacionális vasút hálózathoz. A 20. század végén azok az országok tesznek szert nagy előnyre, amelyekben a számítógépek bekapcsolódhatnak a nemzetközi informatikai hálózatba.* Ahol mindenki számára, aki igényli, azonnal hozzáférhetőek a nagy adatbankok. Ez már a negyedik fázis. Franciaországban a telefonelőfizetők telefonkönyv helyett *terminált* kérhetnek, amellyel nemcsak telefonszámok hívhatók le a központ naprakész számítógépéről, hanem a moziműsorok, menetrendek is, amelyen repülőhely-foglalások és árurendelések intézhetők, és amelyekről a nagy számítógépek is elérhetők. Az amerikai gyerekek számítógépei telefonon beszélgetnek egymással. A friss tudományos eredményeket nem könyvből egy-két év késéssel vagy folyóiratból egy-két hónapos késéssel lehet beszerezni, hanem a számítógépes hálózaton olvassák ki egy-két órai késéssel. El lehet képzelni, mit jelent ez a tudományban, a technikában, a kereskedelemben. Japánban már nincs távirat, csak telefax: a kézzel írt vagy gépelt levél képe dróton vagy mesterséges holdon át fénysebességgel fut a címzett faxállomásáig, vagy ha még nincs neki, a legközelebbi postahivatalig, onnan a kinyomtatott képlapot a („levelet") kézbesíti a sürgönypostás egy órával azután, hogy a küldő 100 vagy 1000 km-rel távolabb feladta. Ugyancsak Japán olyan telefont fejleszt ki, amelyben a hívó japánul beszél be, és azt a hívott angolul hallgathatja. Egyetemeinkről vagy kutatóintézeteinkből telefonon át használhatunk szuperszámítógépeket. A számítógépek *modem* kapcsolata a műszaki, szervezési, jogi problémák nehézkességének leküzdése után végre valóra válik, akárcsak az *égi csatorna* néven ismert globális tévéműsorok mesterséges holdról történő közvetlen vétele.

Már látjuk, hogy a tévémonopóliumok és magányos számítógépek korszaka végéhez közeledik. A híradástechnika és a számítástechnika szövetsége a kisembert is hozzájuttathatja olyan szimultán információhoz, olyan gyors intézkedési joghoz, ami eddig vezérkarok, trösztigazgatók, külügyminisztériumok privilégiuma volt. A kismamák otthon a terminál mellett végezhetik majd a hivatali munkájukat. Kutatóink telefaxon küldhetik be kutatási eredményeiket. A konferenciákat nem levelezéssel és utazgatással, hanem dróton, sőt drót nélkül lehet szervezni azokban az országokban, ahol teret nyitnak az ilyen időt és költséget kímélő kapcsolatok előtt.

A felfedezések korában előnyt élveztek a jó kikötővel rendelkező országok: Fönícia, Görögország, Velence, Spanyolország, Anglia. Az ipari forradalomban a vasérc és kőszén jelentette a gazdagságot Anglia és a Ruhr-vidék, majd a kőolaj: Texas, Venezuela, Kuvait számára. A mikroelektronikánál már nincsen nyersanyagprobléma: *kavics* és *homok* mindenütt található a *sziliciummorzsa* (chip) gyártásához. Kell viszont tudás, ötlet, magas szintű technológia, igényes munka.

A magyarok szeretik azt hinni, hogy ez nálunk nem akadály. A műveleti sebességet csak az elektromos jelek terjedési sebessége, a *fénysebesség* korlátozza. A sebesség növekedése (mikroszekundumos műveleti idő) érdekében a morzsák egyre kisebb méretűek lesznek (mikrométeres szerkezet). Következésképp nemcsak gyorsabbak, hanem az energiafogyasztásuk is alacsonyabb. Tehát olcsóbbak. Ez tette lehetővé intézményi felhasználásukon túl személyi felhasználásukat. Ez teszi a mikroelektronikai forradalmat minden korábbi műszaki forradalomnál *demokratikusabbá*.

Computer literacy

A számítástechnika már nálunk is széles foglalkozási köröket elér. Eljutott a Skála Metró pénztáraiba: lásd az áru nemét és árát jelző fekete csíkokat. Az áremelés egyszerű számítógép-átprogramozást jelent. Eljutott irodákba, írógép helyett *szövegszerkesztő*, amelyre a főnök javításai egyszerűen átvihetők. A kéziratokat floppydisken kérik, hogy emberi szedés vagy átgépelés nélkül azonnal mehessen a nyomdagépbe. A számítógép lassan eléri a hazai banktisztviselőket is, az ügyfeleknek nem kell várakozni, míg az ügyintézők egymás aláírását ellenőrzik. Ma már látható ama prognózis realitása, hogy a század végére a dolgozók nagyobbik felének közvetlen kapcsolata lesz a számítógéppel. Időelőnyben lesz az az ország, amelynek társadalma, fiatal nemzedéke ezt természetes könnyedséggel teszi. Egy ember sokszorosát végezheti el majd annak, mint amennyit számítógép nélkül elért.

A fiataloknál az első találkozás rendszerint *videojáték*. Nekünk, felnőtteknek idegenül hat a botkormány vagy billentyűzet, a villódzó fények absztrakt ikonográfiája. Reflexeink is lassúbbak. Leszoktunk a próba - szerencse módszerével történő tanulásról, ezért idegesít a videojáték. Alsóbbrendűségi érzéseinket elvi kifogásokkal takargatjuk. Pedig számítógéphez szoktató szerepe feltétlenül van a videojátékoknak. Gyors helyzetfelismerés-reflex pedig a felnőtt életben, autóvezetésnél vagy vállalatigazgatásnál sem árt.

Ha a fiatal már „kinőtte" a videojátékot, figyelmét akkor is a grafikus, mozgó animáció köti le, és nem annyira egy sok tizedesjegyű szám vagy számoszlop, mint a felnőtt kutatókat. Van némi igazságuk: a többdimenziós kép (mozgó színes ábra a képernyőn) feltétlenül információgazdagabb a szövegnél, feldolgozására szemünk és agyunk is szívesebben vállalkozik.

A számítógépekkel eredetileg billentyűzet, betűk és számok révén érintkeztünk mi, az írógéphez, kézíráshoz szokott nemzedék. De a technika által bevezetett botkormány valahogy közvetlenebb, ezért sokszor intenzívebb kapcsolatot kínál. A Macintosh képernyőjén már nem betűk, hanem képjelek, *ikonok* ajánlják a döntési alternatívákat. Ilyen ikonok vannak az írástudatlan óvodások tulajdonában lévő ruhadarabokon, tárgyakon is. A fiatalok könnyen ráfutnak az *egérrel* a megfelelő ikonra, így hosszabb gépelést takarítanak meg. A számítógép végrehajtja a kérést, vagy újabb *ablakot* nyitva még árnyaltabb választékot kínál. A talán legemberközelibb számítógépes közegben, a *Logo* nyelvben helyettünk egy teknőc

mászkál, forgolódik a képernyőn, rajzolja a gyerek vagy felnőtt által megálmodott színes mintát...

A mai felnőttek az írógéphez szoktak hozzá. Izgalmas kérdés: a számítógép elmélyíti a *betű-kultúrát* (megkímél a szépírás fáradságától; szótárral ellátott szövegszerkesztő rendszereik még magyar vagy angol helyesírásunkat is kijavítja)? Vagy (technikailag felgyorsulva, versenyképesen) visszatér az ősibb *kép-kultúra* is, a maga intenzívebb (dúsabb információátadást lehetővé tévő) formájában? Nem vállalkozhatunk a válaszadásra, csak a társadalmi fejlődés dönthet. A kihívás már a regény/video, újság/tévé (passzív) alternatíváiban is benne volt. A számítógépek ezt az alternatívát a befogadó mellett az alkotónak is felkínálják.

A számítógép kulturális hatása különösen drámai módon érhető tetten a mai Japánban. Ott együtt él a fonetikus, egyszerűbben megtanulható, kevesebb jelet alkalmazó *katakana* szótagírás és a gazdagabb, jelek ezreit alkalmazó, mondott szövegnél árnyaltabb *kandzsi* fogalom-, szókép-írás. A 20. század első felében a kultúra demokratizálása a katakanának, a pragmatikus „női" műveltségnek látszott kedvezni, a kandzsi elitműveltség a sznob „felső tízezer" privilégiumává kezdett sorvadni. De a legújabb nagyteljesítményű, nagymemóriájú, finom grafikájú számítógépek tálcán, fonetikusan előhívható módon kínálják a dekoratívabb, ugyanakkor elvontabb kandzsi fogalomképek ezreit minden használónak, így a filosz kultúra demokratikusan elérhetővé lett mindenki számára. A művelt japán lenézi a fonetikus, 20–30 hangnak megfelelő abc-be szorított európai betűvetést. Számára a mondott szöveg leírása újabb alkotó folyamat, ahol a fogalmak ki nem mondhatóan gazdag tárházában válogathat. Így a számítógépnek az alkotás, absztrakció, árnyalás olyan lehetőségeit köszönik, amely korábban csak kevesek számára volt hozzáférhető. Áttörték a származás és neveltetés korlátait. Ez a keleti, grafikailag esztétikus, absztrakciós fokaiban választékos kultúra egységbe fogja a kínai, japán, koreai, hongkongi, szingapúri és más népeket, a Föld lakóinak eme genetikailag tehetséges és technikailag-gazdaságilag meredeken fejlődő negyedétharmadát. Ezért gyorsabbak, tágabb memóriájúak és finomabban rajzolók a japánok hordozható táskaszámítógépei.

A rádió és a televízió eltünteti a tájszólásokat, segít az egységes irodalmi nyelv kialakításában. Ugyanígy a számítógép (írógép, távírda, telex) billentyűzete is előnyben részesíti a legismertebb, a műszaki megoldást elsőként megvalósító jelrendszert, jelen esetben az amerikai ábécé-t, az ASCI kódot Európában is. Nálunk – minden hivatalos iskolai szabvány ellenére – egyre jobban terjed a számítógépek egyértelműbb matematikai jelölésmódja (tizedespont a vessző helyett; * a szorzás, 0 a nulla jelölésére; a könyvkiadók által kiátkozott, de a számítógép által egyedül értett / jel a : osztás és a vízszintesnek előírt törtvonal helyett). Természetesen humán és magyar szívünk még hevesebben reagál, amikor a speciális magyar betűk (í, ű, ő stb.) okoznak gondot a távirat, képújság, számítógép által kezelt szövegekben. A magyar írott kultúra lesz talán olyan erős, mint a japán, és a számítógépeket rákényszeríthetjük nemzeti ábécénk kifejezésére, amiért fizetnünk kell, vagy kis országunk Európába való nyíltabb illeszkedése érdekében megengedjük majd a magyar szavak ASCI átírását? Ahogy a németek lemondtak a

gót betűkről, meg a „13-as" ß-ről. Valószínűleg itt sem a jogi szabályozás, hanem a reális fejlődés fog dönteni. A tradíciók tisztelete mellett a realitás tisztelete is erény lehet.

Már most tény: a szövegszerkesztők terjednek hazánkban is. Így nyilvánvalóvá lesz, hogy az igazi alkotómunka nem a betűvetés, nem csupán a szavak egymás utáni árasztása. Ha az egyszer leírt, számítógép-memóriában őrzött szöveg bármikor előhívható, fáradságmentesen javítható, egyes mondatok vagy bekezdések kihúzhatók, áthelyezhetők, beszúrhatók, ha kérésre a számítógép kínálja a szinonímákat, ha egyetlen billentyűnyomásra leírja a hosszú közhelyeket (*Mélyen tisztelt ... úr!, Támogatásában bízva, Mély tisztelettel* stb.), akkor a szövegszerkesztőt használó diák, üzletember, újságíró is megengedheti magának az ismételt újrafogalmazást, ami régen csak a szépírókra volt jellemző. Nem elégszünk meg az első fogalmazvánnyal. A véglegesnek szánt szöveget nyomtatjuk majd ki tisztán. A számítógép szinte önállóan megírja a közhely-levelet (gratulációkat, köszönetmondást), csak a címzett nevét kell cserélni. Az eredeti stílus, igényes megfogalmazás viszont egyértelműen az ember kötelessége. A számítógépet be lehet programozni rímfaragásra, de igazi költeményt soha nem lesz képes írni. Nem véletlenül.

A bestseller lektűrök kellemesen folyó meseszövése andalít. Inkább az idősek és az iskolázatlanok élvezik. A nyugtalan fiatalokat untatja elméjük passzivitása. A krimikben legalább találgatni lehet: ki a tettes? A számítógépes *kaland-játékok* olyan regények, ahol én lehetek a főszereplő, ahol magam alakíthatom a szavakba, mondatokba szőtt történetet. A kaland-játékok hatására már írtak olyan drámát is, amelynek több lehetséges végkifejlete van. Hogy a színészek melyiket adják elő, az attól függ, hogyan reagál a közönség a dráma egy-egy fordulópontjánál.

Rutin vagy matematika ?

Féltették az írástudást az írógépektől, az olvasnitudást a tévétől, az egyszeregyet a kalkulátortól.

A tradicionális iskola sok olyan matematikai rutint tanít, amely szükséges volt a köznapi gyakorlatban, mert még nem volt kalkulátor. Ma már senki nem hiányolja a papíron való gyökvonást, a sokjegyű számok osztását logaritmustábla vagy logarléc segítségével, amit nekem még meg kellett tanulnom. Nem ezek a rutinmunkák nevelnek logikus gondolkodásra, nem ezek mutatják a matematika szépségét és erejét.

Az elmúlt századokban a geometria eszköztára a rajzlap, ceruza, vonalzó, körző volt. Geometriaoktatásunk tartalma ezt az eszköztárat tükrözi. Kihívóbb kalandozást, esztétikai élményt kínálnak fel a fraktálok, de ezeket az új tájakat igazán csak számítógéppel tárták fel néhány éve. Ma már a gimnazistákat is izgatja a frakcionális dimenziók iskolán túli világa, de az iskola alig él ezzel a motivációs lehetőséggel.

A gyakorlati analízis (elemi analitikus függvényekre alapozott integrálszámítás) kész sablonokra vezeti vissza a változásain keresztül megragadott matemati-

kai, fizikai, műszaki jelenségeket. Az integráltáblázat nagy vívmány volt a számítógép előtti korban, de rutinná alakította a függvénykapcsolatok feltárását.

A számítógépes kultúra más, egyszerűbb volta révén szebb, elegánsabban teljesítőképes gondolkodásmódokat állít előtérbe. A matematika egyik legszebb módszere az *indukció*. Ezt szereti az algoritmikus gondolkodásra nevelő számítógép. Vessünk egy pillantást a CSILLAG (mint rajzolási eljárás) következő LOGO megfogalmazására:

tanuld meg, hogy a CSILLAG:
MENJ 10 (centimétert)
JOBBRA 120 (fokot)
CSILLAG (azaz csillagot úgy kell rajzolni, hogy előre mégy 10 centimétert, jobbra fordulsz 120 fokot, és kezded elölről).

A matematikai rutint számítógépre bízva a lényegre koncentrálhat a tanuló. Ekkor jön rá, hogy a matematikai alapgondolat egyszerű és szép, csak ezt gyakran elfedte a logaritmustábla, integráltábla szellemi favágása.

Fizika, kémia: tanulhatóvá tenni az eddig tanulhatatlant

300 évvel ezelőtt tették lehetővé Newton természetből olvasott axiómái, hogy a jelen állapot és a test környezettel való kölcsönhatását leíró erőfüggvény ismeretében egzaktul kiszámíthassuk a test jövő viselkedését. Amikor Napoleon, a differenciálszámításban is képzett tüzértisztből lett császár elolvasta Laplace mechanikakönyvét, így szólt a szerzőhöz: *Uram, a könyvében nem találom Isten nevét.* Laplace válasza ez volt: *Felség, nem volt szükségem erre a hipotézisre.* Így indult útjára az egzakt természettudomány, amelynek nem utólag magyarázó, hanem előrelátó képességére alapozhatott az ipari forradalom.

A newtoni dinamika régóta szerepel a középiskolai tananyagban, annak legtekintélyesebb részét képezi. De az utóbbi évtizedekben eltűnt az iskolai matematikából a differenciálszámítás, amiért diákjaink matematikai teljesítményének nemzetközi felmérés által kimutatott romlásával fizettünk. A dinamika tanításának is néhány sterilen túlegyszerűsített példára kellett korlátozódnia. (Állandó súlyerő, sebességtől függetlennek posztulált súrlódás, kitéréssel szigorúan arányosnak definiált rugóerő, egyenletesnek mondott körmozgás.) Ezek a mesterkélt leegyszerűsítések elfedték a newtoni dinamika igazi lényegét: a jövőnek jelen által való egyetemes meghatározottságát (*kauzalitás*), a jövő alakíthatóságát a jelen alkalmas kezdőfeltételeinek megválasztásával (*technika*). Így az egzakt, kauzális, prediktív tudomány üzenete gyengén jut el a fiatalokhoz.

A számítógépek megjelenése a magyar iskolákban végre lehetővé teszi annak gyors és egyszerű bemutatását, hogy akármilyen x (hely) vagy v (sebesség) kezdőfeltétel és akármilyen $F(x)$ erőfüggvény esetén egyértelműen kiszámítható a jövő:

$$x(t+1) = x(t) + v(t)$$
$$v(t+1) = v(t) + F(x)$$

Ez a szimpla program tükrözi a newtoni dinamika alapaxiómáját: *a v sebességet a környezet hatása (az F(x) erő) befolyásolja.* A számítógép lépésenként történő indikcióval építi fel a jelenből a jövőt. (Ezzel közvetlenül a természetet utánozza. Nem azt csinálja, amit a régebbi ceruza-integrálszámítás; az azt firtatta: melyik lehet a korábban megismert elemi függvények közül, amelyik éppen kielégíti az $x''=F(x)$ differenciálegyenletet?)

A meteorológiai, tervgazdasági prognózisok esetenként tapasztalt kudarcaiból régóta sejtették, de valójában csak számítógépekkel lehetett megérteni, hogy bizonyos kiélezett helyzetekben a jövőbeni viselkedés rendkívül érzékennyé válik a kezdőfeltétel igen kicsi, ezért kontrollálhatatlan pontatlanságaira. Ilyenkor a determinált sima pálya helyett *káosz* támad. A newtoni predikció korlátai szépen szemléltethetők számítógépen. A krízis előrejelzése pedig nemcsak leendő fizikusok és meteorológusok, hanem leendő közgazdászok és politikusok számára is tanulságos.

A newtoni dinamika figyelme egy-két testre koncentrál, így nem képes számot adni arról, hogy végül is miért állnak meg a mozgó testek, miért keverednek el a gázok, a rézdrót miért oldódik fel a kénsavban. A sok részecske *statisztikus* viselkedése, a belőle adódó valószínűségi törvények a matematikai statisztika igényes analitikai módszerei miatt kívül esnek az iskolai lehetőségeken. A számítógép azonban csodát tehet: az atomokat olyan naggyá varázsolhatja, hogy azok szemmel láthatóvá váljanak a képernyőn, egyben olyan sokat mutathat belőlük, hogy összességükben képileg kifejezik a sokaság statisztikus viselkedését (keveredés, szétterjedés stb.). A statisztikus adatgyűjtést, összegezést, átlagképzést a számítógép végzi el. Nemcsak szemléletesen jeleníti meg az atomokat, hanem azok egyedi viselkedéséből az érzékszervileg észlelt kollektív termodinamikai, kémiai törvényeket is dedukálja.

Kontroll: technika

Az emberi érzékszervek és műszerek regisztrálják a valóságot: szemünk felé közeledik egy kavics; esik a gyártott termék világpiaci ára. A kapott információt agyunk feldolgozza, idegrendszerünk végigfut a várható következményeken, majd kiadja a megfelelő utasítást kezünknek, beosztottjainknak, gépeinknek, hogy miként reagáljanak: hogyan védjék ki vagy használják ki a változást, (behúnyjuk szemünket, csökkentjük a termék gyártását).

Gyakran azonban felfoghatatlanul sok a beérkező információ, agyunk számára túl komplex a kiértékelési folyamat, túl lassan gondoljuk végig a következményeket, késlekedve tudjuk eljuttatni a végrehajtási utasítást. Ilyenkor segít a számítógép: figyelemmel kísér vagy 100 változót, milliószorta gyorsabban futtatja a jövőt előrevetítő modellt, fénysebességgel adja ki parancsait. Végső soron lerövidíti a reakcióidőt. *A mai világban pedig életet, pénzt nyer, aki időt nyer.* De nehéz magunkévá tenni, megszokni személyiségünknek, szemünknek, kezünknek, „józan eszünknek" eme gépi kiterjesztését. Idegenkedünk az emberi láncszem

kiiktatásától, még akkor is, ha az emberi tényező tűrhetetlenül lassú, bizonytalan, feladata mindössze egy gépies-gépiesíthető reflex.

A számítógéppel dróton és nem agyon át végzett adatgyűjtést, adatfeldolgozást, kontrollt szépen be lehet mutatni a magyar iskolák számítógépein. Ez sok iskolában meg is valósult a sebességméréstől a radioaktivitás számlálásán át a robotirányításig. Érdekli a gépek és technikák iránt amúgy is fogékony fiatalokat, egyben feloldja a számítógépprogram és a képernyőre kerülő kijelzés steril hangulatát.

Önként gyarapodó információ: biológia

A biológia életközeli, életmeleg tudomány. Leginkább a biológia érezteti, hogy a tudományok, a természettudományok is, rólunk és nekünk, embereknek szólnak. Megfogja azokat az egyszerű lelkeket is, akiket hidegen hagynak az egyenletrendszerek, áramkörök vagy ókori események.

A biológiának sok arca volt, és még több arca van. A lepkegyűjtéstől és akváriumtól az anatómián és növényrendszertanon át a génsebészetig és a környezetvédelemig... De a biológiát mégis a *molekuláris genetika* tette egzakt tudománnyá. A DNS molekula *információőrző* és *információátadó* szerepe, a mutációk *információmódosító* (információtorzító) véletlenje, a természetes kiválasztódás *információértékelő* és *információszelektáló* működése az, amit ma az élet lényegének tekintünk. Sőt tudjuk, hogy nem is a DNS molekula (kromoszóma) az, ami védeni és szaporítani akarja önmagát, hanem a benne testet öltött információ: a *gén*. Az egyén önzetlen lehet, a gén azonban önző. Az anya kész feláldozni magát gyermekeiért, a honvéd hazájáért, az egyén a közösségért: egyetlen információtár elvesztése megéri *ugyanezen információ* sok más hordozójának megmentését. A biológiát ma úgy tekintjük, mint a genetikai információ keletkezésével, tárolásával, terjesztésével és növelésével foglalkozó tudományt. Az élőlény a gén vállalkozása, hogy minél több önmagához hasonló gén hordozóját hozza létre. Köznapiasan: a tyúk a tojás vállalkozása újabb tojások létrehozására. Az *élet keletkezése és fejlődése* azt tanulmányozza, hogy a genetikai információt miként gyarapítja a természetes kiválasztódás. A kihalófélben lévő állat- és növényfajok megmentése *természetvédelmi területeken* azt célozza, hogy az évmilliók során kibontakozott genetikai információk közül egy se vesszen el. A tudományos *növény- és állatnemesítés*, hibridkukorica, hibridcsirke, a genetikai információk tudatos kombinálása. A *génsebészet* (genetic engineering) a genetikai információ tudatos átültetésének a technikája.

Az informatikai forradalom nem korlátozható csupán a matematikusokra, fizikusokra, mérnökökre. Nem érdektelen szántóföldjeink kukoricahozama. A modern biológia fegyvertárának tudatos alkalmazása, a mezőgazdaság, orvostudomány, házasság előtti genetikai tanácsadás Magyarország számára is fontos. Az informatikai kultúrának át kell hatnia biológiai oktatásunkat is.

Neumann János, Norbert Wiener és a kibernetika (kormányzástan) többi úttörője világosan látta *az agy és a számítógép* (idegrendszer és híradástechnika)

párhuzamát. A hazánkban magas szintre emelkedett agykutatás tudatosan törekszik annak megértésére, hogy a tanulás, gondolkodás, memória, viselkedés milyen informatikai hálózaton valósul meg. Érthető: az ember magas szelekciós értékelése a természetben minden másénál fejlettebb idegrendszerének köszönhető. Ezt tudni önmagunk megértését jelenti.

Az ember irányítja a gépet, vagy a gép irányítja az embert?

Egyes asztrológusok számítógépeket alkalmaznak horoszkóp készítésére. Nemcsak azért, mert számítógéppel könnyebb rekonstruálni a bolygók állását a születések pillanatában, hanem azért is, mert a számítógép növeli a csillagjóslat tekintélyét a hiszékeny megrendelő előtt.

Pedig *a számítógép nem modern orákulum*. A számítógép által lejátszott jövő nem a való világ jövője, hanem annak a leegyszerűsített modellnek a jövője, amit az ember a gépbe táplált. A számítógépnek nem feladata a döntés az ember helyett, hanem az emberi döntés segítése. Ezt viszont nagyon hatékonyan teheti. A szó eredeti értelmében villámgyorsan keresi ki memóriájából a szükséges információkat. Gyorsan kezel nagyszámú változót, így a prognosztikában elébe tud vágni a való történésnek. Viszont nem az egyértelmű jövőt vetíti elénk szuper csillagjósként, hanem az egyik lehetséges *modell-jövőt*. Változtatva a kezdeti értékeket, módosítva a modellt, újabb és újabb lehetséges jövőket képzelhetünk el. Végül én, az ember választom ki a számomra elérhető jövők közül a legelőnyösebbet, abba az irányba indulhatok el, annak érdekében alakíthatom stratégiámat. A jövőt nem megjósolni, hanem megalkotni kell – tanította Gábor Dénes *Inventing the Future* című könyvében.

Az információnyerés, információszelektálás, modellkészítés, prognózis nem csupán a kutató, tudós, űrhajós, haditechnikus számára fontos, hanem a politikus, az üzletember, minden vállalkozó, minden ember részére. Ezért nem építhetünk úgy tanterveket a számítógépek iskolai megjelenése után, mintha ezek nem léteznének. Sokan a fiatalok és felnőttek közül maguk kerülnek majd a számítógép billentyűzete elé. Mások csak kérni fognak számítógépes információkat. Utóbbiaknak is tudniuk kell, mit várhatnak el a számítógéptől és mit nem. A számítógépekre ember voltunk kiteljesedéséhez van szükségünk.

TÓTH ESZTER

Tohu va Bohu

והארץ היתה תהו ובהו...

*Genezis 1.2**

Nő a rendetlenség

I. főtétel: ha egy anyaghalmaz energiát kap környezetétől, akkor energiája éppen annyival nő, mint amennyit környezete veszített, bárhogyan is történt ez az energiaátadás: rendezetten (munkavégzéssel) vagy rendezetlenül (hőközléssel). $\Delta E = W + Q$

(általános iskola 6. osztály)

Közel százezer gyereken elvégzett nemzetközi felmérésből (IEA) tudjuk, hogy az 1979-ben bevezetett általános iskolás gyerekek *tudják* az energiamegmaradás törvényét, *értik* annak matematikai megfogalmazását, képesek e törvény *alkalmazására*.

Ha egy meleg téglát és egy hideg téglát egymás mellé teszünk, a meleg tégla éppen annyi hőt ad le, mint amennyit a hideg tégla felvesz. Hiszen az energia megmarad.

– De miért a meleg tégla ad a hideg téglának energiát?

Az általános iskolás gyerekek fogékonyak a hasonlatokkal történő megértésre. Pszichológiához értőknek úgy fogalmazhatjuk: a gyerek konkrétan gondolkodik, egyszerű modellek segítségével. A szájával halkan berregő, fakockákat tologató kisfiú mindennapos látvány már az óvodában is. A kisfiú tudja, hogy az építőkocka nem autó. „Csak" abban hasonlít az autóhoz, hogy mozoghat, kanyarodhat, gyorsulhat, lassulhat, megállhat. A nagymami kocsiba való bekászálódását, a

*A cikk mottója: Genezis I.2.; jelentése: *A föld Tohu va Bohu volt.* A Tohu va Bohu nagyon nagy rendetlenséget, összefonódottságot, kavargást, káoszt jelent; (lásd a 7. ábrán Ziva Kainer rajzát). Károli Gáspár így fordította: A föld pedig kietlen és puszta vala. – Az az osztály, ahol először tanítottam e cikk anyagát: a Tohu va Bohu nevet választotta.

hegymenet erőlkedő motorzúgását, az erdei út éles hajtűkanyarját, a gyalogost, aki miatt hirtelen fékezni kell, „csak" a kisfiú feje vetíti a fakocka köré. És ezt minden kisfiú tudja.

Rajzoljuk le két egyforma szoba alaprajzát! Az egyik a gyerekszoba, a másik a szülők szobája. Egy nap a család rendet rak: minden gyerekjáték a gyerekszobában van. A szülők elmennek otthonról, a gyerekek játszanak. Közben ide-oda viszik a játékokat a két szobában.

– **Nagyon hamar jó nagy rendetlenség lesz a lakásban.**

Kis kartonokra rajzoljuk fel a játékokat! Számozzuk is be ezeket egytől hatig! És egy dobókocka segítségével játsszuk el, hogyan kerülnek a játékok az egyik szobából a másikba. Amelyik számot a dobókocka jelzi, az a játék átkerül a másik szobába.

Kockadobások közben (is) nyilvánvalóvá válik: legtöbbször az fordul elő, hogy három játék van a gyerekszobában, három a szülők szobájában. Ritkán fordul elő, hogy minden játék az egyik szobában legyen. – A szobát is egyenletesen tölti ki a levegő. Nem szokott előfordulni, hogy a szoba egyik felében fuldoklunk a levegőhiánytól.

– **A levegő, a gázok egyenletesen töltik ki a teret. Éppúgy, mint a játékok a két szobát. Ahhoz, hogy valahol légritka teret vagy sűrűbb levegőt hozzunk létre, dolgoznunk kell. Éppúgy, mint a lakás rendbehozatalához is. Az a természetes, hogy a lakás elrendetlenedik.**

Ezzel a játékkal vezetjük be a második főtételt. A gyerekek számára természetes, hogy a rendetlenség magától nő, a rendhez viszont külső beavatkozás kell. Ez a játék azonban eddig csak a térbeli elhelyezkedés rendetlenségéről szólt. A meleg és hideg tégla problémájához újabb modelljátékot beszélünk meg.

Ha az A osztálynak 50 pingponglabdája van, a B osztálynak egy sem, labdázással melyik osztály csinálhat nagyobb rendetlenséget?

– **Természetesen az A osztály** – mondják a hetedikes gyerekek.

A B osztály kap egy labdát az A-tól. Növekszik-e a rendetlenség a B-ben?

– Persze! Egy labdával már lehet rendetlenkedni.

Csökken-e a rendetlenség az A-ban?

– Igen. Bár, nem nagyon fogják észrevenni. 50 vagy 49 labda nem nagy különbség...

Tizenhárom-tizenöt éves korban kezdődik az átmenet a konkrétból az absztrakt gondolkodásba. Ez előtt a kor előtt erőltethetjük a verbális megfogalmazásokat, a gyerekek képesek is megtanulni a fogalmakat és törvényeket, mint versiket. Talán még rutinszerű alkalmazásokat is beléjük lehet verni. Megértést, önálló alkalmazást azonban csak akkor várhatunk tőlük, ha elevenen mozgó, konkrétan elképzelhető képeken át jutunk el a pontosabb megfogalmazásokig.

A legtöbb gyerek nagyon jól ismeri, hogy mi a rendetlenség. Néhány még azt is tudja, mi a rend. *Mi az a rendetlenség? Honnan tudod, hogy a B-ben nagyobbat nő a rendetlenség, mint amekkorát az A-ban csökken?* – ilyeneket csak felnőtt kérdez. A gyerek mindenkor filmszerűen látja maga előtt. Neki éppúgy nem kell megfogalmaznunk a rendet és a rendetlenséget, mint azt, hogy mi kisebb vagy nagyobb.

A fizikus azt szereti a fizikában, hogy a pontos mérések alapján logikai tisztasággal alkothat fogalmakat, rögzíthet alaptörvényeket. Ezekből az alaptörvényekből szigorúan következtethet az ugyancsak szabatosan megfogalmazott érvényességi határokon belül. Következtetéseit előre megtervezett kísérletek tapasztalatával igazolhatja vagy cáfolhatja. A fizikatanár, aki ugyanezen attitűd miatt ment el fizikatanárnak, a fizikának ezt a csodálatosan szép üzenetét szeretné tanítványainak is megmutatni.

Képzeld el, hogy az A osztályba most 100 gyerek jár, a B osztályba pedig csak 5. Az A osztályban 50 labda van, a B-ben egy sem. Ha a B kap egy labdát az A-tól, a B-ben nő a rendetlenség, az A-ban csökken. Most is igaz-e, hogy a B-ben nagyobb a rendetlenségnövekedés, mint az A-ban a csökkenés?

Óriási vita az osztályban:

– Persze, hogy most is ugyanaz a helyzet.

– Nem igaz! Ha 50 labdát adunk 100 gyereknek, sok gyerek labdához sem jut, ők nem is tudnak rendetlenkedni. A nagy osztályban több csoport gyerek rendes marad.

– Azért nem igaz, mert a nagy osztályban mindenki mindenkinek dobálhat, ott nagyobb lesz a rendetlenség, sokkal többfelé lehet dobálni a labdákat!

– **De hát nem is ez a lényeg! A fontos az, hogy ha elveszítenek egy labdát, az jobban meglátszik! Képzeld csak el! 100 gyerek 50 labdájából veszel el egyet, vagy 30 gyerek 50 labdájából! Képzeld el: 100 gyerek 1 labda elvesztésével jobban lenyugszik, mint a 30!**

Nehéz-e innen elvezetni a gyerekeket annak felismeréséhez, hogy egy labda elvesztésétől abban az osztályban csökken nagyobbat a rendetlenség, ahol egy gyerekre eleve kevesebb labda jutott?

Az anyagokat részecskés szerkezetűeknek képzeljük el. A részecskék mozgása annál hevesebb, minél melegebb az anyag. A nagyobb hőmérsékletű anyagban nagyobb a részecskék mozgási energiája.

(általános iskola 6. osztály)

Szabad-e ilyet állítanunk a mozgási energia képletének ismerete nélkül? A szabadsági fokok ismerete nélkül? Az abszolut hőmérsékleti skála tanítása előtt? Az atomok, molekulák tanulása előtt?A kockacukor oldódik a vízben: fokozatosan darabjaira hullik a pohár teában. Szabad darabkás szerkezetűnek képzelni a kockacukrot. A melegebb víz hamarabb szétbombázza a kockacukrot: a melegben hevesebben mozgó vízrészecskék eredményesebbek a cukor szétbombázásában. Melegebb vizet energiabetáplálással – mondjuk merülőforralóval csinálhatunk. A betáplált többletenergia a részecskék mozgási energiáját növelte. Ha több vizet akarunk ugyanolyan hőmérsékletűre melegíteni, több energiát kell a vízbe vezetni. A hatodik osztályt végzettek még azt is tudják: $Q = c * m * T$. A hőmérséklet tehát nem az egész víz energiájával, hanem az egy egy részecskéjére jutó energiájával arányos. *Szabad* tehát a fenti állításokat mondanunk: nem hazudunk, és a gyerekeknek is képszerű eléggé, hogy megértsék.

Az A osztálynak 10 pingponglabdája van, a N-nek egy sem. Legyenek szokásos osztályok: mondjuk, mind a kettőben körülbelül 30 gyerek van. A szünetben együtt játszik a két osztály az udvaron. A labdák nyilván nem maradnak csak az A-soknál. – Az A osztálytól átkerülk egy labda a B-sekhez. Az A-ban ugyan csökken a rendetlenség, de ez alig tűnik fel. A B-seknél szemmelláthatóan nő a rendetlenség. Vajon a labda átadásával a két osztály együttesében nőtt vagy csökkent a rendetlenség?

– **Biztosan nőtt! Ha nem avatkozunk be, a rendetlenség mindig csak nő.**
– **Nőtt! Hiszen a B-ben nagyobbat nőtt, mint amennyit az A-ban csökkent.**

És ha az A-tól még egy labda átkerül a B-sekhez?

– **Akkor is nő!**

Nem is kell többet kérdezni. Lesz gyerek, aki magától mondja:

– **Addig nő az udvaron a két osztály rendetlensége, amíg egyforma nem lesz a két osztályban a labdák száma.**

Biztos? A 100-as létszámú A osztály és az 5 fős B osztály esetében is?

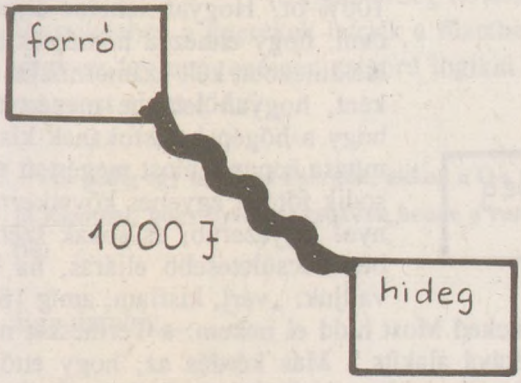
– **Jó, hát, addig nő az együttes rendetlensége, amíg egyforma nem lesz a két osztályban az egy gyerekre jutó labdák száma.**

– **Addig történik bármi is, amíg nőhet a rendetlenség! Mert miután az egy gyerekre jutó labdák száma kiegyenlítődött, továbbra is repülnek a labdák az egyik osztálytól a másik felé, de ezt már nem is vesszük észre, mert visszafelé is dobálnak. Kívülről nem látszik semmi különös, és a rendetlenség sem nő tovább.**

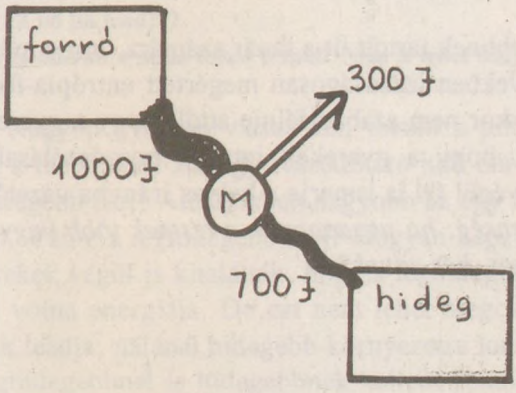
Ha ezután a tanár azt mondja az osztálynak: egy-egy gyerek, mondjuk, egy tégla egy-egy részecskéjét jelképezi, senki nem lepődik meg. Miért is ne lehetne, ha egyszer az építőkocka volt az autó... Melyik osztály felel meg a melegebb téglának? Melyik a hidegebbnek? Mit jelentenek a pingponglabdák? A pingponglabda-átadások? És az egy gyerekre jutó pingponglabdák? A kérdések sorrendje is szinte mindegy. A forró test süti a kezünket, a forró testből energia áramlik langyos kezünkbe. Ezen tapasztalat alapján szokták, szoktuk azt mondani: az a melegebb test, amelyik energiát ad a másiknak. Játékunk szerint ezt azért teszi, mert az energiaátadással növekszik a rendetlenség.

Mindig a melegebb test ad át energiát a hidegebbnek. Ekkor a két test együttesében nő a rendetlenség. Ha a két test hőmérséklete kiegyenlítődött, nem lesz további energiaáramlás. Ez tehát a két test együttesének legrendetlenebb állapota. Csak addig látunk történni valamit, amíg nőhet a rendetlenség. Épp ez a II. főtétel üzenete!

Ha a két test együttesének zártságát is hangsúlyozni akarjuk, gonoszkodhatunk a gyerekekkel: Mi van, ha egy nyolcadikos mindeközben újabb és újabb pingponglabdákat csempész be a B-seknek? Vagy mi történik, ha egy buzgó ügyeletes tanár elszedi a pingponglabdákat mind a két osztálytól?

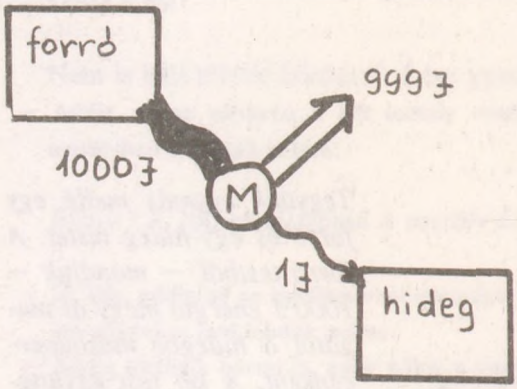


Tegyünk egymás mellé egy forró és egy hideg testet. A forró testből – mondjuk – 1000 J energia megy át magától a hidegbe másodpercenként. A két test együttesében emiatt nő a rendetlenség. (1. ábra).



Ennek az 1000 J energiának egy részét, mondjuk 300 J-t elvezethetnénk egy autó kerekeihez, vagy egy erőmű turbinájához, és azt hajtanánk vele. Ez az elveszett energia nem változtatna a rendetlenségen: az autókerék, a turbina rendezetten mozog. Ezt az energiaátadást munkába lehet fogni. (2. ábra).

– **De hát, miért nem használjuk mind az 1000 J-t munkavégzésre, ha egyszer nem a hideg testet akarjuk melegíteni, hanem munkát akarunk nyerni?**
– **Ha mind az 1000 J-t munkára használnánk, semmi sem menne a hideg testbe. Egyáltalán nem nőhetne a rendetlenség. Csak csökkenne, amikor a forró testből előjön! Ez biztosan nem lehet! Hiszen valami történik: jár a motor, forog a turbina. Ekkor pedig nőnie kell a rendetlenségnek!**
– **Akkor olyan kevés hőt használjunk el rendetlenítésre, amilyen keveset csak lehet! Mondjuk csak 1 J-t! 999 J maradhatna munkára!** *(3. ábra)*



Ekkor a jólnevelt fizikatanár nagyot sóhajt. Hogy a csudába lehetne a gyerekeknek elmondani, hogy a hatásfok nem érheti el a 100%-ot? Hogyan lehetne elmondani, hogy ehhez a hőmérsékletet Keldinekben kell számolni? És főként, hogyan lehetne megértetni, hogy a hőgép hatásfokának kiszámítása éppen a most megértett második főtétel egyenes következménye? Egyszerűb, és sokak szemében becsületesebb eljárás, ha bevalljuk: „várj, kisfiam, amíg 18 éves leszel, akkor majd elmondom neked.Most hidd el nekem: a Természet nem engedi, hogy akármennyi hőt munkává alakíts." Más kérdés az, hogy ettől a választól a 13–14 évesek nem fogják jobban kedvelni a fizikát. Éppen a legnyíltabb eszűek fordulnak el tőle. A gyerekek nem szeretnek éveket várni. Szerencsére.

A másik, sokak által veszélyesebbnek tartott út a tanár számára, hogy megkísérelje a lehetetlent: az egyetemi években izzadságosan megértett entrópia-fogalmat lebontsa a 13 éveseknek. De ekkor nem szabad félnie attól, hogy a gyerekek intuicióit használja. Vállalnia kell, hogy a gyerekek intuitív hozzászólásaiban megkeresse, *akarja megkeresni*, és végül fel is ismerje a helyes irányba vezetőt.

Mikor nő nagyobbat a rendetlenség: ha ugyanannak a testnek több vagy kevesebb pingponglabdát, bocsánat, hőt adunk?

– **Ha többet!** – jön a kórus.

Úgy látszik, a rendetlenség-növekedés arányos a felvett hővel.

(Nyel egyet a jólnevelt fizikatanár, aki úgy érzi, erőszakot tesz a fizika logikai tisztaságán.)

Mondjuk 100 J hőtől, melyik testben nő nagyobbat a rendetlenség: a hidegebb vagy a melegebb testben?

– **A hidegebb testben!** – kiáltják kórusban a gyerekek. S ha a tanár megkérdezi, miért, a pingponglabdás modellhez nyúlnak vissza, és már mondják is, hogy ott *láttuk*.)

Jó, hát mondjuk akkor azt, hogy a rendetlenség-növekedés fordítottan arányos a test hőmérsékletével. Újabb nyelés mellett felkerül a táblára az intuitív módon nyert tanulság:

$$\textit{rendetlenség-növekedés} = Q/T.$$

És miközben a gyerekek leírják a füzetbe, a tanár motyogni akar valami arról, hogy ez így nem egészen szigorú logikai következtetés, az igazi fizikában... De erre most nincs idő:

– Ha pedig egy test lead energiát, akkor a Q-t negatívnak vesszük! És ez éppen azt fogja jelenteni, hogy ilyenkor csökken benne a rendetlenség! – ragyog a gyerekek képe.

Egy darabig...

– Én csak azt nem értem, hogy a hőmérséklet lehet -10° C is. Ilyenkor ennek a testnek csökken a rendetlensége, ha felvesz hőt?

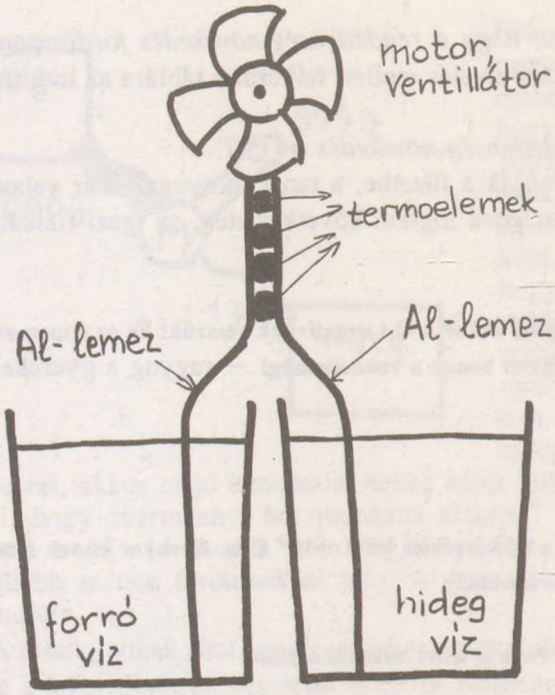
– És nő ha lead??!

– És mi van a nulla fokos testtel? Nem is lehet nullával osztani!

Nagyon gyorsan vissza kell menni a pingponglabdákhoz. Mit is modelleztünk a labdákkal? Az egy részecskére jutó energiát. Hogyan képzeltük el, melyik a melegebb test? Amelyikben nagyobb az egy részecskére jutó energia, az a melegebb. Van-e a *leg*hidegebb test? Hogyan képzeljük el azt a leghidegebb testet? A gyerekek végül is kitalálták, hogy a leghidegebb az *lenne*, ha a testnek egyáltalán nem volna energiája. De ezt nem lehet megcsinálni: hogy egy test minden energiáját leadja, nálánál hidegebb környezetre lenne szüksége. Akkor a környezetnek a leghidegebbnél is hidegebbnek kellene lennie... „De ez hülyeség!" (Ezt hívják indirekt okoskodásnak, ami ebben az életkorban nagyon ritka esemény.)

Nem az lenne a logikus, hogy a leghidegebb test hőmérséklete lenne nulla fok? Az összes többié pedig ekkor pozitív lesz. Az eddig előállított leghidegebb kb. -273° C. Vegyük ezt nulla foknak. És dolgozzunk ezzel!

Visszatérhetünk a forró és a hideg test problémájához, a forróból kiáramló hőhöz, az abból felhasználható munkához.



Kísérlet:
Két aluminiumlap között termoelemek vannak. Mind a két aluminiumlapot egy-egy pohár vízbe tesszük. A termoelemek adta teljesítménnyel forog a kis motor, rajta a ventillátor. Az első kísérletben csapvizet, (kb. 16° C) és a melegvizes csapból vett 60° C-os vizet használtunk. A motor nem forgatta a ventillátort. Szomorúság... A melegvizes poharat forróvizesre (kb. 80° C-osra) cseréltük. A motor megindult! *(4. ábra)*

– Teljesen világos! A forróbb vízből több hő jöhet ki. Ez már ad elég energiát.

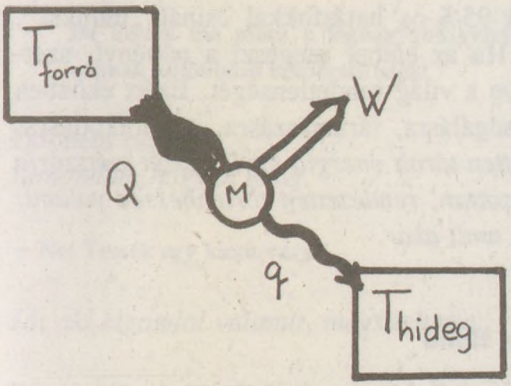
Közjáték:
Az egyik gyerek kéri, hogy vegyük el a hidegvizes poharat, mondván, hogy a levegő is elég lenne hűtőnek. Megtörténik. A kismotor tovább forog! „Vannak léghűtéses autók is!" Amikor visszatesszük a szobánál hűvösebb vizet, a motor egy kicsit gyorsabban forog.

– Azért én még nem értem, miért kell a hűtő. A motor honnan tudja, hogy a melegvízből felvett energiából mennyit fog továbbítani a hűtőbe?

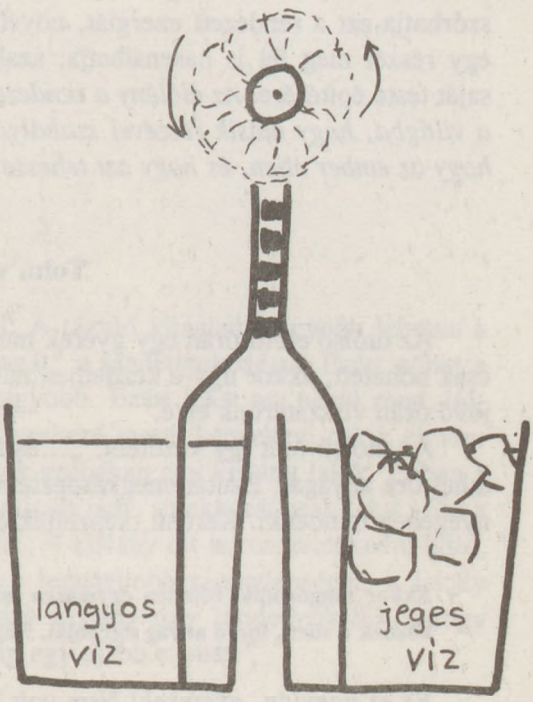
– A forróból több hő jöhet ki anélkül, hogy túl sokat csökkenne benne a rendetlenség. A nagyon hidegbe alig kell hőt bevinni, hogy benne jó nagyot nőjjön a rendetlenség. Ha sok jöhet és keveset kell a rendetlenkedésre használni, több maradhat munkára.

Közben a motor leállt. A két pohár víz hőmérséklete csaknem kiegyenlítődött. A korábban forróvizes, most már csak langyos poharat meg sem érintve, néhány jégdarabot teszünk a hidegvizes pohárba. A motor megindult!

– Tudja! A motor tudta, hogy csak akkor történhet valami, ha nő a rendetlenség!



Azt, hogy a forróból kijövő energia hányadrészét használhatjuk munkavégzésre, hatásfoknak nevezzük



(5–6. ábra).

A következő órán az előbbi kísérlet kismotorának és a Paksi Atomerőműnek számítottuk ki a hatásfokát. Mindkét számolás tanulsága az volt, hogy nagy hőmérséklet-különbséget érdemes előállítani, mert ekkor lehet kevesebb energia szétszórásával nagy rendetlenkedést létrehozni. Egy gyereknek eszébe is jutott, hogy olvasta: a jövő században a japánok a Csendes-óceán felszíni és mélybeli hőmérséklet-különbségét akarják felhasználni erőművek működtetésére. Természetesen egy másik gyereknek azonnal jött az ötlet: ilyen módon kellene hajtani az óceánjáró hajókat. Persze, ha nem hullámzik a víz, és ha egyáltalán meg lehetne ezt oldani. (Hogy miért nem lehet megoldani, azt már csak a legérdeklődőbb gyerekek gondolták ki a fakultációs órán.)

Házi feladat:

A Napból a Földre érkező napfény 6000 fokosnak felel meg. A földön kb. 300 fok van. Milyen színű az a „hőgép", amelyet ez a hőmérséklet-különbség hajt?

A zöld növény a Nap energiájából 95%-os hatásfokkal csinál „munkát". *Munkát?!* Rendezett energiaraktározást. Ha az ember megeszi a növényt, szétszórhatja ezt a rendezett energiát, növelve a világ rendetlenségét. Ezért eközben egy részét még fel is használhatja: szaladgálásra, fáramászásra, gondolkodásra, saját teste építésére. *Az élőlény a rendezetten tárolt energia egyik részét szétszórja a világba, hogy másik részével szabályozottan, rendezetten történhessen valami: hogy az ember éljen, és hogy azt tehesse, amit akar.*

Tohu va Bohu

Az utolsó előtti órán egy gyerek megkérdezte, hogy ha a rendetlenség mindig csak nőhetett, akkor ugy-e kezdetben nulla volt. Azt válaszoltam, hogy *nem*, de a jövő órán visszatérünk erre.

Az utolsó órát így kezdtem: „...és a Föld Tohu va Bohu volt". Átismételtük a hét óra anyagát. Ezután megkérdeztem, ki hallott arról, hogy a világ tágul. Lényegében mindenki. Kértem, képzeljék el visszafelé.

– **Akkor zsugorodik. Minden egymásra esik. Nő a mozgási energia. Vadul egymásba ütköznek a sűrű, forró anyag darabjai. Nagyon régen forró és pici volt a világ.**

És ez hagyján, gyerekek! Nem volt hőmérséklet-különbség! Egyensúly volt! A világ a lehetséges legnagyobb rendetlenségben volt!

– **Neee! És azóta csak nőtt!!?**

De hiszen ma nincs a legnagyobb rendetlenség!? Itt vagyunk mi is, vannak gépek, vannak különböző hőmérsékletek!

Döbbent csend.
Elmondom,hogyan lehet.

– Ne! Tessék egy kicsit várni!

Jó, aki kigondol valamit, megsúghatja.

Rövid időn belül 6 (hat) gyerek találta ki: A táguló világban nagyobb lehetne a rendetlenség, de a világ nem éri utól „magát" a rendetlenkedéssel.Ezért nőhet a legnagyobb óta és mégsem maradt a legnagyobb. Ezért lehet ma néhol rend, hőmérséklet-különbség, élet. Egyébként a következő mesét képzeltem nekik elmondani: „Egy 1000 szobás kastélyban az egyik szobában egy kislány lakik. Ebben a szobában a kislány akkora rendetlenséget csinált már, amekkorát csak lehet. Jön a lakály. Kinyitja a mellette lévő szoba ajtaját. A kislány ott is rendetlenkedni kezd, de mielőtt mindkét szobában kialakítaná a legnagyobb rendetlenséget, a lakály kinyitja a következő szoba ajtaját. Szegény kislány úgy rendetlenkedik, ahogy csak bír, de a lakály mindig előbb nyit meg egy újabb szobát."

Függelék

A Kabala osztályban, a másik hetedikes osztályban, ahol egy héttel később tanultuk ezt a témát, az utolsó órát szintén e cikk mottójával kezdtem. Azután minden kommentár nélkül folytattam. Összefoglaltuk az addig tanultakat, végül a cikk utolsó bekezdéséről beszéltünk. Az óra legvégén megkértem a gyerekeket, válaszoljanak a következő kérdésre:

A mai órát a Biblia második mondatával kezdtük és a fizika második főtételével folytattuk. Mi erről bármilyen szempontból a véleményed. Zavart, nem zavart, helyesnek tartottad-e vagy sem, hogy ugyanazon az órán összehoztam két ilyen dolgot?

Válaszok:

(A 13 éves gyerekek válaszait szó szerint idéztem, a lényegében hasonló válaszokból csak egyet. 26 válaszból tehát 21 a különböző. De még mennyire! Az osztály ennek ellenére, vagy tán éppen ezért nagyon jó közösség. A kérdésre adott válaszokból nem a gyerekek tudását akartam lemérni, inkább attitűdjük érdekelt. Az, hogy ateista, vallásos, különböző vallású gyerekek csoportjában lehet-e fizikát úgy tanítani, hogy egyikük lelke se sérüljön. Azt hiszem, lehet.)

– Szerintem csak látszólag furcsa ez a párosítás, de a tartalmuk nagyon hasonló. A Biblia a teremtést, az élet keletkezését, az életet írja le (és keresi annak értelmét). A fizika ugyanabból a célból indult, keresi pl. a világ létrejöttének körülményeit. És ehhez mindenképpen kell a második főtétel.

– Szerintem jó összehasonlítani, mert a Biblia is azt bizonyítja, hogy kezdetben nagy káosz volt. Ebben az a csodálatos, hogy egy régi nép már ezt sejtette. Szerintem az azért ellentmondó, hogy ezután bibliai rend következik, tudományosan pedig a rendetlenség nő.

– A Bibliában nagy igazságokat lehet találni, mégpedig nemcsak jogiakat és erkölcsieket, hanem néha fizikaiakat is. Tohu va Bohu, rendetlenség volt, van és lesz. Elismeri a Biblia, elismeri a tudomány. Tehát ez egyike azon kevés dolgoknak, amelyekben a Szentírás és a tudomány egyetért. És, ha már egyetértenek, miért ne lehetne róluk egy kalap alatt beszélni?

– Szerintem nagyon jó dolog összehozni a két állítást, mivel így sokkal érdekesebb és így több szempontból lehet látni. (Lehet, hogy ha vallásos lennék, akkor zavarna.)

– Észszerűnek látszik a kettőről egy órán beszélni: így alá lehet támasztani a Biblia állításait és a végén mindenki úgy érezheti, hogy a tudomány is és a hit is az övé, nem ütköznek benne a nézeteik.

– Össze lehet hozni, de nem lenne valami jó, ha a Biblia második mondata úgy kezdődne, hogy „Zárt halmazban olyan folyamat játszódik le..."

– Lehet. Bár szerintem nem szabad egy tudományos és egy vallási, irodalmi dolgot teljes egészében összehasonlítani, mert a kettő más szempontok szerint mondja ugyanazt.

– Össze lehet hozni, mert mind a kettőben egyensúlyi állapotot kell elérni.

– Úgy érzem, nem illik össze. Nem tudom indokolni.

– Szerintem lehet használni a Bibliát, mert a Biblia szent könyv, de emellett szöveggyűjtemény, amelyben elég sok dolog utal a tényekre. Tehát, mint (tudományos) forrást is fel lehet használni.

– Nyugodtan össze lehet kapcsolni a kettőt, mert mind a kettő ugyanarról szól.

– Nekem közömbös. Nem zavaró, de számomra a Biblia 2. mondata nem érdekfeszítő.

– Szerintem nem kell együtt említeni őket, mert a történelmet vagy az irodalmat nem lehet a fizikában használni.

– Biztosan érdekes vitákat lehetne folytatni, ha a kettőt össze akarjuk hasonlítani, tehát érdemes lenne. De nem mérvadó, mert a II. Főtétel bizonyított állítás, míg a Biblia eleje, bármilyen érdekes is, csak MESE.

– Szerintem összehasonlíthatjuk a kettőt, de csak akkor, ha nem mondjuk azt, hogy „amit a Bibliában írnak, az nem igaz", mert ezzel megsérthetünk valakit. De együtt lehet őket mondani, hisz ha fizikailag értelmezzük, a Bibliában is az áll, hogy kezdetben maximális volt a rendetlenség. Ha jól mondjuk el, akkor ugyanaz a kettő.

– Szerintem ez nagyon jó volt. Így bővebben látjuk a második főtétel értelmét, nem csak egy irányból nézünk rá.

– Nem hiszem, hogy a Biblia írói rendelkeztek volna olyan adatokkal, ami ehhez kapcsolódik. De! Egy olyan pillanatban, amikor ezt írták valamilyen szempontból igaznak gon-

dolták. És most is igaznak gondoljuk. Ha én írnám, én nem sokat változtatnék rajta, csak pontosítanám.

– Ateista vagyok, a Biblia egy szép irodalmi mű, ami valahol az én gyökereimet is tartalmazza. A világon minden összeköthető mindennel. Ez olyan, mint egy nagy zárt halmaz. A tudomány magyarázza valóságos létünket, a humán dolgok és a művészetek meghatározzák létünk milyenségét, a lelkünket. Ez jutott eszembe erről.

– Talán érzelmileg, vagy filozófiailag összehozható. De én nem tudom ezt.

– Szerintem ne beszéljünk róluk egyszerre. A Biblia egy szent dolog.

– Ha nem nőhetett volna a rendetlenség, nem idézhetnénk a Biblia soraiból.

MARX GYÖRGY

Hajnali zápor után

A múlt azért különbözik annyira a
jövőtől, mert a világ még nagyon fiatal.
(F. Hund)

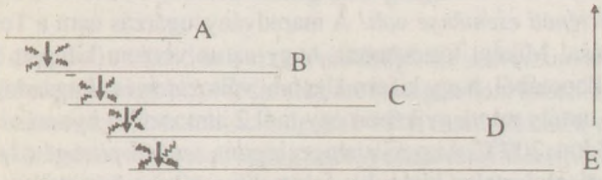
Múlt és jövő

A testek mozgását Newton, a mezők változását Maxwell törvényei írja le. Ezek a kérlelhetetlenül determinisztikus egyenletek szimmetrikusak az időirány megfordításával szemben. Ha a megoldásban a t időparamért (-t)-vel helyettesítjük és egyúttal a *B* mágneses mezők irányát ellenkezőjére váltjuk, a kapott új függvény szintén kielégíti a mozgástörvényeket, de olyan lesz, mintha visszafelé pergetnénk le a filmet. *A mozgástörvények időben megfordítható jelenségeket írnak le.*

A való világ története azonban megfordíthatatlan. A sziklák lepusztulnak, a szerszámok elkopnak, a játékok elromlanak, az emberek meghalnak. Késleltetni lehet az elmúlást, de az idő vasfoga végül minden tárgyat felőröl. Halhatatlanság csupán álmainkban létezik. Hogy a világ időirányát megértsük, többet kell tudnunk a természetről, mint amire a mechanika és az elektromosságtan tanított. Mi ez a többlet?

A világ sok-sok kicsi valamiből tevődik össze! Ezeket nevezhetjük molekuláknak, részecskéknek, szabadsági fokoknak. Legtöbbször mégis atomot szoktunk mondani. Ha egy tárgyra, annak kevés szabadsági fokára sok energia koncentrálódik, az véletlen ütközések során előbb-utóbb szétszóródik a környezet atomjaira. Mivel a környezet sokkal több atomból tevődik össze, nincs esélye annak, hogy az eloszlott energia onnan újra az eredeti tárgyra gyűljön össze. A valódi folyamatok ezért megfordíthatatlanok. *Az energia megmarad* (I. főtétel), *de szétszóródik* (II. főtétel). Ez utóbbi törvény statisztikus jellegű: a folyamatok túlnyomó valószínűséggel bekövetkező időrendjéről tájékoztat. Egyszerű szavai mégis világunk egyik legalapvetőbb vonását fejezik ki.

A hőtan II. főtétele nyújt lehetőséget az élet és a technika számára, hogy az események a kívánt időrendben kövessék egymást. Ehhez technikailag *olyan állapotok egymásutánját kell kialakítanunk, hogy a soronkövetkező állapot valamivel alacsonyabb energiájú legyen, mint a megelőző. Minden lépésben az energia kis hányada visszavonhatatlanul eltávozik a környezetbe. Ez szavatolja a megtervezett A → B → C → D → E időbeli sorrend megvalósulását.*



Amikor autóval Budapestről Debrecenbe kívánok menni, nem ingalengésszerű reverzibilitásra törekszem. Nem elégítene ki a Brown-mozgásra emlékeztető kiszámíthatatlan csúszkálás sem, ami vagy Debrecenbe sodorna, vagy Kanizsára. A kocsitankot nem azért töltöm meg benzinnel, hogy óriási mozgási energiára tegyek szert, mire a debreceni Nagyerdőbe érkezem. Azért van szükségem a többszáz forintért vásárolt kémiai energiára, hogy útközben

a gáz- és fékpedált tervszerűen használva azt súrlódás révén szándékosan szétszórhassam. Ha erre éppen nincs mód, mert jeges az út, jobb el sem indulnom, hiszen abból csak céltalan csúszkálás származna.

Hogy a koncentrált energia szétszórásával előírt eseménysorrendet kényszeríthessünk a dolgokra, benzin és hűtővíz szükséges. Ezért kellenek szénbányák, erőművek és hűtőtornyok. Ezért kell a mezőgazdaság, vacsora és környezetünknél magasabb testhőmérséklet. Mindezt a 19. században sikerült megérteni, amikor az ipari forradalom idején emberi kéz helyett gépekre kívánták bízni a munkát.

Ha a koncentrált energia szétszóródik, akkor a meleg tárgy lehül. Ha minden különbség kiegyenlítődik, akkor a világnak végül egy olyan állapotba kell torkollnia, amelyben nincs többé meleg és hideg, nincsen fényes és sötét, sem sűrű és ritka, megszűnik a később és korábban. Miként lehetséges, hogy világunk ezt az időtlenné értéktelenedett állapotát még nem érte el? Hogy a hőhalál még nem következett be?

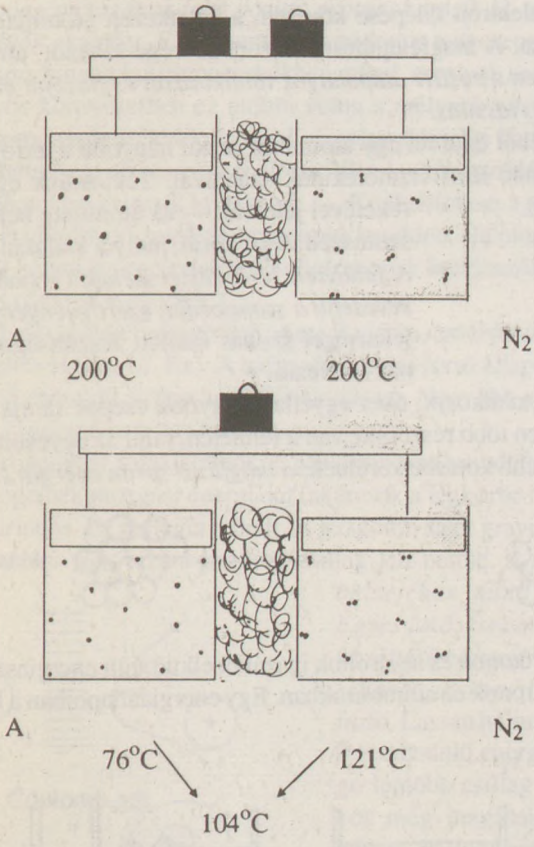
A századvég vetette fel ezt a kínzóan pesszimista kérdést. Választ rá csak a forradalmakkal induló 20. század talált. Egy kő sohasem lebeg a talaj felett: vagy aláhull, vagy elrepül. Az egyetemes tömegvonzásnak tulajdonítható, hogy a *mozgástörvényeknek nincsen sztatikus megoldásuk. Az univerzum laza anyagát vagy összerántja a gravitáció, vagy ha elég nagy az indulási energiatartalma, az anyag szanaszét röpül.* Az univerzum sűrűsége nem maradhat változatlan, a csillagos ég nem ragyoghat időtlenül a fejünk felett. Ez az *elméleti felismerés*, amely matematikailag ma már szinte magától értetődő, a korai húszas években született meg Péterváron, ahol akkor nagyon is nyilvánvaló lett a múlt, jelen és jövő különbözősége. A húszas évek végére a Mount Wilsonon elkészült távcső, amelynek két és fél méteres tükre nagy fényerőt biztosított. Ezzel *Hubble megfigyelte a galaxisok szétszaladását.*

A hatvanas években az első mesterséges holdakat távközlésre kívánták használni. Az amerikai Bell Telefon Laboratórium mérnökei antennáikkal az eget pásztázták, hogy megkeressék a legcsendesebb frekvenciasávot. Ekkor fedezték fel az *univerzumot egyenletesen betöltő rádiózajt*, amely T=2,7 K (—270°C) hőmérsékletű sugárzásnak felel meg.

Az univerzum anyagcsomói egyre távolodnak egymástól. A kölcsönös gravitációs vonzás fokozatosan emészti a kezdeti energiát (miként a felhajított kő lassul). *A táguló anyag hül*, akárcsak a forró nyári napon felemelkedő és kitágulva lehülő légtömeg, amelyben gomolyfelhővé kondenzálódik a pára, és záport eredményez. Ha ma 2,7 K a hőmérséklet, akkor az univerzum hajnalán, sok milliárd évvel ezelőtt tízmilliárd foknál is forróbbnak kellett lennie a világnak. A sűrű és forró anyagban egymást érték az ütközések. Ezek eredménye volt a hősugárzás, mely azonos hőmérséklettel töltötte ki az egész univerzumot. Késői tanú rá a centiméteres hullámhossztartományban ma megfigyelt maradványsugárzás, amely ugyanakkora sugárzási hőmérsékletet mutat, bármerre nézünk is. *A hőhalál nem a jövőben fenyeget, hanem a régmúlt történeti eseménye volt!* A maradványsugárzás nem a Teremtés dicsfénye, hanem a Pokol izzása! Miként történhetett, hogy az univerzum kilépett a termodinamikai egyensúly időtlen állapotából, hogy kiformálja mai változatos és életgazdag világunkat?

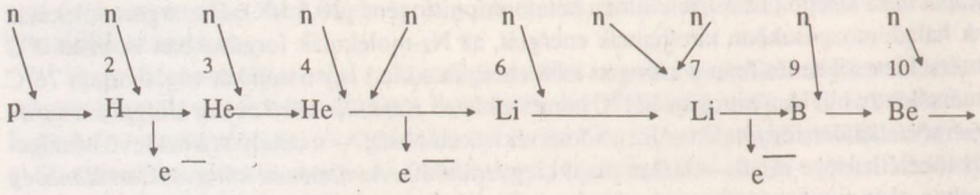
Két egyforma tartály mindegyikében egy mól 2 atmoszféra nyomású gáz van. Hőmérsékletük kiegyenlítődött: 200°C. Az egyik henger argont, a másik nitrogént tartalmaz. Az egyik súlyt levesszük. A gázok hirtelen kitágulva felemelik a súlyos dugattyút, mindkettő munkát végez a gravitáció ellen. A gyors tágulás során a környezetből nincs mód energiaszerzésre, így a gázok munkavégzése belső energiájuk rovására történik. Mivel az argon egyatomos gáz,

hőkapacitása kisebb (12,3 J/K), mint a kétatomos nitrogéné (20,5 J/K). (Az argonmolekulák csak haladómozgásukban tárolhatnak energiát, az N_2-molekulák forgásukban is, ezért 1°C hőmérsékletcsökkenés árán a nitrogén több energiát ad le.) Így a munkát végző argon 76°C hőmérsékletre hül le, a nitrogén 121°C hőmérsékletre. *Két különböző anyag kitágulása során hőmérsékletkülönbség jött létre!* Ez a hőmérsékletkülönbség — a tartályok közt lévő hőszigetelés tökéletlensége miatt — lassan majd kiegyenlítődik. *Az átmeneti hőmérsékletkülönbség azonban akár munkavégzésre (pl. gőzgép meghajtására) is hasznosítható.*



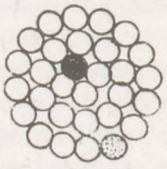
Az atommag energiája

Az emelkedő dugattyú a táguló univerzum modellje. Az univerzum anyaga jó tízmilliárd ével ezelőtt olyan forró volt, hogy benne összetett atommagok nem létezhettek. A magrészecskék (protonok és neutronok) szabadon szaladgáltak és hevesen ütköztek egymással. A tágulással azonban munkát kellett végezni az anyag saját gravitációjával szemben: hült a gáz. *Amint a hőmérséklet tízmilliárd fok alá esik, a magkötés legyőzte a hőmozgást. A semleges neutronokat befogta egy-egy proton, így egyre nehezebb atommagok alakultak ki:*

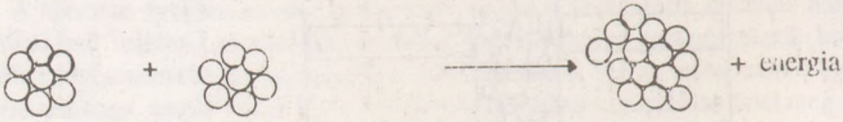


Egyes befogásokat elektron kilépése követett, a keletkezett atommagoknak mind nagyobb lett a pozitív töltése. A magfelépülésnek azonban vége szakadt, amikor elfogytak a semleges neutronok. Hiszen a *pozitív atommagok találkozását és fúzióját megakadályozta a köztük kialakult elektromos taszítás.*

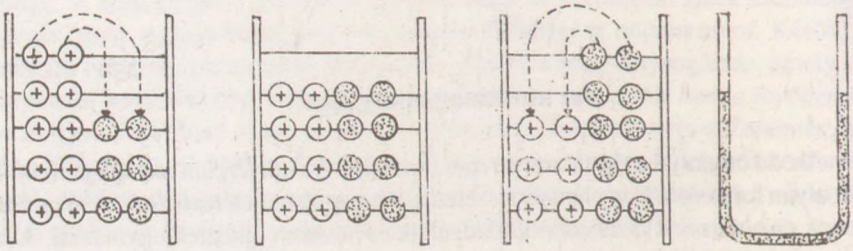
Minél több részecskéből épül fel egy atommag, annál nagyobb a térfogata. A vízcsepp térfogata is arányos a benne lévő vízmolekulák számával. Tekintsünk egy részecskét — feketével jeleztük — az atommag belsejében. Ezt sok szomszéd veszi körül, mély a kialakuló kötési energia. *A felületen lévő részecskének* (vonalkázott kör jelzi) *kevesebb a szomszédja, ezért gyengébb a kötése.* Ezt a jelenséget szokás felületi feszültségnek (kapillaritásnak) nevezni.



Ha két kis atommag találkozik, őket egyetlen nagyobb cseppé rántja össze a felületi feszültség. A kis cseppekben több részecske van a felületen, mint az egyesült nagy cseppben, így egyes részecskék mélyebb kötésbe kerülnek: *a magfúzió során energia szabadul fel!*



Az atommagba zárt protonok és neutronok igazából elkülönült energiaszinteken helyezkednek el, akárcsak az elektronok az atomburokban. Egy energiaállapotban a Pauli-elv szerint



Z > N

Z = N
(egyensúly)

Z < N

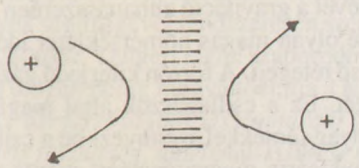
U—cső
(egyensúly)

két proton és két neutron számára van hely. Ha a protonok Z száma jelentősen nagyobb, mint a neutronok *N* száma, akkor a protonok (radioaktív átmenettel) neutronokká alakulnak, hogy mélyebb létrafokokra költözhessenek. Ha pedig a neutronok N száma lényegesen nagyobb, érdemes protonná alakulniok, hogy a mag energiája mélyebb legyen. *Az atommag számára az kedvezőbb, ha A számú részecskéjének mintegy fele pozitív proton (Z=A/2) és fele semleges neutron (N=A/2), hogy azok a Pauli-létra legmélyebb energiafokait népesítsék be.* Miként az U-alakú üvegcső két szárában is egyenlő magas vízszint alakul ki.

Ha az atommag anyagának felét pozitív protonok teszik ki, akkor az atommagok Coulomb-erővel taszítják egymást. Ezért nem folytatódott a magcseppek fúziója a hűlő univerzumban. Az atommaganyag kis cseppecskékben reked, amelyek nem egyesülhetnek nagyobb cseppé, noha hűvös környezetben ez utóbbi volna a mélyebb energiájú állapot. (A hirtelen túlhűtött vízgőz sem kondenzálódik azonnal vízcseppekké. De ha a magasban repülő húz el, az égéstermékek hátrahagyott részecskéi elősegítik a cseppképződést. Sokszor láttuk, amint a repülőgép nyomában kondenzcsík keletkezik. — Ködkamrában a gáztérfogatot hirtelen kitágítva alkoholgőz is túlhűthető, anélkül, hogy az kicsapódna. Ha most egy kozmikus részecske szalad át, az általa keltett levegőionokra alkoholcseppek kondenzálódnak, amelyek láthatóvá teszik a kozmikus részecske pályáját.)

A lehülő univerzumban hidrogéngáz maradt vissza, amelyet alig szennyezett be néhány más atommag (nehéz H, He, Li, Be). A hidrogén a korai forró állapot emlékét őrzi, amelyben még nem volt mód összetett atommagok kialakulására. *Nagyobb atommagok kondenzálódására a kölcsönös Coulomb-taszítás miatt nem volt mód.*

A hűvös hidrogéngázt galaxisfelhőkre, gázgömbökre szabdalta a gravitáció. A gázgömb befelé zuhanó rétegeinek mozgási energiáját (akárcsak a légkörbe hullva felizzó meteorokét) felemésztette a súrlódás. Ez meleget temelt. A gázgömb saját gravitációjának munkavégzése folytán mind forróbbá vált, izzani kezdett: csillag lett belőle. *A csillag helyileg melegedő belsejében mind hevesebb a hőmozgás. Egyes ütközések már legyőzik a kisméretű és kistöltésű hidrogénatommagok Coulomb-taszítását: olykor-olykor bekövetkezik a magfúzió.* Lassan hélium épül fel hidrogénből. (A felszabaduló energia táplálja az égen ragyogó legtöbb csillag sugárzását.) Később, mikor még magasabbá válik a hőmérséklet, három hélium-cseppeből szén keletkezik, majd újabb hélium-csepp beolvadásával oxigén. (Ez történik a vörös óriásokban, amilyen a Betelgeuze, Arkturusz vagy Antaresz). A könnyű atommagok fogytával még forróbb csillagokban megy tovább a magfelépülés. Meddig?



Coulomb-gát

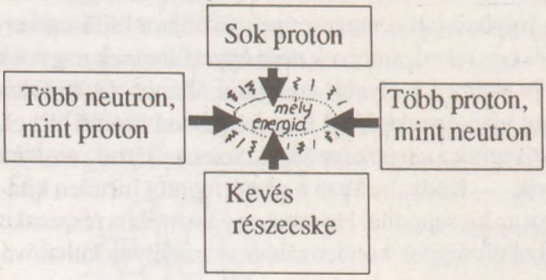
Meddig mélyül egy részecske energiája az atommagban? Mitől függ a kötés erőssége?

A pozitív felületi energia csökkenése folytán nagyobb A számú részecskét tartalmazó atommagok kialakulása jár kötésmélyüléssel, energiafelszabadulással.

Ha sokkal több a proton, mint a neutron (Z>N), akkor a protonnak neutronná történő átalakulása mélyebb elhelyezkedést tesz lehetővé a Pauli-létrán.

Ha sokkal több a neutron, mint a proton (N>Z), akkor neutronok alakulnak át protonná, így ereszkedhetnek le mélyebb létrafokokra.

De ha egy atommagban igen nagy a protonok Z száma, az a neutronok számától függetlenül előnytelen, mert a protonok elektromosan taszítják egymást. Ennek két következménye van. Egyrészt nagyon nagy magcseppek anyagából a protonok kevesebbet tesznek ki, mint 50%. Másrészt a nagy pozitív cseppek kettészakadását a Coulomb-taszítás energianyereségessé teszi. A radioaktív -bomlás példa rá, hogy a nagy pozitív magcseppből egy rész leszakadhat. A pozitív -részecskét a Coulomb-erő eltaszítja.



A maganyag végül meghatározott méretű és összetételű cseppekké fomálódik, hogy legmélyebb energiájú állapotába jusson. Ezt a vas és nikkel atommagok képviselik. Fokozatos kialakulásuk közben energia szabadul fel, amely szétszóródik a környezetbe. *A lassan kiszivárgó nukleáris energia tartja fenn az univerzum egyirányú folyamatait.* Ez kozmikus történelmünk hajtóereje.

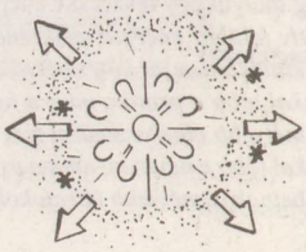
Napfény

Hogy a csillag atomcseppjei végül vas atommagokká fuzionáljanak, jelentős Coulomb-taszítást kell legyőzniök. Ez csak több milliárd fokon válik lehetővé. Ilyenkor az anyag java része lefolyik a legmélyebb energiájú állapotba, a *vas-óceánba*, de kis részük a magas hőmérsékleten szétfröcsög az egész periódusos rendszer mentén. Boltzmann-eloszlás szerint a magasabban fekvő állapotok is benépesülnek. Így keletkeztek a "vason túli" atommagok: a réz és az arany, az ólom és az urán.

A túlhevült csillagállapot nem tartós. A csillagtűzben gyorsan fogynak a magenergia utolsó tartalékai. A belső energiautánpótlás megszűntével a gravitáció zuhanásszerűen rántja össze a csillag anyagát. A zuhanó rétegek fékeződése olyan magas hőmérsékletet idéz elő, hogy az intenzív sugárzás nyomása lelöki a csillag külső rétegeit. A forrón kiterjedő gázburok hirtelen milliárdszorosára növeli a csillag fényességét. Ez a csillagászok által megfigyelt szupernova-kitörés a csillag haláltusája. A kirepülő anyag fémekkel szennyezi be a csillagok közt úszó eredeti hidrogénfelhőket. A jelenségsor nukleáris magyarázatáért nyerte el W. Fowler az 1983. évi fizikai Nobel-díjat.

A Tejútrendszernek ezen a vidékén 5 milliárd évvel ezelőtt következett be egy szupernova-robbanás. Ezt a tapasztalat bizonyítja: az 5 milliárd évnél hosszabb bomlásidejű rádioaktív elemek földi gyakorisága megegyezik a nem bomló nehéz elemekével. (Urán több van, mint stabil ón.) A milliárd évnél rövidebb felezési idejű atommagok, köztük a periódusos rendszer uránon túli elemei viszont már eltűntek.

A szupernova kidobott gázhéja maga előtt tolta a csillagközi gázokat. A sűrű gázpamacsokból csillagok új nemzedéke kezdett kialakulni. De az ütköző gázfelhők örvényeket támasztottak. A perdület megmaradása megakadályozta



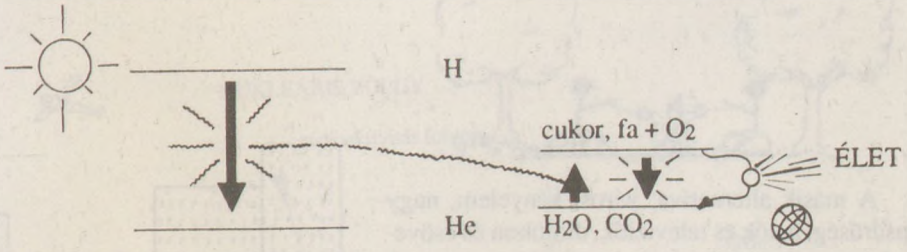
a gázörvények egyetlen csillaggá történő összehúzódását.

A legnagyobb perdületet hordozó anyagcsomók kívülmaradtak. Magukra vállalták az eredeti gázfelhő perdületének java részét, hogy a többi anyag a középpontba hullva csillaggá tömörülhessen.

Künn bolgyók képződtek, hogy benn Nap születhessen.

A csillagok új generációja már más, mint az első csillagnemzedék. Bennük a hidrogénen és héliumon kívül már oxigén is van, szén, meg fémek. A bolygókon molekulák képződnek. A könnyű hidrogén és hélium hamar elillan. A fémoxidokból szilárd kéreg jön létre. A dipólusként viselkedő víz java része óceánt alkot. A szén szén-dioxid gyanánt a légkörben marad. Ilyen világot találtak a Vénuszra és a Marsra érkező űrszondák. Szabatosabban: a Vénuszon az óceán vize felhőkbe forrt fel, a Marson jégtáblákká fagyott. Folyékony óceán csak a Földön képződött. A Földön azonban ezzel nem ért véget a történet.

A Nap-csillag anyagának fele ma is hidrogén. Lassan folyik ennek héliummá történő fúziója. Eközben a kiszabaduló energia napfényként árad szanaszét a világmindenségbe.



Ennek a szétszóródó energiának parányi hányada éri a Földet, olykor-olykor átalakítja annak víz és szén-dioxid molekuláit. A Napból érkező energiát először vaktában, majd a zöld növények segítségével rendszeresen szerves molekulák raktározzák el: cukor képződik, abból pedig cellulóz. Tengeri algák szaporodnak, majd fák nőnek. A molekulaátalakításakor felszabaduló oxigén pedig megváltoztatja a légkör összetételét.

Az ősi forróságból visszamaradt (túlhűlt) hidrogén a mai hűvös univerzumban: olyan nukleáris feszültség, amelynek kisülése élteti a napfényt.

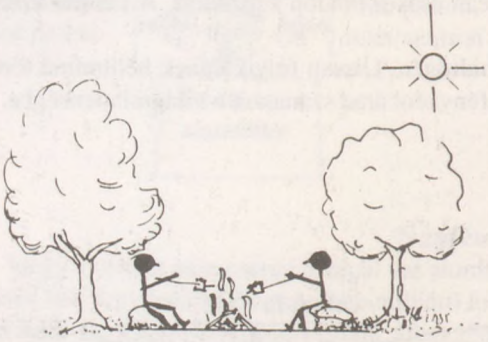
Energiafogyasztás

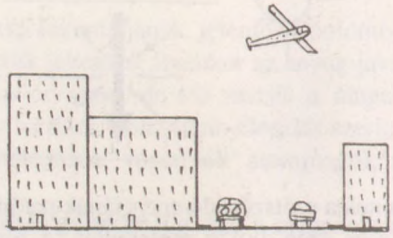
Ehető cukor és éghető fa oxigéndús légkörben: olyan kémiai feszültség, amelyet a napsütés hoz létre. Ennek a feszültségnek a kisülése a tűz. De kontrollált módon életet táplálhat. A kémiai feszültséget szelíden fenntartó és hasznosító növények mellett legelő és ragadozó állatok jelennek meg. Intenzívebb életmódjukkal több táplálékot fogyasztanak. Élénkebben mozognak. Gyorsabban szaporodnak. Sebesebben pereg számukra az evolúció. Félmilliárd év alig telik el, ami a Föld eddigi életének utolsó egy tizede, és megjelenik az ember. Kitalálja a tűzgyújtást, főz és fűt. Feléli azt az energiát, amit a zöld növények napsugárból koncentráltak. Amíg a fával tüzelnek, vízkeverékkel emelik a vizet és szélmalomban őrlik a gabonát: *a napfény révén évről évre megújuló energiaforrásokat hasznosítják.*

Tűzifa fogytával a hűvös Angliában szenet kezdtek bányászni. *Évmilliókkal ezelőtt elraktározott fosszilis tüzelőanyagok (kőszén, földgáz, kőolaj) töményebb energiahordozók.* Ezek élteték az ipari forradalmat. Az ember feltalálta a gőzgépet és a benzinmotort, a

villanyvilágítást, autót, repülőt. Ez már a mi korunk. Exponenciálisan szaporodik a Föld népessége. Mindenki többet fogyaszt. Mind drágább lesz egy liter benzin, egy kilowattóra villamosság. *Gazdasági feszültség támad az igények fokozódása és a fosszilis tüzelőkészletek korlátossága között.* Tapasztalt politikusok, sztrájkoló taxisok és fiatal tüntetők keresik a megoldást.

Vissza a természetbe! — hirdetik a hippik a tereken és a zöldek a parlamentekben. Programjuk szerint a *szántóföldek termése, az erdők fája, a szél sodra és a víz esése évről évre megújuló módon gondoskodhat rólunk.* De a fejünk felett folyamatosan működő Nap-atomerőmű energiája vékonyan terítve éri a Földet. A napfény által megújuló energiaforrásokra támaszkodva tanyai életmódban csak a mainál jóval gyérebb lakosság élhetne a Föld kontinensein.



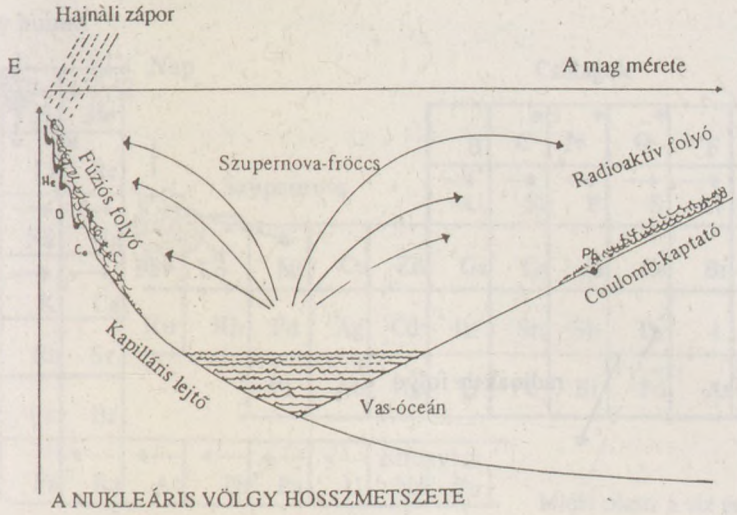


A másik alternatíva: városi kényelem, nagy népsűrűség, autók és televíziók, drótokon és csöveken központilag szétosztott energia. Ha ezt az utat választja a jövő generáció, töményebb energiahordozókért még mélyebbre kell ásni a kozmikus múlt mélységeibe. A Nap felszínének pár ezer fokos melegét őrzi a szén és a kőolaj. Mellettük nagyobb szerephez jut az *urán,* amely *a Nap előtt volt szupernova-robbanás milliárd fokos parazsa. A jövő század fúziós erőművei a nehézhidrogént és a lítiumot hasznosíthatják majd, ami sok milliárd fokos izzásban képződött az univerzum hajnalán.*

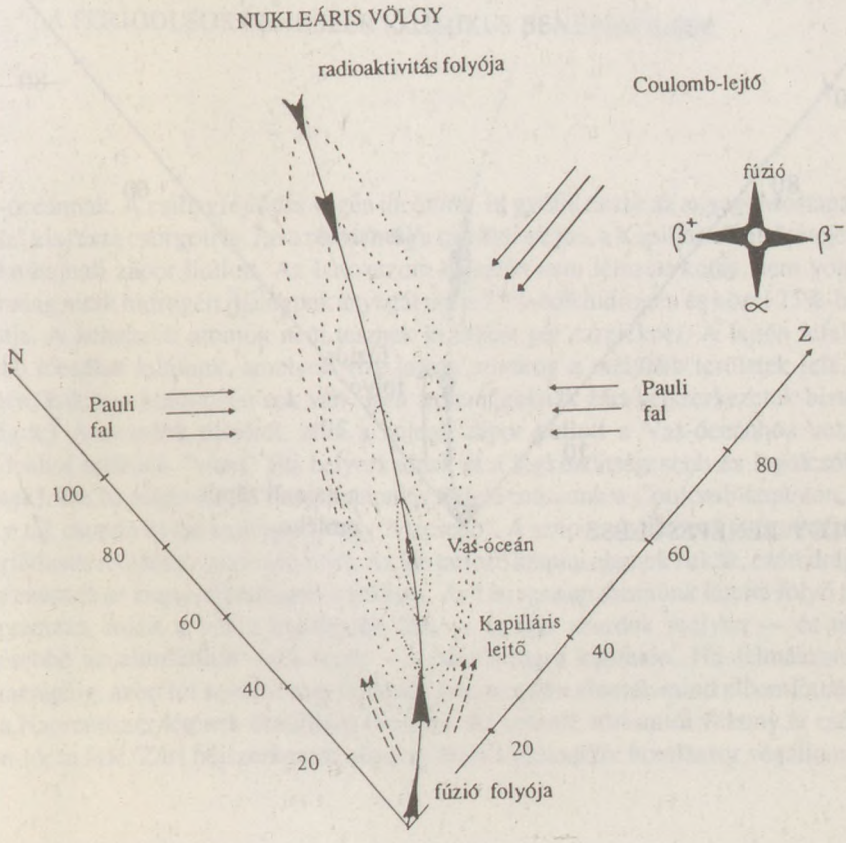
Uránrudakból nem rakható tábortűz. Benzin hajthat autót, de atomenergia nem. Szélkerék tanyát, atomerőmű milliós várost láthat el villamossággal. Óriási a léptékváltás. Szokatlan a technika. Ilyenekhez nem érthettek a nagyapák. Ezzel érvelnek az atomenergia ellenfelei: : Elidegenedés. Atomháborús fenyegetés. Bűnös elszakadás a természettől.

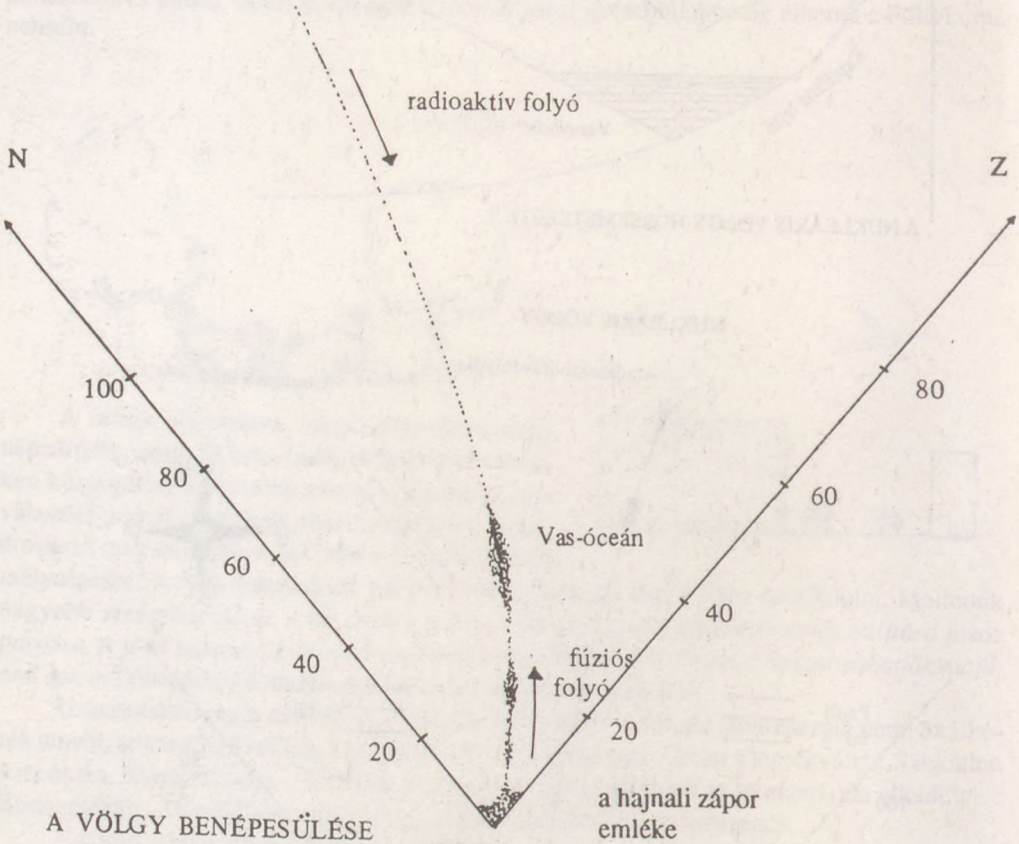
Valóban elszakadtunk a természettől?

Vessünk egy pillantást arra a nukleáris térképre, amelynek szintvonalai azt tüntetik fel, hogy a különböző atommagokban (a protonok *Z* száma és a neutronok *N* száma szerint) milyen mély energiaállapotba került az anyag. A "túl sok proton" és "túl sok neutron" alternatívái között húzódik a *Nukleáris Völgy.* Másik, népesedési térképünk azt mutatja, hogy a természetben fellelhető atommagok e völgy mélyvonala mentén találhatók. De nem egyenletes eloszlásban! Az elénk táruló táj szurdokra emlékeztet, röviddel egy kiadós hajnali zápor után. Jelentős "vízmennyiség" gyűlt össze a szurdok legmélyebb szakaszán. Ezt neveztük el

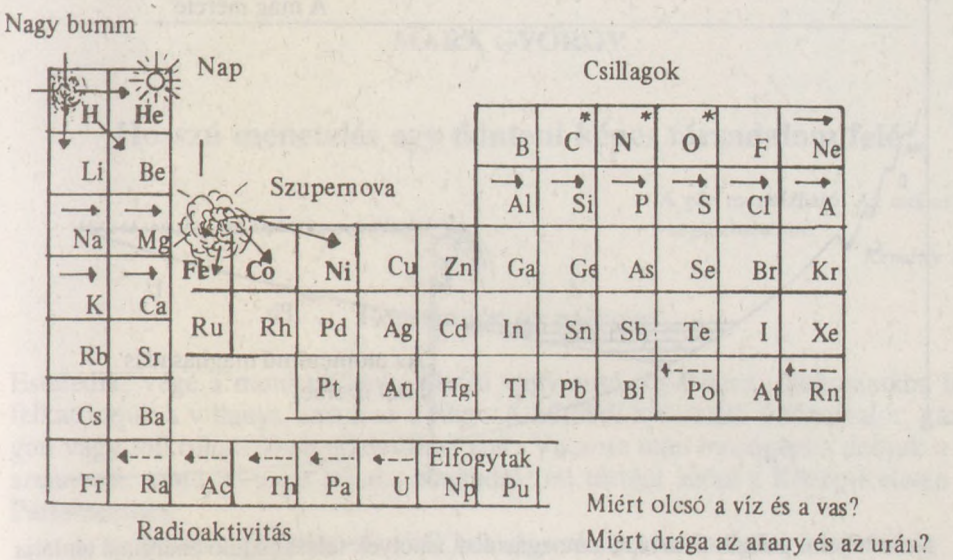


A NUKLEÁRIS VÖLGY HOSSZMETSZETE



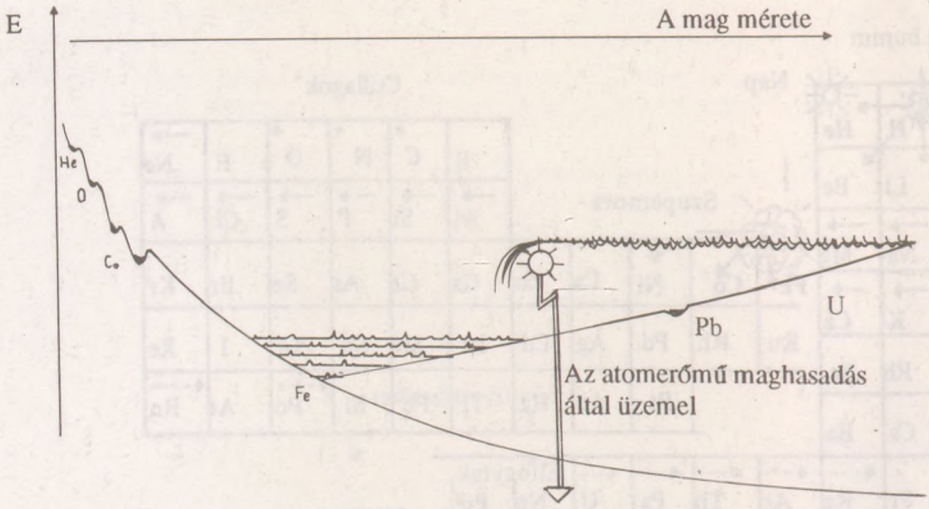


A VÖLGY BENÉPESÜLÉSE



A PERIÓDUSOS RENDSZER KOZMIKUS BENÉPESÜLÉSE

Vas-óceánnak. A csillagfejlődés végén ideömlik, itt gyűlik össze az anyag. Mostanáig csupán a "víz" kis része csorgott le. Java részét még a szurdok elején, a Kapilláris Lejtő tetején találjuk, ahol a hajnali zápor hullott. Az Univerzum hajnalán nem létezett kötés, nem volt összetett atommag, csak hidrogén. Világunk anyagát ma is 75%-ban hidrogén és közel 25%-ban hélium alkotja. A nehezebb atomok nem tesznek ki többet pár ezreléknél. A lejtőn lefelé haladva kisebb tócsákat találunk, amelyek vize lassan szivárog a mélyebb területek felé. (Hélium, oxigén, kalcium különösen sok van, ezen atommagoknak zárt héjszerkezetük biztosít állandóságot.) A szurdok elejétől, ahol a hajnali zápor hullott a Vas-óceánhoz vezető lejtőn mindenhol találunk "vizet" (itt helyezkednek el a legközönségesebb és legolcsóbb kémiai elemek). De ha túljutunk a Vas-óceánon és felfelé mászunk a Coulomb-kaptatón, kopárabb lesz a táj, csupán itt-ott csillog egy-egy "vízcsepp". A szupernovafröccs gyéren népesítette be a periódusos rendszer vason túli felét. Az ide tartozó kémiai elemek ritkák, ezért drágák. Példa rá az ezüst és az arany, a platina és a gallium. Az Univerzum szemünk láttára folyó történelme magyarázza, miért a vas a legolcsóbb fém — ez van szurdok mélyén — és miért kerül kevesebbe az alumínium — a lejtőn —, mint a réz a kaptatón. Ha felmászunk az urán magasságáig, azon túl semmit sem találunk. A transzurán elemek mind elbomlottak, elhasadtak a Naprendszer létének ötmilliárd éve alatt. Az uránról, tóriumtól vékony ér csörgedez az ólom-tócsa felé. Zárt héjszerkezete miatt az ólom a radioaktív bomlássor végállomása.



Szemléltetni próbáltuk azokat a mozgásokat, amelyek felszabaduló energiája táplálja a csillagfényt (fúziós folyó) és melegíti a hévforrások vizét (radioaktív folyó). Ezek éppúgy természeti jelenségek, mint a vízimalmot forgató patak. Ha a Coulomb-lejtőn mozgó anyagot (atomerőműben, mesterséges maghasadással) munkába fogjuk, ugyanúgy egyirányú természeti áramlást hasznosítunk, mint a vízi erőműnél. Nem is szóltunk arról, hogy a vízi erőmű mögött a napfény által felhőkbe emelt tengervíz van, a napfény mögött pedig a Nap mélyén zajló fúziós magátalakulás. Ez pedig végső soron a Nagy Bummból ittmaradt hidrogén-pára elkésett kondenzálódása hélium-cseppekké.

Van azonban egy lényeges mennyiségi különbség. A vízimalom szintkülönbsége egy-két méter. Ha óvatlanul félrelépünk, leesve talán kitörik a bokánk. A hatalmas völgyzáró gátak tíz vagy száz méter magasak, róluk a mélybe nézve kicsit talán el is szédülünk. Az atomerőműnél a szintkülönbség száz billió méternek felel meg! Nem csoda, ha a járatlant ijeszti ez a mélység. Ha itt hibát vétünk, az hatalmas hiba. Ha szándékosan embereket lökünk a pusztulásba, megbocsáthatatlan a bűn. De ha értő fegyelemmel irányítjuk ezt az emberi kéz által épített szuper-vízimalmot, billiószoros lesz a jutalmunk. 1 forintba kerül a kilowattóra, és ez szinte kimeríthetetlen bőségben juthat el milliók otthonába.

Az atomenergia hasznosítása ma már nem technikai, hanem morális probléma. Gondot nem a szupernovából ittmaradt urán energiakoncentrátuma és a környezet közt lévő nukleáris feszültség kezelése okoz, hanem az a szociális feszültség, ami a modern tudomány által feltárt hatalmas lehetőségek és a fejlődésben elmaradt társadalmi tudat közt tátong. Megoldására a nevelőknek kell vállalkozniok.

Válaszútra értünk. Buta felelőtlenségből öngyilkos katasztrófa? Felelősségtől megfutamodva gyáva visszahúzódás a nyomorba? Vagy a tudást megszerezve és az együttjáró felelősséget vállalva biztos béke, azaz az alkotó fejlődés feltétele.

MARX GYÖRGY

Hosszú menetelés egy dönteni képes társadalom felé

A gép megbízható. Az ember lehet megbízhatatlan.

Kemény János

Honnan jön az energia?

Esteledik, vége a munkaidőnek. Metró vagy autó röpít haza. Otthonunkba lépve felkattintjuk a villanyt, szétárad a fény. A hűtőből kivesszük a főznivalót, gázlángon vagy mikrohullámon elkészül az étel. Vacsora után mosógépbe dobjuk a napi szennyest, majd tévé elé ülünk, megtudni: mi történt azóta a Közép-Keleten és a Parlamentben.

A targoncára gyűjtött rőzsétől hosszú volt az út a polgári kényelemig. Felnyílt előttünk a nagyvilág, fokozódik a lakosság energiaigénye. Autót szerzett majd minden magyar család. A színes tévé, mosógép, hűtőgép sem számít már luxusnak. Videóra, fagyasztóládára, mikrohullámú melegítőre gyűjtenek a családok. A dinamikusabban fejlődő országokban légkondicionáló a soron következő igény. Japánban e miatt télről nyárra tevődött az áram-csúcsfogyasztás. Mi még nem tartunk itt. Autóink, fagyasztóládáink primitívebbek – és kétszer annyi energiát fogyasztanak. Emelkedik a lakosság energiafogyasztása. Ez a jelenség tipikusan jellemzi a közepesen fejlett, de fejlődő országokat. Nehéz is volna elérni a választópolgároknál, hogy a 10 liter/100 km fogyasztású öreg Lada helyett a haza érdekében sürgősen vegyenek feleannyit kívánó Daihatsut; hogy a nemrég vett jugoszláv fagyasztót dobják ki, mert a holland gyártmány áramtakarékosabb. A csúcsfogyasztást mérsékelné az esti tévé-adás megszüntetése, de ez Ceaucescu népszerűségét sem emelte. Noha nem szerepel egyik párt választási ígéretei között sem, azért előre tudható volt, meg is írtam, hogy az energia ára meredeken fog emelkedni a helyhatósági választások után.

1989-ben villamosenergia-fogyasztásunk egyharmadát fosszilis energiahordozók (főleg szénerőművek), egyharmadát a Paksi Atomerőmű szolgáltatta, egyharmadát még a villamos energia importja fedezte (elsősorban a Szovjetunióból). Az adatokat az egyszerűség kedvéért kerekítettem. A közlekedés főleg szovjet olajszállításon, a fűtés-főzés főleg szovjet gázszállításon alapult. A nyolcvanas években ez még gazdaságos energiapolitika volt: az energia javarésze (villany, olaj gáz) vezetéken érkezett, az energiáért búzával és kukoricával fizettünk. (Ezt szomszédaink nem tudták tenni, volt is belőle gondjuk elég.) Az energiaellátás volt a magyar gazdaság erős oldala.

Készül egy energiapolitikai koncepció, amely az energiatakarékosság meghirdetésével egy új erőmű építését kívánta elodázni. A kilencvenes években mindössze évi másfél százalékos villamosfogyasztás-növekedést tételeztek fel, ezt

kisebb gázturbinás erőművek építésével kívánták megoldani (számítva a Keletről jövő gázvezeték zavartalan szállítására és a magyar ipar pangására). Az új nagy erőműre vonatkozó döntést, az építkezés kezdetét a kilencvenes évek közepére (értsd: az 1994-es választás utánra) odázták el, az áramszolgáltatás megkezdését a jövő évszázadra tolva. Ránézésre is lehetett tudni, hogy ez az elképzelés irreális. A múlt választásokon senki sem merte a választókat sokszoros energiaáremeléssel sokkolni, azon ábrándoztak, hogy varázsütésre az ipar lesz energiatakarékos. Nos, ez sajnos úgy valósult meg, hogy félgőzzel termelnek a gyárak. Azt viszont senki nem gondolhatja komolyan, hogy a nyugati beruházókat nem riasztja el, ha megbízhatatlanná válik Magyarországon az energiaszolgáltatás. (Romániában, Bulgáriában, Ukrajnában, Lengyelországban nincs benzin, jegyre is alig. Bulgáriában naponta többször egy órára megszűnik az áramszolgáltatás.) Való igaz: a magas szintű technika kevésbé volna energiaigényes, mint az acél-, autó-, vegyipar. Sok helyen viszont örülnek a munkások, hogy a nyugati tőke épp ezekbe kíván nálunk beruházni, hozzánk exportálva az energiaigényt, olcsó munkaerő-felhasználást, környezeti gondokat. Egyelőre nem szuperszámítógép-gyárak épülnek a Duna és a Tisza mentén. A közelmultig egyik ok volt az embargó. Ennél is fontosabb: sem az USA, sem Japán nem bolond kiadni a csúcstechnológiákat, hiszen ez az ő monopóliumok, fő ütőkártyájuk az OPEC-cel, az alapanyagokat szállító országokkal szemben. Ha Európában még a Philips is gondokkal küzd, mit várhatott a Videoton és az Orion? Azt viszont a volt NDK gazdasági összeomlása mutatja, hogy a Nyugaton vásárolt elektronika és más cikkek többszörös áron történő itthoni viszonteladásából egyesek meggazdagodhatnak, de az ország veszít, a nép elszegényedik. Álom abban bízni, hogyha fellendül a magyar ipar, az az energiafogyasztás csökkenésében fog megmutatkozni. Az energiaárakat sokszorosra emelve visszaszorítható a villany, gáz, benzin fogyasztása, de ez a pangást fokozná, önállósulásunkat odázná el.

Az is előrelátható volt, hogy a kilencvenes évekre a jelen szintű energiaimport bizonytalan lesz. Szénbányászok sztrájkoltak a Donyec-medencében, Bakuban polgárháborús a helyzet. Oranienburg és a többi gáz-, olajvezeték műszaki hibákkal terhes. Nem volt feltételezhető, hogy az ukrajnai gabonatermés betakarításáról lemondanak, hogy az önállósodó KGST-partnerek növekvő magánautó-forgalma ne akadjon el. Nem bizonyult megbízhatónak sem a Barátság, sem az Adria kőolajvezeték, hiszen mindkettő Európa legbizonytalanabb belső helyzetű országaiból érkezik. (Ekkor még finoman fogalmaztunk.)

Irakot segítettük Iránnal vívott háborújában. 1990 elején 16,5 millió dollár iraki adósság fejében – szabadpiaci áron felül – nyersolajat importáltunk tőlük. Jól tettük. Szomszédaink már hiába futnak iraki pénzük után. Az orosz olajtermelés 4%-kal esett, Kelet-Európába irányuló szállításukat 20%-kal csökkentik. Jelcin helyében mi is a belföldi és a nyugati piacot részesítenénk előnyben. A volt KGST-ben dollárelszámolásra tértünk át. Ez az orosz 4 milliárdos deficitet 15 milliárd dolláros nyereségbe váltja át. Közben az olaj világpiaci ára –a Perzsa-öbölbeli háború jogcímén – több, mint 50%-kal emelkedett. A szovjet, amerikai, európai olajkészletek 10–20 éven belül kimerülnek, érthető tehát, hogy a Közép-

Kelet és Venezuela diktálhatja az olajárakat. El tudta-e valamelyikünk is képzelni 1990-ben, hogy a magyar hatóságok 1991-ben előre reklámozott amerikai film bemutatását tiltják be, mert az iráni követség tiltakozott? (Iránból vesszük a szükség-olajat, de az is orosz-ukrán vezetéken érkezik, mert a háború miatt nem használható az Adria vezeték) A történelem azt mutatja, hogy krízis esetén az Egyesült Államok (vagy akár Izrael) elfoglalhatja katonailag az olaj- és gázmezőket. Mi ezt nem tehetjük majd meg. Elkerülhetetlenül drága az olaj, minden cseppjére szükség lesz a közlekedésben. Egyes, nálunk jobban gazdálkodó országokban mind több autó fut propángázzal. Németországban és Japánban elkészültek a villamos energiát és villamosságból nyerhető hidrogént tankoló autók első példányai. Nem valószínű, hogy évtizedes távlatban megengedhető luxus lesz a villamos energia előállítása földgázból. Magyarország tiltja a propán-gázos autót és gázturbinás erőművet importál, mert ez a legolcsóbb beruházás pillanatnyilag.

Egy másik szép álom: a megújuló energiaforrásoktól várni energiaigényünk java részének fedezését. Norvégia, Új-Zéland, részben Ausztria is földrajzi adottságai miatt bízhat a vízierőművek által termelt olcsó villamosenergia kiterjedt – fűtési, közlekedési – használatában, mi nem. A szélenergia számításba jöhet az óceánok partján, nálunk a szélmalmok legfeljebb vízemelésre és az idegenforgalmi bevételek fokozására használhatók. A szubtrópusi sivatagos Izraelben tilos házat építeni anélkül, hogy a tetőre napelemeket tennének, ott az energiaigény 2%-át fedezi a napfény. A napos, lakatlan vidékekben gazdag Egyesült Államok – nagy beruházás esetén – 2030-ra tartja elképzelhetőnek a napenergia 2%-os hozzájárulását az energiafogyasztáshoz. Nálunk nem ez a helyzet. Nem mindig akkor süt a nap, amikor fázunk vagy tévézni szeretnénk. Vannak országok, ahol a geotermikus energia a felszínre tör – Olaszország, Kenya, Új-Zéland – , itthon az összes geotermikus erőmű alig adna annyit, mint egyetlen paksi reaktor. Az Egyesült Államoknak kicsit tágabb a földje, gépesítettebb a mezőgazdasága, mégis nagy befektetés árán csak 2030-ra tartja hipotetikusan elképzelhetőnek a benzin 10%-ának kiváltását biomassza erjesztéséből nyert alkohollal. (A metilalkohol pedig az egyik legmérgezőbb, gyorsan illó folyadék, amelyet Brazíliában is maszkkal szolgálnak ki az autósoknak. Haragudnának rá a ma még biomasszáért lelkesedő környezetvédők!) Rá fogunk szorulni minden csepp energiára, de hazánk adottsága mellett a megújuló energiaforrások csak néhány százalékot adhatnak drágán – tetemes beruházással.

Az itthon termelt villamos energia ma épp fedezné az alapfogyasztást, a csúcsfogyasztáshoz villanyimport kell. (Ehhez járul még a Nagymaros elmaradása ellenére Ausztriának szerződés szerint szállítandó villamos teljesítmény.) Egy erőműblokk kiesése télen már hiányt teremtene. A villamos energia fő forrása kb. egyenlő részesedésben a szén (lignit) és az urán. Az előbbi a megszokott és megszokottan piszkos, az utóbbi újszerűbb és olcsóbb.

Savanyú esők

Valamikor pozitív szimbólumnak számítottak feketén füstölgő kéményeink. A széntüzelést értjük, van is belőle hazánkban, csak nem valami jó minőségű. Közgazdászaink bezáratják a szénbányákat, mert sokuk a világpiaci árnál drágább szenet ad. Erőműveinkbe olyan szén jut, amelyben 2% a kén. A keletkező kéndioxidok az erdőket, majd a mezőgazdaságot fenyegető savanyú eső fő forrásai. A második forrást az autómotorokban, gázturbinákban magas hőmérsékletén elégő levegőből keletkező nitrogénoxidok jelentik. Szerencsés ország vagyunk: kevesebb kén- és salétromsavat bocsátunk a levegőbe, mint a tőlünk északnyugatra eső országok, mert a villamos energia jelentős hányada savat nem termelő hazai és szovjet atomerőművekből származik. A Kárpátok elterelik a felénk tartó savanyú felhők egy részét. Lombhullató erdeink kevésbé érzékenyek, mint a cseh, német és osztrák fenyvesek. Így hazánk erdőkárosodása csak 12%. Ilyen alacsony károsodást csak a nukleáris energiát használó Franciaország és Japán mutat, szemben a cseh 71 és a német 52%-os erdőkárosodással. Itt még egy nagyon fontos politikai szempontot is figyelembe kell vennünk. A savanyú felhők nem tisztelik a határokat. Európa pedig kényes erdeinek és mezőgazdaságának megőrzésére, különösen kényes Németország. Mivel hazánk az európai elvárásoknak kíván megfelelni, kormányunk is csatlakozott a kén- és nitrogénoxidok visszaszorítását vállaló nemzetközi egyezményhez. Egyszer majd nyugati hitelezőink számonkérik az aláírt kötelezettségvállalás betartását. Üzemelő szénerőműveink füstjének kéntelenítése tizenegy jegyű számokban mérhető költséget jelentene. A szénerőművek által adott kilowattóra már most többször annyiba kerül, mint az atomerőművekből vett, ez szabja meg a magas villanyárat. Azért is húzódik a döntés a bükkábrányi ligniterőmű megépítéséről, mert az európai normának megfelelő erőmű a jelenlegieknél is sokkal drágábban adna villamos energiát.

Miért félünk az atomtól?

Ma hazánkban messze legolcsóbban, eddigi tapasztalatok szerint legmegbízhatóbban és környezeti szempontból legtisztábban a Paksi Atomerőmű termel villamos energiát. Egy fűtőelem három évig használható, ezért az atomerőmű függetlenít a rövid távú szállítási, gazdasági, külpolitikai ingadozásoktól. A mecseki urán kitermelése – nyugati megítélés szerint – gazdaságosssá, az urándúsítás (fűtőelemgyártás) külkereskedelmileg többirányúvá tehető. Orosz, francia, német kínálat egyaránt van. A paksi atomerőmű nem állami beruházásból, hanem 15 év alatt visszafizetendő bankkölcsönből épült. A további egységeket a Paksi Atomerőmű Vállalat, a Villamosipari Tröszt ismét meg tudná oldani állami beruházás nélkül. Politikai döntésre, értsd: engedélyre várnak.

A paksi kilowattóra nem csupán olcsóbb, hanem annak árában a legnagyobb részt a beruházás és üzemeltetés során befektetett részben magas szintű munka képviseli. Az urán fűtőelem kisebb hányadot képez. Most olcsó az urán; ha kétszeresre nőne is az ára, a kilowattóra-költség alig nőne, az atomenergia gazdaságilag versenyképes marad. Ideális egy nyersanyagban szegény, jól képzett

munkaerőben gazdag ország számára. Akkor mégis miért van hangos ellenzéke nálunk az atomenergia-fejlesztési programnak?

Első ok: a múlt évtizedekben divat volt Nyugaton támadni az atomenergiát. Érthető: miért. A Hirosimára és Nagaszakira ledobott atombomba száz-kétszázezer embert ölt meg, zömükben polgári lakosokat. (Történelmi tény: Albert Einstein, Szilárd Leó, Teller Ede, Wigner Jenő előzetes tiltakozása ellenére.) A hidegháború légköri atomfegyver-kísérletei elsősorban az 1960-as években radioaktivitással szennyezték a Föld légkörét, ennek globális áldozatai Hirosimához mérhető számra becsülhetők. Ezt Szaharov emlékiratai megerősítik. Fizikusok és orvosok mozgósították a közvéleményt, ami végül is a légköri kísérletek nemzetközileg garantált beszüntetéséhez vezetett. Tíz esztendeje a harrisburgi atomerőmű üzemzavara megingatta a polgári atomerőművek abszolút biztonságába vetett hitet. 1986-ban a csernobili atomerőmű katasztrófája, nem messze hazánktól rámutatott az atomerőmű-üzemzavar határokon átnyúló veszélyeire. Ezért az elmúlt évtizedben több ország (USA, Ausztria, Svédország) leállította atomerőművek építését. Mások (Franciaország, Szovjetunió, Japán) nem. Az atomerőmű ellenzőinek döntő érve Csernobil volt.

Az első nagy atomreaktorok pozitív visszacsatolásúak, inherensen instabilak voltak. Hirtelen felmelegedés elforralta a vizet. Kevesebb neutron nyelődött el, a nukleáris láncreakció lavinaszerűen megszaladhatott, a reaktor tovább hevült, ami – nem nukleáris, hanem – hőrobbanáshoz vezethetett. Erre a veszélyre elsőként Teller Ede mutatott rá. Ő érte el a hanfordi reaktorok leállítását. Azóta egyedül a Szovjetunióban épültek pozitív visszacsatolású óriásreaktorok, amelyek stabilitását járulékos biztosítékokkal vélték elérni. 1986 áprilisában javító szándékú kísérlet céljából két fiatalember kikapcsolta a csernobili 4. reaktor biztosítóberendezéseit. Ez megszaladáshoz, európai méretű katasztrófához vezetett. Jelen sorok szerzője írta meg elsőként 1986-ban magyar újságban, hogy a 30 közvetlen áldozaton túlmenően a várható közvetett ember veszteség összesen ötjegyű – Magyarországon kétjegyű – számmal becsülhető. Mindenki egyetért abban, hogy pozitív visszacsatolású atomreaktort nem szabad építeni, a még üzemelőket le kell állítani (vagy negatív visszacsatolásúvá, megszaladást önként lefojtóvá) kell alakítani. A magyarországi reaktorok eleve strukturálisan negatív visszacsatolásúak. Véletlen felhevülés a neutronlassító közeg elvesztését, a láncreakció szükségszerű leállását eredményezné.

Hőrobbanás nélkül is elképzelhető radioaktivitás kijutása a környezetbe. Ezt a modern atomerőművek többszörös védelemmel kívánják megakadályozni, ez működött Harrisburgban. Az egyesült Németország kormánya épp ilyen szigorú követelményekre hivatkozva kívánja lezárni az NDK korábban épült atomerőművét. A paksi atomerőmű azonban védőtoronnyal épült, figyelembe véve a harrisburgi üzemzavar után megszigorított nemzetközi normákat. A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség reaktorbiztonsági osztálya 1988-ban, a KGST-atomerőművek közt elsőként a paksi atomerőmű biztonságát ellenőrizte amerikai és japán szakértői irányítással, jegyzőkönyvben fejezte ki megelégedettségét a tapasztaltak felett.

Újabb csernobili katasztrófa, globálisan potenciálisan 10 000, hazánkban akár 100 közvetett áldozattal, joggal elfogadhatatlan a közvélemény számára. Ugyanígy elfogadhatatlannak kell ítélni, hogy egy növényvédőszert termelő amerikai vegyigyár üzemzavara miatt az indiai Bhopalban cianmérgezésben közvetlenül 3000 ember halt meg. Hogy 1952 decemberében az egyhetes londoni szmog 4000 polgár halálát okozta. Hogy Európa útjain évente többszázezer (Magyarországon 2600) ember esik közlekedési baleset áldozatául. Hogy a sztratoszféra ózonpajzsának kémiai szennyezés miatt bekövetkezhetett néhány százalékos ritkulása tízezrekkel növeli a bőrrák-eseteket. Hogy egyetlen északi-tengeri olajtorony, jugoszláv szénbánya mexikói gázvezeték összeomlása 100-200 áldozatot követelt. Hogy nálunk minden millió tonna kibányászott szénre több bányász áldozat jut. Hogy évente Magyarországon 300 embert ölnek meg és 5000-en követnek el direkt öngyilkosságot, de 10 000 fölött van a dohányzás áldozatainak száma. Az 1990-es Föld Napja alkalmából a környezetvédők Magyarországon 30 000 főre becsülték a kémiai szennyezés (elsősorban kémiai levegőszennyezés) áldozatait.

Egyik adatba sem nyugodhat bele egy európai nép, akkor sem, ha tudja: ezek az adatok eltörpülnek korábbi századok járványainak és éhínségeinek, századunk első felében két nagy európai, századunk második felében több ázsiai háború katonai és polgári áldozataihoz képest. A horvátországi-boszniai háború több áldozatot követelt, mint Csernobil, a Nyugatot mégis kevésbé idegesíti.

Hol terem a kukorica?

Aki a nyolcvanas években Nyugaton járt, könyvekben és folyóiratokban, de újságokban is szinte naponta olvashatott bolygónk éghajlatának szeszélyessé válásáról, fölmelegedéséről. Már nem kell külföldi forrásokra utalni. Az enyhe és csapadékhiányos teleket, a kukoricatermést elvivő nyári aszályokat közvetlenül tapasztaljuk. A magyar (meteorológiai) történelem legaszályosabb éve *eddig* 1990 volt. Mindez 30 milliárd forint kárt okozott mezőgazdaságunknak (jó 10 000 forint többletkiadást 1990-ben minden családnak).

Nemzetközi tudományos megítélés szerint a felmelegedés fő oka, hogy az iparosodás folytán mind több szén-dioxid kerül a légkörbe, amit a növényvilág már nem képes feldolgozni. A jégkorszakban 0,18 ezrelék volt a levegő szén-dioxid tartalma, a globális iparosodás kezdetén (1800) már 0,28 ezrelék, mára pedig 0,36 ezrelékre szökött. Várhatóan ismét megduplázódik a jövő század közepére. Márpedig ez a szén-dioxid, akár a kertészek melegházának üvegje, napközben beengedi a napfényt, de éjjel és télen visszafogja a talaj hőkisugárzását, így melegítvén a Földet. Ez lehet az enyhe telek, száraz nyarak magyarázata. A pusztai mediterrán éghajlat évente több kilométert csúszik Észak felé. Búzánk megérik aratásra a nyári szárazság előtt, de a kukoricatermelés egyre kockázatosabb: az évszázad globálisan legmelegebb esztendeje volt 1990. Fokozatosan Kanada, Lengyelország, Ukrajna válhat szemtermő övezetté. Közben – mint hőmérőben a higany – az óceán szintje is emelkedik, elárasztással fenyegetve a termékeny, ezért sűrűn lakott folyódeltákat: Hollandiát, Bangladest. Ebben a dél-ázsiai országban

az árvízek milliókat űznek ki otthonukból, 1991 januárjában 100 000 emberéletet követeltek. Pedig a felmelegedés lassú: 20–30 év késéssel követi a levegő összetételének változását.

Szén-dioxidot elsősorban a széntüzelés, másodsorban az olaj és benzin égése termel, kisebb mértékben a földgáz használata. Utóbbiban a hidrogén oxidációja vízgőzt hoz létre. Atomenergia alkalmazása nem befolyásolja az éghajlatot. A légkör szén-dioxid okozta melegedésére elsőként fizikusok, kémikusok, biológusok hívták fel a figyelmet egy évtizeddel ezelőtt. De már szóba került csúcstalálkozókon, az amerikai elnökválasztási kampányban. A kormányfők hágai értekezlete, amelyen Magyarország is részt vett, 1988 tavaszán a szén-dioxid-emisszió 20%-os csökkentését ajánlotta 15 éven belül. 1990-ben a koppenhágai ENSZ-tanácskozáson az Európai Közösség, nem véletlenül holland és brit kezdeményezésre, harminc ország támogatásával, a fenti ajánlás kötelező végrehajtását próbálta elérni. A javaslatot a fő szén-dioxid kibocsátó szuperhatalmak, Amerika, Japán, a Szovjetunió vonakodása miatt csak felvizezve fogadták el. Aki még mindig csak üres technokrata ijesztgetésnek látja az üvegházhatás erősödését, annak hadd idézzem, hogy James Lovelock, a bioszféra Gaia-modelljének megalkotója és az Audobone Társaság (az amerikai környezetvédelem megszervezője) a széntüzelés kiváltását ajánlja atomenergiával, épp a fenyegető klímakatasztrófa miatt. Az európai egyházak 1989. évi ökumenikus tanácskozásán kiadott Bázeli Manifesztum azt kívánja, hogy Európa 25 év alatt negyedére csökkentse a széntartalmú tüzelők felhasználását. II. János Pál pápa, akit nem szoktak technokratának ítélni, 1990. évi újévi üzenetében a Teremtés integritását fenyegető három veszélynek a szén-dioxid-kibocsátást, a sztratoszféra ózonrétegét támadó kémiai anyagokat és a savanyú esőket ítélte. Az éghajlatváltozás volt a Föld kormányai által összehívott 1992. évi tanácskozás témája Rio de Janeiróban.

Ki fog dönteni?

Az energiaellátás éppoly függőséget jelent egy ország számára, mint a katonai megszállás vagy dollártartozás. Az energiaellátás fontosságát mi sem bizonyítja jobban, minthogy Amerika és Anglia kész volt háborúba menni a parányi kuvaiti sejkség érdekében, de másfelé nézett, amikor az 50 milliós Pakisztánban elkergették a demokratikusan választott liberális kormányt, vagy amikor a szerb hadsereg bombázott horvát városokat. (Boszniai harcokra már érzékenyebben reagál a Nyugat, hiszen a bosnyák mohamedán nép, akárcsak az olajtermelők, olajexportálók.)Még nem született realisztikus távlati energiakoncepció, pedig gazdasági függetlenségünkről, fellendülésünkről, európai normák megvalósításáról van szó. Ki döntsön? Az energialobby, az atomlobby, az olajlobby, a szénlobby?

A környezeti károk megelőzése nem érdeke a következő választásokra tekintő politikusnak, az év végi nyereségre dolgozó vállalkozónak. Csupán gyermekeink, unokáink életéről, egészségéről van szó. A környezettisztaság nem műszaki vagy gazdasági, hanem morális és nevelési ügy. Egy erőmű 6–10 évig épül és 30–40 évig üzemel. Mai szén-dioxidot okádó autóink és kéményeink hatására

2020-ban csecsemőket sodor majd el az árvíz valahol. Ezért a bíróság engem nem ítél el, de meglehet: ha mi nem is bánjuk, a nemzetek közössége kirekeszthet magából.

Meggyőződésem, hogy a vezetés kötelessége a közvélemény nyílt, adatszerű tájékoztatása: mennyibe kerül 1 kilowattóra a termelőnél Pécsett (szén), Pakson (atom), Százhalombattán (olaj)? Mire köteleznek a vállalt (és küszöbön álló) nemzetközi környezettisztasági szerződések, ezeket akarjuk-e teljesíteni, és mi az ára szénerőműveink kéntelenítésének? Honnan milyen nemzetközi kötelességvállalás alapján, meddig garantálható a gázturbinák ellátása?

Egyszer majd a választók elé kell tárni a kérdést: milyen energiaáremelést tartanak elfogadhatónak? Vagy meggyőzőnek érzik a magyar műszakiak szakértelmét atomerőművek felelős vezetésére? Piszkos, öreg autóink fontosabbak-e, vagy gyermekeink egészsége? Eltűrik-e, sőt elvárják-e, hogy Nyugat-Európától eltérően nálunk az ólommentes benzin drágább legyen, mint a mérgező ólmos? Jó-e, hogy Budapest Európának egyik legszennyesebb levegőjű városa?

Tudom, nem könnyű helyzetben lesz az állampolgár, ha ilyen kérdésekre kell felelnie. Az újságíróknak is tanulniok kell. De ez is hozzátartozik a demokráciához. Nem illik elhallgatniok, hogy a budapesti levegő általunk okozott túlszennyezettsége ólommal, szénmonoxiddal nagyságrendileg nagyobb veszély, mint Csernobil és mint Ófalu lett volna.

A József Attila Tudományegyetemen Papp Katalin felmérte az érettségiző középiskolások vélekedését e kérdésben: miből fedeznéd a lakosság növekvő energiaigényét a 90-es években? A gimnazisták 3%-a a fogyasztáskorlátozást, 5%-a szénerőművek építését, 63%-a atomerőművek építését ajánlotta. A szakközépiskolások, szakmunkástanulók vélekedése hasonló. A probléma hátterét kicsit is ismerve könnyebb lesz dönteni.

TÓTH ESZTER

Aktivitás az iskolában

Eresszük be a többit is!
Béres Pisti

Csernobil üzenete

1986. április 28-án, kedden reggel mit sem sejtve érkeztem az iskolába. A fizikaterem előtt nyüzsögtek a negyedikes gimnazisták. Rámenősen követelték, hogy azonnal mérjünk hátteret. (Néhány héttel korábban vizsgáltuk a fizikaórákon a radioaktív sugárzásokat, a mérések értékeléséhez minden alkalommal meg kellett mérni a természetes háttérsugárzást is.) Aznap reggel nem hallgattam rádiót, a gyerekeknek sem akartam elhinni a csernobili katasztrófát. De a mérést könnyű gyorsan összerakni. Néhány perc múlva a gyerekek lenyűgözve, én egy kicsit ijedten láttam, hogy a számláló háromszoros hátteret jelez a néhány héttel korábbihoz képest. Rohantak a gyerekek az ablakhoz: „Eresszük be a többit is!" És nyitott ablaknál a háttér a korábban tapasztalt értékre esett vissza, sőt, egy kicsit tán még az alá is.

(Tóth Eszter, József Attila Gimnázium, Budapest)

A négy napja zárt fizikateremben nagyobb természetes radioaktivitást lehetett észlelni, mint a csernobili robbanás után négy nappal Budapest levegőjében. A szabad levegőben később sem tapasztaltunk akkora radioaktivitást, mint a bezárt termekben. Akkor Csernobil izgalma elfeledtette ezt a furcsa tapasztalatot. Cipőtalpon, salátán, leveleken, háztetőről lemosott porban az iskolai műszerekkel is megtapasztaltuk Csernobil kihullását: az onnan érkezett levegőből lerakódott radioaktív port. De a gyerekekkel megfigyeltük azt is, hogy a bő csapvízzel lemosott cipőtalp vagy saláta aktivitása mindig lecsökken a természetes háttérre. A Geiger-Müller-számlálóval kora reggeltől késő estig aktivitásra vadászó gyerekekkel nem a tanári tekintély vagy a tömegtájékoztatás magabiztossága fogadtatta el, hogy nincs igazán veszély. A mérő gyerekek és családjuk lelkesen ették a megmért, lemosott, újramért 1 forintos gyönyörű nagyfejű (többlet radioktivitást nem sugárzó) salátákat.

A magfizikát 1984-től tanítjuk országos szinten a gimnáziumok negyedik osztályában olyan módon, hogy a tanulók az atomreaktorok működésének egyszerű elvét is megérthetik. A tanterv méréseket ajánl, amit akkoriban az ország gimnáziumainak 10%-ában már el is végeztek. (Azóta a gimnáziumok 60–70-%-ában van sugárzást mérő eszköz; a legtöbb helyen használják.) Azok a tanulók, akik 1984-ben, 1985-ben és 1986-ban érettségiztek, a Csernobilről szóló híreket értő füllel hallgatták. Megmosolyogták a szakértőt, aki nanosievert egységekben adta

meg a többletsugárzást, ilyen módon riasztóan nagy számokat közölt, majd bölcs tudósként nyugtatta a népet, hogy ezek az értékek elhanyagolhatóak. Mondták is a gyerekek: „Tanárnő, ma egymillió nanogramm kenyeret ettem, mégis olyan éhes vagyok!„ (Egymillió nanogram az egy ezred gramm, még egy morzsányi sincs.) Másrészt azonnal felismerték, hogy május elején valami nem stimmelt Csernobilban, hiába mondta a rádió, hogy nincs gond, a bórsavas homokzsákok helikopterről történő ledobálása rendben folyik. Ezek a gyerekek tudták, hogy bórsavas kezelésre akkor van szükség, ha még tartani lehet a láncreakció újraindulásától, mert a bór elnyeli a láncreakciót fenntartó neutronokat.

Talán nem véletlen, hogy Magyarországon a művi vetélések száma nem ugrott meg Csernobil okán olyan mértékben, ahogyan Svédországtól Görögországig Európában. Talán nem véletlen, hogy a helyi önkormányzatokba feltűnően sok fizikatanárt választottak meg országszerte. A tapasztalaton és tudáson alapuló véleményalkotás és döntés jó társadalmi közérzetet is biztosít.

Radon az iskolában

A csernobili katasztrófa elfeledtette a zárt fizikateremben tapasztalt magasabb aktivitást. 1988. szeptember végén rövid cikk jelent meg egy amerikai hetilapban, a Newsweek-ben a lakásokban tapasztalható természetes radioaktivitás egyik legfőbb okozójáról, a nemesgáz radonról.

Az Eötvös Loránd Tudomány Egyetem Atomfizikai Tanszéke évről évre sugárvédelmi tanfolyamot rendez középiskolai tanároknak. Több mint száz tanár tett már sikeres vizsgát e százórás, előadásokat és labormméréseket magába foglaló tanfolyam után. Itt tanultuk azt az egyszerű módszert, hogyan lehet az iskolában ingyen sugárforrásra szert tenni. Porszívó csövére néhány réteg orvosi gézt kell kötni, így szívni át a levegőt félórán át. A gézre tapadt por a levegőben mindenütt jelenlévő radon radioaktív bomlástermékeitől radioaktív. Nem a porszívástól lesz a radioaktivitás – mint ahogyan azt néhány szülő gondolta, és ezért nem engedte gyerekének a mérést otthon elvégezni – hanem a levegőben már meglévő radioaktív anyagot gyűjtöttük össze. Ha nem az átporszívózott gézre ül ki ez a radioaktív anyag, akkor belélegezve a tüdőnk nyálkahártyájára.

Amíg egyszerű volt kis aktivitású, zárt, iskolai demonstrációra gyártott sugárforráshoz jutni, nem szorult rá a tanár, hogy maga készítsen sugárforrást. Hála a radonnak, ami bejön a szobába, a porszívózós módszerrel minden iskolának van már sugárforrása. Néhol nem is kicsi. Magyarországon a szabad levegőben a talaj szintjétől 1 méter magasságban az átlagos aktivitás 10 bomlás másodpercenként és levegőköbméterenként. Egy félórás porszívózáskor körülbelül 20–25 köbméter levegő megy át a gézen. Így a szabad levegőből vett gézminta aktivitása 50–150 bomlás másodpercenként. Zárt szobában a radon felgyűlhet, ilyen iskolai helyiségben vett gézminta aktivitása akár több ezer bomlást is adhat másodpercenként. Néhány éve az ELTE Atomfizikai Tanszéke gyártott és osztott ki iskoláknak egyszerű, könnyen kezelhető Geiger-Müller számlálócsöveket, több helyen tanárok és gyerekek is készítettek ilyet. Ezekkel a számlálócsövekkel jól mérhető a gézminták aktivitása.

Nagyon egyszerű iskolai eszközökről kiderül tehát, hogy alkalmasak a levegőben mindig jelenlevő radioaktív anyag kimutatására. A radon jelenléte pedig nagyon sok változótól függ: a földrajzi, geológiai helytől, az épület anyagától, a helyiség talajtól való távolságától és az időjárás több adatától is. A radon és bomlástermékeinek belélegzése nem veszélytelen: a tüdőben megtelepedő radioaktív anyag élő sejteket roncsolhat, rákot okozhat; egyes becslések szerint a tüdőrákos halálesetek 10–20%-át a természetes radon és utódainak belélegzése okozza.

Van valami tehát körülöttünk, amit nem látunk, de meg tudunk mérni a gyerekek által is érthető egyszerűséggel. Minden mérés új, helyi sajátosságokra jellemző tapasztalatot adhat. A tapasztalatok egy részét egyszerű megmagyarázni, például a csökkenő légnyomás „kiszívja" a talajból a radont, ilyenkor magasabb az aktivitás, más részük nem olyan nyilvánvalóan érthető, ezért további kutatásra sarkall. A helyszíni mérések eredményét nem tudja előre a felnőtt tudósvilág, a Legközpontibb Kutató Intézet sem. Ha valahol magas aktivitást találnak a tanulók, gyakoribb szellőztetést ajánlanak, hisznek benne, hogy így életeket hosszabbíthatnak meg. Gyerekhez értőknek, fizikatanároknak folytatni sem kell: van *mit*, van *mivel* és van *miért* mérést végezni, „igazi" tapasztalatot szerezni. És ebben a tapasztalatszerzési folyamatban nem csak fizikát tanul a gyerekember.

Új értékek

A nyolcvanas évek végétől Magyarországon gyorsan változik a világ. Eltűnt egy korábbi, lemerevült, központi értékrend, amely mellé oda lehetett állni, vagy amit ki lehetett játszani, vagy ami ellen küzdeni lehetett. Képletesen szólva: kimentek a szovjet csapatok, magunknak kell kigondolni, mit lehet és mit nem. Kavarog a gyerekek körül a világ. A felnőttek régi értékeket dobálnak el, újakat – sokféle újat – kapnak elő.

Azt, hogy milyen lesz a jövő, halvány körvonalakban minden odafigyelő tanár megsejtheti az iskolában. A jövőt a gyerekek fogják csinálni. A hetvenes években a legokosabb gyerekek számítógépeket építettek, a nyolcvanas években éltek-haltak a közgazdasági döntésjátékokért. A kilencvenes évek elején *saját tapasztalatokra* van szükségük. Megfigyeléseket, méréseket részesítenek előnyben nagyszabású elméletekkel szemben. Saját modellt akarnak készíteni, azt tapasztalással ellenőrizni. Tudással akarnak beleszólni környezetük formálásába. Elutasítják a felnőtt tekintélyt, az egyetlen tekintély a Természet. A felnőtt világ talán szívesebben venné, ha Természet helyett Valóság szerepelne az előbbi mondatban. De a gyerekek, akik szeretnek gondolkozni, jobban tisztelik ma természeti környezetüket. A társadalmi valóság talán túlságosan kusza számukra, talán nem is annyira tiszteletre méltó...

> Egy, a gyerekek által megszervezett nyolcnapos mérésben, amikor éjjelnappal óránként vettek mintát a levegőből, mérve annak radioaktivitását, az éjszakai ügyeletet úgy oldották meg, hogy a mérő gyerekpár mellett két mat-fizes egyetemi hallgató is jelen volt. Az ügyeletes tanár néhány szobával arrébb aludni próbált, hogy másnapi óráit el tudja lát-ni.

Hajnali négy óra körül veszekedésre ébred a tanár. Szalad a mérőszobába, ahol egy elsős gimnazista kisfiú síráshoz közel kiabálja az egyetemi hallgatóknak: „De engem nem érdekel a tanár! Engem a radon érdekel!„ Kiderült, hogy az egyetemi hallgatók rá akarták venni a két gyereket, hagyják abba a mérést, hiszen úgy tűnik, van valami szabályosság, ki lehet gondolni olyan számokat, hogy hasonlítsanak az előző mérések eredményeire. Mérés helyett nyugodtan alhatnának, a tanár úgysem fogja felismerni a csalást. Ez a kísértés váltotta ki a diák őszinte felháborodását.

(Tóth Eszter, József Attila Gimnázium, Budapest)

Kutatás és felfedezések

A radon megjelenésének és a szobában történő felgyűlésének sok oka lehet. A mérésekben tíz-százszoros eltérések adódhatnak. A kiugróan magas értékek tapasztalása kutatói izgalomba hozza a mérőket, gyerekeket, tanárokat egyaránt.

Június utolsó tanítási napjainak egyikén a délutáni mérők kétségbeesve törtek be az órámra, hogy azonnal menjek le a mérőhelyiségbe, mert baj van. Addig soha nem mért magas beütésszámot mértek. Lementem, még egy mintát vettünk, és hasonlóan magas beütésszámot mértünk. Egy dologra lehetett felfigyelni: a helyiségben igen furcsa szag volt. Másnap reggel a mérők viszonylag magas értéket mértek, de a délutániak még sokkal többet. A gyerekek óriási izgalommal keresték az okot. Megtaláltuk a „tetteseket". Radiátorokat szereltek le lángvágóval a mérőhelyiség szintjén. Kideríttettük, hogy a munkához használt palackból származott az aktivitást növelő idegen gáz. A tanévvégi felfokozott munkák nem engedték, hogy utánajárjunk, milyen radioaktív anyag jöhetett ki a palackokból, pedig a gyerekeket nagyon izgatta.

(Kovács Ilona, Hunyadi János Gimnázium, Csorna.)

Február 22-én az előző és a következő napokhoz képest kiemelkedően magas beütésszámot észleltünk. (Ez több mint 20-szoros növekedést jelentett.) A kiugró érték megdöbbentette a csoport tagjait, arra késztette őket, hogy a jelenség okát keressék. A meglehetősen különböző feltételezések között felmerült a földrengésekkel való lehetséges kapcsolat is. Ezen ötletből kiindulva vettük fel a kapcsolatot az ELTE Geofizikai Tanszékének vezetőjével, akitől megtudtuk, hogy március 8-án Békés megyében a Richter skála szerinti 2,4 M fokozatú rengés volt. Ez az információ, valamint az a tény, hogy a radonmérő hálózatban részt vevő többi mérőcsoport is észlelt a február 22-höz közeli napokban kiugró értékeket, elképzelésünk igazolását jelentette számunkra. Ám az a tény, hogy nem minden mérőcsoport tapasztalt hasonlót, arra intett bennünket, hogy nem tekinthetjük biztosnak elméletünket.

(Vastagh György, Lóczy Lajos Gimnázium, Balatonfüred.)

A vályogból épült házaknál mértük a legmagasabb értékeket, sorrendben a szilikát és tégla értékei következnek. Találtunk az átlagtól igen eltérő értékeket is, főként a forgalmas utak, autóparkolók mellett lévő házakban elhelyezett detektorokkal. Más esetekben pedig a szellőztetés hiányára derült fény. Érdekes volt számunkra a két egymást követő évben több azonos lakásban mért adatok összehasonlítása. Néhány detektor kivételével az 1991-es adatok magasabbak az előző évinél. Oka talán a csapadékosabb nyár.

(Lehel Vezér Gimnázium tanulói, Jászberény.)

Szabolcs-Szatmár megye tanárai rendszeresen összegyűlnek nyári eszközkészítő táborozásra.

1990-es nyári táborunkat a radonmérés szolgálatába állítottam. Minden tanár egy héten át folyamatosan mért, hogy kellő tapasztalatra tegyen szert, és iskolájában gyerekeivel is kedve legyen hasonló munkák végzéhezvitelére. Egyik csoportunknak az volt a feladata, hogy kideríts annak az okát, vajon miért több mint tízszeres az aktivitás az iskola hidrofor házában annál, amit a környezetben mértünk. Két úton lehetett elindulni: a községi vízmű megépítése előtti saját kút, illetve a vízmű irányába. A saját kút búvárszivattyúval szállította fel a vizet, itt volt várható, hogy a külső cső és a béléscső között szabadon áramoljon fel a radon. Ám a mérés eredménye negatív volt. Ezután indultunk a vízmű irányába. Megkerestük az aknát, ahonnan az iskolához csatlakozik be a vízcső. Az itteni mérés már pozitív adatokat hozott. Ezután kértem meg a vízmű vezetőit, hogy engedélyezzenek méréseket a vízmű telepén is. Az itt végzett mérések is pozitívak voltak. Érdekes lesz azt feltárni, hogy a vízművet ellátó, több kilométeres körzetben lévő kutak melyikéből származik az észlelt magas aktivitás. Ehhez azonban önálló tápegységgel működő eszközt kell készítenünk.

(Gerő László, Mező Imre Gimnázium, Baktalórántháza.)

1988. október 5-én reggel fél nyolckor mértünk először a harmadik emeleti, zárt fizikateremben. Az első öt percben a beütésszám 7200 volt. Kontrollként ugyanaznap délben a nyitott ablakból vett minta 2100 beütést produkált. A gyerekek „örültek„, hogy az iskola épülete ilyen jól mérhetően sok radont bocsát ki magából. A negyedikesek épp aznap tanulták a barometrikus magasságformulát, ezért azt ajánlották, másnap vegyünk mintát a pincében is, a magasságformula szerint ott ugyanis sokkal nagyobb radon jelenlétére lehet számítani. Korábban jöttek másnap iskolába, mintát vettek, és nagy megelégedéssel tapasztalták a harmadik emeletinél jóval magasabb, 12 800 beütésszámot. De ha már minden úgyis együtt van a méréshez, vegyünk ma is kontrollmintát a nyitott ablakból! A mért beütésszám 6 900 volt, megismételve a mérést is-

mét hasonlóan magas, 6 500-as beütésszámot kaptak. Aznap délután a gyerekekkel sok-sok okot végigvitattunk. Végül, egyikük felhívta a Meteorológiai Intézetet. Ott azt mondták, semmi különös nem történt, csak október 6-ára virradóra esett a légnyomás. Néhány napon belül a gyerekek egy csoportja elhatározta, hogy négy napon át éjjel-nappal óránként vesznek mintát a levegőből, és a minta aktivitásának mérése mellett feljegyzik a légnyomást, páratartalmat és hőmérsékletet is, hogy kideríthsék, hogyan függ a radon az időjárástól. Egy októberi hétvégét választottak. Nem is volt könnyű elintézni az iskolában tartózkodást: október 23-a is beleesett a négy napba.

(Tóth Eszter, József Attila Gimnázium, Budapest.)

Országos hálózat

1989-ben az ország különböző városaiból 13 iskola tanára gyűlt össze egy novemberi hétvégén Jászberényben, hogy megbeszéljék az iskolájukban folytatott radonmérések összehangolását.

A jászberényi Lehel Vezér Gimnázium kitűnő házigazda volt minden alkalommal. A radon-témakörben – is – szakmailag jól felkészült tantestület és tanulócsoport szervezésében magas szinvonalú, hatékony minikonferenciákat tarthattunk Jászberényben.

A levegő radontól származó radioaktivitását nagyon sok helyen mérik a világon. A legelterjedtebb mérésnél a mérendő helyre hónapokra kitesznek egy piciny fóliát, ami érzékeny a radon által kibocsátott radioaktív részecskére. Ezután beszedik a fóliákat, és vegyi eljárásokkal mikroszkóppal leolvashatóvá teszik a radonbomlás emlékeit. E tudományosan elfogadott módszerrel hosszú hónapokra átlagolva lehet kideríteni, hogy a szobában, tanteremben, talajban, pincében milyen sok radon volt.

A Geiger-Müller cső nem érzékeny a radonból és egyes utódaiból kisugárzott töltött részecskére. Észreveszi viszont a radon más radioaktív utódai által kisugárzott részecskéket: a béta- és gamma-részecskéket azonnal detektálhatjuk a Geiger-Müller számlálóval. Nem kell tehát hónapokat várni, nincs szükség vegyszeres kezelésre, sem mikroszkópra. A számláló kattogását az egész osztály hallja, a radioaktivitás mértékére jellemző detektált részecskeszám azonnal leolvasható a műszerről. Ráadásul a béta-részecskéket kibocsátó radonutódok viszonylag rövid felezési idejűek. Ezt a gyerekek úgy tapasztalják meg, hogy a porszívózás után találják a legnagyobbnak a géz aktivitását, majd 40 perc múlva feleannyinak, újabb 40 perccel később pedig már csak az eredeti aktivitás negyedét mutatja a számláló. (Egy tanítási óra 45 perces!)

A Geiger-Müller csöves mérésnek további előnye, hogy a szoba levegőjének pillanatnyi radioaktív állapotát mérhetik a tanulók. Azt pedig már csak a hozzáértő fizikusok és gyerekek kedvéért említjük meg, hogy a csöves mérés eredményéből a meglévő radonfajták arányára (radon : toron) is lehet következtetni. A radonos gyerekek egyik legnagyobb nemzetközi elismerésüket éppen e felfedezésükre kapták.

A jászberényi tanártalálkozón voltak, akik rendszeres, naponkénti egy vagy két mintavételre, sőt folyamatos kétóránkénti mintavételre vállalkoztak, voltak, akik különböző helyeken történő gézes mintavételeket részesítettek előnyben. Legtöbben az azonnal kiértékelhető Geiger-Müller csöves méréseket választották, de volt, aki a felnőttkutatásban elfogadottabb, hosszú időre összegző fóliás módszert használta. Évente kétszer a különböző iskolák tanárai, gyerekei összejönnek, beszámolnak egymásnak végzett munkáikról, felfedezéseikről.

Mind a tizenhárom iskolában radonmérő csoport alakult az arra önként vállalkozó gyerekekből. Az első gyerekeket a tanár tanította meg a háttérinformációkra, a mérések technikájára, a később csatlakozókat, a fiatalabbakat már a beavatott diákok. A gyerekek eredményeiből dolgozatok születtek, pályamunkák, Fizikai Szemle-cikkek, sőt hazai és külföldi konferenciák előadásai. A debreceni ATOMKI országos pályázatán a budapesti József Attila Gimnázium gyerekei első díjat, a jászberényi Lehel Vezér Gimnázium diákjai harmadik díjat nyertek. A paksi Atomerőmű Vállalat országos környezetvédelmi pályázatán a jászberényi tanulók és a csornai Hunyadi János Gimnázium gyerekei kaptak díjakat. A gyerekek felelősen szervezték csoportjuk munkáját, élvezték az iskolán kívülről kapott elismerést és érdeklődést. Tanáraik „egy fejjel magasabbra nőttek", valódi kutatást végezhettek, végeznek a tanítványaikkal.

De a tanárok mindegyike a radonmérő hálózat legfontosabb érdemének nem a szakmai sikereket tartja, hanem a mérési folyamatban részt vevő gyerekekre gyakorolt nevelő hatást.

Radon nevelde

A hagyományos iskolai fizikatantervek – és talán nem csak a fizikatantervek – igyekeznek azokat az ismereteket továbbítani, amelyekről sokan: kutatók, tanárok, nevelési szakemberek, mérnökök, orvosok azt gondolják, hasznos lehet a ma felnövő nemzedéknek. Egyre gyakoribb azonban az a nézet, hogy nemcsak a tudásanyag átadására kell figyelni az iskolában, de arra a tevékenységre is, amivel a tanulók felnőtt korukban megtalálják helyüket, képesek lesznek alkotóan beilleszkedni a jövő társadalmába. E tevékenységet előtérbe helyező pedagógiai munkára nehéz gyakorlóterületet találni a hagyományos tantárgyak anyagában.

A tanulói kísérleteztetés, a felfedeztető tanítási mód üdítően hathat a tanári előadás, tanári demonstráció hagyományos módszere mellett. Végső soron azonban ez csupán hasznos pedagógiai trükk: érdekesebb órára szívesebben járnak a gyerekek. Az ezerszer elvégzett mérések megismétlése, a már feltalált dolgok osztálytermi újrafeltaláltatása értékes pedagógiai munka: a gyerekek érzik és méltányolják, ha tanáruk törődik azzal, hogy ők élvezetesen érthessék meg a megtanulandót. Az igazi világtól azonban így is mentális gát választja el az iskolai munkát. Az igazi világban tudósok fedezik fel a felfedezhetőket, nem a gyerekek. Amit ma az iskolában a gyerek kitalált vagy felfedezett, az a tankönyvében, a lexikonokban már régen kinyomtattatott. Az érettségi után pedig nem lesz tanár, aki jó kérdésekkel fedezteti majd fel az ország gazdasági gondjait megoldó törvé-

nyeket, aki kitaláltatja a következő Nobel-díj tudományos állítását, aki rávezet a környezetvédelem legsürgősebb tennivalóira.

A tizenhárom iskola radonmérő csoportjai felismerték, hogy tanáraik a munkatársaik, akik velük együtt találják ki, mi legyen a következő lépés. Gyakran a gyerekek gondolták ki, milyen további mérésekkel lehetne kulcsinformációhoz jutni. Gyerekek terveztek automata mérőberendezést munkájuk megkönnyítéséhez. Gyerekek írtak kifinomult számítógépes programot a nyert adatok feldolgozásához vagy értelmezéséhez. Gyerekek szervezték meg társaikkal a folyamatos mérések gondozását.

> ... az oktatás folyamatában képességek (logikus gondolkodás, lényeglátás, analizálás-szintetizálás, memorizálás) és tulajdonságok (szorgalom, kitartás, pontosság, felelősségtudat) kialakítása ill. ezek továbbfejlesztése, megerősítése, tehát lényegében nevelés folyik. És ennek egy kutatási témában való részvétel – értelmes cél! – mint amilyen például a radonfigyelés is, messzemenően megfelel. Megfelel, mert a mérések naponta történő feltétlen elvégzése, a mérési adatok pontos és hibátlan rögzítése komoly felelősséget jelent a munkával és a többi, mérést végző társsal szemben; pontosságra és áldozatvállalásra nevel. Egy tanuló a mi iskolánkban egy héten keresztül minden nap, szombaton és vasárnap is, a tanítási szünetekben és ünnepeken is mér. Megfelel, mert az összegyűjtött adatok – a két éven át mért 6 féle adat: beütésszám, légnyomás, páratartalom, felezési idő, földrengések adatai – feldolgozása és elemzése szintén komoly kitartást igényel. Fejleszti a lényeglátást, a logikus gondolkodást, az analizáló – szintetizáló képességet és teljesen új összefüggések keresésére ösztönöz. Emellett szinte csak úgy „mellékesen" rádöbbenti a tanulókat arra, hogy mikor, milyen körülmények között jelent nélkülözhetetlen segítőtársat a számítógép (mérőműszer-számítógép on line kapcsolata, a hatalmas adathalmaz feldolgozása). A programozásban jártas tanulóknak ez értelmes, célorientált feladatokat kínál, és egyben kedvet ébreszt a számítástechnika megtanulására azoknak a tanulóknak, akik eddig ilyet nem csináltak.
>
> *(Vastagh György, Lóczy Lajos Gimnázium, Balatonfüred.)*

A radonméréseket csak csoportban lehet megoldani. Egyetlen gyerek vagy tanár nem képes ellátni a mérést. A csoportmunka értelmes munkafegyelemre tanítja, szoktatja a gyerekeket. Nem a tanártól kap ki, aki elfelejt mérni menni, vagy rendetlenül vezeti a jegyzőkönyvet. Társai előtt szégyelli magát, aki rontja a közös munkát. Nagyon sok felnőtt tanulhatna a radonmérő gyerekek közös munkáért érzett felelős magatartásából.

> Megpróbáltuk röviden összegezni, szerintünk miért hasznos egy-egy ilyen diák-kutatómunka, ahol a tanár is a csoport tagja: Sok új – a tan-

anyagon kívüli – ismeretet tanulnak a diákok. Nagyszámú vizsgálati módszert sajátíthatnak el, és megtanulják, hogyan válasszák ki az adott feladathoz legjobban illeszkedő vizsgálati módszert. A mérőcsoport tanulói kiemelkednek a szürke tömegből. Ugyanakkor egy új közösséghez tartozva megtanulnak egymásra támaszkodva dolgozni. Megérzik, megértik az összetartozás fontosságát. A különböző korú diákokból álló csoportban szakmai, majd iskolán kívül is megmaradó barátságok szövődnek. Az évek óta folyó munka tradíciókat teremt, az öregdiákok munkájának, a múltnak értelmes tiszteletére nevel. A diákok közösen élnek meg sikerélményeket, kudarcélményeket, ami ugyancsak közösségformáló erő, rendszerességre, pontosságra nevelődnek. Leírhatatlan örömet, a felfedezés örömét érezhetik. A munka során látottak, tapasz+taltak között kapcsolatokat, okokat keresnek, ami gondolkodásra készteti őket. A tanár új oldaláról ismerheti meg tanulóit, átfogóbban értékelheti személyiségüket, ezzel esetleg jobban segítheti, irányíthatja fejlődésüket. De a tanárt is új oldaláról ismerhetik meg a diákok, a bensőségesebb kapcsolat, a kölcsönös, tartalmas tisztelet hatékonyabb személyiség kibontakoztatást tesz lehetővé.

(Boros Dezső, Csörgő Terézia, Lehel Vezér Gimnázium, Jászberény.)

A radonmérő gyerekcsoportok tagjai közül egyesek szervezőkként ragyogóak, mások megbízható mérők, megint mások az oknyomozásban vagy az irodalomban való utánajárásban tűnnek ki. A gyerekek hamar felismerik, ki miben hasznos, megtanulják értelmesen elosztani egymás között a munkát.

Mivel van már a munkájuknak eredménye, partnerként keresik meg a kutatóintézetek munkatársait, tudják, mire van tőlük szükségük, el tudják mondani saját eredményeiket. Szerencsére egyetlen egyetem, vagy intézet munkatársai sem utasították el a kis „mitugrász" srácokat, sőt bátorították őket. A tanulók tudják, hogy munkájuk nem kisiskolás megjátszás, sőt meglehet értékes kutató munka is.

A gyerekek megtanulják, hogy a tudományos ismeretek nem zártak, hanem nyitottak. Állandóan vizsgálódni kell, és az újabb eredmények tükrében, ha szükséges, módosítani kell a modellt. Tehát egy ilyen kutatómunkában való részvétel igazi természettudományos gondolkodásra nevel. Eközben – éppen a vizsgált területből adódóan – megtanulja a diák felelősen megítélni a radioaktivitást. És ez manapság a szokásos szélsőséges megítélése mellett – oktalanul eltúlzott félelem ill. nagyvonalúan felelőtlen kezelés – egyáltalán nem mellékes.

(Vastagh György, Lóczy Lajos Gimnázium, Balatonfüred.))

Akik ma gyerekek, egyszer szavazni fognak, képviselőket választanak Közülük kerül majd ki a leendő parlamenti képviselő és a miniszterelnök. Biztosak vagyunk benne, amikor felelősen kell dönteniök az energetika, ipar és környezet

kérdéseiben, ők jobban és értőbben odafigyelnek majd a tényekre és a következményekre.

Az összeállítás a 13 radon-mérő iskola tanárai és diákjai által 1991. októberében elküldött beszámolók alapján készült.

Mátraderecskén is mértünk

1992. március 15-től az ELTE Atomfizikai Tanszékének megkeresésére néhány tanár (*Béresné Nemcsák Ilona*, Mátraderecske, *Boross Dezső*, Jászberény és *Tóth Eszter*, Budapest) tanítványaival együtt bekapcsolódott Mátraderecske radiológiai feltérképezésébe.

Mátraderecske a Mátra északi oldalán fekszik, 2650 lakosa van. Tiszta, gondozott falu, barátságos, derűs, egészséges életkor-eloszlású lakossággal. Mátraderecskétől alig két kilométerre van Recsk dél-nyugati irányban, és ugyancsak néhány kilométerre délre van a recski ércbánya két, 1000 méternél mélyebb feltárású aknája, amelyek jelenleg nem üzemelnek, csupán szinten tartják őket. (A hírhedt büntető tábor, a kőfejtő közelében, messze van ide.)

Mátraderecskén, hasonlóan Parádhoz, Parádsasvárhoz, két lényegesen különböző geológiai képződmény találkozik: az andezit, andezites tufa és az oligocénkori agyag. Ilyen találkozásoknál gyakori a szénsavas (csevicés) víz feltörése, gyakran kén-hidrogénes beáramlással. Hasonlóan a híres parádi vízhez, Mátraderecskén is vannak kutak, amelyek szénsavasak, illetve „büdösek" a kén-hidrogéntől.

A község lakóitól tudjuk, hogy az elmúlt évtizedekben a felszín alatti víz szintje több méterrel csökkent. Ugyancsak tőlük tudjuk, hogy a faluban szén-dioxid feláramlása a pincékbe (nem a borokból, hanem a talajból), valamint a csevicés kutak nagyon rég óta jelen vannak. Ezek helye az utóbbi évtizedekben lassan vándorolt. (Meglehet, régebben is, de erről nem tudott senki.) A radioaktív nemesgáz, a radon jelenlétéről, természetesen senki sem tudott a faluban,egészen 1992. februárjáig.

Munkacsoportunk – most már svéd gyártmányú profi műszerekkel, illetve amerikai módszerrel – eddig 90 házat (lakószobát, konyhát, néhány pincét) vizsgált meg. A vizsgált házak szétszórtan helyezkednek el a faluban, bár sűrűségük valamelyest nagyobb abban a zónában, ahol nagyobb aktivitásokat tapasztaltunk. A felmért házak tehát reprezentatív mintának egyáltalán nem nevezhetők. Sőt, ismerve a radonfeláramlás szeszélyes voltát, teljesen nyugodtak csak akkor lehetnénk, ha minden háznak minden szobáját megmérnénk, és a radon megjelenését időben is nyomon tudnánk követni.

Méréseink szerint márciusban négy házban volt az aktivitás az OSSKI által megadott intézkedési szint fölött. Ez a szint 800 radonatom radioaktív bomlása másodpercenként és köbméterenként, röviden: 800 Bq/m^3. (Az időpont, március, fontos! Saját mérések és nemzetközi tapasztalatok azt mutatják, hogy nyáron sokkal alacsonyabb, télen lényegesen magasabb értékek szoktak előfordulni.) A fenti

házak közül kettőben vannak olyan lakószobák, ahol az aktivitás meghaladja a 10000 Bq/m^3-t, kettőben 1000 Bq/m^3 körüli a radonaktivitás. 200 Bq/m^3 alatti aktivitást tapasztaltunk 35 esetben, a többi esetben 200-600 Bq/m^3 a radon jelenléte.

Az eredmények statisztikai értékelése, világ és hazai eredményekkel való összevetése csak akkor lesz etikus, ha egyenletes eloszlásban legalább a falu minden második házáról lesz már mérési adatunk. Ehelyütt inkább olyan eseteket mutatunk be, amelyek érdekesek lehetnek a további kutatások számára is.

D. utca 15. A polgármester kérésére mentünk mérni, mert mások méréséből ő úgy tudta, hogy az a ház magasabb aktivitású, mint az intézkedési szint. 242 Bq/m^3 aktivitást mértünk. A mérés ideje alatt elbeszélgettünk az ott lakó, régebben bányászként dolgozó férfival. Csodálkozva mondtam, hogy milyen változékony szobája van. Most alig mutat valamit a műszer. „Na, ja. Akkor, amikor az előző háromhetes mérés volt, én becsuktam minden ablakot, még az ajtót sem nyitottam ki a három hét alatt, hogy jó nagyot kapjanak. Megtanultam a bányában, hogy az a jó, ha a lehetséges legnagyobbat kapják." Aznap, amikor mi mentünk, úgy élt, ahogyan szokott: rendesen szellőztetett, ki-bejárkált ebbe a szobába is.

Sz. utca 4. Idős néni lakja a kicsi házat. Konyhájában, ahol tulajdonképpen éjjel nappal tartózkodik, 540 Bq/m^3 az aktivitás, szobácskájában, ahová csak akkor megy, ha ruhát vesz ki a szekrényből, vagy befőttet a polcról, 900 Bq/m^3 volt az aktivitás, amikor mi mértünk. Mérés közben megkíséreltük rávenni, hogy szellőztessen gyakrabban. Nem lehetett. Nagyon fázós. Különösen a lába.

Általában igaz, hogy a nagyobb aktivitású házakban idős emberek laknak. (68, 69 éves 600 Bq/m^3, 84 éves 400 m^3, 72, 80 éves hálószoba 150 Bq/m^3, de a pince 150-200 ezer Bq/m^3, 77, 78 éves 10 ezer Bq/m^3 fölött, 75 éves 10 ezer Bq/m^3 fölött, 78 éves 540 Bq/m^3, 94 éves 420 Bq/m^3.) Ez nyilván véletlen. Bizonyára az is véletlen, bár elgondolkoztató, hogy ezek a nénik, bácsik szerencsére egészségesek, életerősek, legtöbbjük ma is dolgozik.

P. utca 2. az egyetlen eddig vizsgált ház, ahol éppen a gyerekszobában tapasztaltunk a megengedettnél nagyobb aktivitást, március 23-án 1020 Bq/m^3-t. Szerencsére a szoba lakója egy nagyon értelmes, 14 éves lány: H. Gabi, aki azóta rendszeresen dolgozik velünk e mérésekben.

Gabi szobájában négy napon át folyamatosan mértünk, tízpercenként rögzítve az aktivitást. E mérésből jól látszott a radon napszakos ingadozása: hajnalban a legnagyobb, koradélután minimális. Ugyanebben a mérésben Gabi önálló kísérletet is csinált: egyik este bezárta az ablakot, másnap estig nem ment be a szobába, végig zárt ablakkal mért. A többi napon rendszeresen (és tudatosan) szellőztetett. A mért eredmények meggyőzően mutatták a szellőztetés pozitív szerepét a radon mennyiségének lecsökkentésében: a szellőzetlen napon az aktivitás csaknem kétszerese volt a normálisan szellőztetett napokénak; a szellőztetés megkezdésekor tizedére, huszadára csökkent az aktivitás. Ugyanebben a szobában márciustól május közepéig többször végeztünk mérést. Az eredmények azt mutatják, hogy a radon mennyisége a nyár közeledtével folyamatosan csökken.

Gabi személyi dózismérőt is kapott. Rajta kívül a faluban eddig 12 gyerek hordott magával hasonló méretű eszközt, mindegyiküknél a magyar átlagdózishoz közeli besugárzást mértünk a vizsgált időszakban. Gabi az egyik ilyen hatnapos méréskor hat és félszer nagyobb dózist kapott, mint más alkalommal, illetve mint a többi gyerek. A dózismérő viselésekor minden gyerek részletes naplót vezetett arról, hogy hol töltötte napjait. Ennek alapján próbáltuk megfejteni Gabi egyszeri nagyobb dózisát. Még nem tudjuk biztosan az okát. De e kutatás közben olyan jelenséget vettünk észre, amilyenekről addig csak könyvekben olvastunk.

Gabiék fürdőszobájában megmértük az aktivitást: 65 Bq/m^3. Ezután kinyitottuk a zuhanyt és 20 percen át engedtük. Ezzel párhuzamosan mértünk. 18 perc múlva már 300 Bq/m^3 lett a fürdőszoba levegőjének aktivitása. A vizet nem a hálózatból, hanem a saját kútból szivatják fel. A kútban a víz felülete csaknem 9 m mélyen van. A vízfelszíntől 6 méter magasságban többezer Bq/m^3 a levegő radonaktivitása. Egyébként a gyerekszoba három méterre van a kúttól.

Az újságírók szeretnek bolhából elefántot csinálni. Így történt Mátraderecskével is. Pöfögő radioaktív pokolról jelentek meg újságcikkek, rádióban katasztrófáról, 50 család kiköltöztetéséről múlt időben beszéltek. A tény azonban az, hogy két olyan ház van, amely lakhatatlan, elsősorban a szén-dioxid miatt, ezek közül is az egyikben csak a nyári konyhába kellett átköltözniök a lakóknak.

A radioaktivitás csaknem olyan, mint az elektromos áram. Aki nem érti, azt agyonütheti. Aki tudja kezelni, veszélytelenül élhet vele, akár hasznára is fordíthatja. A radont nem látni, szaga sincsen, hatása csak évek múltán jelentkez*het* bizonyos valószínűségi törvények szerint. Az emberek, akik évtizedek óta békésen élnek ebben a gyönyörű völgyben csak azt látják, hogy tudósok jönnek-mennek gondterhelt arccal, turistákat elriasztó cikkek jelentek meg, házaik értéke rohamosan csökken. Egészséges veszélyérzete csak annak a nagyon kevés embernek van, akik vagy maguk tapasztalják a szén-dioxid okozta légszomjat, vagy akik megtanulták, mit jelent a magasabb radonkoncentráció.

Tanárként, és nem kutatóként azt tartom nagyon fontosnak, hogy az ott lakók megértsék: mi módon lehet együttélni a szobába beszivárgó radonnal. Ezért vagyok hálás az ELTE Atomfizika Tanszékének: már jóval a mátraderecskei radonszivárgás felismerése előtt sok iskolában lehetővé tette, hogy a diákok „élőben" találkozzanak a radonnal. Így a gyerekek a mátraderecskeiekkel való kommunikációban a jelenséget éppoly természetesnek vették, ahogyan azt odahaza tették, (tehát nem vészterhes katasztrófaként kezelték, mint sokan a felnőttek közül). Ugyanezért dolgozom szívesen együtt a helyi iskola fizikatanárával, Béresné Nemcsák Ilona tanárnővel, aki okosan, tanítványain keresztül próbálja korrekten tájékoztatni a felnőtteket is. Talán így sikerülni fog a pánikot is elkerülni, és egészségesnek is maradni.

Az iskolai radonmérések életközelbe hozták a radioaktivitást. A mátraderecskei radonmérések megmutatták(ják) a fiataloknak, hogy a fizika tudása erkölcsi felelősség vállalásával is jár.

MARX GYÖRGY

Kockázat

Zérus kockázat nem létezik
Kemény János

Az aggódás kora

– *Ha úttesten mégy át, előbb balra nézz, majd az úttest közepén jobbra* – szoktuk oktatni gyermekeinket, de nem tesszük hozzá: – *nézz fölfelé is, épp nem dől-e rád egy kémény, vagy nem zuhan-e fejedre egy repülő.* – Pedig utóbbinak is zérustól különböző a valószínűsége, például az Egyesült Államokban évente meghal egy-két ember rázuhanó repülőgéptől, az ilyen halál kockázata ott 1/100 000 000 év körül járhat. Ezt köznapi tapasztalat alapján elhanyagolhatónak (értsd: gyakorlatilag *zérusnak*) ítélik.

A *kockázat* (rizikó, riszk – mint „reszkíroz") matematikai értelmezése a következő:

$$R = W * K,$$

ahol W a bekövetkezés valószínűsége, K pedig a következmény súlyossága. ($W=1$ a bizonyos bekövetkezést jelenti. (Halálesetben $K=1$.) A valószínűség értelmezése szerint, ha N személyt teszünk ki ugyanakkora R kockázatnak, akkor a kollektív kockázat (a várható halálesetek száma) $N * R$. – Hogy egyszerűen beszélhessünk, vezessük be a *mikrorizikó* fogalmát: $R = 1/1\ 000\ 000$ kockázat. Ha egymillió embert egy mikrorizikó kockázatnak tesznek ki, akkor 1 halálos áldozat várható. Nemzetközi megítélés szerint ekkora kockázattal jár:

2500 km utazás vonaton,
2000 km utazás repülőn,
80 km autóbuszon,
65 km autón,
12 km kerékpáron,
3 km motorkerékpáron,

másfél cigarettát elszívni,
két hónapot dohányossal élni,
fél liter bort meginni,
tíz napot téglaházban lakni,
három napot Budapesten lélegezni,
két percig sziklát mászni,
öt éven belül méhcsípéstől szenvedni,
tíz éven belül villámcsapást kapni.

Ezen adatokat nézve és a közvélekedéssel egybevetve látható, hogy az emberek 1 mikrorizikó kockázatot nem tekintenek figyelemreméltónak.

1987-ben Kalifornia államban kétharmados többséggel elfogadták az *Ismeret Joga* néven emlegetett törvényt, amely többek közt kimondja, hogy *„Egy embert sem lehet tudva vagy tudatlanul kitennünk olyan kémiai hatásnak, ami rákos vagy genetikai károsodást okoz, anélkül, hogy e veszélyre figyelmét előzőleg felhívnánk."* Node mi a *zérus kockázat*? Ilyen nem létezik. A fizikus talán azt felelné: *Amit nem tudok kimutatni.* (De miért nem dolgozol ki pontosabb módszert?) Végül a kaliforniai jogászok abban állapodtak meg, hogy 10 mikrorizikó a figyelmeztetés nélkül okozható kockázat mértéke. Ezért kell ott minden pakli cigarettára rányomtatni a figyelmeztetést: *A tisztifőorvos szerint ez ártalmas lehet az Ön egészségére.* Ezért nem volt szabad hazánkban cigarettát hirdetni. (Ma mindenütt harsog a MARLBORO és a CAMEL, ezeket olvasva a tizenévesek biztosan nem az ősi arisztokráciára és a púpostevére gondolnak.)

10 mikrorizikó kockázat önmagában kicsinek tűnhet. De kiszámíthatjuk a *kollektív kockázatot.* Ha a Kaliforniában jogilag megengedett $R_M = 10$ mikrorizikó *maximális* kockázat pl. 10 milliós lakosság minden egyes egyedét éri, ez $N * R_M = 100$ várható halálesetet jelent. A fenti korlátozás ebben a megvilágításban nem is tűnik olyan csekélynek.

A kockázatbecslések *tálalásának* kétféle lehetősége nagy kísértést kínál a közvélemény újságírói manipulálására. Pl. a harrisburgi reaktor üzemzavara alkalmával a radioaktivitást nem engedte kiszabadulni a megerősített bezáró épület. A használhatatlanná vált reaktor megtisztításakor azonban a kémiailag megfoghatatlan aktív nemesgázok kikerültek a légkörbe. A környező hatmillió lakost érő plusz sugárterhelést az egyik lap így kommentálta: A rákveszély megnövekedése nem több, mintha fél cigit elszívnál egy alkalommal. (Ugye milyen megnyugtató?) Egy másik újság így írt: A felelőtlenség várhatóan két ártatlan polgár életébe kerül. (Ugye milyen szörnyű?) Csak szorozni kell tudnunk: a két közlés matematikailag egyenértékű!

Kérem tehát a kollégákat, *akik ezeket az adatokat olvassák, írástudói felelősséggel idézzék azokat.* Nem egyetlen kiragadott számmal való érvelésre, hanem racionális értékelésre kell ma nevelni hazánkban. Európaivá kívánunk válni. A magyar népnek a közeljövőben komoly döntéseket kell hoznia. Felelős választásra – nyugati tapasztalatok alapján – csak erre felkészült, erre előkészített, a föltett kérdés reális alternatíváit felfogó és racionálisan dönteni képes állampolgárok közössége vállalkozhat.

Nem minden foglalkozási ág kockázatmentes. Így pl. a kereskedelmi szakmában a kockázat néhány mikrorizikó évente. Gyárakban 10–100 mikrorizikó/év. Közlekedésben és építőiparban 400 mikrorizikó/év. Szénbányászatban 800 mikrorizikó/év. Elektromos távvezeték építésénél 1200 mikrorizikó/év. Tengeri olajkutakon dolgozva 1500 mikrorizikó/év. Mélytengerészeti halászat: 1800 mikrorizikó/év. Az Egyesült Államok elnökének lenni több ezer mikrorizikó/év.Az átlag polgárnak néhány mikrorizikó kockázattal kell szembenéznie.

Alvin Weinberg idézte, hogy a társadalomban félelem hatalmasodott el az ipari és műszaki forradalom veszélyeivel kapcsolatban, annak ellenére, hogy az ipari forradalom kibontakozása óta az iparosodott országokban az átlagos emberi élet kétszeresére nőtt, kétszerese a fejletlen, értsd: ipar által még nem veszélyeztetett országokban tapasztalt átlagos életkornak. (Hazánkban az élet születéskor várható időtartama 1900 óta 35-ről 70 évre emelkedett.) Ezért beszél Weinberg a jelen békés évtizedekről mint az aggódás koráról. Az aggodalom egyik összetevője az ismerethiány és a racionálisan reális gondolkodásban való iskolázatlanság. Ez nem csupán az átlag honpolgárról, hanem az újságírókról, riporterekről is elmondható. A realitás egyik eleme az a tény, hogy végül is valahogy meghalunk. 10 millió főből évente többen meghalnak különféle okból:

szívbetegség	36 000
egyéb keringési betegségek	29 000
daganatos betegségek	28 600
tüdőbaj	1 000
más fertőző betegségek	1 300
cukorbetegség	2 000
légzőszervi meghűléses betegség	7 600
máj, vese, prosztata, fekély	6 700
szülés, vetélés, magzati, genetikai	2 200
egyéb betegségek	22 870
alkohol	1 000
gyilkosság	300
öngyilkosság	4 900
motoros közlekedés	2 600
vasúti közlekedés	230
repülő közlekedés	10
egyéb járműbaleset	30
otthoni baleset	1 300
egyéb baleset	3 500

A durván mintegy 150 ezres nagyságrendű halál-okból 78 ezer volt a férfi és 72 ezer az elhúnyt nők száma.

A tüdőbaj áldozatainak száma meredeken csökken a tüdőbajellenes oltóanyag használatának köszönhetően. A környezeti ártalmak rosszabbodása (és a dohányzás hazai terjedése) miatt viszont meredeken emelkedik a tüdőrák okozta elhalálozások évi száma.

év:	1930	1948	1960	1970	1980	1990
tüdőbaj:	17 000	10 000	3000	2000	1250	1000
tüdőrák:	360	800	2300	4000	5700	6400

13 év alatt, 1975 és 1988 között az asztmás megbetegedések száma 10-szeresére, az idült hörghurutos megbetegedéseké 2,4-szeresére növekedett. 1960 és 1987 közt a légzőszervi rosszindulatú daganatok száma közel 3-szorosára nőtt. Jelen hatósági becslések szerint hazánkban évente a halálokok több mint 6%-a a levegőszennyezés: 10 000 fő/év. Ezt a városi és falusi életmód kockázatainak egybevetéséből lehet kiolvasni. Százhalombattán, ahol az olajerőműben a feldolgozás után visszamaradt nehézolaj eltüzelésével termelik a villamos energiát, a gyerekek légzőszervi megbetegedéseinek száma még a magas budapesti értéknek is a háromszorosa! Összehasonlításul: a lakások szellőzetlensége 500 fő halálának oka évente.

Az egyéni kockázatot talán célszerű életkormegrövidülés nyelvére lefordítani. Életkor megrövidítő „szokásaink" becsült hatása:

férfinak születni	– 3000 nap
agglegényként élni	– 3000 nap
10 cigit szívni naponta	– 450 nap
közlekedni	– 120 nap
évi 1 tüdőröntgenre járni	– 120 nap
1 kg súlyfölösleg	– 90 nap

Ha napi egy pakli cigarettát szív el valaki, egész élete során $R = 25\%$ kockázatot gyűjt össze arra vonatkozólag, hogy tüdőrákban fog meghalni. Ha valaki napi 7 órát tölt el egy szobában, ahol mások dohányoznak, akkor ez a közvetett dohányzás 0,1% kockázatot (100 000 mikrorizikót) jelent számára élete során.

Kémiai kockázatok

Az ólom a legelterjedtebb kémiai mérgek egyike, amely ólomból készült vízvezetéki csövekből kerül ivóvizünkbe, ólomtartalmú benzint fogyasztó autók kipuffogógázaiból tüdőnkbe, ólmos festékrétegekből minden tárgyat megnyaló gyermekeink szájába. A kisgyermek kalciuméhes szervezete az ólomatomokat összetéveszti a kalciumatomjaival, kalcium helyett beépíti egyes enzimfehérjékbe, így azok működésképtelenekké válnak. Ez túlzott mozgékonyságot, sőt intelligenciacsökkenést okozhat. A felnőtt nyugodtabban válogató szervezete már sikeresebben védekezik ólommérgezés ellen. Európai, amerikai szabványok a gyermek vérében nem engednek meg többet 10 milliomodrész ólomnál. Az Egyesült Államokban a gyermekek vérének átlagos ólomtartalma 6 milliomod rész, de egyes európai városokban (Párizs, Athén, Szófia, Budapest) eléri a megengedhető szintet, sőt több százalékuknál a 30 milliomodrészt is túllépi.

Sok lakásba ólomcsövön érkezik a víz, pedig az angol szabvány megtiltja az 50 milliomodrésznél több ólmot tartalmazó víz fogyasztását, tehát lakások ezreinek-millióinak vízvezetékcső-cseréje Angliában is, nálunk is milliárdokba kerülne. Egyes lakásokban a vízvezetéki víz ólomkoncentrációja a megengedett érték

tízszerese-százszorosa lehet. Különösen a lágy (savanyú kémhatású) víz oldja az ólmot. Legjobb a vizet jól kieresztení a csapból, mielőtt ivópoharakba töltjük.

Japánban csak ólommentes benzint forgalmaznak. Az Egyesült Államokban az ólommentes benzin részaránya 95%, Németországban 63%, az Európai Közösségben 33%, nálunk csak pár %. (Nem csoda: az ólommentes benzin Németországban olcsóbb és mindenütt tankolható. Nálunk drágább és ritkább így ösztönzünk ólommentes fogyasztásra. Nagy nevelő a pénz!) A hazai benzin ólomtartalmát 1992-ben csökkentették 500 milliomodról 150 milliomod részre.

Az ólom – sajnos – nem bomlik magától. Nehéz eltávolítani az idegrendszerileg károsult gyerekek szervezetéből. Minden egyes ólomatomot molekulacsapdába kell zárni, de egy ilyen kelát-kezeléssorozat gyermekenként 100 000 dollárba kerül. Pedig régi ólomszennyezett városmagokban gyermekek százai szorulnának ilyen kezelésre. A magyar gyermekek tejfogának ólomtartalma 1–3 milliomod rész.

A kémiai kockázatokat nehéz számszerűen megadni. Az Egyesült Államok Környezetvédelmi Hivatala egyszerűség okából arányos, tehát küszöbmentes kockázat/dózis összefüggést fogadott el a rákkeltő kémiai anyagokra vonatkozóan. A lineáris függés például 0,1 mikrorizikó/mg arzén esetében. Dél-Magyarországon az ivóvíz maximálisan megengedett arzéntartalma 0,05 mg/liter. Ha valaki naponta 1 liter vizet fogyaszt ebből a vízből, 1 év alatt összeszed 1 mikrorizikó rákkockázatot. (Vannak tízszerte több arzént tartalmazó kutak is. Az 1980-as években megtiltották ezek használatát, mert évente 10 mikrorizikó rákkockázatnak teszik ki azt, aki belőlük rendszeresen iszik, ez pedig megengedhetetlen.)

A tényleges hatást bonyolítja a méreg szervezetben történő visszatartásának mértéke, különböző rákkeltő anyagok együttes támadása, biológiai válasz nem lineáris jellege. Például tekintsük a cigaretta és az alkohol együttes rákkeltő hatását. Nem dohányos (10 cigarettánál kevesebb naponta) és nem ivó (40 g alkoholnál kevesebb naponta) számára is létezik valamilyen rákkockázat. Ha valaki erős dohányos (20-nál több cigaretta naponta), a kockázat 5-szörös. Ha valaki erősen iszik (80 g-nál több alkohol naponta), a kockázat 18-szoros. De ha valaki füstöl és iszik, kockázata 44-szeres. A szervezet védekező, hibajavító rendszere nem képes leküzdeni több rákkeltő anyag együttes támadását.

Napozni jó

„Angolkóros leszel, ha nem mégy a napra" –mondta gyerekkorunkban a nagypapa. Valóban: a közeli lágy ultraibolya sugárzás elősegíti a D-vitamin szintézisét.

Az első emberek Afrikában jelentek meg, ők nyilván feketék voltak. Mikor a túlnépesedés egy részüket Európába szorította, egy pigmentképződést csökkentő mutáció előnyös volt, mert a bőr több napfényt hasznosíthatott, a szervezet gyengébb napfényben is elegendő D-vitamint termelhetett. Európában kvarcolást ajánlanak az orvosok a sötét téli délutánokra.

A napfény kemény ultraibolya fotonjai szétverik a légkör molekuláit, így jön létre az ionoszféra. A mélyebb légrétegeket csak a lágyabb ultraibolya fotonok és a látható fotonok érik el. A Föld létének első milliárd éve során az ultraibolya fotonok támadása a komplex szerves molekulák fennmaradását lehetetlenné tette. Élet nem merészkedhetett ki a szárazföldre. A tengerek zöld planktonjai azonban oxigént pumpáltak a légkörbe fotoszintézis révén ($h\nu + CO_2$ $C+O_2$, O_2+O O_3). Az ózon (O_3) vegyértékszöge kb. 120°, benne 0,25 nm hosszú pályára delokalizált elektronok is vannak. Ezek elnyelik a lágy ultraibolya fotonokat. Az ózonpajzs védelme alatt foglalta el az élet a szárazföldeket.

A nyolcvanas években vették észre angol kutatók, hogy az ózonpajzs az Antarktisz fölött akár 1/6 részére is elvékonyodik. 1990-ben a vékonyodás rekordmértékű volt. A tetteseket sikerült a színhelyen tetten érni: a freon típusú (C, F, Cl-ből összetett) molekulák (spray, hűtőszekrény, légkondicionáló anyagai) nagyon tartósak, kidiffundálnak a sztratoszférába, ott szétesve katalizálják az ózon lebontását. Az ózonpajzs összetörése a szárazföldek ultraibolya besugárzását, az élővilág károsodását, az emberek számára a bőrrák terjedését jelentené. Ezért foglalt állást a freon típusú vegyületek visszaszorítása mellett a Torontói Konferencia, amelyen a magyar kormány képviselője is részt vett.

Az Egyesült Államok (Reagan, volt elnök bőrrákot szenvedett orra miatt is) különösen érzékeny az ózonpajzs védelmére. Ott a fehérbőrűek közt a rákesetek 40%-a bőrrák; háromszor akkora gyakorisággal fordul elő a napfényes Texasban, mint az esős Iowában. Legtöbb a bőrrák Ausztráliában, melynek sivatagi szubtrópusi éghajlata, antarktiszi közelsége különösen érinti a szőke- és vöröshajú lakosságot. De a bőrrákesetek száma hazánkban is mintegy kétszeresére nőtt 20 év, négyszeresére 40 év alatt.

Az Egyesült Államok Környezetvédelmi Hivatalának becslése szerint az ózonréteg 1%-nyi ritkulása az ultraibolya besugárzás 2%-os növekedését eredményezi, ami becslés szerint 3%-al növeli a bőrrákesetek számát, egyes mezőgazdasági termékek hozamát pedig 6%-kal is visszaveti. Ilyen csökkenés csak az Egyesült Államokban többezer, világszerte több tízezer bőrrákesetet és több százezer szemhomályosodást jelent évente. Vannak jelek, hogy ez máris bekövetkezett: 1991-ben az északi mérsékelt övben 3%-kal ritkább volt az ózonréteg. A spraydobozok és kilyukadt hűtőszekrények hazánkban is összehoznak száz megamelanomás többlet halálesetet évente: a bőrrák-statisztika nálunk is emelkedik.

Időjárási tényezők az Antarktiszon különösen kedveznek a freon-típusú vegyületek ózon-pusztító hatásának. Ezeket a vegyületeket elsősorban az Északi Féltekén gyártják és használják, évente több százmillió tonnát. A fluor-szén-klór kémiai kötések nagyon polárosak, így nagyon erősek. Ezért olyan tartós a konyhaedények teflon-bevonata. Az ilyen molekulák gyülnek a légkörben, a most kiszökő freon hatása 15–60 éven át érződni fog. Egyes molekulák 400 évet is megélnek! A freonból keletkező Cl_2O koncentrációja egymilliárdod részt, mindenkori rekordot ért el 1991/1992 telén Európa fölött!

Az ultraibolya sugárzás molekulák gerjesztése, a kötések megbontása által hat. A következőkben a legjobban kikutatott, legpontosabban mért, leginkább

számon tartott jelenségkörrel foglalkozunk: az ionizáló sugárzások kockázataival. Igaz, a biológiai és kémiai kockázatok nagyságrendekkel magasabbak. Az ionizáló sugárzás azonban a többinél nagyobb szakmai figyelmet váltott ki, így példaértékű következtetéseink nagyságrendileg helytállóak. Választjuk ezt a példát annak ellenére,hogy a fizikatanárok joggal kérdezik: miért csak a fizikatankönyv foglalkozik sugárártalommal, amikor a kémia-, biológia-, technikatankönyvek ezeknél súlyosabb veszélyekről hallgatnak? Természettudományos gondolkodásban iskolázatlan emberek hajlamosak úgy vélni, hogy „amelyik kockázat mérhető, az veszélyes; amelyiket eddig mennyiségileg nem tudták jellemezni az veszélytelen." Látni fogjuk: nagyon kis sugárdózisok is mérhetők, tehát kockázatuk számmal megadható. Nagyságrendekkel magasabb biológiai, kémiai, mechanikai kockázatokról sokkal kevesebbet tudunk. Nem szabad abba a hibába esnünk, hogy a verébre lövünk ágyuval. Hogy ez ne történjék, erre kell nevelnünk.

Radioaktivitás

Az *aktivitás* egysége 1 Bq (Becquerel) = 1 bomlás/s. Ha a felezési idő T, akkor N atomból álló minta aktivitása:

$$A = Mn2/T = 0{,}7/T.$$

A radioaktív bomlás során ionizáló sugárzás keletkezik. Az emberi testben keltett ionok együttes ionizációs energiája tekinthető az ionizáló sugárzás által előidézett változás mértékének. A dózis az elnyelt ionizációs energia és testtömeg viszonya, egysége 1 Gy (gray) = 1 Joule/kg.

Egyező dózisérték esetén nem minden sugárzástípus kelt azonos biológiai hatást. Ha a sugárzástípus biológiai kvalitását egy Q faktorral vesszük figyelembe, akkor a *hatásos dózis* (dózisegyenérték) a $H = Q * D$ képlettel értelmezhető.

$Q = 1$	röntgen-, gamma-, bétasugárzás esetén,
$Q = 2$	lassú neutronokra,
$Q = 10$	gyors neutronokra,
$Q = 20$	alfa-részekre, maghasadás termékeire.

(Magyarázatképpen: a röntgen-sugarak kis valószínűséggel ionizálnak, egy sejtre egy ion jut vagy egy sem. Az alfa-récsecske nagyobb töltése révén egy sejten belül kelt sok iont, ezért nagyobb az esélye, hogy egy sejten belül maradandó változást idézzen elő.) A hatásos dózis egysége 1 Sv (sievert) = 1 J/kg. A lakosságot kevés kivételtől eltekintve elsősorban röntgen-, gamma-, béta-besugárzás érheti, ezért a dózis és hatásos dózis fogalmát (pongyolán, de némileg iondokolhatóan) egybemossák. Mértékéül a millisievert = 0,001 Sv = 1J/1000 kg (foton vagy elektron hatására) mennyiséget használják, mert ez az átlag embert érő hatásos dózisok nagyságrendje.

Az ionizáló sugárzás által keltett ionok durván megzavarják a sejt enzimek által finoman, komplex organikus hálózat részeként szabályozott biokémiai reakciórendszerét, ezért feltétlenül *kockázat forrásai*. Tudjuk például, hogy 10 Sv dózis feltétlenül halálos, 5 Sv pedig 50% valószínűséggel vezet halálhoz. 3 Sv dózis napokon belül akut tünetekre vezet. Ilyen dózist ember csak egészen kivételes alkalmakkor szenvedett el. (Hirosimában és Nagaszakiban a bomba epicentruma körül húzott 1,5 km sugarú körön belül, Csernobilban az atomerőmű területén.) Az emberek nagy tömegét érő fenyegető dózisok ennél kisebbek. Hogyan lehet ezek leukémia-, rákkeltő késleltetett kockázatát megbecsülni?

Hirosimában és Nagaszakiban volt egy zóna (az epicentrum körül 1,5–2,5 km sugárral vont körgyűrűben), ahol sokan kaptak 0,1 Sv nagyságrendű halálos dózist. Ezen emberek által elszenvedett dózisok nagyságát megpróbálták utólag rekonstruálni (házban vagy kívül tartózkodtak, a házban hol? milyen anyagból épült a tetőzet?), és figyelemmel követték sorsukat, haláluk okát a következő évtizedekben. A kapott statisztikát egybevetették a más városokban élő japán lakosság adataival. A kivonás által nyert becslés azt mutatja, hogy 100 mSv hatásos dózis a leukémia és rák kockázatát (ami összesen 20%) mintegy 2,5%-kal növeli meg. Hasonló nyomonkövetés folyik Csernobil térségében is. Ha elfogadjuk a *kockázat/dózis* függvény linearitását, az egyenes meredeksége

50 mikrorizikó/mSv

értékűnek adódik. A Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság (ICRP) hivatalos becsléseiben ezt a kockázati tényezőt használja. Különösen nagy dózisoknál e kockázati tényező dupláját kell alkalmazni.

Megjegyzendő: a hirosimai és nagaszaki bombák hatása alapján becsült rákkockázatról Sohei Kondo tokiói orvosprofesszor Balatonfüreden tartott előadást (Fizikai Szemle 1990/3). Ebből kitűnt, hogy az ember esetében az ionizáló sugárzás testi kockázata bizonyított, de genetikai ártalmat nem sikerült kimutatni. (Mintha a női szervezet önként elvetélné a megtermékenyült, de károsultnak bizonyult petesejtet, így belőle nem fejlődik magzat.)

Mit is jelent 1 millisievert hatású dózis kockázata? $R = 50$ mikrorizikó rákkockázatot.

Ezzel egyenlő három pakli cigit elszívni,
25 liter bort megiszogatni,
600 km hosszan kerékpározni,
3000 km hosszan autózni,
naponta kétszer átkelni egy forgalmas úttesten egy éven át,
egy veseműködés-röntgenvizsgálaton átesni.

Vállalna-e Ön ekkora kockázatot? (A várt válasz: attól függ, hogy minek az érdekében.)

Az Amerikai Egészségügyi Minisztérium és a Környezetvédelmi Hivatal a mérgező, rákképző kémiai anyagok kockázatát az anyagmennyiséggel lineárisnak fogadja el. Így pl. 1 mg As testbe jutva 0,1 mikrorizikó, ugyanennyi Cd 1,3 mikrorizikó, 1 mg Be pedig 5,3 mikrorizikó kockázattal jár. A linearitást feltételezve egyetlen As atom $0{,}125 * 10^{-25}$ kockázatot, egyetlen Cd-atom $2{,}2 * 10^{-25}$ kockázatot, egyetlen Be-atom $0{,}8 * 10^{-25}$ kockázatot okoz. Egyetlen kemény röntgenfotonnál ez a valószínűség $3 * 10^{-16}$. Elképesztően kicsiny számok. De ne felejtsük el a kockázat statisztikai értelmezését! Egy rulett pörög, amin háromezer billió különböző szám van, de a tét: élet vagy halál. Egyetlen kemény foton is halált okozhat, miként a kémiai szennyezésnél egyetlen molekula, biológiai fertőzésnél egyetlen vírus. Ezért a nemzetközi szabvány így fogalmaz: *a lakossági sugárterhelés olyan kicsivé teendő, amennyire ez ésszerűen lehetséges.* (As low as reasonably achievable. ALARA-elv.) Ez pl. a tüdőszűrés gyakorlatára így fordítható le: a felfedezett tüdőrákesetek száma legyen nagyobb, mint a röntgenezés által kiváltott leukémiás megbetegedések száma.

Hazánkban előírás, hogy a lakosság előidézett sugárterhelése ne haladja meg az 5 mSv/év értéket. Orvosi vizsgálatok – életveszély elhárítása érdekében – ezt túlléphetik. Foglalkozási – sugárvédelmi pótlékkal ellensúlyozott – sugárterhelés nem lépheti túl az 50 mSv/év értéket. A paksi atomerőműben dolgozók ezt a dózist messze nem érik el. Az atomerőműben kapott eddig legnagyobb személyi dózis 33 mSv/év volt.

Miként árt az ionizáló sugárzás?

Főleg vízből vagyunk. Ezért az ionkeltés valószínű folyamata:

$$\text{foton} + H_2O \quad H^+ + OH^- \text{ (töltött ion!)}$$
$$OH + OH \quad H_2O_2 \text{ (oxidálószer!)}$$

Mind a töltött részecske, mind a hidrogén-peroxid erősen megzavarja az enzimek által finoman szabályozott biokémiai ciklus-hálózatot. A sejt belseje H-gazdag redukált összetételű, amit az oxidáció tönkretehet.

Hasonló ártalmas hatása volt egykoron annak, hogy a növényi fotoszintézis oxigénnel dúsította fel bolygónk légkörét. Ez volt az első nagyszabású légkörszennyezés, amely pusztítóan hatott a felkészületlen sejtekre. Később az élőlények hatékony H_2O_2-ellenes védelmet fejlesztettek ki, amely ideig-óráig véd az oxigén támadása ellen (kataláz, szuperoxid-diszmutáz enzimek). E szerint *az oxigénlégzés és az ionizáló sugárzás hasonló módon támadja a sejt működést.* A szárazföldi életre felkészült sejtek ezt késleltetni képesek, de kivédeni nem. (A relatívan több oxigént fogyasztó, gyorsabb anyagcseréjű egér csak 1 évet él meg.) Ha 1 mSv/év sugárdózis 50 mikrorizikó/év kockázattal jár, 60 éves életkorral számolva ez 3 ezrelék kockázat. De az emberek 20%-a rákban pusztul el. Ezt James Lovelock légkörkémikus, a bioszféra-organizáció GAIA-modelljének megalkotója legújabb könyvében úgy értelmezi, hogy a lélegzés ténye kb. 70 mSv/év sugárdózisnak megfelelő, vele azonos kockázatnak tesz ki mindnyájunkat. Hagyjuk abba a lélegzést? Ostoba kérdés.

A légkör szabad, kémiailag aktív oxigénje fokozott aktivitást tett lehetővé, fákat, állatokat, embereket, kultúrákat teremtett. Szervezetünk elég jól védekezik ellene. Ugyanilyen dilemma az ionizáló sugárzás is. Gyógyíthatatlan leukémiát kelthet és gyógyítható tüdőrákot fedezhet fel. A nukleáris energia realizálódhat radioaktivitást szétszóró atombomba és radioaktivitást fedő alatt tartó atomerőmű formájában.

Számolj saját aktivitásoddal!

Egy liter vízben (húsban) van 1000/18 mól víz, azaz $(1000/18) * (6 * 10^{23})$ darab H_2O molekula, összesen 10^{26} db atom. Egy 75 kg tömegű úr teste ezek szerint $750 * 10^{25}$ darab atomot tartalmaz. Milyen atomokat? 10^{25} atom egységekben számolva

H	450
O	185
C	75
N	19
Na	16
Ca	1
P	1
S	0,7
K	0,3
Rb	0,001

A H, O, C, N a legfontosabb biokémiai vegyületek (tápanyag, fehérjék) szükséges alkotóelemei. A P a DNS-ben, az S egyes fehérjékben, a Ca a csontban fordul elő. Na és K fontosak az iontranszportban, pl. K^+ ionok mozgása révén „gondolkozunk". A szervezet a Sr-ot gyakran „összetéveszti" a Ca-mal és beépíti a csontba. A Cs-ot és Rb-ot összetéveszti a K-mal és szintén magába gyűjti, a periódusos rendszerben egy oszlopban található elemekről lévén szó.

A légkört kívülről a kozmikus sugárzás nagy energiájú protonjai bombázzák. Ezek a felső légkörben magrombolást végeznek, többek közt neutronokat szabadítanak ki. A neutronok a levegő nitrogénjéből a

$$n + {}^{14}\mathrm{N} \rightarrow {}^{14}\mathrm{C} + p$$

reakció szerint folyamatosan termelik a ^{14}C izotópot, amely radioaktív: 5700 év felezési idővel (0,02 pJ maximális energiájú) béta-elektronokat bocsát ki magából. Keletkezik és bomlik, egyensúlyi koncentrációja $^{14}C/C = 10^{-12}$. Mivel a 75 kg tömegű úr testében $75 * 10^{25}$ szénatom van, ez 750 billió darab ^{14}C atomot jelent. Közülük az $A = N * \ln 2/T$ képlet szerint másodpercenként 3000 bomlik el:

$$A(^{14}C) = 3000 \text{ Bq}.$$

A Napban protonok fúziója He-atommaggá termeli az energiát. Ennek során keletkezhet trícium (^3H) is, amit a napszél Földünkre juttathat. A tricium radioak-

tív: 12 év felezési idővel béta-bomlik. Az utánpótlás és bomlás egyensúlyaként az esővíz tríciumkoncentrációja $^3H/H = 10^{-18}$. Mivel a 75 kg tömegű úr teste zömében H-atomokat tartalmaz, van benne 4,8 milliárd tríciumatom is, ebből másodpercenként 10 bomlik el:

$$A(^3H) = 10 \text{ Bq}.$$

A Tejútrendszer közeli vidékén 5 milliárd éve szupernóvarobbanás történt. A szupernóva által kidobott anyag megtorlódva a csillagközi gázokon csomódásokat idézett elő. E csomókból születettek a Nap bolygói 4,6 milliárd évvel ezelőtt.

A szupernova több milliárd fokos hőmérsékletén sok volt a szabad neutron. Ezek többek közt olyan magreakciókat idéznek elő, amelyek során kalciumból radioaktiv kálium keletkezik. A ^{40}K atommag felezési ideje 1,28 milliárd év, ezért számuk igencsak megfogyatkozott, mai földi gyakoriságuk $^{40}K/K = 0{,}0118\%$. Ez azt jelenti, hogy a 75 kg tömegű úr szervezete tartalmaz 3000 trilló ^{40}K-atomot, de közülük a rövidebb felezési idő miatt viszonylag sok bomlik el másodpercenként:

$$A(^{40}K) = 5500 \text{ Bq}.$$

Ha összevetjük testünk eme fő radioaktív összetevőit, azt kapjuk, hogy az átlag emberi test aktivitása mintegy 8600 Bq. *Tízezer atom bomlik el szervezetünkben két szívdobbanás közt.* Ha egy osztályban a tanáron kívül 42 diák ül, együttes aktivitásuk 370 000 Bq. A magyar egészségügyi szabvány azt engedi meg, hogy az osztályba a tanár még 370 000 Bq aktivitású készítményt vihessen be.

Mekkora sugárdózist kapsz saját magadtól? Szerencsére a legtöbb radioaktív izotóp kisenergiájú béta-elektronokat bocsát ki, és a felszabaduló energia kétharmadát neutrínók fennakadás nélkül viszik magukkal. Ezért a ^{14}C-bomlásonként leadott 0,01 pJ, a ^3H bomlásonként leadott 0,001 pJ kicsiny energia csekély dózisterhelést jelent. Lássuk a ^{40}K bomlását, hiszen ebből van a legtöbb! A ^{40}K atomcsomag 90% gyakorisággal ^{40}Ca-ra bomlik vissza, a maximális energia 0,2 pJ, ebből egy harmad jut az elektronra, két harmadát a mozgékonyabb neutrínó viszi el. A ^{40}K atommag 10% gyakorisággal elektronbefogással a ^{40}A atommag gerjesztett állapotába megy át (csak neutrínó lép ki), de ezután a gerjesztett atommag 0,23 pJ energiájú gamma-fotont emittálva kerül stabil alapállapotba. A gamma-fotonoknak mintegy kétharmada áthatol testünkön és elhagyja azt, de harmada valahol elnyelődik. ^{40}K-bomlások miatt minden testkilogrammra 5pJ/kg átlagos ionizációs energia jut, ami 0,15 mSv/év dózisnak felel meg. Ha hozzávesszük testünk széntartalmát is, azt kapjuk, hogy *saját testünk anyaga olyan sugárterhelésnek tesz ki bennünket, ami meghaladja a 0,18 mSv/év értéket.* 80 éves élettartammal és *lineáris kockázat/dózis függvénnyel* számolva ez 12 mSv kapott dózisnak és 0,06% teljes kockázatnak felel meg. Fél ezrelék annak az esélye, hogy saját testünk sugárzása miatt halunk meg. Ettől csak úgy mentesíthetnénk magunkat, ha kibújnánk saját bőrünkből.

De van *önként vállalt kockázat* is. Ha egy leány ágyát megosztja egy úrral, gondoljon arra, hogy az úr 8600 Bq aktivitású radioaktív készítmény. Az úrban másodpercenként 5500 K-atommag esik szét. Ezek 10%-a 0,23 pJ energiájú gammafotonokat kelt, ez pedig a leányt is eléri! Ha a szoros kapcsolat miatt ebből csupán 8% (azaz 15 pJ) nyelődik el az 50 kg tömegű leány testében, egy 8 órán át tartó éjszaka során ez mintegy 15 nanosievert hatásos dózist jelent. Ezeregy éjszaka során ez bizony 0,005 mSv önként vállalt dózis! A kockázatot bárki kiszámíthatja: az 1/4 mikrorizikó, ami megfelel 5 cigaretta-slukk kockázatának. Megérte? (Láttuk, hogy a szűzies életnek is van élettartam-rövidítő hatása.)

Lélegezni veszélyes

A tórium felezési ideje 14 millió év, az urán felezési ideje 4,5 milliárd év. Az 5 milliárd éve szétrobbant szupernóvában keletkezett tórium és urán javarésze még megvan Földünk talajában. Ezek bomlása (no meg a ^{40}K) szolgáltatja Földünk belső melegét, amely pl. hazánk területén 100 kW/km^2 energiával áramlik kifelé. (Erre gondolhatunk a hévízi tóban fürödve.) De nem csupán hő áramlik a talajból. A Th-család bomlássorában a ^{220}Rn izotóp (a toron) nemesgáz 1 perc felezési idővel. Az U-család bomlássorából a ^{222}Rn izotóp (a radon) nemesgáz 3,8 nap felezési idővel. A talajból diffundálva radioaktivitással szennyezik a légkört. Tóriumból van több, de a diffúzióhoz idő kell, ezért végül is mintegy százszor annyi radon van a levegőben, mint toron. A levegő innen származó aktivitása erősen függ a helytől és az időjárástól, hozzávetőleges értékek:

külső levegő mintegy	10 Bq/m^3
huzatos szoba	30 Bq/m^3
átlaglakás	50 Bq/m^3
szellőzetlen szoba	60 Bq/m^3
pince	250 Bq/m^3
régi svéd háznál megengedhető maximum	< 400 Bq/m^3
erősen radonszennyezett lakás	1000 Bq/m^3
barlang	10 000 – 100 000 Bq/m^3

A radonaktivitás erősen függ a talajtól. Svédországban sok a grániton épült földszintes ház, ezért ott a szakmát és a közvéleményt erősen foglalkoztatja a radonaktivitás.

A radont belélegezzük, majd nemesgáz lévén kilélegezzük. De a radon radioaktív bomlástermékei fématomok, ezek ráülnek a lebegő porszemekre, belélegezve a tüdő falára. Több közülük alfa-bomló, ami a tüdőfal roncsolásához és tüdőrákhoz vezethet. Ma az uránbányákat igen intenzíven szellőztetik. Régen a radon tüdőrákkeltő hatása nem tudatosult. Bad Gastein osztrák orvosok által kúrára ajánlott barlangjában a levegő aktivitása 1000 Bq/m^3. Az uránbányászok a század első felében több ezer Bq/m^3 aktivitású levegőt szívtak be. Az innen gyűjtött tapasztalat szerint 1000 Bq/m^3 aktivitású munkahely 6 ezrelékkel növelte a tüdő-

MAGYAR
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
KÖNYVTÁRA

rák valószínűségét. Alfa-aktivitásnál (miként gyorsneutron-eredetű dózisnál) a lineáris extrapoláció jogos lehet. Ezért a következőket mondhatjuk:

a vadon élő ember (10 Bq/m^3) hatásos radondózisa 0,4 mSv/év volt,
a házban élő ember (30 Bq/m^3) hatásos radondózisa 1,2 mSv/év lehet,
jó nyílászárójú lakásban (100 Bq/m^3) a hatásos dózis 2,4 mSv/év lehet,
erősen radonos házban (250 Bq/m^3) a hatásos dózis 10 mSv/év,

feltételezve, hogy az illető idejének java részét a házban tölti. 50 év alatt az ennek megfelelő kockázatérték 1 ezrelék, 3 ezrelék, 5 ezrelék, illetve jó nyílászárókkal felszerelt és nem szellőztetett, energiatakarékos lakásban 6 ezrelék, erősen radonos házban 25 ezrelék (tüdőrákra). Nem nagy érték, hiszen 20% a rákelhalálozás valószínűsége, és ebben a tüdőrák jelentős hányadot képvisel. A tüdőrák gyakorisága hazánkban az elmúlt évtizedekben háromszorosára nőtt. Ez inkább a dohányzás és a közlekedési eredetű légkörszennyezés rovására irandó, de az ablakok jobb légszigetelése, és a kályháról gázkonvektoros és központi fűtésre történt áttérés, tehát a légcsere csökkentése is hozzájárult. Annyit mindenesetre láthatunk, hogy *saját életmódunktól, lakásunktól függően a bennünket érő évi sugárdózis akár 1 mSv értékkel változhat.*

Hogy a radonszennyezés mégsem elhanyagolható probléma, azt látni fogjuk, ha a kollektív dózis és kollektív kockázat értékére térünk át. Magyarország lakossága $N = 10$ millió fő, így átlagosan 1 mSv/év, az ez által kiváltott kollektív kockázat pedig 500 fő/év. Attól függően, hogy milyen építkezési, nyílászáró, szellőztetési szokásaink vannak, a radon által évente előidézett halálesetek száma több százzal nőhet vagy csökkenhet. Ez nagyobb, mint a gyilkosságnak áldozatul esettek száma. Érthető a növekvő nemzetközi érdeklődés a radonprobléma iránt, hiszen a radon a *modern építkezésre visszavezethető lakossági sugárterhelés legnagyobb és leginkább változó összetevője.* Ha a lakosság – bizonyos hirdetésekre hallgatva – energiatakarékosság céljából jó nyílászárókat szerelne fel lakásába és kevesebbet szellőztetne, évi 1 mSv-tel megnövelhetné az elszenvedett dózist, ami egyáltalán nem volna ártatlan változás ($N * R = 500$ a kollektív kockázatnövekedés)!

A radondózis különösen jelentős Svédországban, ahol urántartalmú kőzet van a felszínen, és a legtöbb lakás egyszintes. Érthető a svédek nagy érdeklődése házuk radonmentesítése iránt. Megtiltják 70 Bq/m^3-nél nagyobb belső aktivitású házak építését.

Csak egy fogröntgen

A röntgenkészülék egy vákuumcső, amelyben az izzókatódról kilépő és magas elektromos feszültséggel felgyorsított elektronok egy fémlapra esve lefékeződnek, mozgási energiájukat röntgenfotonok formájában adják le. A tradicionális röntgenkészülékekre sokezer voltos váltófeszültséget kapcsolnak. A vákuumcső (mint egyenirányító) a váltakozó feszültség negatív félperiódusát levágja. A pozi-

tív félperiódus csúcsa körül jönnek létre a kemény, kevésbé szóródó, nehéz elemek előfordulásának jó leképzését adó fotonok. Időben előttük és utánuk erősen szóródó, a képet is elhomályosító lágy fotonok keletkeznek. Hogy kiértékelhető röntgenfelvétel készülhessen, a besugárzás 1–2 másodpercig is eltarthat. A vizsgálat alatt halljuk a zúgás hosszát. Ezért figyelmeztet a röntgenorvos, hogy ne mozogjunk, amíg a felvétel tart. Közben, amíg pl. egy fogunkat a felső fogsorban felülről átsugározzák, áradnak a röntgenfotonok a tüdőnk felé. Egyetlen felvétel régebbi röntgenkészülékkel akár 1,2 mSv dózist is adhat, ami 60 mikrorizikó! (Nem is engedik a várandós kismamák röntgenvizsgálatát.)

Magyarországon 1973-ban 7,4 millió, 1988-ban 10,9 millió röntgenfelvétel készült. Egy lakos orvosi célú átlagos sugárterhelése 0,35 mSv. Egyszerű szorzásból: a kollektív kockázat értéke hazánk lakosságára 175/év.

A műszaki megoldás ismert: rövid (1–2 ms) ideig tartó magas (120 kV) egyenfeszültséget kell a röntgencsőre adni. Kiesik a holtidő, elmarad a szóródó, lágy sugárzás, így a sugárterhelés akár 1 mSv-tel is csökkenthető. Ez terjed a tüdőszűrő vizsgálatokon, képerősítővel megtámogatva. Egy modern készülék ára a 6 000 dollárt is eléri. Vele, elavulásig 60 000 felvétel is elkészíthető. A kollektív dózist 60 000 mSv-tel, a kollektív kockázatot hárommal csökkenti.

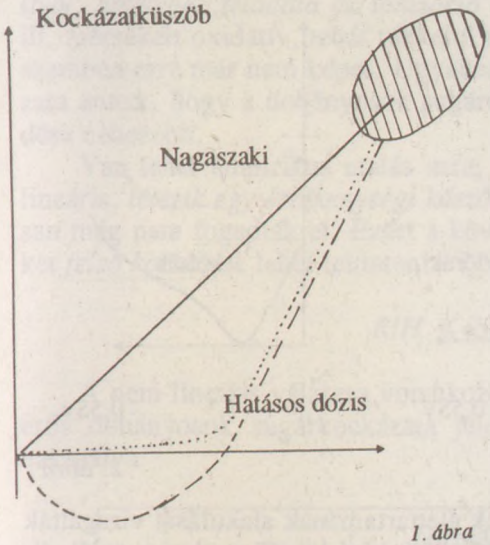
Az adózó állampolgár joggal kérdezheti: az általunk fizetett adóból e célra rendelkezésre álló pénzkereteket hogyan kell befektetnünk, hogy minél több emberéletet mentsünk meg? Egy emberélet ára nemzetközi megítélés szerint például

szülési higiénia fejlesztésével (harmadik világban)	50 dollár
fertőtlenítéssel (nők iskolázása, Indonézia)	100 dollár
röntgenkészülékek fejlesztése árán	2 000 dollár
új autópályák építésével	20 000 dollár
orvosi szűrővizsgálatokkal	50 000 dollár
autóvezetőknél ütközéskor felfúvódó légzsákkal	320 000 dollár
alacsonyszintű atomhulladék üvegesítésével	10 millió dollár.

Jót tenne egy kis sugárzás?

Az $R=50$ mikrorizikó meredekségű egyenes (az *1. ábrán* kihúzott vonal) megbízhatósága izgatja a szakembereket, hiszen az $N * R$ kollektív kockázat másik tényezője (N) millió, tízmillió fő lehet. A lineáris menetet a következő érvelés sugallja: Az ionizáló sugárzás támadása valószínűségi jellegű jelenség: a gammafoton vagy elnyelődik a DNS-molekula egyik érzékeny pontján, vagy nem. Ha igen, a DNS replikációja ráknövekedésre vezethet.

Először az angol nukleáris ipar átlagosnál nagyobb (10–50 mSv=év) sugárterhelésnek kitett dolgozóinál figyeltek fel arra, hogy köztük alacsonyabb a leukémia és rák gyakorisága, mint az átlagpopulációban.



1. ábra

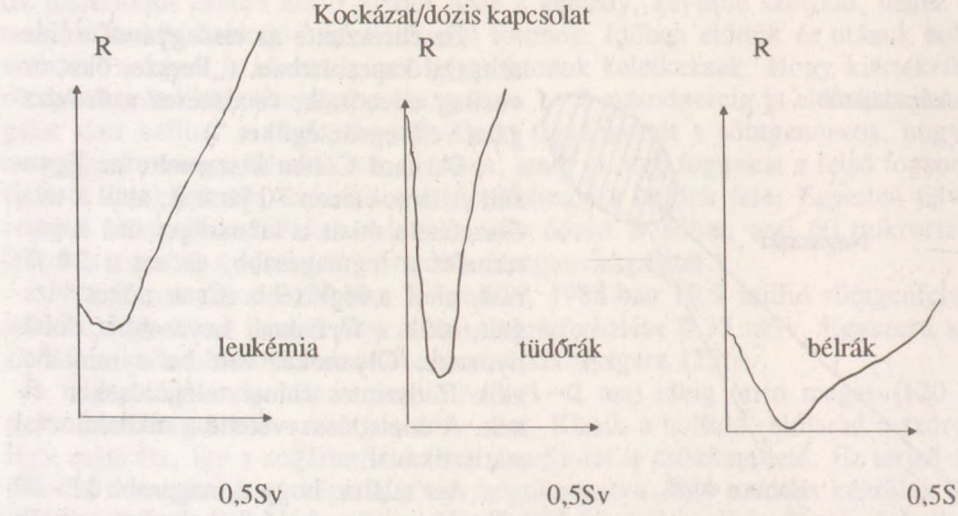
Ez ébresztette az első gyanút a linearitással kapcsolatban. („Persze, őket orvosilag ellenőrzik, rendszeres szűrővizsgálat védi egészségüket.")

Bernard Cohen kiszemelte az Egyesült Államok azon 20 járását, ahol a talaj összetétele miatt a lakosságot érő sugárterhelés a legmagasabb, és azt a 20 járást, ahol a legkisebb. Csak nőket vizsgált, akik a férfiaknál kevesebbet dohányoznak. Olyanokat vett be a mintába, akik földszintes falusi településeken élnek. A dózist összevetette a rákhalálozási statisztikával.

Azt találta, hogy a magasabb kb. 10 mSv/év sugárterhelésű helyeken a rák gyakorisága kétszer kisebb, mint az alacsony sugárterhelésű helyeken. Nem akarta elhinni az eredményt, vizsgálatait kiterjesztette Svédország, Finnország, Kína olyan vidékeire, ahol a felszínen lévő, uránban viszonylag dús gránit miatt különösen nagy a sugárterhelés, és ezeket ismét egybevetette a normálisnál alacsonyabb terhelésű helyek statisztikájával. Az eredmény megint az volt, hogy magasabb lakossági sugárterhelés 10–20 mSv tartományban csökkenteni látszott a leukémia és rák gyakoriságát.

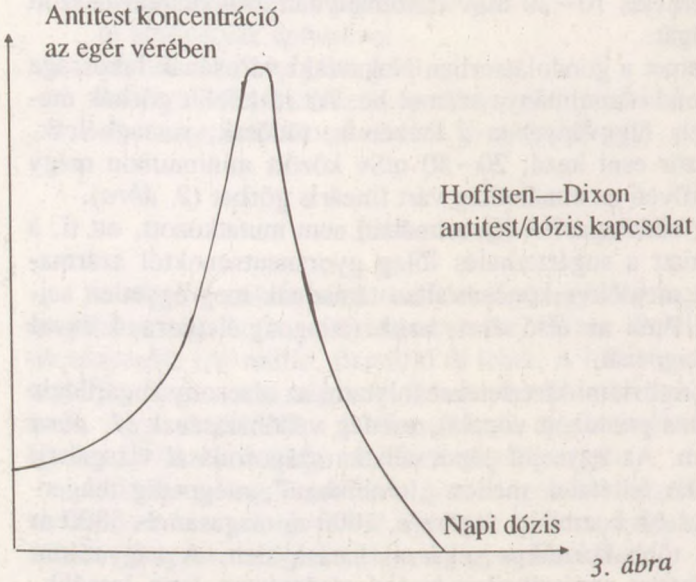
A legfontosabb láncszemet a gondolatsorban Nagaszaki városának lakossága szolgáltatta. Erről Sohei Kondo tanulmánya számol be. Az itt közölt görbék mutatják, hogy a hatásos dózis függvényében a leukémia, tüdőrák, vastagbélrák, mellrák valószínűsége először esni kezd, 20–50 mSv között minimumon megy át, és csak 100 mSv fölött követi az elméletileg várt lineáris görbét (*2. ábra*). Ilyen hatásküszöb –esetleg védőhatás? –Hirosimában nem mutatkozott, ott ti. a bomba eltérő szerkezete miatt a sugárterhelés főleg gyorsneutronoktól származott, amelyek atommagokat meglökve koncentráltan támadnak meg egyetlen sejtet. Akik Nagaszakiban túlélték az első évet, azok (átlagos) életkora 4 évvel hosszabbnak bizonyul az átlagosnál.

Ezek után kezdtek laboratóriumi kísérleteket folytatni az alacsony sugárdózis koc-kázatküszöbének (*1. ábra* pontozott vonala), esetleg védőhatásának (*1. ábra* szaggatott vonala) tárgyában. Az egysejtű papucsállatka szaporodását vizsgálták azonos légnyomási és kémiai feltételek mellett „lombikban"; mégpedig tengerszinten, 200 m mélyen kevesebb kozmikus sugárzás, 1000 m magasan és 3800 m magasan 50, ill. 300%-kal több kozmikus sugárzás hatása alatt. A nagyszámú papucsállatkával végzett kísérlet statiszikailag biztos eredménye: lenn lassúbb, fenn gyorsabb a szaporodásuk, mint tengerszinten.



2. ábra

Más kísérletek fehéregerek és patkányok élettartamának alakulását vizsgálták napi 0-100-900 mSv dózisterhelés mellett. Mindkét kísérlet, független szerzők által elvégezve, a 10–30 mSv/nap dózis alkalmazásánál élettartam-növekedést szolgáltatott, a káros hatás csak 50 mSv/nap felett kezdett mutatkozni.



3. ábra

Hihetetlenül hangzik. Ha így lenne, mi lehet az oka? Egy újabb kísérletben a besugárzott egerek vérében lévő antitestek mennyiségét mérték meg a sugárdózis függvényében, 42 napi folyamatos besugárzás után. Az antitestek mennyisége meredeken növekszik a normális érték ötszörösére. (200 mSv/nap dózisig, afölött meredeken zuhan a normális érték alá (*3. ábra*).

Egy lehetséges modell mozaikjai látszanak rendeződni.

A védőoltások kontrolláltan kis mennyiségű toxint visznek az egészséges ember vérébe azért, hogy aktivizálják annak védekező rendszerét a toxin termelésére ké-

pes mikroorganizmusok várható támadásával szemben. Meglehet, hogy *az alacsony szintű (illetve hosszabb időre széthúzott) sugárterhelés hasonló védelmet aktivál, amelynek feladata az ionizáció és oxidáns közömbösítése.* Ez kis dózisok, ill. mérsékelt oxidatív, tehát rákkeltő támadások ellen véd, de nagyobb adagokkal szemben erre már nem képes. Ugyanez a nem lineáris viselkedés lehet a magyarázata annak, hogy a dohányosok sugárérzékenyebbek. Két egyidejű támadás kivédése nehezebb.

Van tehát empirikus utalás arra, hogy a rákkockázat/sugárdózis görbe nem lineáris, *létezik egy érzékenységi küszöb 20–30 mSv táján.* Ezt a modellt általánosan még nem fogadták el. Ezért a következőkben használt sugárkockázati értékeket *felső korlátnak* lehet tekinteni:

$$R/H \leq *50 \text{ mikrorizikó/mSv.}$$

A nem lineáris válaszra vonatkozó következtetést alátámasztja az is, hogy az erős dohányosok sugárkockázata jelentősen megnő. *Ad hoc* kockázategységet használva:

	normális foglalkozású	uránbányász
nem dohányzó	1	4
dohányzó	10	40

A lakás radonkoncentrációjának függvényében

	50 Bq/m^3 alatt	50 Bq/m^3 fölött
nem dohányzó	1	3
dohányzó	7	17

Az egység a normális nem dohányzó személy átlagos rákkockázata. E számok mindenképp jelzik, hogy a dohányzás magasabb kockázattal jár, mint bármilyen lakossági sugárterhelés.

Számítsd ki saját évi sugárdózisod!

Az eddig bemutatott fogalmak alapján vállalkozhatunk a fenti feladat elvégzésére. Tekintsük először a természetes sugárterhelést.

kozmikus ionizálósugárzás tengerszinten	0,30 mSv/év
kozmikus neutron-sugárzás tengerszinten	0,05 mSv/év
100 m magasság okozta többlet	0,02 mSv/év

Pontosabban: a kozmikus sugárzástól a légkör véd, értéke 1800 méterenként duplázódik. (Találós kérdés: vajon miért hosszabb mégis az átlagos életkor a Mátra falvaiban, mint Budapesten?) A kozmikus eredetű radioaktív anyagokból adódó terhelés:

^{40}K testben és táplálékban	0,15+0,15 mSv/év
^{14}C testben és táplálékban	0,015 mSv/év
^{87}Rb testben és táplálékban	0,06 mSv/év
U-család tagjai a környezetben	0,10 mSv/év
Th-család tagjai a környezetben	0,16 mSv/év
Rn szabad levegőn	0,4 mSv/év
Természetes sugárterhelés átlaga	1,5 mSv/év

Ennyit kapnánk, ha az erdőben élnénk fára telepített fészekben. De a civilizáció, ezen belül az ipari forradalom is megváltoztatta életmódunkat, nemcsak azáltal, hogy kiirtottuk a farkast, a pestist és a himlőt. Járulékos sugárterhelési okok:

Talajból földszinten gyűlő radon	0,5 mSv/év
U-dús könnyűbeton építőanyag (9g U/t)	1,8 mSv/év
Tégla építőanyag (3,5g U/t)	0,7 mSv/év
Gipsz építőanyag (1,5g U/t)	0,3 mSv/év
Faház	0,2 mSv/év
Átlag radon- és toron-terhelési többlet házban (kerekítve)	1 mSv/év

Ajánlat: költözz cölöpökön álló faházba. A civilizációs radonterhelés értéke ötödére fog csökkenni! További mesterséges sugárterhelések:

Repülőút, minden 2500 km után	0,01 mSv/év
Világító számlapú karóra	0,02 mSv/év
Tv-nézés, fekete-fehér, 1 óra/nap	0,01 mSv/év
Tv-nézés, színes, 1 óra/nap	0,02 mSv/év
Atombomba-kísérletek maradványa (^{90}Sr)	0,01 mSv/év
Orvosi röntgen és sugárkezelés, átlag	0,40 mSv/év
Technikai eredetű sugárterhelés, magyar átlag (kerekítve)	0,5 mSv/év

A legjelentősebb összetevő az orvosi röntgenvizsgálatok járuléka, ami alkalmanként 0,3–1,5 mSv körül lehet. A világtendencia az, hogy a fejlett országokban modern készülékekkel csökkentik az egy vizsgálatra eső dózist – pl. tüdőszűrésnél 1,5 mSv-ről 0,5 mSv-re, ugyanakkor az orvosok szaporítják a röntgenvizsgá-

latok gyakoriságát. Ezért ingadozik Európában a lakosság orvosi eredetű sugárterhelése 0,5–1 mSv/év körül.) Összesítésben *a magyar lakosság átlagos évi fejenkénti sugárterhelése* 3 mSv/év, ami kiad 150 mikrorizikó/év kockázatot. Svédországban a gránittábla hatására kialakuló magasabb radonkoncentráció miatt ez az átlag 7 mSv/év, több mint kétszerese a hazai értéknek. Összehasonlítási alapnak erre támaszkodhatunk, amikor a nukleáris ipar által okozott sugárszennyezést vizsgáljuk.

Atomerőmű

A Paksi Atomerőmű környezetében maximálisan 0,0001 mSv/év volt az erőmű üzeme miatt fellépő többlet lakossági szennyezés. Másik megfogalmazást Teller Ede ajánlott: az atomerőmű kapujában ülve kisebb a többlet sugárdózis (10^{-14} Sv/s), mint valaki mással egy ágyban hálva ($2 * 10^{-13}$ Sv/s). –Ez a sugárszennyezés elsősorban a maghasadáskor szükségszerűen keletkező radioaktív nemesgázok (^{85}Kr, ^{133}Xe, ^{135}Xe), valamint ^{3}H légkörbe jutásának tudható be. A nemesgáz hasadási termékek diffundálhatnak a fűtőelem fémburkolatán, így a levegőbe kerülnek. A paksi szellőztetőkémények által levegőbe eresztett szemcsék aktivitása mintegy 30 Bq/s. Ezen felül van még az inotai erőmű, amely magas urántartalmú, 300 Bq/tonna aktivitású ajkai és várpalotai szénnel tüzel, évente szálló pernye formájában 400 Bq/s aktivitást juttat a légkörbe. Ezt belélegezzük majd kilélegezzük. Inota villamos teljesítménye 100 MW, Paksé 1800 MW. Az Ajkán élők aktivitás-emisszióból eredő többletdózisa még mindig kicsi: 0,05 mSv/év.

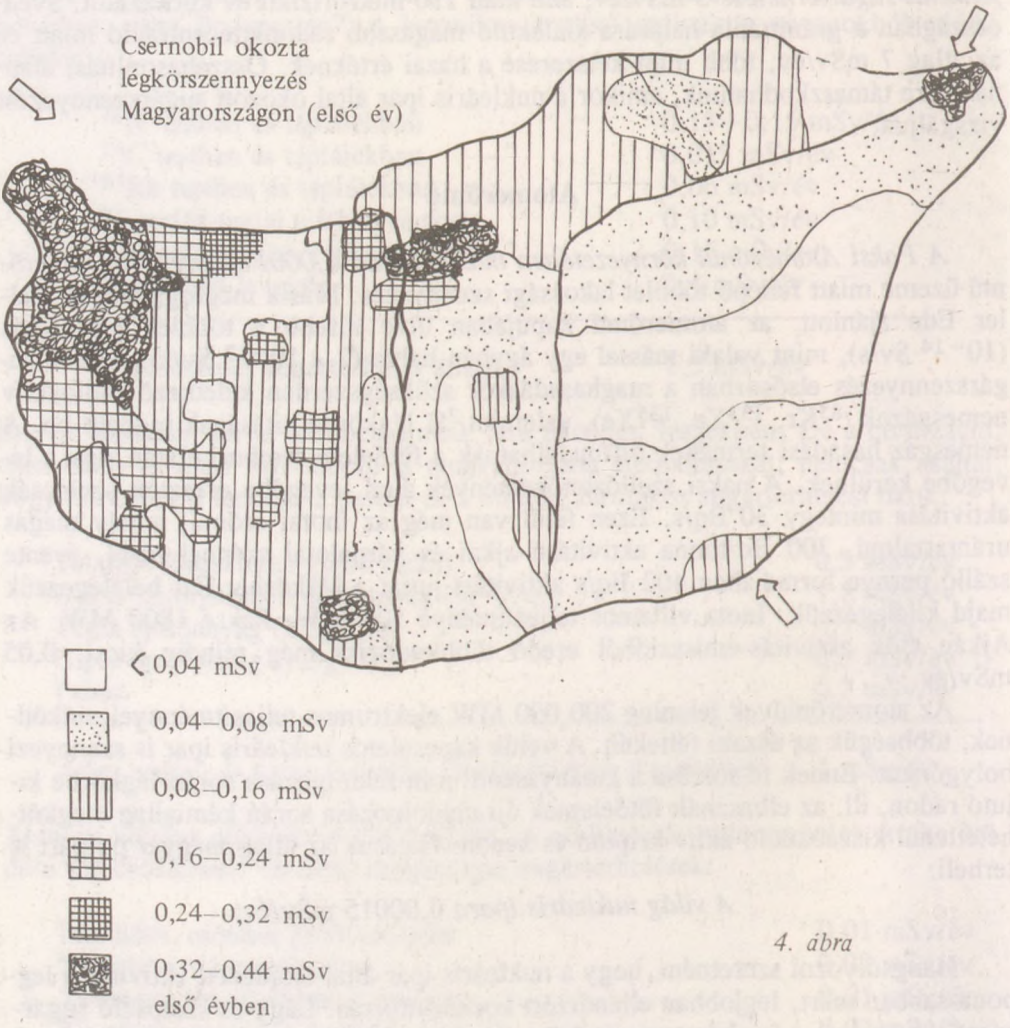
Az atomerőművek jelenleg 200 000 MW elektromos teljesítménnyel működnek, többségük az északi féltekén. A velük kapcsolatos nukleáris ipar is szennyezi bolygónkat. Ennek fő forrása a kibányászott urán feldolgozása során légkörbe kijutó radon, ill. az elhasznált fűtőelemek újrafeldolgozása során kémiailag megkötthetetlenül kiszabaduló aktív kripton és xenon. Hatásuk az átlag magyar polgárt is terheli:

A világ nukleáris ipara 0,00015 mSv/év.

Hangsúlyozni szeretném, hogy a nukleáris ipar által előidézett aktivitás a legpontosabban mért, legjobban ellenőrzött kockázatforrás. Lágy és szétoszló sugárzásról lévén szó, a kockázatra voltaképp felső korlátokat tudunk adni, de azokat a fentiek alapján bárki kiszámíthatja. Összevetheti pl. egy cigi, egy úttesten való átkelés vagy egy autós kirándulás kockázatával.

Csernobil

A műszaki eredetű sugárzási kockázatra Csernobil irányította a közfigyelmet. Szerencsére – a radontól és röntgentől elszenvedett dózisokkal ellentétben – az idevágó adatok jól mértek és nyilvánosan ismertek. A robbanás közvetlen áldozatainak száma 30 volt. A késő kockázat legfontosabb összetevője valószínűleg



4. ábra

a 30 éves felezési idejű hasadási termék, a ^{137}Cs-izotóp, amelyet az élőlények szervezete – káliumhoz hasonló kémiai tulajdonságai miatt – magába épít. A szervezetben éveken keresztül kifejti hatását béta-sugárzása révén. Nem 30 évig, mert biológiai okokból hamarabb kicserélődik a belépő táplálék K-atomjaival. Az első évben kapott átlagos sugárdózis:

Pripjat, Csernobil mellett	50 mSv
Európai Szovjetunió	1 mSv
Európai átlag, Szovjetunión kívül	0,25
Magyarországi átlag	0,2 mSv
É-Afrika, DNy-Ázsia	0,02 mSv
Többi világrész	≤ 0,01 mSv

A magyarországi átlag erősen ingadozik (*4. ábra*). Hazánkat szerencsére védte a Kárpátok vonulata. Nagyobb ÉNy-Magyarországon, ahol Németország, Ausztria felől az első beáramlás történt, DK-Magyarországon, ahol Románia, Jugoszlávia irányából a második beáramlás történt. Lényeges értéket ott ér el, ahol május elején eső esett. Legmagasabb Budapesten (az Alföld tiszta részeinek tízszeresét is eléri), mert a radioaktív szennyezés kiült a főváros felett lebegő, főleg autóink által előidézett füstködre, ami leülepedett, amit belélegeztünk.

A magyar állampolgár 0,2 mSv többletdózisa kicsi volt az egyébb okokból kapott átlagos 3 mSv/évhez képest, kockázata R = 10 *mikrorizikó*, ami a kaliforniai törvény küszöbszintje. Megfelel kb. fél pakli cigi kockázatának.

Természetesen tudjuk, hogy sokkal riasztóbb értéket kaphatunk, ha kollektív kockázatot számolunk. A későbbi évek 30 évre integrált kockázata kb. összemérhető az első év dóziskockázatával. Teljes időre vonatkoztatva:

Magyarország	$N*R \leq (10*10^6)*0{,}4*50*10\text{-}^6 = 200$
Európa SzU nélkül	$N*R \leq (700*10^6)*0{,}5*50*10\text{-}^6 = 17\,500$
Európai SzU	$N*R \leq (200*10^6)*2*50*10\text{-}^6 = 2000$

A teljes kollektív kockázat tehát 20 000. A ma élő európaiak mind meg fognak halni egyébként is, közülük mintegy 20% rákban. Ezért soha nem fogjuk megtudni, hogy Csernobil okán tényleg mennyivel több megbetegedés következik be.

Ezeket az értékeket vessük össze néhány más „műszaki" kockázattal:

A nagy londoni szmog, 1952 december	4 000 áldozat
Kínai gátszakadás (1976)	250 000 áldozat
Amerikai üzem kémiai katasztrófája, Bhopal 1984 december	3 000 áldozat
Csernobili nukleáris katasztrófa, 1986 április	20 000 áldozat
Bangladesi tájfun, 1991	100 000 áldozat
Öngyilkosságok száma Magyarországon évente	5 000 áldozat
Balesetek a magyar utakon évente	2 600 áldozat
Balesetek az USA útjain évente	50 000 áldozat

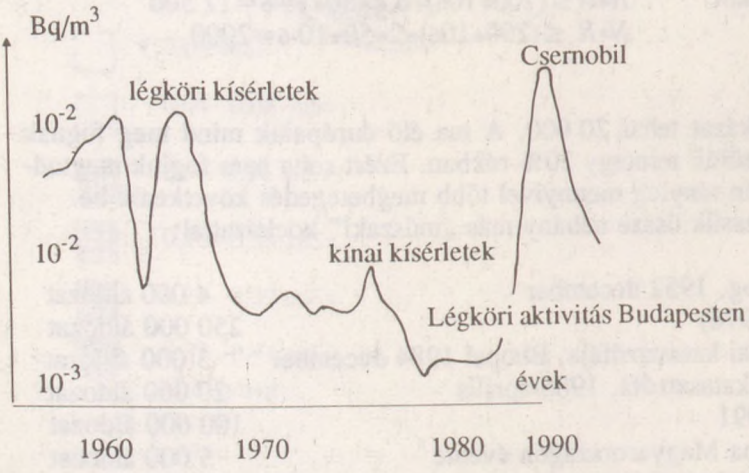
Még inkább eltörpül a csernobili késő, pesszimistán prognosztizált áldozatok száma az elmúlt évtizedek lokális ázsiai háborúinak áldozatai mellett (Korea, Vietnam, Irán, Irak), amelyek az olajért is folytak.Természetesen ez nem változtat a tényen, hogy *akár százas, akár tízezres áldozat joggal riaszt, és biztosan megengedhetetlen, elsősorban pedig elkerülhető lett volna.*

Az aggodalom korában félnek az emberek a kockázattól. A csernobili balesetet követő hónapokban a művi abortuszok száma negyvenezerrel megnőtt egyes európai országokban (Svédország, Görögország). Mint látjuk, az indokolatlanul keltett aggodalomnak is életek esnek áldozatul. Nemzetközi szakértői bizottság állapította meg, hogy a Csernobil környékéről kitelepítettek megbetegedéseinek nagyobb része pszichés eredetű. Mindenesetre tény, hogy Harrisburg, Csernobil különösen ráösszpontosította a figyelmet az ionizáló sugárzás kockázatára. Ez az aggódás kivetül a magyar nukleáris iparra, nukleáris energetikára, hulladékelhelyezésre is. Az aggodalom fő oka azonban az ismerethiány, no meg a hirosimai bomba által okozott sokk.

Légköri atomfegyverkísérletek

A hirosimai atombomba 0,01 trillió (10^{16}) Bq aktivitást szórt szét a levegőbe. A Hruscsov idején kifejlesztett 100 megatonnás hidrogénbomba 10 trillió Bqt. Egy mai átlagos bomba felrobbantása 1 trilló Bq-val szennyezné a légkört, és tízezernyi van belőlük.

A windscale-i reaktorban bekövetkezett grafittűz (1957) levegőszennyezése 0,04 trillió Bq volt. A harrisburgi atomerőműnél (1980) ez az érték 0,0001 trillió Bq. Csernobil esetében (1986) kb. 4 trillió Bq. Az aktivitás másik fele nemesgáz volt.



Az 5. ábra mutatja a légköri aktivitás alakulását az elmúlt évtizedekben Budapesten (a Légkörfizikai Intézetben mérve). Jól látható az 1986-os, keskeny csernobili csúcs mellett az alacsonyabb 1978-as csúcs (kínai légköri kísérletek) és az 1960-as évek széles maximuma: a szuperhatalmak légköri atom fegyver-kísérletei. A sztratoszféra széljárása főleg egy szélességi öv mentén teríti szét az atombomba által kibocsátott aktivitást.

Ma a légköri fegyverkísérletektől visszamaradt radioaktivitás átlagdózisa 0,01 mSv/év. Az emberiség kollektív dózisa 50 000 Sv/év a korábbi légköri bombakísérletek folytán. Ez 1990-ben 2500 kollektív kockázatnak felel meg. A legnagyobb robbantások az 1960-as években voltak, azóta a radioaktivitás javarészt elbomlott.

A 2 év felezési idejű ^{134}Cs és a 30 év felezési idejű ^{137}Cs mai aktivitásának egybevetéséből látható, hogy jelenleg Európa aktivitásszennyezettsége nemcsak Csernobilból ered, hanem jelentős mértékben a korábbi évtizedek légköri robbantásaiból is. Márpedig ezek globális kiterjedésben érik az embereket, az északi mérsékelt övben szovjet, a déli mérsékelt övben amerikai robbantásoktól.

Szaharov írta meg emlékirataiban: miként figyelmeztette Hruscsovot, hogy a két nagy 100 megatonnás bomba légköri robbantása százezrek életébe fog kerülni. Az 1960-as sáv és az 1986-os csúcs területének egybevetéséből ezt az adatot az olvasó is rekonstruálhatja. Hruscsov a kísérletek végrehajtása mellett döntött „Ennyi áldozata az orvosi röntgennek is van, az is az emberiség javát szolgálja, ez is." Szaharov ekkor lett kegyvesztett.

A fizikusok érvelése és tiltakozása az 1970-es évekre a szuperhatalmak légköri atomcsendegyezményének megkötéséhez vezetett. A kisebb hatalmak is ki akarták fejleszteni nukleáris fegyvereiket, folytatták a kísérleteket, de a közvélemény nyomására pár év múlva ők is elálltak a légköri robbantásoktól. A nukleáris leszerelés első lépései azóta megtörténtek.

Bízhatunk benne, hogy az *atom* is végre mindennapi életünk békés szereplőjévé szelidül.

Szándékosan igyekeztünk adatok tömegével megvilágítani a téma különböző oldalait. Amerikai szakértők úgy ítélik meg, hogy reménytelen a laikusoknak – újságíróknak, képviselőknek, papoknak – számadatokkal érvelni, ők a *nagy=veszélyes/zérus=ártatlan* kockázat, *fekete/fehér* választ várják. Mi Magyarországon talán jobban bízunk a demokráciában: a tanárok és fiatalok kockázatelemzésre történő nevelésének lehetőségében. Ha a jövő nemzedék kockázat- és döntésvállaló lesz, az a gazdaságnak is használ.

PAPP KATALIN

Dönteni tudni kell

Az ember csak akkor játszik, amikor a szó teljes értelmében ember, és csak akkor ember, amikor játszik.
Friedrich Schiller

A játék

A játék – az életkori sajátosságoknak megfelelő szinten alkalmazva – már egészen fiatal korban a készségek egész sorát fejlesztheti ki. A tanulók szinte észrevétlenül, tanulás nélkül jutnak természettudományos, technikai, társadalmi ismeretekhez, mégpedig olyanokhoz, amelyek tárgyalásához szűkek a tantárgyi keretek, nincsenek meg a hozzáférhető tanári és tanulói kísérletek, nincs birtokukban matematikailag szabatos leírást igénylő apparátus. Ezen segíthet a játék abban az értelemben, ahogyan Hugo von Hofmannsthal fogalmazta: „Mindnyájan játszunk, és aki ezt tudja, az bölcs."

A játék szónak több meghatározása ismert, talán éppen azért, mert egyik sem tökéletes. Feltétlenül beszélnünk kell a „tiszta játék" fogalmáról (sokan ezt nevezik játszmának), amely ellenfelek közötti versenyt jelent a győzelemért, meghatározott szabályok szerint.

Az angol „game" szó az emberi játékoknak csak egy alosztályát fedi le, amely a szabály és véletlen összjátékát hordozza.

A kisgyerekek megszokott tevékenysége a játék. Az ember és az emlősök, amíg fiatalok, általában önmaguk által kitalált játékokkal szeretnek játszani. A felnőttek játékai – ha egyáltalán játszanak – hivatalosak és jól körülhatároltak. Bennük vagy egzaktul szabályozott logikai döntésekkel (pl. sakk) vagy teljesen a véletlenre alapozott szisztémával találkozunk (pl. lottó).

A gyerekek a „kiegyensúlyozottabb" játékformákat szeretik, amelyekben a véletlen és a logika valamilyen egyensúlyban van. A tiszta logikai gondolkodás és a véletlen ellenőrizhetetlen eredményei ezekben a helyzetekben nagyfokú motivációt jelentenek (izgalom, érdeklődés, intellektuális öröm), amelyek korlátozott döntési szabadságot biztosítanak. A játéknak azért van fontos szerepe az oktatásban, mert a „nyitott szituációk" kezelése a tanulóknak alkalmat ad arra, hogy megszokják, megtanulják és gyakorolják az önálló döntéshozást.

A döntés

Egy feladat megoldásakor akkor járunk el helyesen, ha a megoldási javaslatok közül ki tudjuk választani azt, amelyik az adott körülmények között a legjobb eredményt, és a legkevesebb veszteséget hozza.

A döntés nemcsak a jó kiválasztása, hanem egyúttal lemondás a többi alternatíva előnyeiről. Ebben rejlik a döntés *kockázata*. Amikor választunk, választá-

sunkba belejátszik egész személyiségünk, mindaz, ami eddigi életünk során tudásban, tapasztalatban felhalmozódott. A döntéshez bátorság is kell, hiszen mások előtt is nyilvánvalóvá válhat melléfogásunk, tévedésünk, viselnünk kell az esetleges téves döntés következményeit. Nemcsak a gyerekjátékban vagy a szerencsejátékban, hanem az üzleti vállalkozásban is.

A rosszul megoldott szituációk kudarcot eredményeznek. A kudarcot a „sikerkereső" emberek jobban, a „kudarckerülők" rosszabbul viselik. Az előbbiek úgy vélik, hogy döntések sorozatával előbbre vihetik az ügyüket, ezért vállalják a döntések kockázatát. A kudarckerülő nem szeret dönteni, mert fél döntése következményeitől: „Ha nem döntök, hibát sem követhetek el." Ezek csupán a lehetséges típusok szélsőséges megközelítései, mégis mindenki inkább az egyik vagy a másik csoporthoz tartozik.

Az emberek foglalkozásuk gyakorlása közben naponta többszáz döntést is hozhatnak, de ezek közül csak a váratlan szituációkban bekövetkezett megoldásokat élik át valóságos döntésként.

A döntés sikere számtalan tényezőtől függ, ezek közül vizsgálunk meg néhányat.

Az első kérdés: milyen gyorsan döntünk? Döntéseink többségét rövid idő alatt kell meghoznunk, sokan azonban az időnyerésre (a döntés elodázására) törekszenek.

Elegendő-e az az információ, aminek alapján döntünk, vagy éppen túl sok, netalán ellentmondásos? Nem mindegy, hogy kinek az információját fogadjuk el igaznak és használhatónak. Nem közömbös, hogy mennyire igényeljük,mennyire vesszük figyelembe végleges döntésünk előtt mások tanácsát.

Döntéseink sikere attól is függ, hogy mennyire tudjuk kiszámítani annak következményét. Jó, ha el tudjuk képzelni, hogy más személyekre milyen hatással lesz az eredmény. Elsősorban a döntés várható hasznosságával és veszélyeivel kell tisztában lennünk.

Külső körülmények menet közben is befolyásolhatják döntésünket.

A döntés első fázisa a döntéshelyzet felismerése. A kihívás pontos értelmezése azért fontos, mert már ebben a fázisban kialakul valamiféle elképzelés a célt és a megoldást illetően. Így megkezdődik a hipotézis kidolgozása.

A második fázisban történik az információk gyűjtése, szűrése, feldolgozása, a reálisan választható alternatívák számbavétele. Ezt követi a tényleges döntés, amikor optimalizálás után kiválasztjuk a legmegfelelőbb alternatívát.

A valóságban ezek a szakaszok nem különülnek el egymástól. Legtöbbször nagyon rövid idő alatt játszódik le a folyamat. Így nincs mód figyelemmel kísérni minden fázist. Éppen ezért döntéshelyzetben szükség van a gyors ítélőképességre, helyzetfelismerésre, empátiára és emberismeretre.

Esettanulmány

Mielőtt a konkrét játékokat áttekintenénk, a megismerési folyamatban való alkalmazásukhoz tisztázni kell az esettanulmány fogalmát.

Az esettanulmány vagy életből ellesett, vagy mesterségesen kigondolt szituáció elemzése, amelyre azért van szükség, hogy bemutasson egy speciális vagy tipikus jelenséget. Az esettanulmány tulajdonképpen konfliktushelyzet bemutatását jelenti, annak előzményeivel együtt. A konfliktust a résztvevőknek kell feloldaniok. Vagyis értékelniök kell az előzményekről szóló információkat. Fel kell ismerniök a probléma jellegét, megoldási alternatívákat kell adniok. Végül dönteniök kell a leghelyesebb megoldásra vonatkozóan. Az esettanulmány módszerét elterjedten alkalmazzák az orvos-, jogász- és vezetőképzésben.

A „tiszta" játékot, az esettanulmányt, a modelljátékot a valóságban nem lehet egymástól élesen elkülöníteni, átfedések is lehetségesek. *(1. ábra)*.

Döntésjátékok

Gyorsuló világunkban gyakran kell döntenünk kicsi és nagy ügyekben. Döntenie kell például az ipari miniszternek egy hatékony beruházásról, az országgyűlési képviselőnek az ország energiagazdálkodásáról, a polgármesternek az iskolaépítésről, a környezetvédőnek a radioaktív hulladék tárolási helyéről. De döntenie kell a családnak is a közös kiadásokról, a családtervezés keretében egy esetleges betegséget öröklő gyermek születéséről. Demokratikus társadalmunkban nagy horderejű kérdésekben népszavazás keretében minden állampolgár felelős döntését várják, akár vízlépcső építéséről, akár világkiállítás megrendezéséről van szó. Ahhoz, hogy a társadalomban, a családban *felnőttkorban* helyes döntéseket hozzunk, már gyermek- és *ifjúkorban fejleszteni* kell a döntési képességet. Erre szolgálnak a döntésjátékok, amelyeket a modern pedagógia – az oktatás tradicionális módszerei mellett – egyre inkább alkalmaz.

A döntésjátékok szerepjátékok: a tanulók *iskolában, osztályteremben* elevenítik meg azokat a szituációkat, drámai helyzeteket, amelyeknél a társadalom, a technika, a tudomány által felkínált lehetőségek közül választaniok kell.

A döntésjátékok igen különbözőek lehetnek témájuk és formájuk szerint. Nem mindig kapcsolódnak szorosan egy adott iskolai tantárgyhoz, tradicionális formához, hanem szélesebb témát ölelnek fel. Talán ez is oka lassú terjedésüknek.

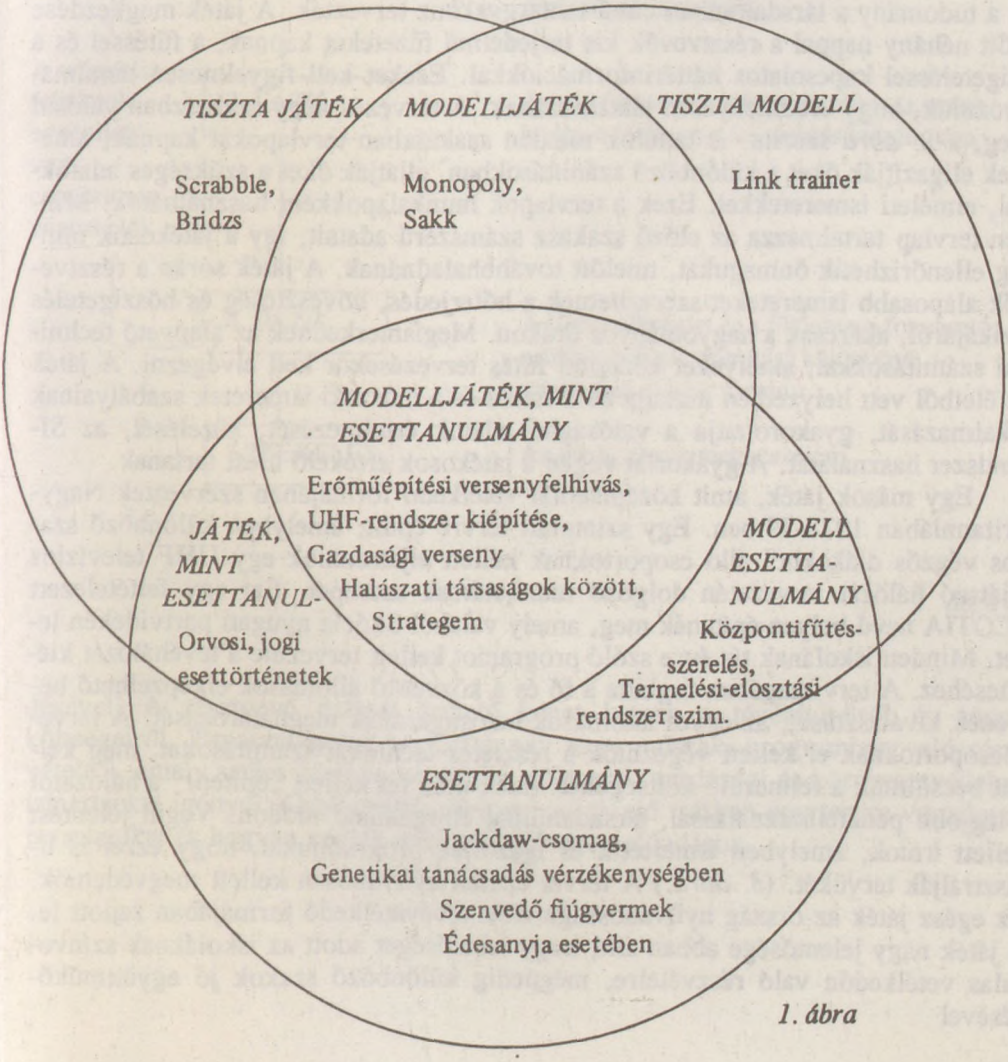
A játékok egy része semmiféle előismeretet nem igényel, más részüknél részletes esettanulmány formájában kell a tanulóknak az optimális döntést meghozni. Közös bennük, hogy szórakoztató játék formájában a tanulók egy sor olyan ismerethez jutnak, a játék olyan készségeket fejleszt ki, amelyeket hagyományos tanítási módszerrel (előadás, kísérlet, feladatmegoldás) nem lehet elérni. Néhány kérdésfeltevés:

- Milyen fűtést szereltetünk lakásunkba megtakarított pénzünkből?
- Hová építsünk erőművet, és az milyen üzemanyaggal működjön?
- Hogyan válasszunk a szén, az atom, a megújuló energiaforrások, esetleg a zérus-növekedés alternatívái között?
- A fürdőzőkkel bejutó szennyezés hogy változtatja a Balaton vízminőségét?
- Vérzékeny utód születésének mekkora a vállalható kockázata?

– Halászati társaságok versenyében hova indítsunk hajókat és hányat, hogy a halászatból maximális bevételünk legyen?

A játékok egy része számítógépet használ a döntések kiértékelésére, az eredmények összehasonlítására. Más részüknél a számítógép vizuális lehetőségeit kihasználva az egész döntési folyamatot gépen követhetjük nyomon.

Átfedések a játék, a modell és az esettanulmány között



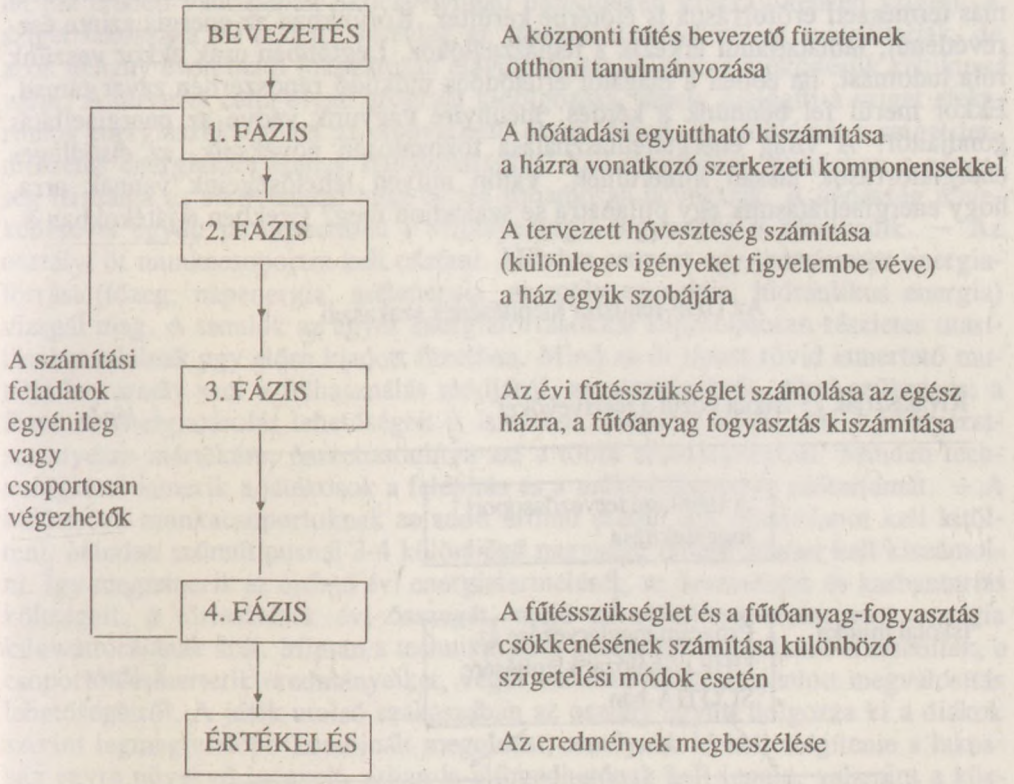
1. ábra

Döntésjátékok a komfortról

A játék oktatócsomag formájában elterjedt strukturált esettanulmány. A csomag prototípusát 1975-77 között fejlesztették ki, széles körű kipróbálás után hozták forgalomba. A játék célja, hogy a tanulók képesek legyenek megtervezni egy lakóház központi fűtési rendszerét az adott helyhez legjobban illő fűtőanyaggal, miközben figyelembe kell venni a különböző hőszigetelési szabványokat. A forgalomba került csomag 5 db különálló tervet tartalmaz az elképzelt házra vonatkozólag, magában foglalva a különböző központi fűtési rendszereket, szigetelési eljárásokat és azok gazdasági kihatásait. A játékban ki kell számítani a hőveszteséget az egész házra vonatkozóan, mert így meghatározhatóvá válik az épület évi fűtésére fordítandó energia mennyisége. Eredetileg a fizika, a technika, az építészet és a tudomány a társdalomban című tantárgyakhoz tervezték. A játék megkezdése előtt néhány nappal a résztvevők kis terjedelmű füzeteket kapnak, a fűtéssel és a szigeteléssel kapcsolatos háttérinformációkkal. Ezeket kell figyelmesen tanulmányozniuk, hogy eredményesen játszhassanak. A tervezés négy szakaszban valósul meg, a 2. *ábra* szerint. A tanulók minden szakaszban tervlapokat kapnak, amelyek eligazítják őket a különböző számításokban, ellátják őket a szükséges adatokkal, elméleti ismeretekkel. Ezek a tervlapok munkalapokként használhatók. Minden tervlap tartalmazza az előző szakasz számszerű adatait, így a játékosok mindig ellenőrizhetik önmagukat, mielőtt továbbhaladnának. A játék során a résztvevők alaposabb ismereteket szerezhetnek a hőterjedés, hőveszteség és hőszigetelés fizikájáról, akárcsak a hagyományos órákon. Megismerkednek az alapvető technikai számításokkal, amelyeket központi fűtés tervezésekor kell elvégezni. A játék az életből vett helyzetben mutatja be a fizika és a műszaki ismeretek szabályainak alkalmazását, gyakoroltatja a valósághű adatok értelmezését, kezelését, az SI-rendszer használatát. A gyakorlat végén a játékosok értékelő ülést tartanak.

Egy mások játék, amit középiskolai vetélkedő formájában szerveztek Nagy-Britanniában 1978-79-ben. Egy szimulált tervre épült, amelyben különböző szakos végzős diákokból álló csoportoknak kellett eljátszaniuk egy UHF televíziós átjátszó hálózat tervezetén dolgozó munkatársak szerepét. Ezt egy feltételezett SCOTIA nevű helyen építenék meg, amely valahol Skócia nyugati partvidékén lehet. Minden iskolának tíz évre szóló programot kellett terveznie a tévéhálózat kiépítéséhez. A terv magában foglalta a fő és a közvetítő állomások elképzelhető helyének kiválasztását, az egyes állomások hatósugarának meghatározását. A tervezőcsoportoknak el kellett végezniök a részletes technikai számításokat, meg kellett becsülniök a felmerülő költségeket. Ezek után fel kellett „építeni" a hálózatot a legjobb pénzfelhasználással, társadalmilag elfogadható módon. Végül jelentést kellett írniok, amelyben ismertetik és igazolják programjukat, hogy ezzel is illusztrálják tervüket. (*3. ábra.*) A tervet ezután nyilvánosan kellett megvédeniök. Az egész játék az ország nyilvánossága előtt tévévetélkedő formájában zajlott le. A játék nagy jelentősége abban állt, hogy lehetőséget adott az iskoláknak színvonalas vetélkedőn való részvételre, mégpedig különböző szakok jó együttműködésével

A központi fűtés tervezésének szakaszai



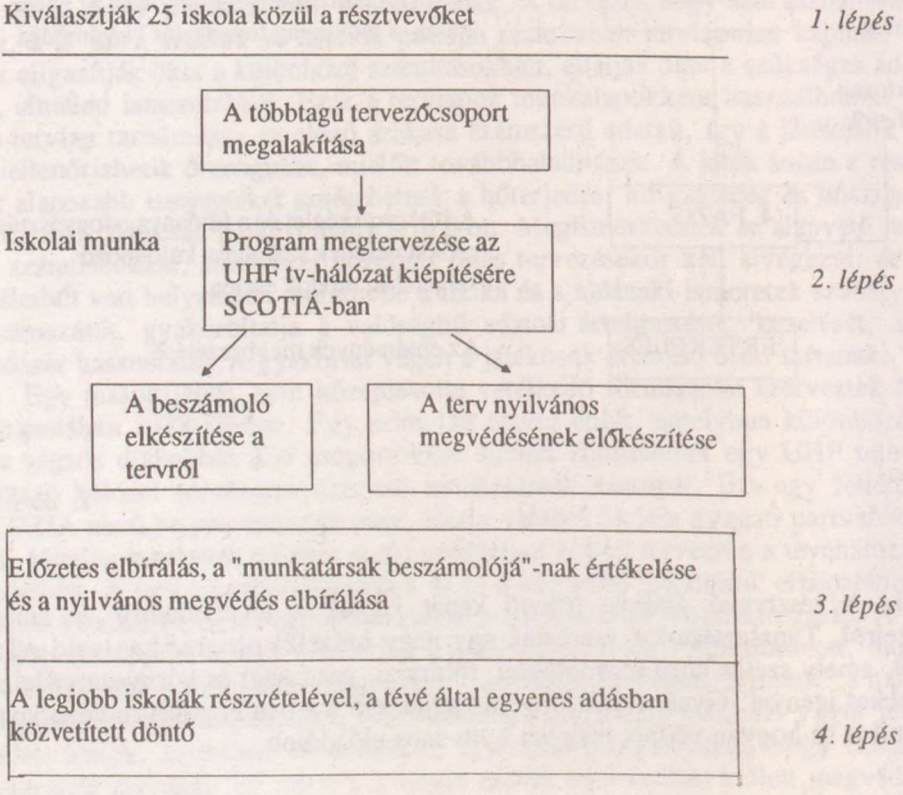
2. ábra

désével. A résztvevő diákok érthető képet kaptak a tévéátvitelről és annak költségeiről. Tapasztalatokat szereztek egy nagy műszaki programban való részvételről, amely széles körű technológiai, földrajzi, gazdasági és környezetvédelmi ismereteket igényel. Gyakorolták, hogyan adják elő írásban egy tervre vonatkozó javaslatukat és hogyan védjék meg azt nyilvános előadáson.

Döntésjátékok az energiaellátásról

Nincs olyan emberi tevékenység, amelyhez ne lenne szükség energiára. Hosszú ideig az emberi szervezet volt az energiaforrás. A technika fejlődésével más természeti erőforrások is előtérbe kerültek. Korunkban az energia szinte észrevétlenül, láthatatlanul érkezik a felhasználóhoz. Legtöbben csak akkor veszünk róla tudomást, ha ebben a magától értetődően működő rendszerben zavar támad. Ekkor merül fel bennünk a kérdés: mennyire vagyunk védve az energiaellátás gondjaitól? A világ energiafelhasználása fokozatosan növekszik, az elsődleges energiaforrások lassan kimerülnek. Vajon milyen lehetőségeink vannak arra, hogy energiaellátásunk egy pillanatra se szakadjon meg? Ezekben a játékokban a

Az UHF-rendszer kiépítésének szakaszai



3. ábra

tanulók megismerkedhetnek korunk energiaproblémáival, a különböző energiaforrásokkal, a jövő lehetőségeivel.

Az alternatív energiaforrások játékában a helyszín egy kisebb elszigetelt terület (az eredeti változatban Skócia nyugati partvidékén Elaskay képzelt sziget). A sziget lakossága 10 000 fő. Jelenleg az energiát dízelerőművek szolgáltatják, de azok néhány éven belül fokozatosan elavulnak, tíz év múlva működésük kritikussá válik. A tervezet célja olyan program kidolgozása, amely kielégíti a sziget elektromos energiaszükségletét az elkövetkező ötven évben. A problémát a sziget természetes energiakészletének felhasználásával kell megoldani, miközben a népesség létszáma az elkövetkező húsz évben rohamosan növekszik. A népesség növekedésével együtt természetesen a villanyenergia-fogyasztás is emelkedik. – Az osztályt öt munkacsoportra kell osztani. Minden csoport egy természetes energiaforrást (tőzeg, napenergia, szélenergia, ár-apály energiája, hidraulikus energia) vizsgál meg. A tanulók az egyes energiaforrásokkal kapcsolatosan részletes utasításokat találnak egy előre kiadott füzetben. Mind az öt típust rövid ismertető mutatja be, amely szól a felhasználás módjáról, az alapelvekről. Ahol szükséges, a füzet az energiatárolás lehetőségeit is ismerteti. Néhány szóval utal a környezetszennyezés mértékére, összehasonlítva azt a többi erőműtípusával. Minden technológiánál ismerik a játékosok a felépítés és a működőképesség időtartamát. – A különböző munkacsoportoknak az adott erőmű esetén egy feladatlapot kell kitölteni. Minden erőműtípusnál 3-4 különböző nagyságú erőmű adatait kell kiszámolni. Így megismerik az erőmű évi energiatermelését, az üzemeltetés és karbantartás költségeit, a törlesztések évi összegét, majd az előállított elektromos energia kilowattórájának árát. Miután a technikai és a gazdasági vizsgálatok elkészültek, a csoportok ismertetik eredményeiket, végül véleményüket az ajánlott megvalósítás lehetőségeiről. A játék utolsó szakaszában az osztály együtt dolgozza ki a diákok szerint legmegfelelőbb kombinált megoldást, amelynek ki kell elégítenie a lakosság egyre növekvő igényeit, árban is elfogadhatónak kell lennie, valamint a környezetvédelmi szempontoknak is eleget kell tennie. Ez a program 3 iskolai órán megvalósítható, de célszerű még egy órát rászánni,hogy a többi alternatívát is megismertessük a tanulókkal. A játék során az elektromosság előállítására különböző módszereket ismernek meg a diákok. Tájékozódnak a hosszútávú tervezés stratégiájáról, valamint azokról a technikai, gazdasági és környezetvédelmi kérdésekről, amelyeket figyelembe kell venniök. Segíti a tanulókat az értékelés és az értelmezés, valamint az állásfoglalás képességének fejlesztésében.

Egy másik játék során egy képzeletbeli fejlődő ország – Buenafortuna – energiaellátásának tervét kell kidolgozni. Az osztály három munkacsoportra oszlik, ugyanis a játék három lehetőséggel foglalkozik: szénnel, olajjal és nukleáris energiával. A tanár a játék első harmadában ismerteti a lehetőségeket, beszél az egyes energiafajtákról. Miután a gyerekek tanulmányozták a nekik kiosztott füzetet, ki kell tölteniök egy technikai és egy gazdasági kérdéseket tartalmazó táblázatot. A második részben a táblázatokon a munkacsoportok párhuzamosan dolgoznak, a kalkulációk elvégzése után felkészülnek a tanár kérdéseinek megválaszolására. A harmadik rész a legfontosabb, amikor az osztály megszavazza, hogy

melyik energiaforrás a legalkalmasabb Buenafortuna ellátására. A szavazás előtt a tervezetek költségeit és hatásait ismertetik. A tanulók ekkor ismerik meg a többi munkacsoport eredményeit is. A kérdések jellege hasonló az Elaskay-tervezetben szereplőkhöz. Egy lényeges eltérés van: itt a játékosoknak mindig lehetőségük nyílik arra, hogy a szükséges nyersanyagot külföldről importálják. A játék nevelési célja, hogy megtanítsa a diákokat, hogyan fejlesztenek elektromos áramot szénből, olajból és nukleáris energiából, bemutassa a különböző technikai és gazdasági tényezőket, amelyeket számításba kell venni, amikor egy fejlődő ország energiaellátási terve készül. Megmutatja a tudományos és gazdasági elvek működését a gyakorlatban. A játék olyan közeget teremt, amelyben fejlődhet a megértési készség, a döntési- és vitaképesség. A gyerekeknek a szavazásnál önállóan kell véleményt alkotniok, és vállalni kell a döntést, ez pedig a demokrácia alapja. Végül is Buonafortuna nem különbözik nagyon Magyarországtól.

Az erőműépítési versenyfelhívás a Magyarországon legszélesbb körben elterjedt döntésjáték, amely megtalálható a IV. gimnáziumi fizika Tóth Eszter által írt munkafüzetében. A játék fizikára alapozott szimulációs gyakorlat, amely fizikaórán is elvégezhető. Nagy, 2000 MW-villamos energiát szolgáltató erőművet kell építeni egy elképzelt, Barackia nevű országban. Itt is három erőműtípus közül kell választani; olaj-, szén- és atomerőmű építhető. Három csoport dolgozza ki az építésre vonatkozó terveket; hol, mekkora költséggel mennyi energiát tudnának termelni az általuk elképzelt erőművek? A versenytárgyaláson majd Barackia parlamentje dönt, melyik terv a legkedvezőbb az országnak, melyiket fogadják el? A képviselőket az osztály titkos szavazással választja, ők maguk közül jelölik ki az elnököt. Fontos szerep jut még az iparügyi miniszternek, aki a versenytárgyalást vezeti. A vállalkozók 3-6 fős csoportokat alakítanak. Ha igény támad, alakulhat más vállalkozó csoport is, pl. a napenergia hasznosítására. – A játék a versenyfelhívással indul. (*4. ábra*) A szerepek kiosztása után kezdődik a tervek kidolgozása, amihez részletes információk állnak a játékosok rendelkezésére a munkafüzetben a fűtőanyag hozzáférhetőségéről, a hűtés megoldásáról, a munkaerőigényről, a környezetvédelemről, a beruházási és üzemeltetési költségekről, a műszaki adatokról. A természetföldrajzi adatok térképekről olvashatók le. A felkészülés időtartama 1-2 hét lehet, ezalatt a diákok tanulmányozzák a témát, hiszen pontos válaszokat kell adniuk a felhívás kérdéseire. A terv elfogadtatása érdekében reklámfogások is alkalmazhatók. A felkészülésben bármilyen segédeszköz használható, de a tervet önállóan kell megvédeni. A csoporton belül célszerű megosztani a feladatokat, a végleges terv elkészítésekor azonban elengedhetetlen az együttműködés. A felkészülést a versenytárgyalás követi, ahol minden csoport előadja és védi tervét. A képviselők ezután szavaznak. A szavazás eredménye a végső döntés. Sor kerülhet több osztály győztes vállalkozói közötti versenyre is.

A versenyfelhívás

ERŐMŰÉPÍTÉSI VÁLLALKOZÓK, FIGYELEM!

2000 MW villamos energiát szolgáltató erőműre van szüksége országunknak. Vízezésünk nincs. Gázmezőt nem rejt a földünk mélye.

SZÉN? OLAJ? ATOMERŐMŰ?

Képviselőink versenytárgyaláson döntik el, hol, milyen típusú erőművet építsünk.

Szempontjaink:

1. Megfelel-e népünknek a hely kiválasztása?
2. Mekkora a beruházási költség?
3. Mekkora az üzemeltetési költség?
4. Mekkora lesz a munkabér üzemeltetéskor?
5. Tervezett-e a vállalkozó melléküzemet a hulladékhő felhasználására? Egyéb hulladékra?
6. Mennyi energiát kap évente az ország?
7. Mibe kerül 1 kWh villamos energia?
8. Környezetvédelem.

Várjuk a terveket!

A versenytárgyalás időpontja:
helye:

További részleteket mellékelünk az érdeklődőnek.

Barackia iparügyi minisztere

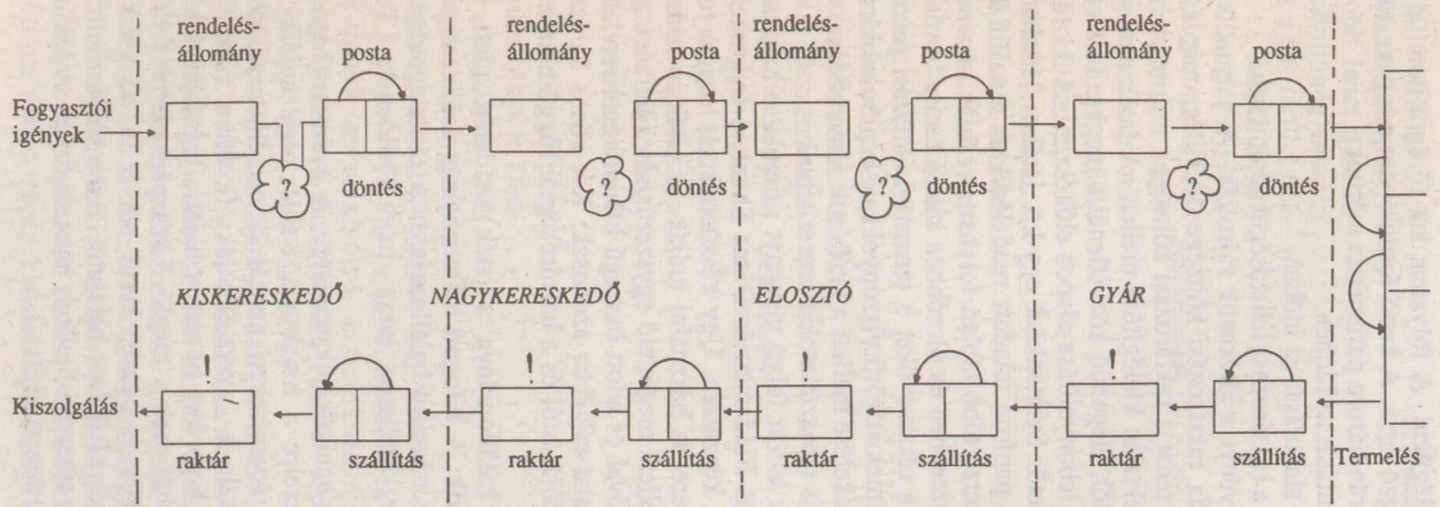
4. ábra

Gazdasági döntésjátékok

A gazdasági döntési játékmodellek egyik legegyszerűbb és legismertebb változata a *Gazdálkodj okosan!*, amelyben a játékosok bizonyos gazdasági eszközök vásárlásáról vagy eladásáról döntenek. A fejlettebb játékok közgazdasági modellek alapján működnek; a döntéseknek megfelelő gazdasági folyamatok következményeit a megfelelő matematikai modell alapján, többnyire számítógép segítségével határozzák meg. A játékok bizonyos vállalati típusfeladatot tükrözhetnek, esetleg egy ágazat jellegzetességeit mutatják be. Az itt ismertetett játék komplexen összekapcsolja egymással a gazdasági élet valamennyi főbb tényezőjét. A modellekbe azokat a közgazdasági kategóriákat építik be, amelyeket – az oktatás céljainak megfelelően – fontosnak tartanak. (Pl.: termelés, beruházás, anyag- és pénzgazdálkodás, értékesítés.) A tapasztalatok szerint ez a módszer elősegíti, hogy a tanulók a gyakorlatban előforduló gazdasági tevékenységek kapcsolatát jobban áttekintsék, játékos formában közelebb kerüljenek hozzájuk a speciális közgazdasági ismeretek.

A termelési-elosztási rendszer szimulációja esettanulmány, a Magyarországon készült néhány döntésjáték egyike, Nemeslaki András és Zámori Zoltán dolgozta ki 1987-ben. A játék egy üdítőitalt gyártó-elosztó-értékesítő hálózat egyszerűsített változata, amelyben a hálózat négy szintje különíthető el. A legalsó a kiskereskedelmi szint. Ennek a valóságban az éttermek, eszpresszók, élelmiszerüzletek felelnek meg. Az itt dolgozó vezetők az igényektől függően bizonyos időközönként rendeléseket adnak fel az eggyel feljebb lévő szintnek, a nagykereskedelmi raktárnak. A nagykereskedelmi szint a beérkezett rendeléseket szerződésben kikötött feltételek szerint igyekszik kielégíteni. A nagykereskedők tehát szállítanak a kiskereskedőknek, ugyanakkor saját raktárkészletüket figyelve ők is rendelnek a fölöttük levő területi elosztóktól. A területi elosztók a nagykereskedők igényeinek kielégítése mellett megrendeléseket is adnak fel a gyárnak. A gyárban a beérkező igények alapján állítják be a termelési programot, és a saját raktárukban tárolják a kész üdítőitalokat tartalmazó ládákat. A szállítás körülményeit itt is szerződésben rögzítik. A megrendeléseket mindig ki kell elégíteni, mert a szerződés kötelez, rendelni viszont korlátlan mennyiséget lehet. A raktárban levő készleteket érdemes a minimálisra csökkenteni, mert a raktározás pénzbe kerül, így csökkenti a kereskedő hasznát. Természetesen a szerződésszegés is „pénzbeli" büntetést von maga után, tehát az sem jó, ha nincs elég üdítő raktáron. A játék egyszerűsítése érdekében a hálózatból csak egy ágat veszünk figyelembe, tehát a gyár egy elosztónak szállít, az elosztó egy nagykereskedőnek, a nagykereskedő pedig egy kiskereskedőnek. A lényegi tevékenységet tekintve minden szint egyforma. Minden szint rendelkezik egy rendelési ügyvitelt lebonyolító részleggel és egy raktárral, ahol az áruforgalom folyik. Az egyszerűség kedvéért a gyárnál is elkülönül az iroda és a raktár a palackozótól. Az irodák döntenek a rendelt üdítő mennyiségéről, ők továbbítják a rendeléseket az eggyel felettük lévő szintnek, a raktárak pedig a szerződések szerint szállítanak az alacsonyabb szinteknek. A termelési-elosztási folyamat elején a fogyasztók lépnek fel valamilyen igénnyel, amit a

Az értékesítési lánc modellje, ehhez hasonló táblán folyik a játék



5. ábra

folyamat végén ki kell elégíteni. A folyamat két fő ágra bomlik: a rendelést továbbító és a szállítást végző ágra. A kettő fordulópontja a gyár, ahogy az *5. ábra* mutatja. A szimuláció során három paramétert mérünk:

a) a rendelések alakulását az időben,

b) a raktárkészletek alakulását az időben,

c) adott időszakban a raktározási lehetőségek alakulását.

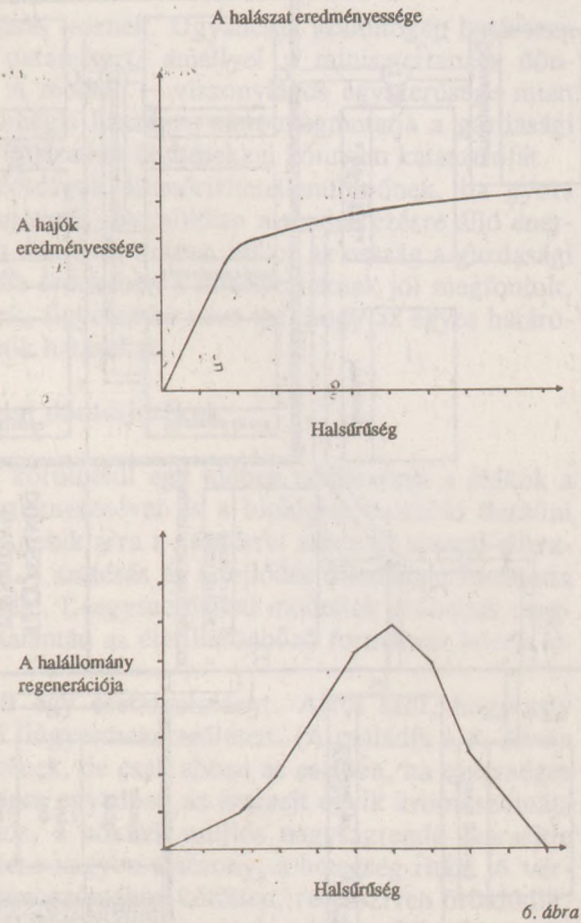
Az első két időfüggvényt a játékosok rajzolják. A harmadik mennyiség forintban mérhető, egy láda raktározási költsége 50 fillér, míg a negatív készlet büntetése 2.– Ft. A cél tehát a raktározási költségek minimálisra csökkentése a vevők igényeinek maradéktalan kielégítése mellett. A játék nem igényel előzetes felkészülést a résztvevőktől, elegendő közvetlenül a megkezdése előtt ismertetni a tudnivalókat. 40 forduló lebonyolítása alapos előkészítéssel 3 órát vesz igénybe, de még rövidebbé is tehető. Szintenként egy-két játékos játszhat. A különböző szintek egymással csak a papíron feladott rendelések és a szállítások útján érintkezhetnek. A játék egyszerre több táblán folyhat, a táblák versenyezhetnek egymással, kik tudják tökéletesebben és olcsóbban kielégíteni a vevők igényeit? Ez a szimuláció megismerteti a résztvevőket a termelési-elosztási rendszer felépítésével, a rendszert alkotó elemek közötti viszonyokkal, kapcsolatokkal. A döntési folyamat nehézségeinek érzékelése mellett a játékosok a szerződésekről, be nem tartásuk következményeiről is tapasztalatokat szerezhetnek.

Halászati társaságok között folyó versenyt szimulál a halpiac. Ezt a játékot Dennis Meadows, Thomas Fiddamen és Diana Shannon fejlesztette ki 1986-ban menedzserek, tisztviselők képzésére. Úgy készítették el, hogy a fejlődő országok kevésbé képzett szakemberei is használni tudják. A játék a halászati társaságok gazdasági versenyét modellezi megfelelő egyszerűsítésekkel. A társaságok a játék kezdetén adott számú hajóval és adott összegű banktőkével rendelkeznek, természetesen ezek minden csapat esetében azonosak. Két közös halászterületre küldhetnek hajókat, ahol az időjárástól és a halsűrűségtől függő halászzsákmányra tehetnek szert (*6. ábra*).

Az egyes területek halállománya a játék kezdetén adott, de a halászat folyamán állandóan változik. A kifogott halmennyiség csökkenti, a halsűrűségtől függő regeneráció viszont növeli a halállományt. A társaságoknak évenként kell dönteniök, hogy melyik területre hány hajót küldenek. Tevékenységüket számítógép értékeli.

A társaságok feladata banktőkéjük növelése. A győztes a legnagyobb tőkével rendelkező csoport. Bevételre a halak eladásával vagy hajóik értékesítésével tehetnek szert. A hajók árveréseken gazdát is cserélhetnek, de a társaságok újonnan vásárolt hajókkal is gyarapíthatják flottáikat. Az árveréseket a játékvezető irányítja, s az árverésre bocsátott hajót a legtöbbet kínáló kapja meg. A játékban nincs hitel, tehát csak a meglévő készpénzt lehet felkínálni. Természetesen a hajók üzemeltetése is pénzbe kerül, sőt az is, ha a kikötőben állnak. Nem kötelező minden hajót kiküldeni halászni, hiszen előfordulhat, hogy többe kerül az üzemeltetés, mint amennyi bevételt hozna a fogás. A kikötőben állás kevésbé költséges, mint a partmenti halászat.

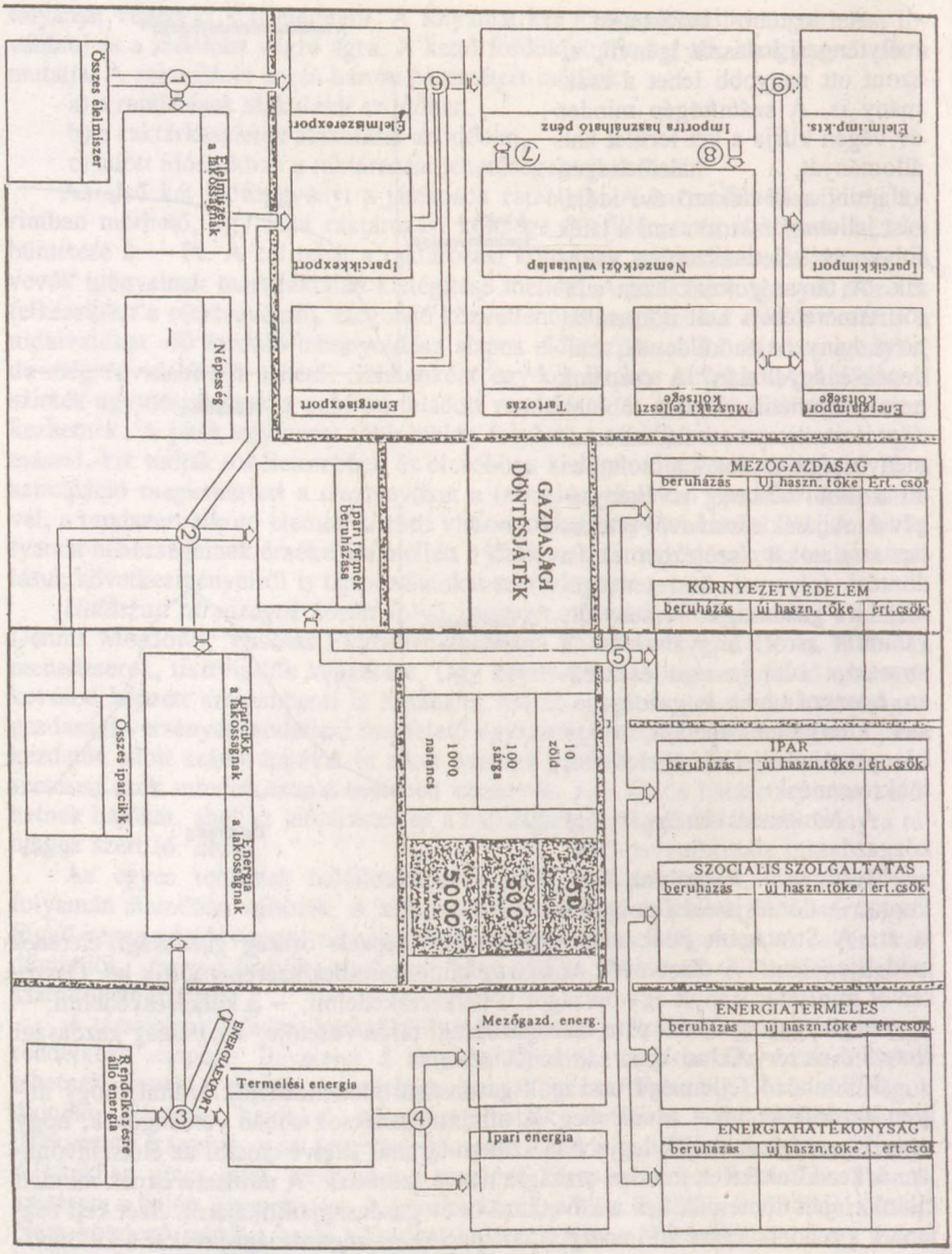
A legtöbb befektetést a mélytengeri halászat igényli, viszont ott nagyobb lehet a zsákmány is. A számítógép minden év végén kiírja a két terület halállományát, halsűrűségét, valamint a következő évi időjárást jellemző faktort, ami a játék folyamán véletlenszerűen változik. A társaságoknak ezen adatok ismeretében kell dönteniök, hová hány hajót küldenek, küldenek-e egyáltalán? A csapatok nem ismerhetik előre a többiek döntéseit, hiszen a halászat eredményessége szoros kapcsolatban áll a többi társaság tevékenységével. A játék résztvevői értékes tapasztalatokat szerezhetnek a döntési folyamat összetettségéről, a gazdasági versenyről, valamint arról, hogyan lehet a természet adta javakat ésszerűen, hoszszú távon is gazdaságosan kitermelni anélkül, hogy környezetünket menthetetlenül tönkretennénk.



6. ábra

A *Növekedés határai* című közgazdasági sikerkönyvet Dennis Meadows – és nálunk Tóth Ferenc – döntésjátékká dolgoz ta át. A Stratagém játék alaphelyzetét egy képzelt ország gazdasági életének modellje jelenti. A résztvevők az ország minisztereinek szerepét töltik be. Összesen öt miniszter irányít egy országot: a belkereskedelmi, – a külkereskedelmi, – az energiaügyi- az ipari- és a mezőgazdasági tárca vezetője. Az ország gazdasági élete 5 éves tervciklusokban zajlik. *(7. ábra)*

Különböző fejlettségű országok gazdaságai modellezhetők azáltal, hogy milyen kezdőfeltételeket adunk meg. A minisztertanácsok abban versengenek, hogy melyik országban tudják legjobban szinten tartani, illetve emelni az életszínvonalat. A kezdőfeltételek minden országra nézve azonosak. A miniszteréknek minden ciklus elején dönteniük kell a következő öt év gazdaságpolitikájáról. Szét kell osztaniuk a rendelkezésre álló energiát, az ipari és mezőgazdasági javakat a különböző termelési és fogyasztási szektorok között. A döntések alapján számítógép határozza meg az ötéves ciklus végén kialakult gazdasági paramétereket, amelyek a


Összes élelmiszer
a lakosságnak
Élelmiszer
Népesség
Élelmiszerexport
Iparcikkexport
Energiaexport
Élelmiszerimport
Importra használható pénz
Nemzetközi valutaalap
Iparcikkimport
Energiaimport költsége
Tartozás
Műszaki fejlesztés költsége
GAZDASÁGI DÖNTÉSJÁTÉK
Ipari termék beruházása
MEZŐGAZDASÁG
beruházás
Új haszn. tőke
Ért. csök
KÖRNYEZETVÉDELEM
beruházás
új haszn. tőke
ért.csök
Összes iparcikk
Iparcikk a lakosságnak
Energia a lakosságnak
1000 narancs
100 sárga
10 zöld
5000
500
50
IPAR
beruházás
új haszn.tőke
ért.csök
SZOCIÁLIS SZOLGÁLTATÁS
beruházás
új haszn.tőke
ért.csök
ENERGIATERMELÉS
beruházás
új haszn.tőke
ért.csök
ENERGIAHATÉKONYSÁG
beruházás
új haszn.tőke
ért.csök
Rendelkezésre álló energia
ENERGIAEXPORT
Termelési energia
Mezőgazd. energ.
Ipari energia
1
2
3
4
5
6
7
8
9

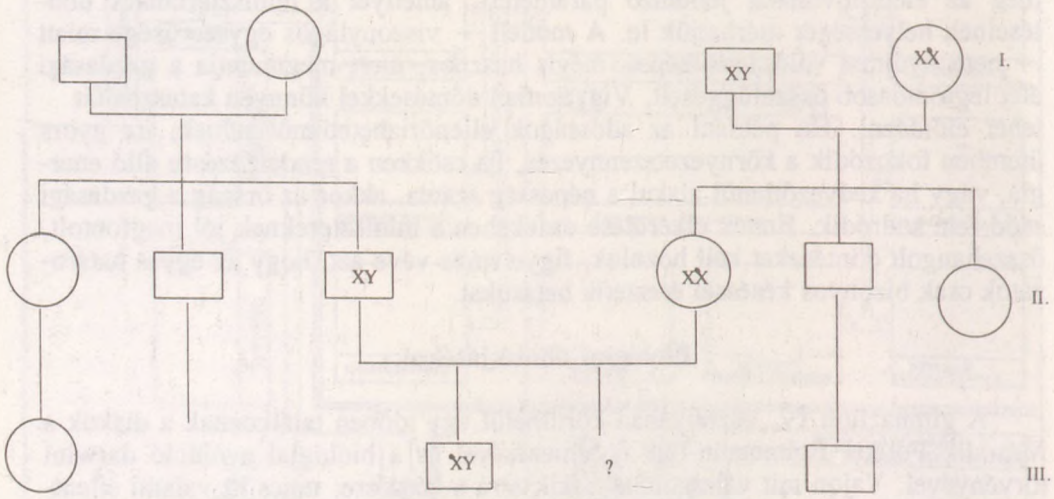
7. ábra

következő tervciklus kezdőparaméterei lesznek. Ugyancsak számítógép határozza meg az életszinvonalat jellemző paramétert, amellyel a minisztertanács döntéseinek helyességét mérhetjük le. A modell – viszonylagos egyszerűsége miatt – nem nyújthat valóságos képet, mégis hasznos, mert megmutatja a gazdasági élet legfontosabb összefüggéseit. Vigyázatlan döntésekkel könnyen katasztrófát lehet előidézni. Ha például az adósságok ellenőrizhetetlenül nőnek, ha gyors ütemben fokozódik a környezetszennyezés, ha csökken a rendelkezésre álló energia, vagy ha kedvezőtlenül alakul a népesség száma, akkor az ország a gazdasági csőd felé sodródik. Ennek elkerülése érdekében a miniszteréknek jól megfontolt, összehangolt döntéseket kell hozniok, figyelembe véve azt, hogy az egyes határozatok csak bizonyos késéssel éreztetik hatásukat.

Biológiai döntésjátékok

A gimnázium IV. osztályában körülbelül egy időben találkoznak a diákok a Második Főtétel Boltzmann-féle értelmezésével és a biológiai evolúció darwini törvényével. Vajon mit válaszolunk nekik arra a kérdésre: nincs itt valami ellentmondás? Hiszen felteszik a kérdést! A szétesés és a fejlődés dilemmája fordította fizikusaink figyelmét is a biológia felé. Leegyszerűsített modellek próbálják megértetni az élet egy-egy részletét, netalántán az élet különböző formáinak közös lényegét.

Kérésünkre Czeizel Endre készített egy esettanulmányt. Arról szól, hogy egy anyának vérzékenységben szenvedő fiúgyermeke született. (A családfa a *8. ábrán* található.) Újabb gyermeket szeretnének, de csak abban az esetben, ha egészséges lesz. Előfordulhat, hogy az egészséges egyedben az ivarsejt egyik kromoszómája megsérül. Mivel a férfiaknak billiós, a nőknek milliós nagyságrendű ivarsejtje van, káros mutáns megtermékenyülése nagyon alacsony, a betegség ritka. A vérzékenységről tudjuk, hogy az X-kromoszómához kötötten, recesszíven öröklődik. Ez azt jelenti, hogy a továbbadás kockázata lánygyermek esetében 0%, fiú esetén 50%. A betegség lényege, hogy a véralvadás egyik fontos tényezője hiányzik, így sérülés esetén a vér nem alvad meg. Emiatt a fej és az izületek kisebb megütésekor agyvérzésre, izületi üreg bevérzésre kerülhet sor. De egy foghúzás után is elvérezhet a beteg. Először azt kell megállapítani, hogy az anya hordozza-e a hibás gént. Ez vérvizsgálatokkal eldönthető, de nem teljes biztonsággal. A vizsgálatok arra utaltak, hogy hordozza a gént. Felajánlották neki, hogy ha majd terhes lesz, elvégzik a méhen belüli vizsgálatot, amellyel a magzat neme tisztázható. Két módszer van, az egyik a terhesség 10. hetében egyszerű külső beavatkozással elvégezhető, de utána a terhesség 3%-ban megszakad. A második lehetőség, a terhesség 16. hetében végezhető, és eredménye 4 hét múlva derül ki, amikor már mozog a magzat. Ekkor a terhesség megszakadásának kockázata 0,5%. A vizsgálatok után megszakítható a terhesség, de ekkor egészséges fiúk is áldozatul eshetnek (50%). Ha figyelembe vesszük, hogy korszerű vérkészítményekkel a beteg munkaképessége biztosítható, problémáik minimálisra csökkenthetők.



8. ábra

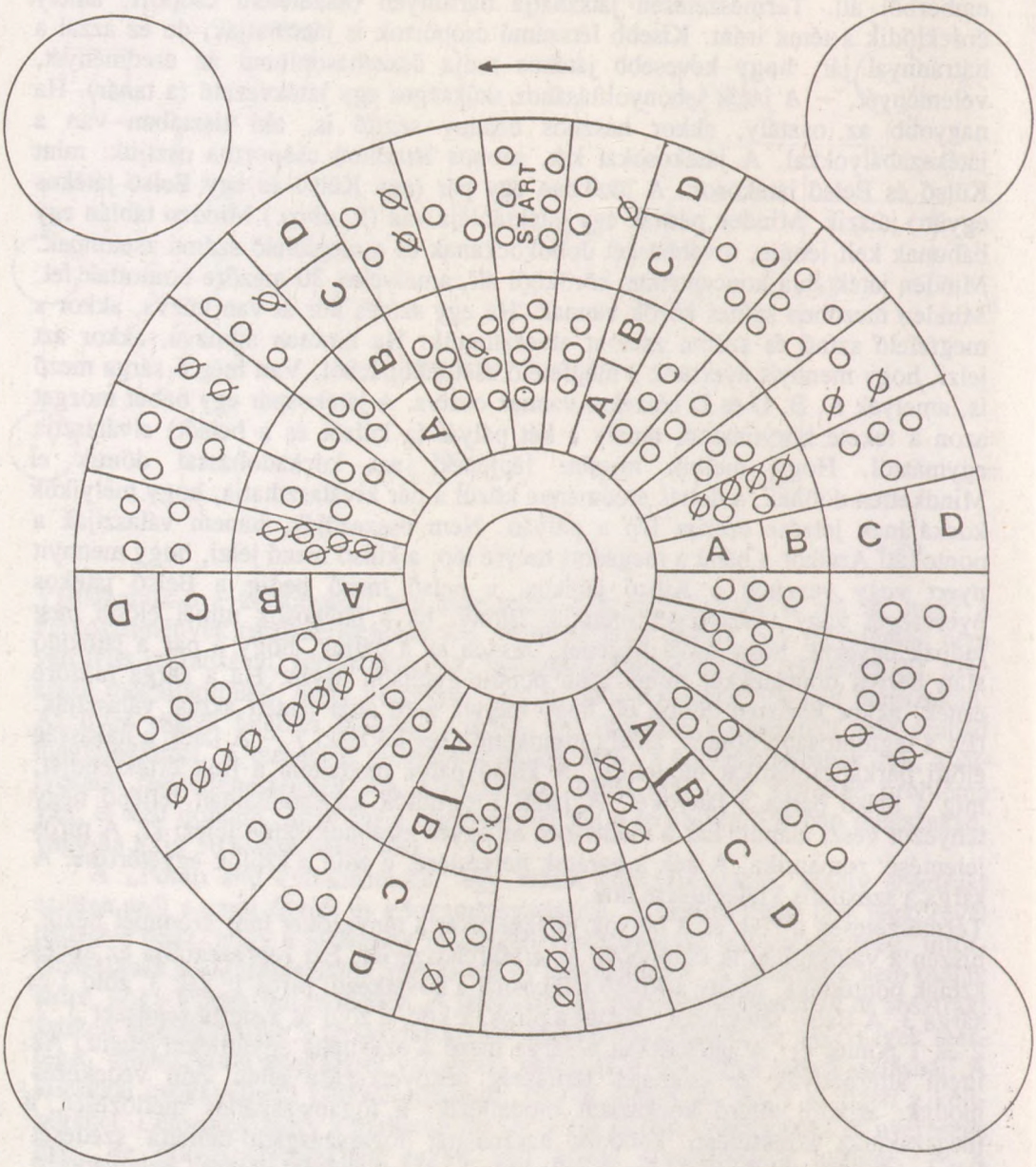
Vállalhatjuk-e a kockázatot? Ma már szem előtt kell tartanunk azt is, hogy a vérkészítmények rendszeres használói AIDS-vírussal (annak egy figyelembe nem vett friss mutánsával) fertőződhetnek. Ma már a fiúmagzatról a terhesség 20. hete körül megállapítható, hogy vérzékeny lesz-e, de a terhesség 5%-ban megszakad. Az ilyen esetek felében egészséges a fiú. Az általános kockázatról sem szabad megfeledkezni. A terhesség megszakadásának 10%, a halvaszületésnek 1%, a súlyosabb rendellenességnek 2% a kockázata. Most már csak egyetlen probléma van, el kell dönteni, hogy mi a nagyobb baj, ha a terhesség 5%-ban megszakad, vagy ha a fiú 50%-ban beteg lesz.

A „Pomp and Circumstance" egy másik játékszimuláció, amely absztrakt szinten szól a nemi életről és a fogamzásgátlásról. A játék a maga laza légkörével lehetővé teszi, hogy a játékosok magasabb szempontokat ismerjenek meg, informálódjanak a fogamzásgátlók szerepéről és használatáról. A játékosok nem tudják előre, hogy a játék mit modellez. A játékosok párpartnert választanak és absztrakt szinten megtárgyalják a társasviszonyban fellépő veszteségek és nyereségek mérlegét, döntéseikkel kockázatot vállalnak, akárcsak a valóságos párválasztásnál. A kockázat csökkenthető pontráfordítással. Együtt döntik el, hogy ki fizeti a költségeket. Lényeges, hogy a párban a két fél (a fiú és leány) kockázata és nyeresége más, de döntéshelyzetekben együtt kell közös elhatározásra jutniok. – A következő lépés, hogy megvitassák miért, és hogyan játszottak, mi lett döntéshozataluk eredménye. Ezzel a valóságban fellépő következményeket ismerik meg. Végül megbeszélik, hogy a modell mennyire közelíti meg a valóságot. Ezután pedig újra lehet játszani, most már megismerve a játék jelentéstartalmát.

A játékot iskolai osztályok számára tervezték, amely tipikusan 25-30 emberből áll. Természetesen játszhatja bármilyen összetételű csoport, amely érdeklődik a téma iránt. Kisebb létszámú csoportok is játszhatják, de ez azzal a hátránnyal jár, hogy kevesebb játékos tudja összehasonlítani az eredményét, véleményét. – A játék lebonyolításához szükséges egy játékvezető (a tanár). Ha nagyobb az osztály, akkor hasznos néhány segítő is, aki tisztában van a játékszabályokkal. A játékosokat két, azonos létszámú csoportba osztjuk: mint Külső és Belső játékosok. A játékban egy pár (egy Külső és egy Belső játékos együtt) játszik. Minden párnak egy játéktáblája van (*9. ábra.*) Minden táblán egy bábunak kell lennie, továbbá két dobókockának és a megfelelő számú zsetonnak. Minden játéktábla koncentrikus körökből áll, amelyeket 30 mezőre bontottak fel. Minden mezőben színes körök vannak. Ha egy színes kör át van húzva, akkor a megfelelő színű és számú zsetont elveszítettük. Ha nincsen áthúzva, akkor azt jelzi, hogy mennyit nyertünk a megfelelő zsetonkupacból. Van még 6 sárga mező is, amelyek A, B, C és D részekre vannak osztva. A játékospár egy bábut mozgat azon a fekete körvonalon, amely a két pályát (a külsőt és a belsőt) elválasztja egymástól. Hogy melyik mezőre lépjenek, azt kockadobással döntik el. Mindketten dobnak, a dobás eredménye közül a pár kiválaszthatja, hogy melyikük kockájának jelzése szerint lép a pályán. Nem összeadják, hanem választják a pontokat! Amikor a bábú a megadott helyre lép, a külső mező jelzi, hogy mennyit nyert vegy veszített a Külső játékos, a belső mező pedig a Belső játékos nyereségét vagy veszteségét mutatja. Előny, ha a játékosok minél előbb meg tudnak egyezni, hogy hová lépjenek, hiszen az a céljuk, hogy a pár a játékidő alatt helyes döntésekkel minél több pontot gyűjtsön össze. Ha a sárga mezőre érnek, akkor közösen döntik el, hogy melyik betű által jelzett aktust választják. (Ez a legfontosabb döntés, amely mindkettőjüket kötelezi.) – A játék a házasság előtti párkapcsolatokat modellezi. A külső pálya modellezi a fiúk értékrendjét, míg a belső pálya a lányokét. A játék a serdülők kapcsolataiban fellépő négy tényezőt veszi alapul. Ezt a modellben az egyes zsetonok színe fejezi ki. A piros jelentése: romantika. A kék a barátok helyeslése, a zöld a szülők egyetértése. A sárga a szexuális kielégülésre utal.

Természetesen a fiúk és a lányok ugyanezeket a tényezőket más szemmel nézik, hiszen a valóságban is különböző az értékrendszerük. Ezt reprezentálja az egyes színek pontértéke, amely a Külső játékosnál a következő: piros 1, kék 3, zöld 1 és sárga 3. A Belső játékosnál viszont a piros, a kék, a zöld és a sárga rendszer 3, 2, 2 és 1 pontot ér. A játéktáblán a sárga mező a szexuális együttlétet jelenti. Az itteni alternatívák az esetleges terhesség bekövetkezése ellen való védekezés módját, azoktól eltérő kockázatát modellezik: a fogamzásgátlás mellőzését, a megszakított közösülést, kondom használatát fogamzásgátló-tabletta szedését jelképezik. Köztük kell a párnak választania. A védekezés ellenére bekövetkező terhesség valóságos kockázatát újabb kockadobás fejezi ki. Az ekkor fellépő veszteség több a lánynál, mint a fiúnál, akárcsak a valóságban: „rossz dobás" következtében a fiú 40, a lány pedig 80 pontot veszít. A sárga mező *B, C* és *D* alternatívájánál manuális feladatot kell megoldani a játékosoknak. A sárga *C* és *D*

A "Pomp and Circumstance" pályája



9. ábra

feladatoknak ára van, pontot kell érte fizetni. A *C* esetben a fiúnak egy gumi léggömböt is fel kell fújni, majd csomót kell kötnie a végére. Természetesen a fiú fizeti ki a léggömb árát. A *D* esetben a lány fizet ponttal, hiszen ő vásárolja a tablettát, és a feladatot is neki kell megoldani. Miután befejeződött a két forduló, a pontokat össze lehet hasonlítani az egyes párok összegzett eredményeivel. A Belső játékosok összehasonlítják saját pontjaikat a többi Belső játékos pontjaival, a Külső játékosok pedig a többi Külső játékos pontjaival. A játék után kezdődik a beszélgetés arról, hogy hogyan és miért döntöttek úgy, ahogyan döntöttek. Melyik párt jellemezte a fiú, melyiket a leány számára kedvező döntések túlsúlya: a Külső vagy Belső partner gyűjtött-e több pontot? A játékvezető elmondja, hogy mit szimbolizált a játék. Megvitatják a valóságban és a játékban meglévő döntéshozatal párhuzamát. A kialakult kapcsolat és a játékvezető szándéka határozza meg, hogy a játékvezető tanár ajánl-e további információt (olvasni valót) a játékosoknak.

Zárógondolatok

A döntésjátékok sokoldalú közvetítő közeget alkotnak, amelyekhez a szükséges ismeretek túlléphetnek a hagyományos tanterven. A különböző információk gyűjtése közben a természettudományok fontosságának felismerésére kínálnak lehetőséget. Fejlesztik a kommunikációs készséget, helyes magatartásbeli jellemvonásokat igényelnek, ilyeneket alakítanak ki.

A játék során olyan együttműködési forma alakul ki, amelyben a játékos egyszerre figyel saját magára és társaira. Amikor hallgat, alkalmazkodik a kialakult többségi véleményhez. Amikor beszél, érvelnie kell saját elgondolása mellett, meg is kell győznie társait elképzelésének helyességéről. A meggyőzés pedig csak akkor sikerülhet, ha az érvelés logikus és egyszerű. Ennek gyakorlására jó lehetőséget teremt a játék.

Az ilyen feladatok magasabb szintű képességeket igényelnek és fejlesztenek, mint amilyeneket hagyományos órakeretben, hagyományos oktatási módszereknél megszoktunk. A döntésjátékok alkalmasak arra is, hogy a gyengébb képességű tanulókat hatékonyan foglalkoztassák. Számukra is érdekes és hasznos tevékenységet jelentenek, hiszen olyan képességeiket mutathatják meg, amelyekre a szokásos tanítási órákon nem volt lehetőségük. Pedagógiai tapasztalat, hogy ha egy feladatot versenyhelyzetben kell megoldani, akkor ez minden kétséget kizáróan motiválja és aktiválja a résztvevőket.

Azok a feladatok, amelyek több tudományágat fognak át, segítséget nyújtanak ahhoz, hogy a résztvevők integrálni tudják az összefüggő területekről származó fogalmakat, ismereteket. Éppen ez a legfontosabb cél minden oktatási rendszernél. Az ilyen interdiszciplináris feladatok még azért is fontosak, mert a valóságban is többnyire ilyen helyzeteket találunk. A különböző területeken dolgozó szakembereknek hatékonyan és kiegyensúlyozottan kell együttműködniük, s mindez az egyes ember életében is fontos tényező. E feladatok olyan nevelési

rendszert képeznek, amelyek a gyakorlat révén biztosítják a különböző területek összekapcsolását.

A játékok olyan szélesebb körű, liberálisabb tudományos nevelést biztosítanak, amelyet kizárólag tárgyi tanítással nem érhetünk el. Szemléltetik, hogy a természettudomány és a technika mennyire illeszkedik a politikai, társadalmi és a környezeti összefüggésekhez. Hasznos szakismereteket nyújtanak, előnyös magatartásbeli jellemvonásokat fejlesztenek.

A döntésjátékokkal nemcsak technikai rendszerek szimulációját tudjuk megadni, hanem minden olyan területen alkalmazhatjuk, ahol prognózisokra van szükség, így például a közgazdaságtanban, ökológiában, szociológiában. A társas viszonyok – nemzetközi viszonyok, házastársi viszonyok stb. – szimulációi segítenek az emberek szerepjátszásában, döntéseiben, valamint rámutatnak a döntések következményeire. Mindezeken kívül sok más téma is érdekes és alkalmas lehet döntésjátékban történő feldolgozásra. A szimuláció minden esetben a valóságos folyamat időigényének kicsiny töredéke alatt megy végbe. A világnak lehetnek jó és rossz modelljei, még a jók is csupán közelítések. Bármilyen sok és jó szimuláció sem jósolhatja meg pontosan, hogy mi fog történni a valóságban, de a jó szimuláció összehasonlíthatatlanul informatívabb a vak próba szerencsénél.

Az ismertetett játékok nemcsak „papíron" léteznek. Évek óta kerestük és sokszor megtaláltuk azokat a lehetőségeket – tanártovábbképzés, iskolai szakkör, tanárkonferencia, egyetemi speciális kollégium – ahol a játékok kipróbálására, ismertetésére sor kerülhetett. Az Országos Oktatástechnikai Központ néhány játék (pl. a Strategem) országos terjesztését is megoldotta.

A döntésjátékok a középiskolás fiatalok körében népszerűek. Gazdasági döntésjátékok országos versenyét többízben rendezték meg, ahol az ország különböző részeiből neves iskolák csapatai vettek részt, korukat meghazudtoló komolysággal és játékszeretettel. Volt nemzetközi verseny is, ahol a magyar fiatalok kanadai tizenéveseket győztek le ismételten, nem is akármilyen arányban.

Aki játékosként, vagy akár játékvezetőként részese volt ezeknek a játékoknak, maradandó élményt szerzett. A tanárok és az évek alatt egyre „öregedő" középiskolások körében kialakult egy olyan csoport, amelyik ötleteivel folytonosan fejleszti a játékokat, azokat saját környezetében terjeszti, és bármikor szívesen játszik.

Végezetül egy megtisztelő véleményt idézünk Kürti Miklóstól (Oxford), aki az Energia-alternatívák/Kockázat-nevelés konferencia Szex-játék című műhelyfoglalkozásáról adott ismertetőjét így fejezte be (Fizikai Szemle 1990. 11.) „... a játék szórakoztató módon illusztrálta a döntés és következmény kapcsolatát."

GECSŐ ERVIN – MARX GYÖRGY

Mit ér az iskola, ha magyar?

A tudományos emberfők mennyisége a nemzet igazi hatalma. Ennek statisztikája az ország legértékesebb része.
Széchenyi István: Hitel

Történelmi kihívás

Ötszáz esztendővel ezelőtt fedezte fel Kolumbusz Amerikát. Ekkor tolódott el a történelem súlypontja a Mediterrán Medencéből – Itáliából, az Ozmán Birodalomból – az atalanti partokra – Spanyolország és Portugália, majd Franciaország és Hollandia, később Anglia és az Egyesült Államok területére. A korszakváltás könnyen felismerhető tünete a nemzetek sorrend cseréje, de a korszakváltás motorja az érték-sorrend váltás. A hagyományos – stabil társadalomban igen üdvös – viselkedési formák hanyatlást eredményezhetnek az új feltételek között. Fontosabb lett a navigáció ismeretlen vizeken, mint a központi hatalom. Kolumbuszt a reformáció követte és az ipari forradalom.

Az ókorban a változások meglehetősen lassúak voltak az emberi élet hosszához hasonlítva. Ezért a társadalom időtlen modellekre építkezett. Emlékezzünk a piramisokra, a Parthenonra, a háromszögre, az egyensúlyra. Az örökkévalóság volt a filozófiai ideál. Az ókori társadalomnak ezt az érzését fejezte ki a szobrászat és építészet (időtlen művészetek). A tudomány a sztatikus geometriára támaszkodott. A *Mediterrán medencében született geometrikus-geocentrikus világmodell* évezredeken át jól bevált a történelemelőttitől a reneszánszig. Abszolút erkölcs kodifikálta ezt az ideológiát. Az egész szerkezet szilárdnak és erősnek bizonyult, amíg a társadalmi környezet viszonylag állandó volt (észrevehetetlen mértékben változott a generációváltás ütemehez képest). A természettudományban a testeket merevnek, az atomokat örökkévalónak, a fajokat megváltoztathatatlannak, a geometriai axiómákat vitathatatlanoknak tekintették. Mint az erkölcsi törvényeket és a társadalmat. A világ lényegének megragadásához klasszikusokat kellett olvasni.

A „haladás" 500 évvel ezelőtt vált észrevehetővé, elsőnek Európában. Az ókorban olyan csúfnak és természetellenesnek ítélt mozgás szép lett a barokk korszakban. A színház és zene – időbeli művészetek – fejezték ki az új kor szellemét, előkészítve a kulturális ízlést a rádió, a mozi és a tévé érkezésére. A természettudományokban a dinamikai szemlélet kiszorította a sztatikait. Galilei és Newton, Monteverdi és Bach, Shakespeare és Darwin sok mindenben közös volt: valamennyien az időbeli fejlődésre összpontosítottak. A versenyben maradáshoz az egyén számára nem volt elegendő a szülők utánzása: új iparok jöttek létre, új területeket gyarmatosítottak, földművesek a városba költöztek. Ezért a társadalom

kitalálta az iskolát, az általános és kötelező oktatást, a tantervek és tankönyvek rendszeres felülvizsgálatával. Karl Marx és Arnold Toynbee lettek a népszerű próféták, az osztályharc és az ismeretlen határvidék kihívásának serkentő hatásáról értekeztek. Az egyenlőtlen társadalmi beilleszkedés, az ipar és a fegyverek egyenlőtlen fejlődése eredményezhette az országok sorrendjének megváltozását. Úgy tűnt, hogy az Atlanti Kultúra választ kínál az emberiség minden problémájára.

Századunk második felében valamennyi társadalom gépezetén hibák jelei mutatkoztak. A modern természettudomány és szülötte, a magas szintű technika (high tech) a történelem ütemét felgyorsította a generációk változásához képest. *Amit Jancsi megtanult az iskolában, abból János bácsi már nem él meg.* A telekommunikáció – telefon, rádió, tévé –, a belső égésű motorok (autók, repülők), a számítógépek, a fogamzásgátló tabletták mélyebb változást eredményeztek a politikai-erkölcsi-társadalmi láncolatban egy évtized alatt, mint bármely ideológia, filozófia vagy vallás okozott korábban hosszú évtizedek során. A III. világháborút (az úgynevezett hidegháborút) nem katonákkal, tankokkal, bombákkal vívták és nyerték meg, hanem telekomunikációval, fejlett technikával. A nemzetek között a verseny manapság gazdasági és pedagógiai téren folyik. A hadsereg kevésbé releváns, mint a képzelőerő. Ha a háború utáni határok egyáltalán megváltoznak, az valószínűleg a Kurili Szigeteknél történik, és a változást nem hódító fegyverek kényszerítik majd ki, hanem a magasabb rendű gazdaság. Ha az iskola csak a hagyományos társadalmi tradíció átörökítését akarja elérni történelmileg a mulandó modellek végső dogmaként való bemutatásával, nem a haladás motorja lesz, hanem annak fékje. Az iparosodott nyugaton az elidegenedés, a kábítószer, a tetoválás, a vandalizmus, a terrorizmus olyan szimptómák, melyek főleg a fiatalok között terjednek. A magas szintű technikában képzetlen munkaerő megismeri a munkanélküliséget; a szakszervezetek mint jelenkori „géprombolók" lassítani próbálják a technológiai haladást. A generációs szakadék és a szülői presztízs elvesztése kikezdi a családi kötelékeket. Társtalan felnőttek, elszökött kamaszok lézengenek a leggazdagabb országokban. A jövőtudattal bíró iparosodott nemzeteknek új társadalmi modellt kell keresni. A Szovjetunió költségvetésének 20%-át fordította a fegyvereire. Korea költségvetésének 20%-át iskoláira költi. Amerikában a piackutatás fontosabb a termelésnél, a termék kelendősége jobban függ a reklámoktól, mint a minőségtől (Marlboro-szimptóma) A Távolkeleten a külkereskedelmi minisztériumok fő feladata viszont az, hogy csak a legkiválóbb minőségű árunak adjon exportengedélyt. Néhány közgazdásznak az a véleménye, hogy a Pacifikum lesz a Mediterráneum a következő században.

A természettudományos oktatás különböző mutatóinak elemzésében a Konfuciánus Övezet (nevezzük röviden Távol-Keletnek) teljesítménye versenyképes a legjobb európai oktatás teljesítményével. Azok, akik hajlamosak az iskola szerepének túlértékelésére, készek az optimista magyarázattal: a természettudományos oktatás szintje közvetlenül összefügg az ipar teljesítőképességének növekedési szintjével. Ez magyarázatot kínál Kelet sárkányainak gazdasági felemelkedésére. (Toynbee hozzátenné a határvidék kihívásának pozitív befolyását, amely elmond-

ható Japán és Korea, valamint Kalifornia, Ausztrália és Új-Zéland esetében.) A kínai és japán pedagógusok még így is alsóbbrendűségi érzést táplálnak nevelésük és állampolgáraik kreativitását illetően. Pedig a Westinghouse természettudományos vetélkedő tévédöntőjének csaknem fele amerikai gyerek keleti nevekkel. Néhány amerikai szakértő hajlamos a keletiek kiváló eredményét az erős családi morállal magyarázni: szülői nyomás készteti a gyerekeket memorizáló tanulásra. Ezen magyarázat szerint a keleti gyökerekkel rendelkező gyerekek jobbak az iskolában, mint a kutatásban. A japán termékek csak a nyugati felfedezések olcsó realizációi. A további fejezetekben bemutatandó néhány adat hozzájárulhat ehhez a vitához.

Nemzetközi felmérések

A 2. nemzetközi IEA felmérés gazdasági mutatói

Ország	Egy főre eső nemzeti jövedelem US $-ban	A közoktatásra fordított összeg előbbi %-ában	Tanári fizetés/ az egy főre eső nemzeti jövedelem	A könyvek darabszáma a családban
Anglia	8 750	11	1,85	*212
Ausztrália	11 060	16	*2,07	*235
Finnország	10 800	16	1,99	142
Fülöp-szigetek	660	9	1,90	62
Hong-Kong	6 730	*17	1,69	52
Izrael	5 090	8	?	14
Japán	10 650	10	1,93	117
Kanada	*13 310	14	*2,02	65
Kína	310	12	?	?
Korea	3 150	*20	*2,12	98
Lengyelország	2 110	4	0,94	92
Magyarország	2 060	5	0,79	183
Norvégia	3 970	?	1,22	*224
Olaszország	6 400	9	1,71	?
Svédország	*11 880	*19	1,22	210
Szingapur	7 470	11	1,34	97
Thaiföld	840	3	1,21	?
USA	*15 500	6	1,52	178

1. táblázat

* jelzi a kiemelkedően magas értékeket.

A Pedagógiai Teljesítmények Értékelésére Alakult Nemzetközi Társaság (International Assotiation for Evaluation of Educational Achievement) ismételt vizsgálatokat kezdeményezett, melyek különböző kontinensek tanulópopulációinak átlagos teljesítményeivel foglalkoztak. A vizsgálat kiterjedt különböző európai országokra, az USA-ra, Kanadára, Távol-Keletre és a harmadik világ néhány országára. A felmérés az 1970-es évek elején kezdődött, és megismétlődött az 1980-as évek elején, lehetővé téve a trendek megfigyelését is. A felmérést ismét elvégzik majd a 90-es években, ami a trendekkel és a következményekkel kapcsolatban felmerült további kérdések megválaszolását ígéri.

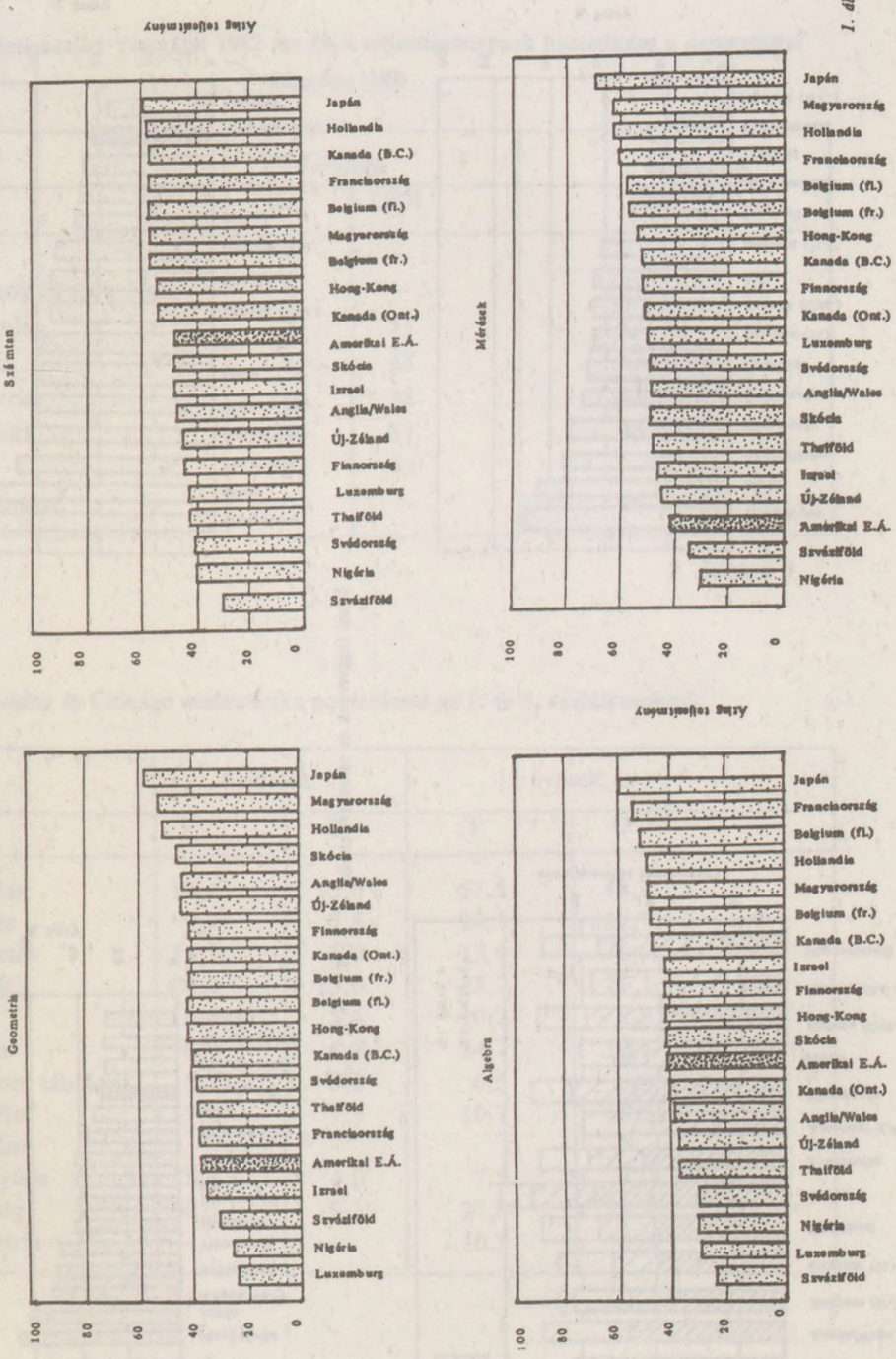
A második nemzetközi természettudományos vizsgálat (SISS) tartalmazta ezt a kérdést: Mekkora figyelmet fordít az ország a nevelésre? A felmért adatokat tartalmazza az *1. táblázat*. (A vizsgált szempontból legerősebbnek tartott három ország adatait következetesen csillaggal jelöljük.) Az egyes országok adatainak relevanciája megkérdőjelezhető ugyan, egy azonban nyilvánvaló: Kelet sárkányai költségvetésük tekintélyes hányadát szentelik az oktatásra, tanáraikat az átlagos jövedelemhez képest jól megfizetik. A harmadik világ országai, Kelet-Európa és az USA keveset szán az iskolákra. Kelet-Európa az átlagos jövedelem szintjéhez viszonyítva alulfizeti tanárait.

Matematika

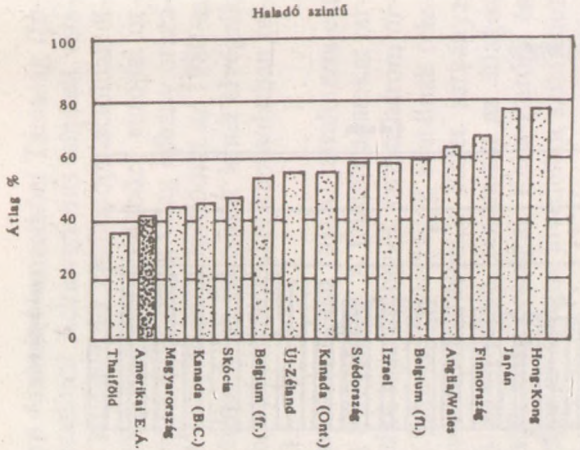
A matematika nemzetközi tudomány. A matematikai teljesítmények felmérése releváns a tudományos, technológiai és közgazdasági sikerek vonatkozásában. A részt vevő országok pontszámait a 14 évesek és 18 évesek csoportjainál az *1–2. ábrák* tartalmazzák. Japán (és Hongkong) fölénye nyilvánvaló. Számunkra említésre méltó, hogy míg a 14 éveseink jól szerepeltek, a 18 évesek kategóriájánál erősen visszaestünk. Ezt valószínűleg magyarázza a viszonylag modern általános iskolai matematika-tanterv, mely valószínűségszámítást és függvényeket kínál, szemben a sokkal hagyományosabb középiskolai matematika-tantervvel, mely mellőzi a statisztikát, határértéket és a differenciál-integrálszámítást.

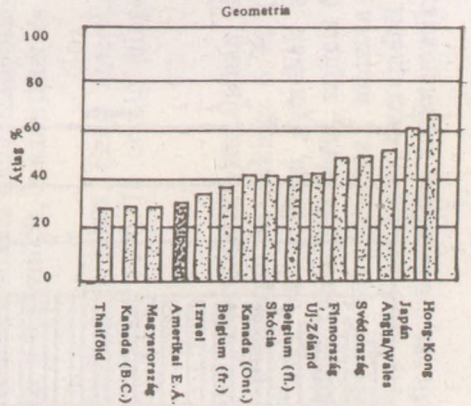
Az USA aggódik diákjainak alacsony teljesítménye miatt. Ezért amerikai szakértők összehasonlították a teljesítményüket a részt vevő 15 ország átlagával *(2. táblázat)*.

Sajnálatos, hogy Kína nem vett részt az IEA matematikai vizsgálatban, de egy másik részletes tanulmány összehasonlítja a chicagoi és pekingi 6 és 11 évesek teljesítményét *(3. táblázat)*. Látható, hogy bár a kínai gyerekek az amerikaiaknál magasabb pontszámot értek el matematikában, *(3. ábra)*, szüleik és tanáraik kevésbé voltak megelégedve a teljesítményükkel, *(4. ábra)*, mutatva a Kelet családi moráljának szerepét. A kínai általános iskolások kiváló szereplését a matematikában megerősíti a kínai teljesítmények tanulmányozása a matematikai diákolimpiákon.

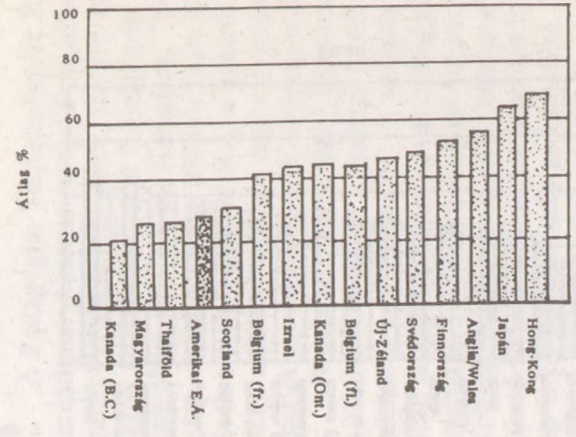

Számtan
Japán
Hollandia
Kanada (B.C.)
Franciaország
Belgium (fl.)
Magyarország
Belgium (fr.)
Hong-Kong
Kanada (Ont.)
Amerikai E.Á.
Skócia
Izrael
Anglia/Wales
Új-Zéland
Finnország
Luxemburg
Thaiföld
Svédország
Nigéria
Szváziföld
Átlag teljesítmény
100
80
60
40
20
0
Mérések
Japán
Magyarország
Hollandia
Franciaország
Belgium (fl.)
Belgium (fr.)
Hong-Kong
Kanada (B.C.)
Finnország
Kanada (Ont.)
Luxemburg
Svédország
Anglia/Wales
Skócia
Thaiföld
Izrael
Új-Zéland
Amerikai E.Á.
Szváziföld
Nigéria
Átlag teljesítmény
Geometria
Japán
Magyarország
Hollandia
Skócia
Anglia/Wales
Új-Zéland
Finnország
Kanada (Ont.)
Belgium (fr.)
Belgium (fl.)
Hong-Kong
Kanada (B.C.)
Svédország
Thaiföld
Franciaország
Amerikai E.Á.
Izrael
Szváziföld
Nigéria
Luxemburg
Algebra
Japán
Franciaország
Belgium (fl.)
Hollandia
Magyarország
Belgium (fr.)
Kanada (B.C.)
Izrael
Finnország
Hong-Kong
Skócia
Amerikai E.Á.
Kanada (Ont.)
Anglia/Wales
Új-Zéland
Thaiföld
Svédország
Nigéria
Luxemburg
Szváziföld

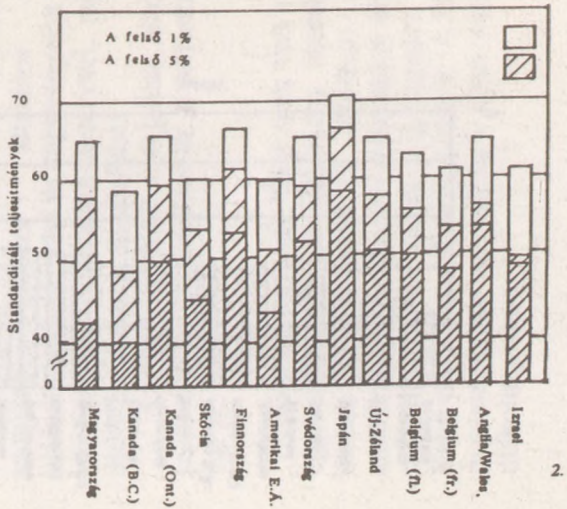
1. ábra





Elemi függvények és számítástechnika





2. ábra

IEA Matematika Vizsgálat 1982 (az USA teljesítményének hasonlítása a nemzetközi átlaghoz [M])

	14 évesek		18 évesek	
	M	USA	M	USA
Halmazok és műveletek	–	–	61	56
Aritmetika	51	51	47	40
Algebra	43	43	57	43
Geometria	43	38	42	31
Statisztika	57	57	46	40
Mérés	51	42	–	–
Függvénytan	–	–	46	29

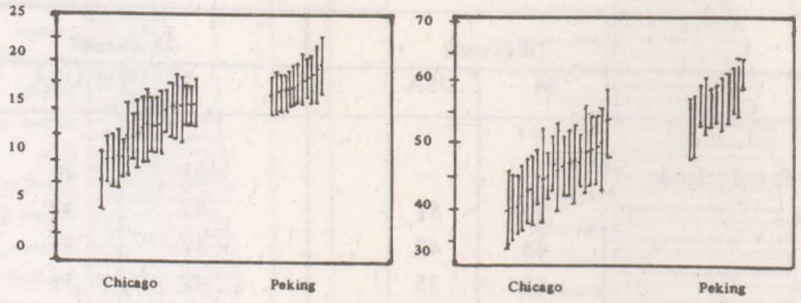
2. táblázat

Peking és Chicago matematika pontszámai az 1. és 5. osztályosoknál

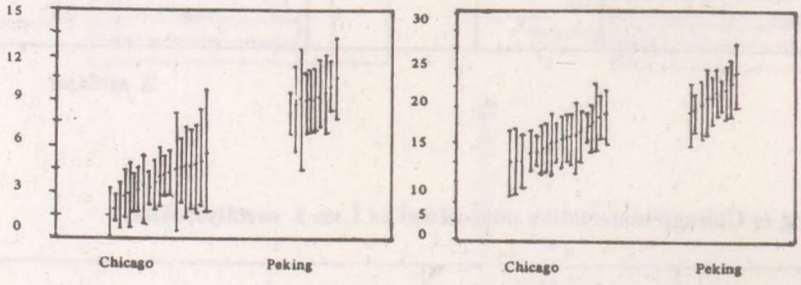
	6 évesek		11 évesek	
	P	C	P	C
Számolás	18,1	13,0	57,5	45,7
Szóértés	9,2	3,6	18,3	12,7
Műveletek	11,5	5,8	13,4	8,9
Számok	20,4	15,0	28,2	21,1
Mérés	6,7	5,6	10,2	8,8
Becslés	6,4	4,7	14,7	12,5
Grafikon, táblázat	5,1	3,8	6,5	6,9
Szemlélet	7,8	7,3	10,7	10,5
Speciális viszonyítás	5,4	4,0	7,5	7,0
Sebesség	30,5	9,1	27,0	15,1
Geometria	–	–	10,3	4,3

3. táblázat

Az átlag és 1 szórásnyi környezete a számolási tesztnél valamennyi iskolában Peking és Chicago esetén

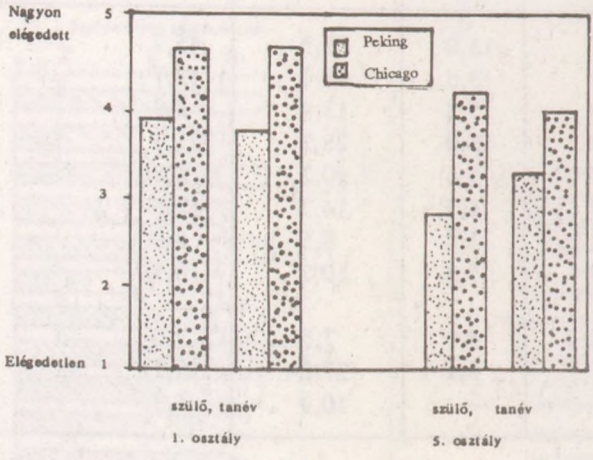


(Szöveges feladatok esetén)



3. ábra

A tanulók tanárai és szüleik elégedettsége az elért eredmények esetén



4. ábra

A Newsweek 1991. június 17-i száma idézi ezt a feladatot: „Egy makettvárosban, amit az osztály épít, egy 4 méter hosszú autót a mérethű modellben 10 cm hossz képvisel. Azonos méretarány mellett hány centiméter hossz felelne meg a modellben egy 14 méter méretű háznak? 14/4, 20, 30, 35, 40?

Az ilyen 7. osztályos szintű, egyszerű arányossági feladatot egy országos tesztvizsgálatnál az amerikai 12. osztályos tanulók 46%-a tudta helyesen megoldani. A riport így folytatódik: „Nem meglepő, hogy az ázsiai-amerikaiak szerezték a szignifikánsan több pontot valamennyi korcsoportban bármely más fajtájú vagy etnaikai csoport közül. De Hawaii, ahol legnagyobb az ázsiai-amerikaiak aránya (67%), egyike volt a leggyengébben teljesítő szövetségi államoknak. Egy lehetséges magyarázat: hawaii ázsiai-amerikaiak nagy része több generáción keresztül élt Amerikában. Ez azt jelezheti, hogy az asszimilálódott ázsiai-amerikaiak már éppen olyan gyengén teljesítettek, mint a többi amerikai."

Természettudomány

Szakértők úgy tekintik az IEA természettudományos felméréseit 1970–1983-ban, mint a legrészletesebb és legfontosabb adatanyagot a különböző országok oktatási rendszereinek teljesítmény-összehasonlításához. A résztvevő országok 10– és 14– éves korcsoportjainak átlagos teljesítményét az *5–6. ábrák* tartalmazzák. Ezekből az adatokból a Távol-Kelet (Japán, Korea, Hongkong, Szingapur) erős pozíciója nyilvánvaló, valamint az is, hogy a skandináv országok (Finnország, Svédország) versenyben vannak a 10 éveseknél, Magyarország a 14 éveseknél, Anglia a 18 éveseknél (*4. táblázat*).

Megemlíthető, hogy a brit-rendszerű elitképzést folytató országok (Hongkong, Anglia, Szingapúr) erős pozíciót értek el az utolsó korcsoportban, a fiatalabbaknál mutatott gyengébb teljesítésükhöz hasonlítva. Ez annak a ténynek tulajdonítható, hogy a brit-rendszerű középiskolások az utolsó három osztályban sokkal kevesebb (3) tantárgyat tanulnak (sokkal specializáltabb úton), mint más országok (pl. Magyarország) általánosan képző gimnáziumaiban (9 tantárgy).

Kína, mint egész ország, nem vett részt ezekben a mérésekben, de néhány keleti tartományának 14 éveseit felmérték. Eszerint Korea és Kína teljesítménye lemarad. A negyedik helyezett Kanada után viszont a tizennegyedik Kína pontkülönbsége nem szignifikáns, nem több mint 5%. A szórás tehát nagyobb, mint ez a különbség.

Az országok 1970-es és 1983-as pontszámainak összehasonlítása jelzi, hogy ezek a pontszámok megbízhatók. A legtöbb kérdés, a résztvevő iskolák és bizonyosan valamennyi tanuló különböző volt a két felmérésben.

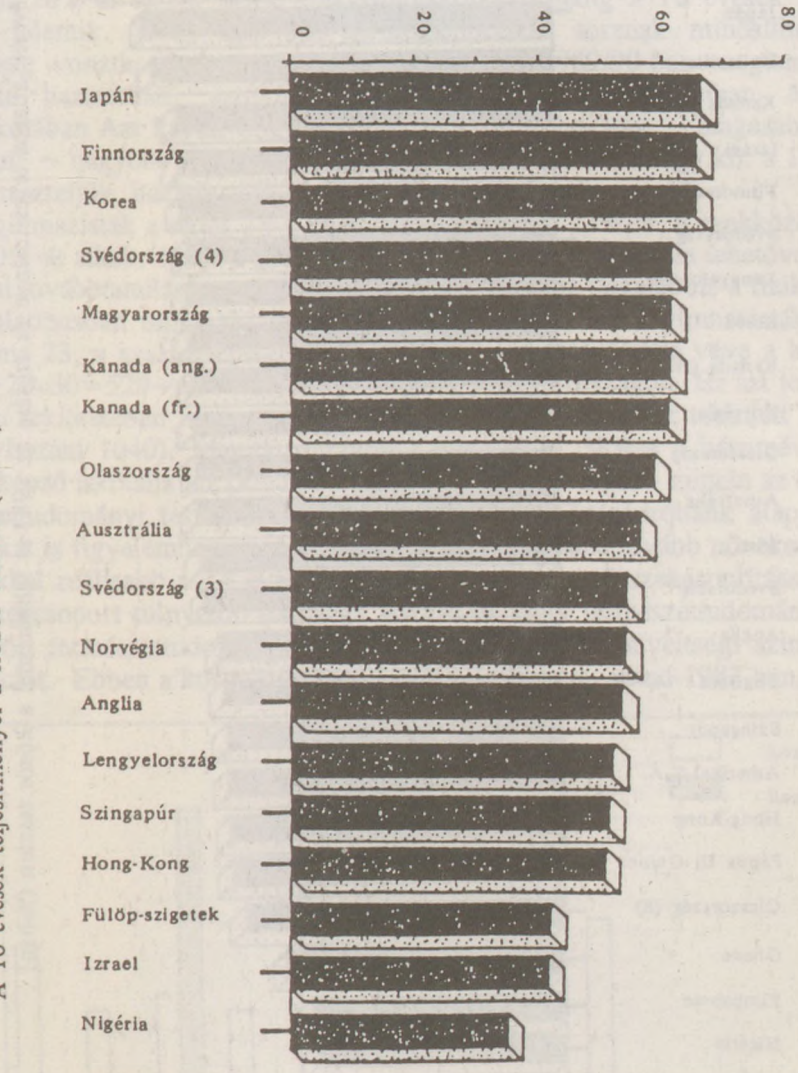
A 18 évesek teljesítményének összehasonlítása vitatható, mert ebben a korcsoportban a tanulók különböző hányada jár a középiskolák felső osztályaiba, és a középiskolások különböző hányada tanul természettudományt. Ha például valaki a 18 évesek legjobban teljesítő 3%-ának természettudományos eredményeit hasonlítja össze, akkor a sorrend Hongkong, Japán, majd a vezető európai országok.

John P. Keeves bevezette a *hozam* fogalmát, mely a tesztelt korcsoport elért pontszámának és az iskolába járó százaléknak a szorzata.

Az IEA első és második természettudományi felmérésében részt vett országok rangsorai az elért teljesítmények szerint (közös teszt, integrált természettudományos)

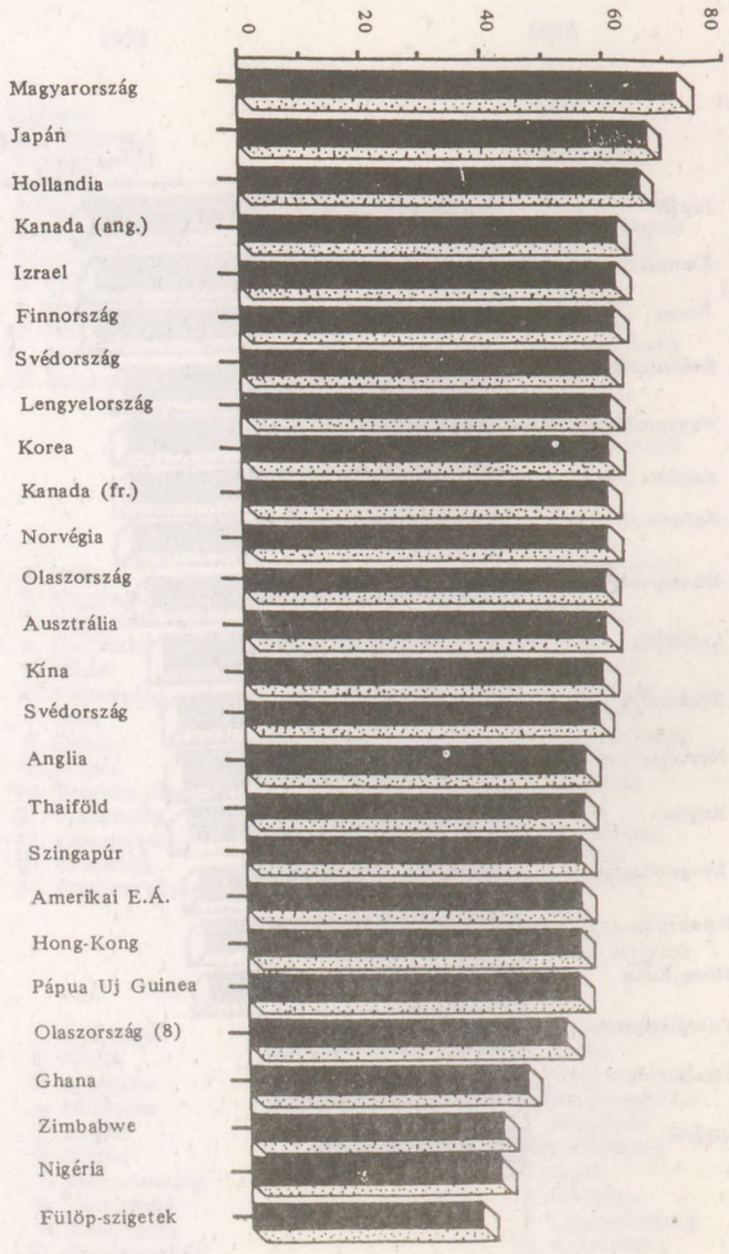
1970	1983
10 évesek	
1. Japán	1. Japán
2. Svédország	2. Dél-Korea
3. Belgium (fl)	3. Finnország
4. USA	4. Svédország
5.Finnország	5. Magyarország
6. Magyarország	6. Kanada (angol)
.7. Olaszország	7. Olaszország
8. Anglia	8. USA
9. Hollandia	9. Ausztrália
10. NSZK	10. Norvégia
11. Skócia	11. Lengyelország
12. Belgium (francia)	12. Anglia
	13. Szingapur
	14. Hongkong
	15. Fülöp-szigetek
14 évesek	
1. Japán	1. Magyarország
2. Magyarország	2. Japán
3. Ausztrália	3. Hollandia
4. Uj-Zéland	4. Kanada (angol)
5. NSZK	5. Finnország
6. Svédország	6. Svédország
7. USA	7. Dél-Korea
8. Skócia	8. Lengyelország
9. Anglia	9. Norvégia
10. Belgium (flamand)	10. Ausztrália
11. Finnország	11. Anglia
12. Olaszország	12. Olaszország
13. Hollandia	13. Thaiföld
14. Belgium (francia)	14. Szingapúr
	15. USA
	16. Hongkong
	17. Fülöp-szigetek
18 évesek	
1. Új-Zéland	1. Hongkong 13.o.
2. NSZK	2. Anglia
3.Ausztrália	3. Magyarország
4. Hollandia	4.Hongkong 12.o.
5. Anglia	5. Szingapúr
6. Skócia	6. Svédország
7. Magyarország	7. Japán
8. Finnország	8. Norvégia
9. Svédország	9. Lengyelország
10. Franciaország	10. Ausztrália
11. Belgium (flamand)	11. Finnország
12. Olaszország	12. Kanada (angol)
13. Belgium (francia)	13. Olaszország
14. USA	

4. táblázat


A 10 évesek teljesítményei a közös teszten (%-ban)
0
20
40
60
80
Japán
Finnország
Korea
Svédország (4)
Magyarország
Kanada (ang.)
Kanada (fr.)
Olaszország
Ausztrália
Svédország (3)
Norvégia
Anglia
Lengyelország
Szingapúr
Hong-Kong
Fülöp-szigetek
Izrael
Nigéria

5. ábra

14 évesek átlagos teljesítménye és szórása az 1983-as felmérésnél a közös teszten (%-ban)

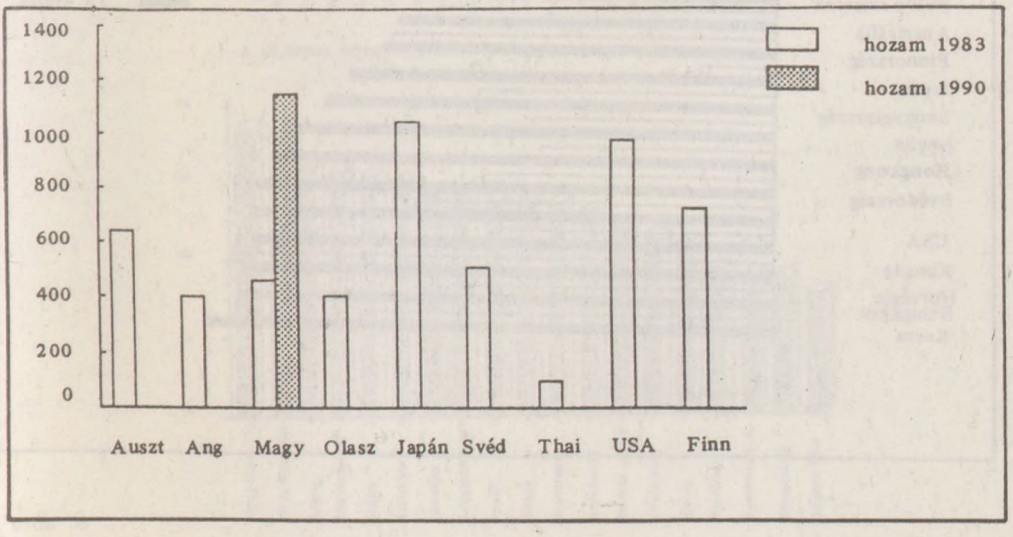


6. ábra

Magyarország a 18 évesek csoportjában látszólag kis hozamot mutat fel. Ezt azzal magyarázhatjuk, hogy 1983-ban csak a gimnazistáinkat mérték fel, szemben az 1970-es felméréssel, amikor a szakközépiskolai tanulóink is részét képezték a felmérési mintának. Akkor a szakközépiskolások teljesítménye elérte a gimnazisták teljesítményének 75%-át. A magyar gimnazisták korcsoportjuknak csak átlagosan 20%-át teszik ki, a szakközépiskolások pedig a 18 évesek csaknem 30%-át jelentik. Ezért az 1983-as hozambecslés torznak minősíthető Magyarország vonatkozásában. Ezért Papp Katalin 1989/90-ben megismételte a felmérést hazánkban, azonos kérdésekkel több gimnáziumban és szakközépiskolában Azt kapta, hogy a szakközépiskolák hozama – magasabb létszámuk miatt – nagyobb. Ha mindkettőt figyelembe vesszük, és így kb. a 18 évesek 50%-át teszteljük, hazánk eléri Japán hozamát (*7. ábra*).

A gimnazisták a teljes 18 évesek populációjának 23%-át, a szakközépiskolások a 30%-át adták. Mind a gimnázium, mind a szakközépiskola lehetővé teszi az egyetemi továbbtanulást; a természettudomány tanulása (legalábbis a fizika) mindkét iskolatípusban mindenki számára kötelező. 1990-ben a gimnazisták átlagos pontszáma 23, a szakközépiskolásoké 20 volt. Ezt figyelembe véve a hozam = 23*23+20*30=529+600=1129-nek adódott Magyarországon. Ez azt jelzi, hogy a hozam tekintetében is versenyben vagyunk a listavezetőnek tekintett Japánnal (ahol a hozam 1040). Magyarországon a korcsoport 38%-a a hároméves szakmunkásképző iskolába jár (9–11. osztályok), ők egy kisebb mintán az összes természettudományi teszten 15 pontot értek el. Ha szúrópróbánk alapján az ő hozamukat is figyelembe vennénk, Magyarország hozama tovább növekedne.

Sokkal reálisabb a 14 évesek teljesítményeinek az összehasonlítása, amikor még a korcsoport túlnyomó többsége iskolás és tanul természettudományt. Ezen korcsoport természettudományos ismeretei a munkások műveltségi szintjéről ad információt. Ebben a korcsoportban – mind 1970-ben, mind 1983-ban –



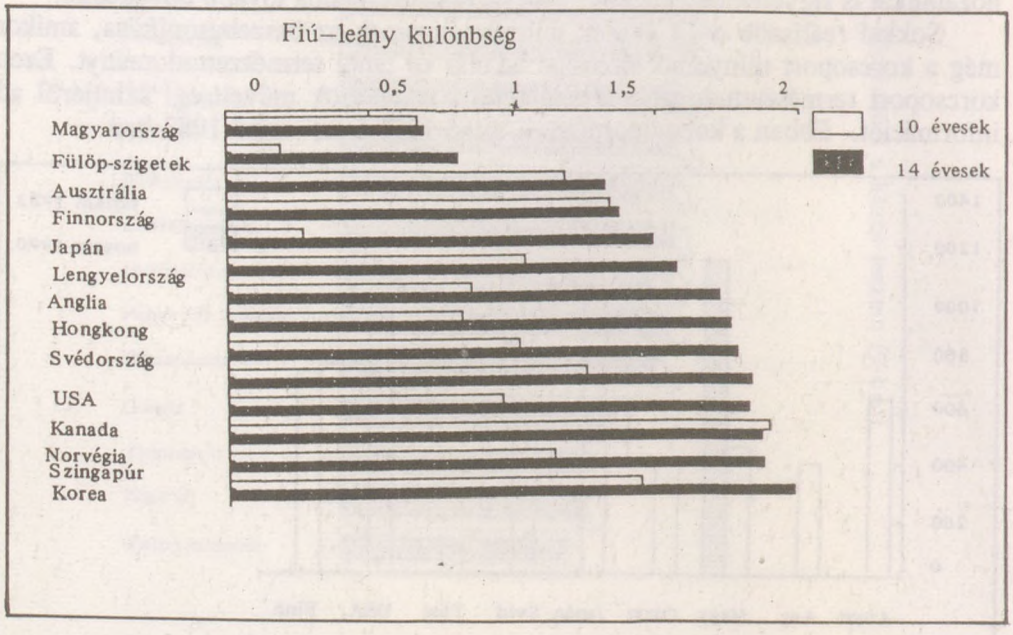
7. ábra

Az IEA második felmérése a 14 éveseknél

Ország	Az országos átlag %-ban	A leggyengébb 25% átlaga(%)	15,7%-nál gyengébb iskolák
Finnország	18,5	13,7	2
Hollandia	19,8	13,1	16
Japán	20,2	13,7	1
Kanada	18,3	12,4	6
Korea	18,1	13,4	6
Magyarország	21,7	15,7	0
Svédország	18,4	12,2	1
Szingapur	16,5	10,7	34
USA	16,5	10,3	30

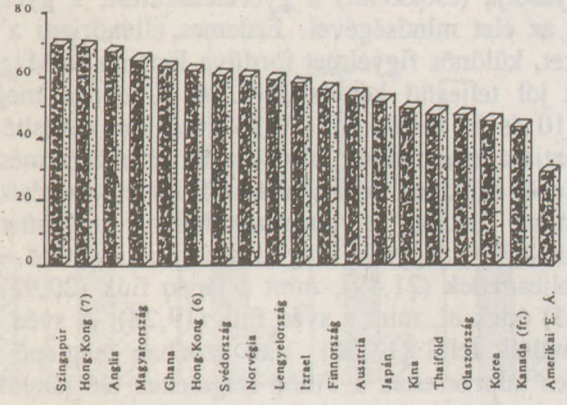
5. táblázat

Magyarország a vezető országok között volt. Ez nemcsak az átlagos teljesítményekre igaz, hanem a leggyengébb 25%-ra is. A *5. táblázat*ban megadtuk az iskolák azon hányadát is, melyek alacsonyabb teljesítményt értek el, mint a leggyengébb magyar iskola.



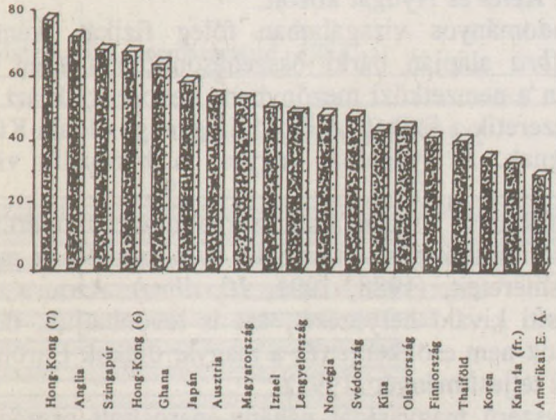
8. ábra

A 18 évesek teljesítményei biológiából

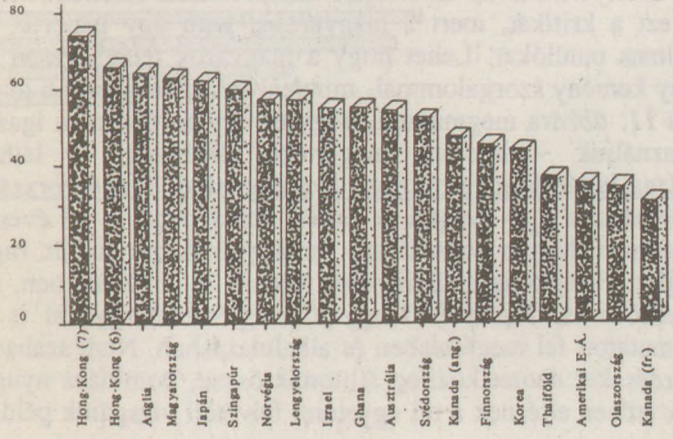


9. ábra

A 18 évesek teljesítménye kémiából



A 18 évesek teljesítményei fizikából

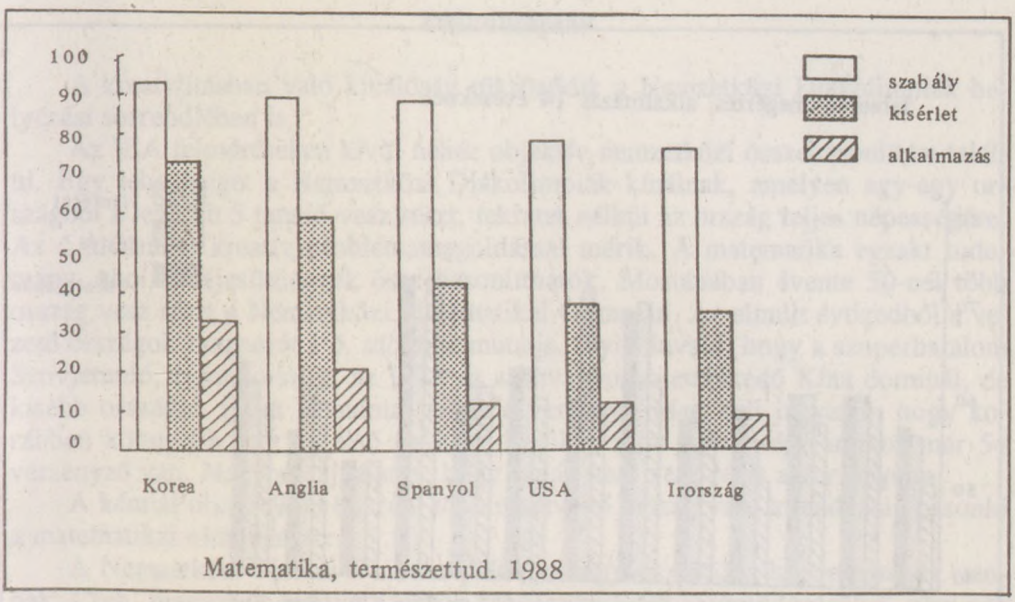


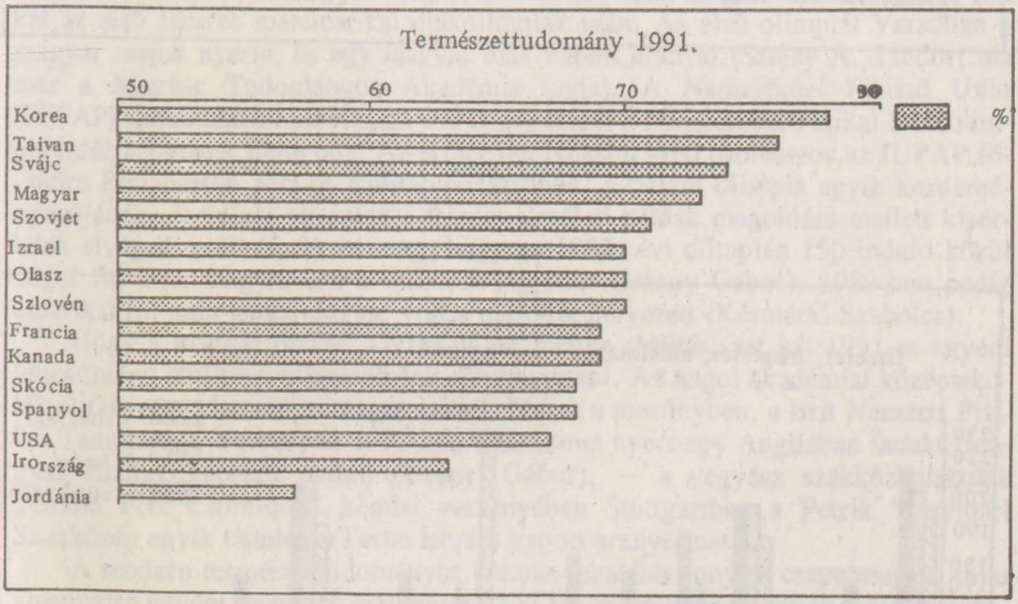
A tanulói populáció fele, a dolgozók növekvő hányada nő. Az asszonyok műveltsége befolyásolja (csökkenti) a gyermekszülést, a gyermekhalandóságot, erősen összefügg az élet minőségével. Érdemes ellenőrizni a fiú-leány teljesítménykülönbségeket, különös figyelmet fordítva Japánra és Magyarországra, mint Ázsia és Európa jól teljesítő képviselőire. A *8. ábrán* megadtuk a fiú-lány különbségeket a 10 és 14 éveseknél. A 18 éves kor kevésbé informatív, mert kevés leány választja a középiskola felső osztályaiban a természettudományt ott, ahol ez nem kötelező. Mindenki levonhatja saját következtetését. „Nem annyira a magyar fiúk, mint inkább a magyar lányok teljesítettek jól a természettudományokban" – jegyezte meg az amerikai szakértő. A 14 éves magyar leányok jobban teljesítettek (21,49), mint a japán fiúk (20,92). A japán lányok több pontot (19,43) értek el, mint a svéd fiúk (19,28). A svéd lányok (17,50) az amerikai fiúkat múlták felül (17,36). Van azonban meglepő kivétel: említésre méltó, hogy milyen talpraesettek a Fülöp-szigeteken élő lányok és koreai fiúk a másik nemhez képest. Ebben a tekintetben nincs tiszta tendencia, amely általános különbséget jelezne Kelet és Nyugat között.

A természettudományos vizsgálatban főleg fizikát, kémiát és biológiát teszteltek. A *9. ábra* alapján bárki összehasonlíthatja ezen tantárgyakat teljesítményeik alapján a nemzetközi mezőnyben. Levonhatjuk azt a következtetést, hogy a sárkányok szeretik a fizikát. A biológia gyenge oldala Kínának, a kémia a többi keleti országnak. A nyugatnál vegyes. A harmadik világban előnyben részesül a biológia.

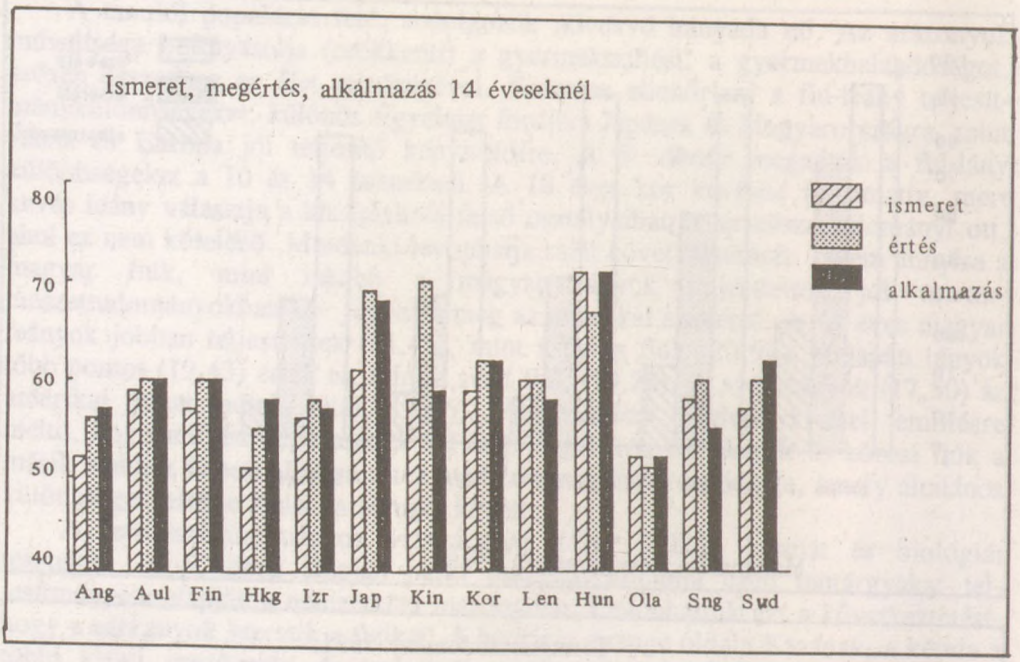
Az Amerikai Oktatási Hivatal által szorgalmazott felmérések 1983 után is ismételten összehasonlították több ország 13 éves tanulóinak matematika és természettudományi ismereteit. (1988, 1991, *10. ábra*). Azon a tanulságon kívül, hogy Korea is erősíti kiváló helyezését, azt is levonhatjuk, hogy a hazánkban végbement változások nem csökkentették a magyar diákok Európában kiemelkedő természettudományi teljesítményét (1991).

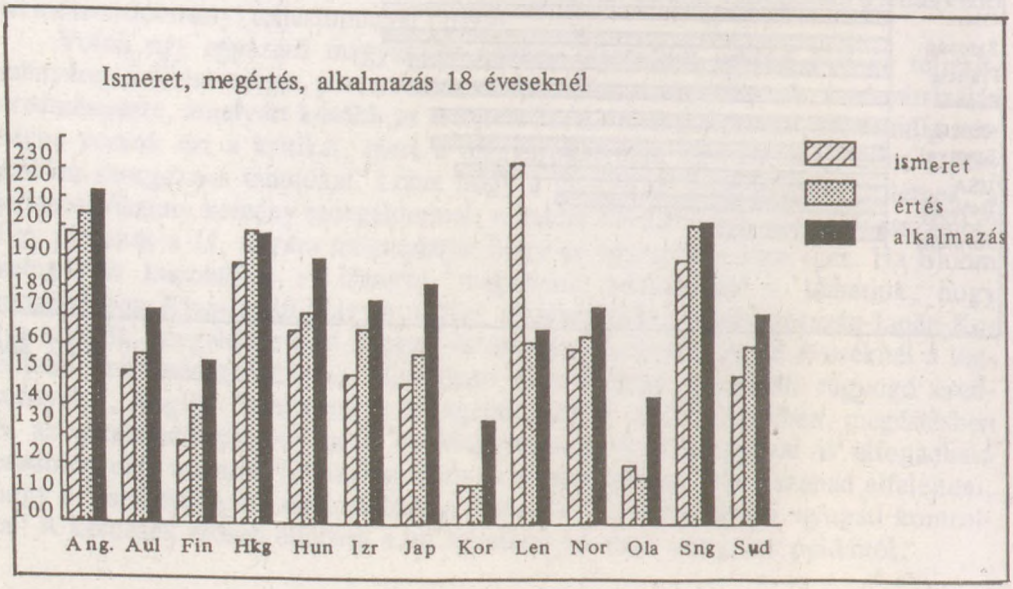
Volna egy egyszerű magyarázat néhány iparosított ország gyenge teljesítményére: a Kelet magas pontszámait valószínűleg a fegyelem és a memorizálás eredményezte, amelyért később az elfojtott kreativitással fizettek. Mi mindig kétségbe vontuk ezt a kritikát, mert a magyarokat nem úgy ismerik, mint szófogadóan szorgalmas tanulókat. Lehet hogy a magyarok tehetségesen születnek, a japánok viszony kemény szorgalommal, mindent bevágva érik el a jó pontszámot? Egy pillantás a *11. ábrá*ra megmutatja, hogy ez egyszerűen nem igaz. Ha Bloom kategóriáit használjuk – ismerni, megérteni, alkalmazni – láthatjuk, hogy megértésben Kína-Japán-Magyarország, alkalmazásban Magyarország-Japán-Korea kiválók, megelőzve a jó nyugati és északi országokat. A 18 éveseknél a legelitebb brit rendszer három választható tantárgyának produkált ragyogó eredményeket, Anglia, Hongkong és Szingapúr kitűnik az ismeretekben, megértésben és az alkalmazásban is. Japán és Magyarország 9 tantárgyával is elfogadható eredményeket mutatott fel megértésben és alkalmazásban. Nem szabad elfelejteni, hogy a tesztkérdéseket nemzetközileg állították össze, domináns nyugati kontrollal! A kérdések erősen eltérnek a mi egyetemi felvételi vizsgáink példáitól.


100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
szabály
kísérlet
alkalmazás
Korea
Anglia
Spanyol
USA
Irország
Matematika, természettud. 1988


Természettudomány 1991.
50
60
70
%
Korea
Taivan
Svájc
Magyar
Szovjet
Izrael
Olasz
Szlovén
Francia
Kanada
Skócia
Spanyol
USA
Irország
Jordánia

10. ábra


Ismeret, megértés, alkalmazás 14 éveseknél
80
70
60
50
40
Ang Aul Fin Hkg Izr Jap Kin Kor Len Hun Ola Sng Sud
ismeret
értés
alkalmazás


Ismeret, megértés, alkalmazás 18 éveseknél
230
220
210
200
190
180
170
160
150
140
130
120
110
100
Ang. Aul Fin Hkg Hun Izr Jap Kor Len Nor Ola Sng Sud
ismeret
értés
alkalmazás

11. ábra

Diákolimpiák

A kreativitásban való kiválóság tükröződik a Nemzetközi Diákolimpiák helyezési sorrendjében is.

Az IEA felméréseken kívül nehéz objektív nemzetközi összehasonlítást találni. Egy lehetőséget a Nemzetközi Diákolimpiák kínálnak, amelyen egy-egy országból a legjobb 5 tanuló vesz részt, tekintet nélkül az ország teljes népességére. Az ő tudásukat kreatív problémamegoldással mérik. A matematika egzakt tudomány, ahol a teljesítmények összehasonlíthatók. Mostanában évente 50-nél több ország vesz részt a Nemzetközi Matematikai Olimpián. Az elmúlt évtizedből a vezető országok rangsorát a *6. táblázat* mutatja. Nyilvánvaló, hogy a szuperhatalom Szovjetunió, Németország, az USA és a látványosan emelkedő Kína dominál, de kisebb országok (mint Románia) állják a versenyt. Meg kell jegyezni, hogy korábban könnyebb volt az első tíz közé kerülni, mint manapság, amikor már 54 versenyző van. Nagyon sajnálatos, hogy Japán nem vesz részt a versenyben.

A kémiai olimpiákon húsznál több résztvevő ország van, a tendencia hasonló a matematikai olimpiáéhoz.

A Nemzetközi Fizikai Diákolimpiáknak negyedszázados hagyományaik vannak. Cseh, magyar és lengyel tanárok kezdeményezték megrendezésüket, nem sok kal az első sikeres matematikai diákolimpiák után. Az első olimpiát Varsóban a magyar csapat nyerte, és egy magyar diák kapott aranyat (Szalay A. Sándor, ma már a Magyar Tudományos Akadémia tagja). A Nemzetközi Fizikai Unio (IUPAP) fizikatanítási bizottsága 1991. évi érmét a Nemzetközi Fizikai Diákolimpia intézményének ítélte oda. Az érmet Jan Nilsson svéd professzor,az IUPAP főtitkára Budapesten adta át Kunfalvi Dezsőnek, a fizikai olimpia egyik kezdeményezőjének. A fizikai olimpián a feladat elméleti példák megoldása mellett kísérletek elvégzése. Említsük itt meg, hogy az 1988. évi olimpián 150 induló közül angol fiú után magyar lett a második legjobb (Drasny Gábor), 1989-ben pedig amerikai fiú után ismét magyar volt a második helyezett (Késmárki Szabolcs).

Hogy a magyar diákok kiváló teljesítménye realitás, azt két 1991-es egyéni teljesítmény említésével szeretnénk alátámasztani. Az angol akadémiai középiskolák elitképzése elismerten magas szintű. Ebben a mezőnyben, a Brit Nemzeti Fizikai Tanulmányi Versenyen 1991-ben ezüstérmet nyert egy Angliában tanuló, magyar állampolgárságú tanuló (Csányi Gábor), – a vegyész szakközépiskolák „Grand Prix Chimique" kémiai versenyében Stuttgartban a Petrik Vegyipari Szakközép egyik tanulója (Terbe István) kapott aranyérmet.

A modern természettudományos kutatás legalább annyira csapatmunka, mint amennyire egyéni meglátás eredménye. Ezt a nézőpontot vizsgálják a Nemzetközi Fizikai Csapattornák, amelyeken a részt vevő országok öt tagú teameket küldenek ki, hogy tagjai együtt oldják meg a kitűzött kutatási feladatokat. 1991-ben, az érettségiző fiatalok negyedik fizikai csapattornáján Moszkvában ez volt a részt vevő országok helyezési sorrendje: Magyarország, Lengyelország, FÁK, Moszkva, Hollandia, Anglia, Csehszlovákia.

A Nemzetközi Matematikai Diákolimpián részt vett országok eredmény-rangsora az utolsó tíz évben

1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
NSZK	NSZK	Szovjetunió	Románia	Szovjetunió	Románia	Szovjetunió	Kína	Kína	Szovjetunió
Szovjetunió	USA	Bulgária	USA	USA	NSZK	Románia	Románia	Szovjetunió	Kína
NDK	Magyarorsz.	Románia	Magyarorsz.	NSZK	Szovjetunió	Kína	Szovjetunió	USA	Románia
USA	Szovjetunió	Magyarorsz.	Bulgária	Kína	NDK	NSZK	NDK	Románia	Németorsz.
Vietnam	Románia	USA	Vietnam	NDK	USA	Vietnam	USA	Franciaorsz.	USA
Magyarorsz.	Vietnam	Anglia	Szovjetunió	Románia	Magyarorsz.	USA	Csehszlovákia	Magyarorsz.	Magyarorsz.
Csehszlovákia	Hollandia	Vietnam	NSZK	Bulgária	Bulgária	NDK	Bulgária	NDK	Bulgária
Finnorsz.	Csehszlovákia	NDK	NDK	Magyarorsz.	Kína	Bulgária	NSZK	Csehszlovákia	Irán
Bulgária	Bulgária	NSZK	Franciaorsz.	Csehszlovákia	Csehszlováklia	Franciaorsz.	Vietnam	Bulgária	Vietnam
Anglia	Franciaorsz.	Mongólia	Anglia	Vietnam	Anglia	Kanada	Magyarorsz.	Anglia	India

A Nemzetközi Fizikai Diákolimpiákon részt vevő országok eredmény rangsora az utolsó tíz évben

1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Szovjetunió	Szovjetunió	Szovjetunió	Szovjetunió	Szovjetunió	Románia	Románia	NSZK	Szovjetunió	Kína
Lengyelorsz.	Románia	Románia	NSZK	Románia	NSZK	Szovjetunió	Kína	Kína	Szovjetunió
Románia	NSZK	Magyarorsz.	Anglia	Anglia	Kína	Magyarorsz.	Anglia	NSZK	Magyarorsz.
Magyarorsz.	Csehszlovákia	NSZK	Románia	Magyarorsz.	NDK	NSZK	Lengyelorsz.	NDK	Románia
NSZK	Magyarorsz.	Csehszlovákia	Csehszlovákia	NSZK	Magyarorsz.	Kína	Románia	Anglia	Csehszlovákia
Svédorsz.	Lengyelorsz.	Hollandia	NDK	Hollandia	Szovjetunió	Svédorsz.	NDK	Lengyelorsz.	Ausztrália
Csehszlovákia	Bulgária	Bulgária	Hollandia	Lengyelorsz.	Lengyelorsz.	Bulgária	Magyarorsz.	Bulgária	Anglia
Finnorsz.	Vietnam	NDK	Svédorsz.	USA	Hollandia	USA	Hollandia	Magyarorsz.	Lengyelorsz.
Franciaorsz.	Franciaorsz.	Lengyelorsz.	Lengyelorsz.	Csehszlovákia	Bulgária	Lengyelorsz.	Szovjetunió	Hollandia	Hollandia

6. táblázat

Nemzetközi Kémiai Diákolimpián részt vevő országok eredmény szerinti rangsora az utolsó öt évben

1987	1988	1989	1990	1991
Szovjetunió	Kína	NDK	Kína	Kína
Kína	NSZK	NSZK	Lengyelország	Románia
Románia	USA	Kína	NSZK	Magyarország
Csehszlovákia	Lengyelország	Bulgária	USA	Lengyelország
NSZK	Anglia	Szovjetunió	Csehszlovákia	Hollandia
Franciaország	NDK	Magyarország	Románia	USA
Anglia	Norvégia	Lengyelország	Franciaország	
Lengyelország	Románia	Románia	NDK	
NDK	Magyarország	Csehszlovákia	Magyarország	
Magyarország	Szovjetunió	Olaszország	Anglia	

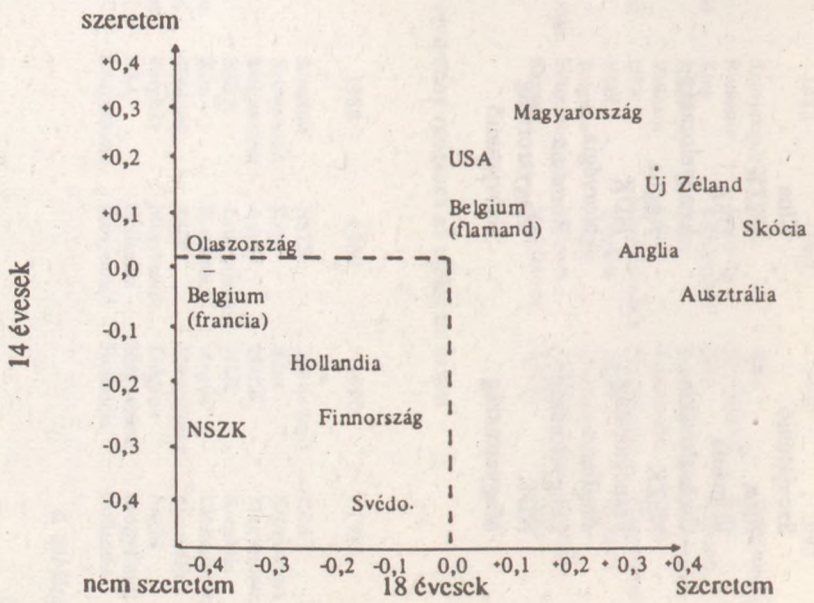
6. táblázat folytatása

Következtetések

„A természettudományos oktatás színvonala közvetlenül kapcsolódik a gazdasági növekedés mértékéhez"-volt a bevezetőben megfogalmazott hipotézis. Távol-Kelet sárkányai teljesítményének meredek emelkedése mind az iskolában, mind a gazdaságban támogatni látszik ezt a feltevést. Németország is, amely gazdasági csodát produkált, a diákolimpiákon is ragyogóan teljesített, és ő volt a legerősebb nemzet az első IEA felmérésnél: *6. táblázat.* (Az IEA és az Olimpia egymást kölcsönösen kiegészítő adataikkal megerősítik egymás következtetéseit.) Az állítás még akkor is igaz lehet, ha tekintetbe vesszük az USA gyenge oktatási teljesítményét. Az USA középiskolái az egyetemeken szükséges természettudományos és mérnök hallgatóknak 50%-át képesek adni. A többit agyelszívással Európából és Távol-Keletről importálják. (Az arány 2000-re várhatóan 30%-ra romlik.) Néhány szakértő azonban kétségeit fejezte ki ezzel a feltevéssel kapcsolatban, idézve egy példát: Magyarország, ez a kicsi és szegény ország, 10 millió lakossal meglehetősen egyenletesen teljesít valamennyi pedagógiai mutatót illetően. De a magyar gazdaságot gyengének ismerik, az ország alulfizeti a tanárait, s nagyon szűk költségvetést biztosít az oktatási rendszernek. Azt jelenti ez, hogy nincs szoros korreláció a pedagógiai teljesítmények és a gazdasági növekedés mértéke között?

Lehetséges, hogy a magyar gyerekek jó természettudományos eredménye azzal magyarázható, hogy egyszerűen szeretik az iskolájukat? (*12. ábra*)

Az IEA attitűd vizsgálata a természettudományos tantárgyaknál

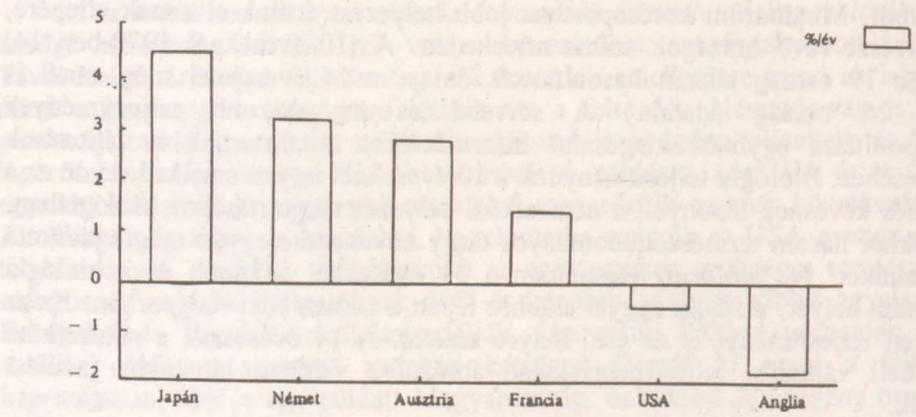


12. ábra

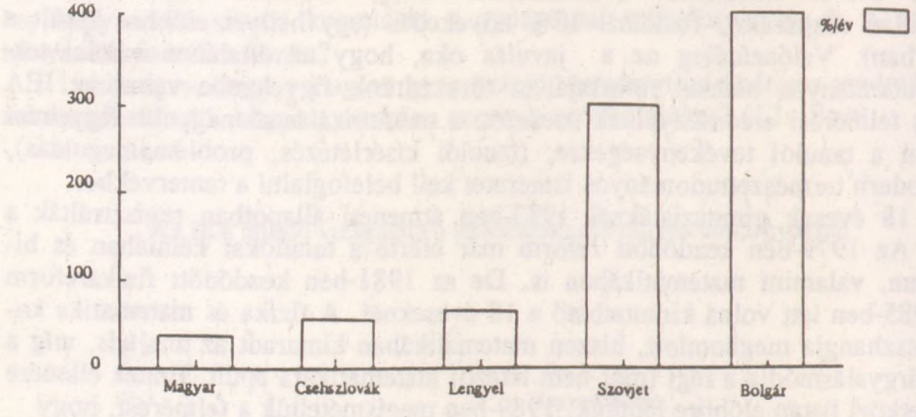
A magyar gyerekek természettudományos teljesítményei 1970-1983 között nemzetközi összehasonlításban látványosan emelkedtek, ez kitűnik a *4. táblázat*ból. Mindhárom korcsoportban jobb helyezést értünk el annak ellenére, hogy a részt vevő országok száma növekedett. A (10 éveseknél 1970-ben 14, 1983-ban 19 ország adatait hasonlították össze, a 14 éveseknél még ennél is többet, 26 ország adatait.) A sorrend és az abszolút teljesítmények összehasonlítása egymást kiegészítő információkat tartalmaznak a változások megítéléséhez. Biológia-teljesítményünk a 10 éveseknél ugyan emelkedett, de ez a növekedés kevésnek bizonyult a nemzetközi helyezés megtartásához biológiában. Ugyanakkor három természettudományos tárgy növekedése *együtt* mégis javította helyezésünket. *(4. táblázat)* Hasonlóan a 14 éveseknél a kémia és a biológia megtartotta helyét, a fizika eggyel előbbre lépett a nemzetközi rangsorban. Ez az összesített teljesítményt is az első helyre emelte. A 14 éveseknél a nemzetközi rangsorbeli változást teljesítményskálán ábrázolva valóban látványos javulást láthatunk.

A 14 éveseknél mutatott átlagosan 8%-os teljesítménynövekedés a következően adódott a különböző tantárgyakból: földrajznál 8% csökkenés, biológiánál 6%-os növekedés (változatlanul első), kémiánál 14% növekedés (változatlan rangszám), fizikánál 10% növekedés (egy hellyel előbbre került a rangsorban). Valószínűleg az a javulás oka, hogy az általános iskolai természettudományos oktatás reformjában törekedtünk figyelembe venni az IEA 1970-es felmérési eredményeinek üzenetét: a memorizálásnál nagyobb figyelmet szentelni a tanulói tevékenységekre, (tanulói kísérletezés, problémamegoldás), több modern természettudományos ismeretet kell belefoglalni a tantervekbe.

A 18 évesek gimnazistáknál 1983-ban átmeneti állapotban regisztrálták a tudást. Az 1979-ben kezdődött reform már elérte a tanulókat kémiában és biológiában, valamint matematikában is. De az 1981-ben kezdődött fizikareform csak 1985-ben lett volna kimutatható a 18 éveseknél. A fizika és matematika korábbi összhangja megbomlott, hiszen matematikában kimaradt az analízis, míg a fizika tárgyalásmódja a régi (már nem létező) matematikára épült. Ennek ellenére a nemzetközi listán előbbre léptünk. 1989-ben megismételtük a felmérést, hogy megismerjük az 1981–1985 között bevezetett gimnáziumi fizika tantervi reformjának hatását. A fizikánál további 7% teljesítménynövekedés mutatkozott. A növekedés ütemében az 1970-1983-ig terjedő időszakban 4/13=0,3%/év-hez képest az 1983-1989-ig eltelt hat évben 7/6=1,17 %/év volt a fejlődés. Csaknem duplázódott a növekedés üteme! A biológiában 2%-os csökkenés mutatkozott, ezzel szemben a kémiánál további 3%-os növekedést mértünk. Ennek értelmezéséhez tudnunk kell, hogy a kémia tantárgyat az addigi első két évről három évre húzták szét, így már a 3.-ban is tanították, míg a biológia kezdetét lehozták a második osztályba, azaz három éven át tanítják heti 2–2 órában, ami ronthatja a hatásfokot a korábbi 4–2 órához képest. Szükségszerűen változtatni kellett a tananyag struktúráját is, mert egy éven át összhangban tanítják a kémiával. Ez nehezítette a tantervi összehangolást.



Nemzeti jovedelem változása 1991



Infláció Kelet-Európában, 1991

13. ábra

Mélyebbre hatolhatnánk az elemzésben, ha sorra vennénk az egyes tesztfeladatokat és eredményeiket összevetnénk a tantervi, illetve követelményekbeli változásokkal. Ez még inkább bizonyítja a tanulmányi eredmény és tantervi struktúra összefüggését. A szerzők meggyőződése, hogy a tanterv, a tanár személyisége (teljesítménye!), a tanulók érdeklődése és aktivitása nagyobb szerepet játszik az iskolai teljesítményekben, mint a pénz.

Amikor a tudományos és gazdasági eredményeket kívánjuk összevetni különböző országokban, akkor az a fair, hogy ugyanolyan politikai rendszerrel rendelkező országokat hasonlítunk össze. Japán és Korea mind természettudományos oktatási teljesítményben, mind gazdasági növekedésben kiválik. A magyar gazdaság sem tűnik olyan rossznak, ha más kelet-európai országokéhoz hasonlítjuk *(13. ábra)*: ezt igazolja szomszédaink belföldi piacára vagy a külföldi beruházásokra vetett pillantás. Nyugati közgazdászok szerint gazdaságunk talpraállásának nagy reménye lehet a jól képzett munkaerő. (Kelet-Európa más részein is.) Ez nem jelenti szükségszerűen azt, hogy német vagy japán mértékű gazdasági csodát remélhetünk, de nem tekinthetjük Magyarországot vagy Kínát ellenbizonyítéknak sem, a gazdasági növekedés és természettudományos növelés kapcsolatára vonatkozóan. A mi kötelességünk most mindannak a potenciális lehetőségnek társadalmi megvalósítása, amit iskoláink kínálnak.

Világszerte folyik az új társadalmi és oktatási modellek keresése. Nemzetközi skálán történő összehasonlító elemzés segítheti erőfeszítseinket. Reméljük, hogy Franciaország, Németország részt vesz a következő IEA vizsgálatban, Korea már tanulócsoportokat küld az Olimpiára. Reméljük, nemsokára Japán is ezt teszi. Gábor Dénes magyar Nobel-díjas fizikus írta: „A jövőt nem megjósolni, hanem megalkotni kell!"

IRODALOM

Ahmed, J. U.: *Radonészlelési módszerek.* Fizikai Szemle, 1990/5. 146–151. p.

A. Szalai Katalin: *Hogyan döntene?* Veszprém, OOK, 1988.

Bakányi–Fodor–Marx–Sarkadi–Tóth–Ujj: *Fizika tankönyv és munkafüzet a gimnáziumok I. osztálya számára.* Bp.,Tankönyvk., 1981.

Bakos Tamás – Koppányi Attila: *Radonmegfigyelés iskolában.* Fizikai Szemle, 1991/40. 71–73. p.

Báthory Zoltán: *Természettudományos oktatásunk helyzete.* Bp., MTA Elnökségi Köznevelési Bizottsága, 1974. 156 p.

Berkes, G. – Rózsahegyi, Zs. – Tóth, E.: *Radon Monitoring Network in Hungarian Schools.* ENED Radon Monitoring Proceedings, Roma, 1989. 232–235 p.

Black, P. – Ogborn, J.: *Nuffield Advanced Physics, Unit 10.* Longman, London, 1970.

Camplin, C. C. – Henshaw, D. L.: *Monitoring Alpha Background Radiation. Energy and Risk Proceedings.* Veszprém, OOK., 1989. 160–174. p.

Csákány Antal: *Játékok számítógéppel.* Bp., Műszaki Könyvk.,1970.

Csom Gyula: *Nukleáris üzemanyagciklus.* In: Nukleáris ismeretek. Veszprém, OOK, 1989. 79–94. p.

Czeizel Endre:- *Genetikai tanácsadás vérzékenységben szenvedő fiúgyermek édesanyja és húga esetében.* Esettanulmány.

Ebison, M.: *Modellek a természettudományban.* Fizikai Szemle, 1980. 118.

Eigen, Manfred v.– Winkler, Ruthild: *A játék,* Bp., Gondolat, 1981.

Energy – Risk – Education I–II. UNESCO IUPAP konferencia. Szerk: Marx György. Veszprém, OOK, 1989. 580 p.

Fülöp S. – Simán M.: *Esettanulmányok és vállalati játékok.* Bp., Közgazdasági és Jogi Könyvk., 1969.

Gardner, Martin: *Mathematical Games.* In: Scientific American, New York, 1959. június, 1970. október, 1970. november, 1971. február, 1977. október stb.)

Gecső Ervin: A gimnáziumi fizikaoktatás problémáiról. Fizikai Szemle, 1986/36. 440–443. p.

Gecső Ervin: Az 1981-es tanterv hatása az IEA tükrében. Fizikai Szemle, 1990/40. 273–280.

Gecső Ervin – Balogh Györgyi – Fazekas György: *Természettudományos oktatásunk eredményessége.* In: Jelzések az elsajátított műveltségről. Szerk: Horánszky Nándor. Bp. Akadémiaia Kiadó, 1991. 17–35. p. [Közoktatási Kutatások]

Gecső Ervin – Marx György: *Mit ér az iskola, ha magyar?* Fizikai Szemle, 1992/42. 61–73. p.

Grastyán Endre: *A játék neurobiológiája.* Bp., Akad. K., 1983.

Haken, H.: *Synergetics.* Springer, Berlin, 1978.

How to Prepare Talented Students to like Physics? Eds: Boross, Dezső – Tóth, Eszter. Szolnok Megyei Pedagógiai Intézet, 1990. 237 p.
Kalapács János: *A döntés iskolája I–II.* Bp., Országos Közoktatási Intézet Menedzserközpont, 1990.
Karplus, Robert : *Introductory Physics – a Model Approach, W.A. Benjamin.* New York, 1969.
Kontra György – Franyó István – Victor András: *Az iskolai műveltség belső arányai.* Fizikai Szemle, 1990/40. 217–223. p.
Maróthy László: *Reaktorfizika.* In: Nukleáris ismeretek. Veszprém, OOK, 1989. 35–78. p.
Marx György: *Emberek és elektronok.* Filmkultúra, 1970/6. 74. p.
Marx György: *Iskolák a tudományos-technikai forradalomban.* Társadalmi Szemle, 1972/2. 57–61.
Marx György: *Evolúció és a genetikai kód konzervativizmusa.* Fizikai Szemle, 1979/29.
Marx György: *Evolúció és más szerencsejátékok.* Fizikai Szemle, 1979/29.
Marx György: *Jövőidőben.* Magvető K. 1979. 148 p.
Marx György: *Az élet-játék.* Biológia, 1980/28. 127. p.
Marx, G.: *Some Simulations of Science.* I–II. Physics Education, London, 1981/16. 152–156, 212–217. p.
Marx György – Tóth Eszter: *Modellalkotás a természettudományos nevelésben.* Fizikai Szemle, 1981/31. 349. p.
Marx György – Tóth Eszter: *Energie und Ordnung.* In: Information und Ordnung. Szerk: G. Schaeffer. Kiel, Institut für Pädagogik der Naturwissenschaften, 1981.
Marx György: *Nukleáris történelmünk.* Fizikai Szemle, 1982/32–37. p.
Marx György – Csákány Antal: *Mikro.* Fizikai Szemle, 1983/33. 16. p.
Marx György: *Simulation Games in Science Education.* European Journal of Science Education, 1983/6/1. 31–47. p.
Marx György: *A természet játékai.* Bp., Ifjúsági Könyvk., 1984. 220. p.
Marx György: *Magyar iskolai számítógép.* Magyar Tudomány, 1984/29. 317. p.
Marx, G.: *Games Nature Plays.* Veszprém, OOk, 1984. 220 p.
Marx György: *Korszakváltás és nevelés.* Látóhatár, 1986/3. 120–127.
Marx György – Tóth Eszter: *Rend és energia.* Fizikai Szemle, 1986/36. 1–7. p.
Marx György: *Nevelni az ismeretlen jövő számára.* Fizikai Szemle, 1986/36. 1–7. p.
Marx, G.: *Cosmos and People.* Space an Educational Challenge. Paris, ESA, 1986. 7–10. p.
Marx György: *Microworld.* In: Innovations in Science Education. UNESCO, 1987. 142. p.
Marx György: *Informatikai kultúra.* Köznevelés, 1988/29. 19–23. p.
Marx György: Interfacing 20th to 21st Century. Networks in Phys.Ed. New York, Amer. Inst. of Physics, 1988. 372–385. p.

Marx György: *Magfizika.* In: Nukleáris ismeretek. Veszprém, OOK, 1989. 5–34. p.
Marx György: *Kockázat.* Fizikai Szemle, 1990/40. 13–20.
Marx, G.: *Educating for an Unknown Future.* Veszprém, OOK, 1990. 187 p.
Marx György: *Mit ér az iskola, ha magyar?* Magyar Tudomány, 1992/5. 521–534. p.
Matula Ágnes-Pataki Anna: *Sugárszennyezési iskolai mérések.* Fizikai Szemle, 1990/5. 160. p
Meadows, Dennis – Tóth Ferenc: *Strategem 2/C. (Gazdasági döntésjáték).* Veszprém, OOK, 1987.
Microcomputers in Science Education. Szerk: Marx György. International Centre for Theoretical Phisycs, Trieste, 1989. 260 p.
Műveltségkép az ezredfordulón. Szerk.: Rét Rózsa. Bp. Kossuth K. 1980. 237 p.
Nemeslaki András – Zámori Zoltán: *Termelési-elosztási rendszer szimulációja.* Esettanulmány. Bp., BME, 1987.
Nuclear Physics – Nuclear Power. Ed: Marx, G. GIREP-UNESCO konferencia, Bp., Akad. K., 1982. 420 p.
Nukleáris ismeretek. Szerk: Marx György. Veszprém, OOK. 1989. 220 p.
Papp Katalin: *Miniszter voltam néhány óráig...* Fizikai Szemle, 1988/1. 35. p.
Papp Katalin – Lőrincz István: *Játékok a fizikában – fizika a játékokban.* Fizikai Szemle, 1988/38. 433–435. p.
Papp, Katalin: *The risk of the game of sex. Energy alternatives.* Risk education I. (Proceedings of International Conference) Veszprém, OOK, 1989.
Papp Katalin – Gecső Ervin: *Hogy gondolják a 18 évesek?* Fizikai Szemle, 1990/40.
Papp Katalin: *Iskolai természettudományos nevelésünk hozama.* Fizikai Szemle, 1991/41. 181–183. p.
Papp Katalin: *Mit tudnak a magyar fiatalok?* Fizikai Szemle, 1991/51. 8–11. p.
Papp Katalin: *Tanterv és teljesítmény.* Természet Világa, 1992/124. 20–24. p.
Papp Katalin: *Döntésjáték és nevelés.* Kandidátusi értekezés, 1992.
Samuelson, Lennart: *Radon a lakásban.* Fizikai Szemle, 1990/5. 146-151. p.
Sejtautomaták. Szerk.: Takács Viola. Gondolat, Budapest (1978).
Sükösd Csaba: Sugárvédelem. Nukleáris ismeretek. OOK, 1989. 95–131. p.
Tábi Gizella: *Döntésjátékok alkalmazása a középiskolai nevelési oktatási folyamatban.* Szakdolgozat, Szeged, 1988.
Tóth Eszter – Holics László – Marx György: *Atomközelben.* Bp., Gondolat, 1980. 297 p.
Tóth Eszter: *Fizika, gimnázium I. osztály.*(Molekuláris fizika) Bp., Tankönyvk., 1981-től évente. 170 p.
Tóth Eszter: *Fizika kísérleti tankönyv és munkafüzet a gimnáziumok IV. osztálya számára.* Bp., Tankönyvk., 1981.
Tóth Eszter: *Fizika munkafüzet, gimnázium IV. osztály.* (Modern fizika) Bp., Tankönyvk., 1984. 230 p.

Tóth Eszter: *Fizika, Gimnázium IV. osztály.* Bp., Tankönyvk., 1984-től folyamatosan minden évben.
Tóth Eszter – Sükösd Csaba: *Játékos atomok.* Veszprém, OOK, 1987. 170 p.
Tóth Eszter: *Iskolai kísérletek. Nukleáris ismeretek.* Veszprém, OOK, 1989. 132–167. p.
Tóth, Esther: *Nuclear Simulations. Microcomputers in Science Education.* International Workshops in Africa, International Center for Theoretical Physics, Trieste, 1989. 288–319. p.
Tóth, Esther: *Radion Monitoring in Schools.* Energy and Risk Proceedings. Veszprém, National Centre for Educational Technology, 1989. 175–182. p.
Tóth Eszter: *Radon az iskolában.* Fizikai Szemle, 1990/5. 155–160. p.
Tóth Eszter: *Tohu va Bohu.* Fizikai Szemle, 1992/42. 226–231. p.
Vastagh György: Radon és a földrengések. Fizikai Szemle, XLI./2. 1991. február, (74–76.).
Welcome to our Non-Linear Universe – Chaos in Education. Szerk: Marx György. UNESCO-IUPAP konferencia. Veszprém, OOK, 1987. 605 p.

A sorozat eddig megjelent kötetei

Nagy József: A rendszerezési képesség kialakulása – A gondolkodási műveletek elsajátítása – I. kiadása, 1987., II. javított kiadása 1990. (186 oldal)

Kozma Tamás: Iskola és település (160 oldal)

Csapó Benő: A kombinatív képesség struktúrája és fejlődése (207 oldal)

Vámos Dóra: A képzettség vására – Közgazdasági szempontok az oktatástervezésben – (131 oldal)

Szebenyi Péter: Történelemtanítás Angliában (183 oldal)

Mátrai Zsuzsa: Az amerikai társadalomtudományi nevelés története – Értékek, eszmék, reformok, tantervek – (199 oldal)

Halász Gábor: Iskola, helyi társadalom, iskolatanács (114 oldal)

Forray R. Katalin – Hegedüs T. András: A cigány etnikum újjászületőben – Tanulmány a családról és az iskoláról – (135 oldal)

Dobsi Attila: Egy intézmény kálváriája – A pedagógiai intézetek és a 80-as évek oktatáspolitikája – (100 oldal)

Kádárné Fülöp Judit: Hogyan írnak a tizenévesek? – Az IEA fogalmazásvizsgálat Magyarországon – (190 oldal)

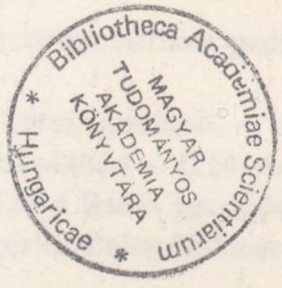
Vidákovich Tibor: Diagnosztikus pedagógiai értékelés (231 oldal)

Kárpáti Andrea: Látni tanulunk – A műelemzés tanítása az általános iskolában – (214 oldal)

Andor Mihály – Liskó Ilona: Igazgatócserék (159 oldal)

Szociális segítő. Szerk.: Balog Miklósné (164 oldal)

5828


Bibliotheca Academiae Scientiarum
MAGYAR
TUDOMÁNYOS
AKADÉMIA
KÖNYVTÁRA
Hungaricae

Arató Ferenc: Az olvasás pedagógiája (182 oldal)

Tanterv és vizsga külföldön Szerk.: Mátrai Zsuzsa (143 oldal)

Forray R. Katalin – Hegedüs T. András: Két tanulmány a cigány gyerekekről (160 oldal)

Jelzések az elsajátított műveltségről Szerk.: Horánszky Nándor (161 oldal)

Történelemtanítás Németországban Szerk.: Pellens, Karl és Szabolcs Ottó (180 oldal)

Kozéki Béla: Az iskolaethosz és a személyiségstruktúra kölcsönhatása (195 oldal)

Nézzük meg együtt – Műalkotások elemzése Borsodban. Szerk.: Rézművesné Nagy Ildikó – (151 oldal)

Kokas Klára: A zene felemeli a kezeimet (206 oldal)

Csapó Benő: Kognitív pedagógia (149 oldal)

Demográfiai hullám – iskola – ifjúsági munkanélküliség. Szerk.: Halász Gábor (147 oldal)

Kárpáti Andrea: A Leonardo Program (228 oldal)

A kötetek ára egységesen 85 Ft

85,– Ft

A 21. század küszöbén jelentkező természettudományi és technikai kihívásokra keresik a társadalom számára legelfogadhatóbb válaszokat a Marx György nevével fémjelzett munka nyomán született esszék, tanulmányok. Olyan egyetemes problémáról van szó mint a világgazdasági korszakváltás mindennapi életben megtapasztalható hatásai. Az itt olvasható munkák többsége különféle idegen nyelveken is megjelent. Bennük megfogalmazzák a korszerű természettudományos világképnek megfelelő korszerű nevelési célokat, középiskolai kipróbálásuk során bevált tartalmi és módszertani eredményeket. Számot adnak arról, hogy 14–18 éves diákok gondolkodásába miként épülhet be új szemléletként mindaz, amit az informatikáról, nukleáris energiáról, magasszintű technikáról az iskola megtaníthat. A kötet nemzetközi természettudományi és matematikai felmérések ismertetésével zárul sugallva: a ma talán merésznek tűnő célok mind több magyar iskolában megvalósíthatók, általuk a magyar oktatás előkelő helyezést érhet el a legigényesebb nemzetközi mezőnyben is, vállalva szerepét az új műszaki és gazdasági világrendbe illeszkedő társadalom felépítésében.

At the end of the 20th century the society faces new technological, economical and educational challenges. The computerization, nuclear power etc affect the everyday life, and expect democratic decisions from the citizens. Most of these studies, edited and partly written by Prof. George Marx were originally presented at international conferences and published in foreign languages.

The authors were the deisgners of the modern sience curriculum for Hungarian academic secondary school under the sponsorship of the Hungarian Academy of Sciences. They formulate new goals for science education and show, how these can be and have been realized in school praxis.

As conclusion, the results of the International Assessment of Science Education are given, indicating a high level of Hungarian schools at worldwide comparison. In this way the volume finally proves that the daring goals of modernization, democratization and competitiv of society can be supported indeed by educating the incoming generations to the Brave New World they inherit from us.