

HAJDA GYÖRGY

ENERGIA- POLITIKA

MAGYARORSZÁG AZ EZREDFORDULÓN



UJAJDA GYÖRGY

Energiapolitika

Magyarország az ezredfordulón
Stratégiai kutatások a Magyar Tudományos Akadémián

Szerkesztő
Glatz Ferenc

Olvasószerkesztő
Balogh Margit

Magyarország az ezredfordulón
Stratégiai kutatások a Magyar Tudományos Akadémián

VAJDA GYÖRGY

Energiapolitika

Budapest 2001

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA

© Vajda György

ISBN 963 508 271 1

ISSN 1418-656x

Kiadja a
a Magyar Tudományos Akadémia
Kiadásért felel: Glatz Ferenc, a Nemzeti Stratégiai Kutatási Program elnöke
Borító: Horváth Imre
Szedés, tördelés: AbiPrint Bt., Budapest
Nyomdai munkálatok: Áldási és Németh Nyomda Bt., Budapest
Felelős vezető: Áldási Pálné
Megjelent: 24,5 B/5 ív terjedelemben, 2500 példányban

Tartalom

BEVEZETÉS	7
ENERGIAIGÉNYEK	13
Az energiaforgalom számbavétele 13 • A fogyasztók energiaszükséglete 21 • Energiaellátás 31 • Energetikai hatások 45 • Energiahatékonyság 54 • Energiaprognózisok 57	
ENERGIAFORRÁSOK	73
Primer energiaforrások 73 • A természet kínálata 79 • Hasznosítható energiaforrások 89 • A jövő kilátásai 104 • A magyar lehetőségek 111	
KÖLCSÖNHATÁSOK	117
Befolyás az életvitelre 117 • Kölcsönhatás a természettel 123 • Gazdasági hatások 133 • Technológiai kapcsolatok 135 • Hatások terjedése 139	
KÖRNYEZETI HATÁSOK	145
Az energetika hulladékai 146 • Légszennyezés 150 • Vízszennyezés 170 • Talaj- és táplálékszennyezés 174 • Energiahatások 179 • Környezeti károk 191	
EGÉSZSÉGHÁROSODÁS	203
Az ártalmak jellege 204 • Balesetek 208 • Foglalkozási ártalmak 218 • Környezeti ártalmak 219 • Energiahatások 230 • Katasztrófák 239 • A következmények számszerűsítése 245 • Egészségvédelem 248	
GAZDASÁGI KÖLCSÖNHATÁSOK	257
Nemzetgazdasági szerep 257 • Az árak szerepe 259 • A beruházások szerepe 286 • Szállítási feladatok 295	
ENERGETIKA ÉS TÁRSADALOM	311
Társadalomformáló szerep 311 • Az energetika társadalmi háttere 318 • Fogyasztóvédelem 328 • Érdekérvényesítés 337	

ÁLLAMI SZEREPVÁLLALÁS	353
Az állam szerepe 354 • A múlt tapasztalatai 359 • A jogi háttér 366	
• Ellátásbiztonság 370 • Az Európai Unió követelményei 380	
Summary	389
A kötet szerzője	395

Bevezetés

Minden emberi tevékenységhez energiára van szükség. Az energiaellátás úgy szövi át a társadalmat, ahogy az érhálózat az emberi testet, biztosítva a vérben szállított anyagokkal a sejtek működését. A fejlett társadalmak működőképességének és a személyes életszükségletek kielégítésének elengedhetetlen feltétele, hogy az energia folyamatosan és lehetőleg olcsón rendelkezésre álljon. Szinte folyamatosan nő az energiaigény, napjainkra az emberiség energiaszükséglete hatalmas mértéket ért el, a világ primerenergia-felhasználása 2000-ben kerekén 400 EJ¹ volt. Az igények fedezésére 3,4 Gt kőolajat, 4,5 Gt szenet 2,5 Tm³ földgázt kellett kitermelni, a víz- és atomenergiából fejlesztett villamos energia is megfelelt a primerenergia-mérlegben 1,2 Gt kőolajnak. A megújuló energiaforrások a szükségletek tízegynéhány százalékát fedezték, 1,2–1,5 Gt olajjal egyenértékű 50–65 EJ értékben, amiből 25 EJ-t a vízenergia, 25–40 EJ-t a bioenergia – legnagyobbbrészt tűzifa – tett ki, a reményteljesnek tekintett egyéb energiafajták (nap-, szél-, geotermikus stb. energia) 1 EJ-t (24 Mt kőolaj) sem értek el. A megújuló energiahasznosítás számbavételét nehezíti, hogy egyes energiahordozók (pl. tűzifa, mezőgazdasági hulladékok) hasznosítását csak becsülni lehet, mivel számottevő hányaduk nem kerül kereskedelmi forgalomba, valamint az egyéb megújulók kisléptékű helyi hasznosítására sem terjed ki a statisztikai adatgyűjtés.

Eddig az emberiség energiaszükséglete szinte folyamatosan növekedett. E növekedésben csak nagyon súlyos krízisek – pl. háborúk, gazdasági válságok – okoztak átmeneti visszaesést vagy stagnálást. Az 1970-es évek olajválsága felerősítette az energiatakarékos szemléletet, ennek hatására lényegesen lassult az energiafelhasználás növekedési üteme. A távolabbi jövőre vonatkozó szakmai prognózisok nem vonják kétségbe, hogy a világ energiaigénye tovább nő, legfeljebb a növekedés ütemének becslésében térnek el egymástól. Magyarországon a rendszerváltással együtt járó gazdasági visszaesés és átrendeződés az 1990-es évek első felében 25%-os csökkenést idézett elő az energiafelhasználásban. Az évtized közepén a gazdaság hanyatlása stagnálásba, majd növekedésbe ment át. A további gazdasági fellendülést és az energe-

1 A mennyiségek jellemzésére a mértékegységek előtt az SI rendszer (Système International d'Unités, Nemzetközi Mértékegységrendszer) szabványos előtagjait fogjuk alkalmazni, a leggyakrabban használt prefixumok: m (mili) = 10^{-3} , k (kilo) = 10^3 , M (mega) = 10^6 , G (giga) = 10^9 , T (tera) = 10^{12} , P (peta) = 10^{15} , E (exa) = 10^{18} .

tikai hatékonyság jelentős javulását feltételező előrejelzések energiafelhasználásunknak a rendszerváltás előtti időszak fejlődésénél jóval szerényebb növekedési ütemével számolnak.

A világpolitika és a világ gazdaság nagy horderejű fejleményei gyakran jártak lényeges energetikai következményekkel is. A hidegháború a saját energiaforrásokra támaszkodó önellátást ösztönözte. Az ezt követő enyhülési időszak kedvező feltételeket teremtett az energiahordozók külkereskedelmének, ami együtt járt az árszínvonal csökkenésével. A közel-keleti olajországok háborúskodásai megingatták a régió stabilitásába vetett bizalmat, és a beszerzési források diverzifikálására ösztönöztek. A Szovjetunió összeomlása kiszámíthatatlanná tette az egyik legnagyobb energiaexportőr magatartását. A Kölcsönös Gazdasági Segítség Tanácsa (KGST) szétesésével megszűnt az abban részt vevő kis országok – köztük Magyarország – energiaellátását hosszú távra biztosító konstrukció. A piaci viszonyok erősítése érdekében világszerte megindult privatizációs és deregulációs hullám hazánkban is átszabja a vezetékes energiaellátási rendszerek struktúráját és működési módját, az ellátási felelősséggel terhelt szolgáltatásból kereskedelmi tevékenység válik. A hazai rendszerváltás alapvetően átalakította az energetika politikai, társadalmi, jogi és gazdasági feltételrendszerét, az energiaiparok szerkezetét és tulajdonformáját.

Az energiahelyzet vissza is hat a politika és a gazdaság alakulására. Az energiaforrások birtoklása jó néhány háború indítékai között szerepelt. Az olajárak eszkalációja az 1970-es években nemcsak az energiapolitika, hanem a világ gazdaság alapvető módosulását is eredményezte. A csernobili atomerőmű katasztrófájának lélektani és politikai hatása még ma is érvényesül, nem beszélve az atomenergetika diszkreditálásáról. A tengeri szénhidrogén-termelés kifejlődése visszarendezte az olajárakat, ami visszavetette az alternatív megoldások versenyképességét. Az olaj újabb drágulása megkérdőjelezi az energiapolitikai elképzelések stabilitását és jelentősen befolyásolja a magyar gazdaság alakulását is. A nagy kérdések mellett nem lebecsülendők az egyének életét érintő „kis ügyek” sem, melyek felhalmozódva politikaalakító tényezőkké válhatnak, pl. az energiaárak emelkedése, a kényszerűen elviselt környezeti ártalmak, a félelem a veszélyesnek vélt hulladékok elhelyezésétől, a kiszolgáltatottság érzése a természetes monopóliumok miatt.

Sokan úgy vélik, az energetika alakulását a piac értékítélete automatikusan meghatározza. Kétségtelen, hogy az árak és költségek lényeges szerepet játszanak a lehetséges változatok megítélésében, de alapvetően csak a jelen viszonyairól tájékoztatnak. A piaci mechanizmus még a gazdasági paraméterek (pl. kamatláb, infláció mértéke, olajár) távlati alakulásának becsléséhez sem tud kapaszkodókat kínálni, nem beszélve a gazdaságon kívüli körülményekről. A jövőre vonatkozó döntésekkel egymással kölcsönhatásban levő műszaki, gazdasági, ökológia, társadalmi, stratégiai és politikai követelményeket kell kielégíteni, nemritkán nemzetközi kölcsönhatások figyelembevételével.

Az energiapolitikát hosszú időre előretekintve kell kialakítani, figyelemmel az alapvető létesítmények több évtizedes élettartamára és a berendezések generációváltásának ugyancsak nagy időállandójára. Az előretekintést a bonyolult kölcsönhatások miatt sok bizonytalanság terheli, amit a tapasztalatokra támaszkodó ítélőképesség segítségével lehet mérsékelni. A jövő várható alakulásának megítélésében óhatatlanul szerepet kap a szubjektivitás, ezért nem meglepő, hogy még a szakemberek között is éles véleménykülönbségek alakulnak ki az energetika sok kérdésében. Tapasztalhatók ezek az egyes energiahordozók szerepének és jövőjének megítélésében, a műszaki és gazdasági körülmények jövőbeli alakulásának becslésében, az új technológiák alkalmazhatóságáról alkotott véleményekben és sok más kérdésben. Nehezíti az eligazodást, hogy a vállalatok a piaci versenyben igyekeznek saját elképzeléseiket a másokénál kedvezőbb színben feltüntetni és a lehetőségek sokasága között nem könnyű a tájékozódás. A vitákat tovább bonyolítják a gazdasági, politikai, társadalmi, regionális stb. érdekellentétek megnyilvánulásai. A sokféle befolyást adaptív, a körülmények tényleges alakulásához időnként illeszkedni képes energiapolitikával lehet ellensúlyozni.

Stratégiai jelentősége miatt az energiaellátás biztosításában jelentős feladat hárul az államra, de ennek hazai gyakorlata még nem igazán alakult ki. A korábbi állami funkciók jelentős része (az energetika irányítása, finanszírozása, fejlesztésének meghatározása, a tulajdonosi szerep zöme) megszűnt, a piacgazdaságban az ilyen típusú döntések legnagyobb részét vállalati hatáskörbe tartoznak. A magyar energiapiac főszereplői Európa legnagyobb energiaszolgáltató vállalatai közé tartoznak, nagy anyagi és szellemi erővel és az érdekérvényesítés terén sok évtizedes gyakorlattal. Erejüket fúziók révén tovább növelik és tevékenységüket az infrastrukturális szolgáltatások más területeire is kiterjesztik. Ezért az állam szerepében hangsúlyosabbá vált a működési feltételek meghatározása jogszabályokkal, a felügyeletet gyakorló független hatóságok működtetése, és a társadalmi érdekek képviselése. Az utóbbiba többek között beletartozik a fogyasztói érdekvédelem, a minőség-ellenőrzés, az élet és vagyonvédelem, a munkavédelem, az árellenőrzés és a közszolgáltatásnál az ármeghatározás. Állami feladat marad az energiapolitika fő irányainak meghatározása, a geopolitikai adottságok figyelembevétele, az energiaszerkezet formálása, a jövő megalapozása, és különösen az ellátásbiztonság érvényesítése. Gondoskodni kell a nem energetikai nemzeti prioritások (honvédelem, környezetvédelem, iparpolitika, szociálpolitika, területfejlesztés stb.) figyelembevételéről az energetikai döntéseknél.

A döntések nem kizárólag az energiaellátásért felelős intézmények és vállalatok kezében vannak, azokban valamilyen módon mint állampolgárok, munkavállalók, munkaadók, lakosok, a közlekedés résztvevői stb. mindannyian egyénileg is részt veszünk, ha ez nem is szokott tudatossá válni. Ki gondol arra, hogy megszokott hétköznapi cselekedeteivel, amikor reggel teavizet for-

ral, gépkocsival a munkahelyére megy, bekapcsolja a munkaeszközeit stb. energetikai kérdésekben dönt, energiaellátási módok közül választ, erősíti vagy gyengíti egyes energiahordozók pozícióját. Tartós fogyasztási cikkeink vásárlásánál is előrettekintő döntéseket hozunk, milyen energiahordozóra alapozzuk lakásunk fűtését, milyen üzemanyagot fogyasztó gépkocsit vásárolunk, kifizetődőnek tartjuk-e energiatakarékos kompakt fényforrások beszerzését, kicseréljük-e a mosógépet, milyen munkaeszközöket használunk stb. A sok egyéni döntés eredője, az azokban tükröződő feltételezések a jövőről számottevően befolyásolják az energetika globális alakulását.

Meglepően nagy a lakosság tájékozottsága az energetika egyes kérdéseiben. Ismereteink egy részét a mindennapos cselekedetek szolgáltatják, benzint töltünk a gépkocsiba, felülvizsgáljuk a villanyszámla tételeit, elemet cserélünk a karórában, szabályozzuk a lakásfűtést stb. Az ismeretek másik forrása a média, hírt adnak az energiaárak emelése körüli vitákról, egy gazdaságtalan szénbánya bezárásáról, egy radioaktív hulladékot szállító vonat feltartóztatását célzó Greenpeace akcióról, a tengert elárasztó olajszennyezésről egy szerencsétlenül járt tankhajóból stb. Gyakran a mélyebb összefüggésekbe is bepillantást kapunk, mi a következménye energiaiparaink privatizálásának, miért visel háborút Irak Irán vagy Kuvait ellen, hogyan akar az Európai Unió piaci viszonyokat teremteni a vezetékes energiaellátásban, miért fut zátonyra évek óta a német parlament energiapolitikai bizottságának munkája, vagy hogy mi rejlik a magyar gázárak körüli vita hátterében.

A sok részinformáció azonban csak ritkán áll össze rendezett képpé, többnyire csupán a kaleidoszkóp színes ábráját szolgáltatják, ha nem merülnek gyorsan feledésbe. Az lenne az igazi eredmény, ha e nagy ismerethalmazra támaszkodva sikerülne a tudást cselekvésre bírni a társadalom érdekeit szolgáló célok érdekében, ami többnyire egybeesik az egyének – nem mindig felismert – személyes érdekeivel. Tudatos magatartással a laikus is rengeteget tud tenni az energia hatékonyabb felhasználásáért, a pazarló szokások megszüntetésére, a környezet terhelésének csökkentésére, az energiapolitikai törekvések megvalósítására.

Az energiaellátás meghatározott módjára a technika sokféle, részben egymást kiegészítő, részben egymással versenyző lehetőséget kínál. Hosszú távon a fejlődés kiválasztja a leggazdaságosabb, leghatékonyabb, legcélszerűbb megoldásokat. A fejlődés útja azonban kacskaringós, rossz emberi döntések sok veszteséggel járó tévutakra vezethetnek. A döntéseket nemcsak a sok bonyolult kölcsönhatás nehezíti, hanem a meglévő rendszer nagy visszahúzó ereje is. Az energetika a legtőkeigényesebb szakma, a bányák, erőművek, kőolaj-finomítók, villamos hálózatok, csővezetékek, az energiatermelő, -átalakító és -fogyasztó berendezések óriási mennyisége hatalmas értéket reprezentál. Nyilvánvaló érdek ezek minél hosszabb ideig tartó kihasználása, változtatások csak lassan érvényesülnek.

Az állami, vállalati és személyes döntések akkor jók, ha a fejlődés főirányába mutatnak. Az irányok annál bizonytalanabbak, minél távolabbra tekintünk előre. Egy évtizeden belül még viszonylag jól felmérhetők a jövő várható fejleményei. Ennél rövidebb idő alatt ritkán következnek be minőségi változások az energiaszerkezetben. Az energetikában az alapvetően új műszaki megoldások befogadásához is legalább évtizednyi idő szükséges. Az előretekintést egy további évtizedre már számottevő bizonytalanság terheli, mert gyakorlati szerephez juthatnak új tudományos felfedezések, megjelenhetnek teljesen újszerű megoldások, és lényegesen módosulhat az energiapolitika is. A tapasztalatok szerint többnyire bekövetkeznek olyan, ma előre nem látható politikai és gazdasági fejlemények, melyek lényegesen befolyásolják az energetikát. Három évtizedre már kockázatos a prognosztizálás, nagyon valószínű, hogy a fejlődés hatására a viszonyok sok tekintetben nem úgy fognak alakulni, ahogy ma elképzeljük. Ennél távolabbra tekintő becslések már inkább feltételezések, mint előrejelzések, legfeljebb ma elképzelhető fejlődési pályák összehasonlítására lehet gondolni.

A világpolitika és a világ gazdaság fejleményeinek hatására a magyar energiapolitika az elmúlt fél évszázadban több ízben kényszerült gyökeres fordulatokra. Nagy importfüggésünk miatt ilyen – ma előre nem látható – hatásoknak bizonyosan ki leszünk téve a jövőben is, ami tovább bonyolítja az előretekintés nehézségét. Ennek kockázata enyhíthető, ha ismerjük a lehetőségek mozgásterének határait.

*

Az energetika sok szakterület ismeretanyagát összeötvöző interdiszciplináris tudomány. Problémáinak megoldásához felhasználja a geológia, a bányászat, a fizika, a kémia, a közgazdaság, a technika, a környezettudomány ismereteit, de néha még a szociológia, a jog és az élettan is szerephez jut. A kör állandóan bővül, lehet példákat hozni az űrhajózás vagy az informatika új fejleményeinek átemelésére is. A mintegy két évtizede megírt kétkötetes *Energetika* című munkám egyik céljával a közös nyelv kialakításának előmozdítását jelöltem meg, mint ami optikai lencseként elősegíti a széttartó nézetek fókuszálását. Ez hiú ábrándnak bizonyult, a viszonyok azóta még bonyolultabbá váltak. A világban bekövetkezett alapvető műszaki, gazdasági és politikai fejlemények lényegesen átrendezték az energetika peremfeltételeit, és még jobban megosztották az érdekeket és nézeteket. Jelen munkám célja az energetikai döntésekhez szükséges részismeretek mozaikszerű bemutatása. E mozaikokból sokféle kép rakható össze, de a változatok száma véges, és a lehetséges megoldások a mozaikok ismeretanyagának határain belül helyezkednek el.

Energiaigények

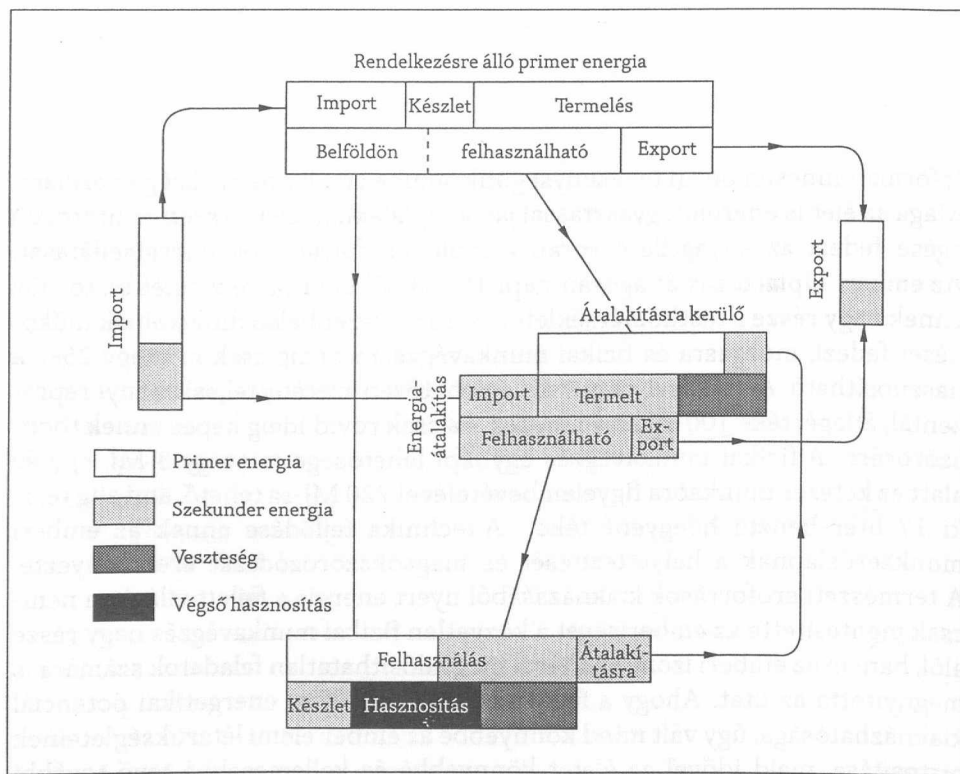
Jóformán nincsen olyan tevékenységünk, amihez ne lenne szükség energiára. Maga az élet is energiafogyasztással jár, a táplálékban bejutó szén és hidrogén égése fedezi az anyagcsere során a biológiai folyamatok energiaellátását. Az emberi táplálkozás átlagosan napi 10–13 MJ energia felvételét biztosítja, ennek nagy része a testhőmérsékletet és a szervezet belső funkcióinak működését fedezi, mozgásra és fizikai munkavégzésre pedig csak mintegy 25%-a hasznosítható. Az emberi izomerő meglehetősen szerény teljesítményt reprezentál, átlagértéke 100 W körül mozog, és csak rövid ideig képes ennek többszörösére. A fizikai munkavégzés egy napi lehetősége mintegy 3 MJ, egy év alatt ez kétezer munkaóra figyelembevételével 720 MJ-ra tehető, ami alig teszi ki 17 liter benzin hőegyenértékét. A technika fejlődése ennek az emberi munkaerőalapnak a helyettesítését és megsokszorozódását eredményezte. A természeti erőforrások kiaknázásából nyert energia a fejlett világban nemcsak mentesítette az emberiséget a közvetlen fizikai munkavégzés nagy része alól, hanem az emberi izommunkával megvalósíthatatlan feladatok számára is megnyitotta az utat. Ahogy a fejlődés során bővült az energetikai potenciál kiaknázhatósága, úgy vált mind könnyebbé az ember elemi létszükségleteinek biztosítása, majd idővel az életet könnyebbé és kellemesebbé tevő további szükségletek kielégítésére nyitott teret.

Az embereknek valójában nem energiára, hanem az energia nyújtotta szolgáltatásokra van szükségük: hőre, fényre, mechanikai munkára, anyagok kémiai és fizikai átalakítására, szállításra, információkra, szórakozásra stb. – ezek az energia végső hasznosításai. E funkciók egyrészt létszükségleteink kielégítésében és életkörülményeink közvetlen alakításában játszanak szerepet, másrészt a civilizált élethez szükséges termékek – használati cikkek, termelőeszközök, járművek stb. – és szolgáltatások létrehozásában. Az igények kielégítéséhez a fogyasztóknak többféle energiahordozóra van szükségük, ezek rendelkezésre állását sokféle tevékenységet folytató, nagyszámú vállalatból álló ellátórendszerek biztosítják.

Az energiatranszmisszió számbavétele

Az energetikai kérdések megítéléséhez elengedhetetlen az energiatranszmisszió áttekintése. A nemzetgazdaság energiatranszmissziójának leegyszerűsített sémáját

A nemzetgazdaság energiaszállítási folyamata



mutatja az 1. ábra. A természetből kinyert primer (elsődleges) energiahordozók rendelkezésre álló mennyisége a belföldi kitermelés, az import és a korábban felhalmozott készletek összege. A primer energiák egy részét a belföldi fogyasztók közvetlenül felhasználják, más részét exportálhatják, de a legnagyobb hányadból a felhasználás szempontjából kedvezőbb tulajdonságú szekunder (másodlagos) energiahordozókat – pl. kőolajtermékek, villamos energia, hőhordozók – állítanak elő. Az energiaátalakítás eszköztára nagyon sokrétű, a nagy átalakító művektől (erőművek, kőolajfinomítók, koksizolók stb.) a különféle erőgépek és berendezések sokaságán keresztül a közvetlen energiaátalakítás kis eszközeiig (pl. napelemek, hőelemek, kémiai áramforrások) terjed. Természetesen szekunder energiahordozókat is lehet importálni és exportálni. Az energiahordozók végső felhasználói – a fogyasztók – a primer és szekunder energiákat többnyire újabb átalakítással hasznosítják, egyesekből fel lehet halmozni készleteket, és főleg a hulladéke energiák visszavezethetők újabb átalakításra. Mind az energiaátalakítás, mind az energiaszállítás veszteséggel jár.

A fogyasztók általában többféle energiahordozót (tűzelőanyagok, hajtó üzemanyagok, villamos energia, vezetékes gáz, távhő stb.) hasznos többféle rendeltetéssel, ezek forgalmának áttekintésére hasznos eszköz az energiamérlegek. Ezekben többnyire táblázatos formában szembe állítja az energiaforrásokat a felhasználással. Elvileg nincs különbség egy nagyobb szervezet vagy régió és egy háztartás energiamérlege között, legfeljebb a tételek száma sokkal nagyobb. A számlák alapján viszonylag egyszerűen felmérhető egy háztartás villany- és gázfelhasználása, a gépkocsi üzemanyag-fogyasztása, a lakás fűtésére használt energia stb. Némi számítással, a fogyasztókészülékek teljesítményének és a használat átlagos időtartamának figyelembevételével, még a felhasználás rendeltetés szerinti bontására is mód van, mennyit kellett főzésre, melegvíz készítésére, világításra stb. fordítani, a közlekedésből mennyi kapcsolódik a munkához és mennyi a szabadidőhöz. Az adatok rendelkezésre állásán múlik, milyen részletességgel mérhető fel egy intézmény, vállalat, település, kisebb-nagyobb régió vagy az ország energiafelhasználása. Termelőüzemekben mért adataink is vannak a fontos technológiai folyamatok, illetve üzemrészek elkülönített energiafelhasználásáról.

Összetett kérdés az energiamérlegekben alkalmazott mértékegység megválasztása. A legegyszerűbb a közvetlenül mérhető természetes mértékegységek (t, m³, kWh stb.) alkalmazása, azonban ilyenkor gondot okoz a különféle energiahordozók közös kezelése. A különféle tüzelőanyagokat gyakran olajegyenértékre (oe) számítják át, régebben a szénegyenértékben mért egyezményes tüzelőanyagot (ETA) használták, a nemzetközi gyakorlat a joule-ban (J) mért hőérték irányába tart. Egyes országokban előszeretettel alkalmaznak más mértékegységeket is, az Egyesült Királyságban a brit termikus egységet (BTU), Franciaországban a termie-t, az Amerikai Egyesült Államokban a Quad-ot. A különféle mértékegységek átszámításáról az 1. táblázat ad áttekintést.

1. táblázat

Az energiagazdálkodásban alkalmazott mértékegységek

Mértékegység	Megnevezés	Egyenérték joule-ban
kpm	kilopondméter	9,81 J
kcal	kilokalória	4,19 kJ
kWh	kilowattóra	3,6 MJ
GWa	gigawattév	31,54 PJ
t oe	tonna olajegyenérték	42 GJ
t ETA	tonna egyezményes tüzelőanyag	29,3 GJ
BTU	British Thermal Unit (angol)	1,055 kJ
Quad	kvad (1015 BTU, amerikai)	1,055 EJ
termie	termi (francia)	4,19 MJ

Külön probléma a villamos energia számbavétele a mérlegekben. A végső felhasználásnál a fizikai hőegyenérték (1 kWh = 3,6 MJ) alapján összegzik a különféle egyéb energiafajtákkal. A primerenergia-mérlegekben viszont a hőerőművek átlagos fajlagos hőfogyasztását tekintetbe véve, a villamos energia előállításához szükséges tüzelőanyag hőértékével veszik figyelembe, ami a technikai színvonal függvénye. A villamosenergia-rendszer fajlagos hőfelhasználásának az idő függvényében csökkenő értéke helyett újabban 10 MJ átlagos egyenértéket alkalmaznak. Hasonló egyenértéket használnak a vízerőműveknél, atomerőműveknél és az importált villamos energiánál is, bár ilyenkor ennek nincs tényleges fizikai tartalma. Vagyis a vízerőművekben fejlesztett villamos energia mintegy háromszor annyit képvisel a tüzelőanyag-mérlegben, mint az elosztási mérlegben. Atomerőműveknél elvileg az is felmerülhet, hogy vagy az uránérc energiatartalmát vagy a hasznosított izotópok energiaértékét tekintsék mértékadónak.

Az energiamérlegek alkalmas eszközök az energiagazdálkodás módjának és hatékonyságának elemzésére, segítenek a veszteségek feltárásában, hozzájárulnak a gazdálkodás optimalizálásához, alkalmazhatók a prognózisok megjelenítésére és sok egyéb célra. Sokféle bontásban (pl. területek, felhasználói szektorok, ágazatok, energiafajták, technológiák szerint) és különféle időtartamokra készülnek, a felhasználás igényétől és az adatszolgáltatás gyakoriságától függően. A 2. táblázat példaként az országos energiamérleg nagyon leegyszerűsített formáját mutatja. Forrásoldala az energiatermelők és -importálók statisztikai adatszolgáltatására épül. Mivel csak a nagyfogyasztók vannak adat-szolgáltatásra kötelezve, az energiafelhasználás jelentős részét reprezentatív felmérésekre és számításokra alapozva határozzák meg. A forrásoknál a ter-

2. táblázat

Magyarország energiamérlege 1998-ban

Források	PJ	Elosztás	PJ
Primer energiahordozó-termelés	489,1	Közvetlen felhasználás	782,1
Behozatal	659,5	(anyagjellegű és nem energetikai)	(67,6)
Készletcsökkenés	3,1	Átalakítási veszteségek	175,7
Halmozatlan források	1 151,7	halmozott nettó felhasználás	957,8
		Veszteség-hasznosítás	6,9
		halmozatlan nettó felhasználás	950,9
		Átszámítási veszteség	95,0
		halmozatlan bruttó felhasználás	1 045,9
		Kivitel	74,3
		Készletnövelés	31,5
		halmozatlan végső felhasználás	1 151,7

melésen és az importon kívül figyelembe kell venni a készletek csökkenését is, a végső felhasználás is kiegészül az exporttal és a készletek feltöltésével.

Az 3. táblázat az országos mérlegnek egy részletesebb, energiahordozók szerinti bontását mutatja be, figyelembe véve azok eredetét és felhasználásuk módját is.

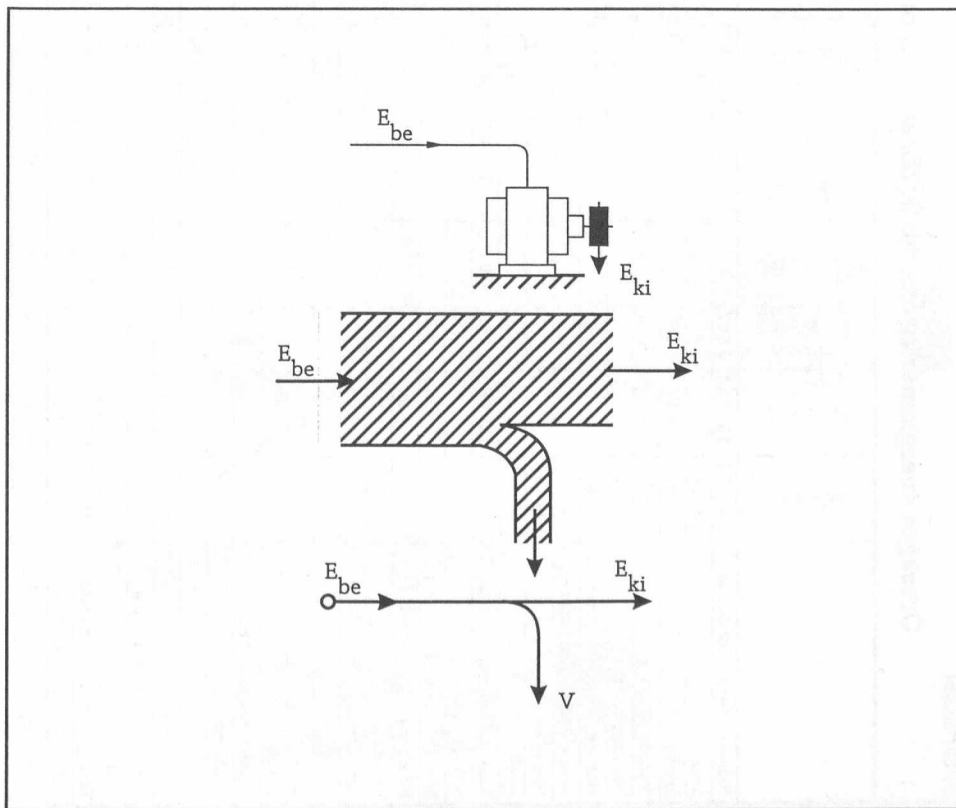
Az energiamérlegek grafikus szemléltetésére szolgálnak az energiaszármazási ábrák (Sankey-diagrammok), melyeken az energiaáramokat sávok vagy vonalak irányával, az energiaértékeket a sávok szélességével vagy a vonalak mellé írt számokkal jelzik. Az elvet egy villamos motor esetére az 2. ábra szemlélteti.

Természetesen nemcsak egyes berendezésekre, hanem összetett rendszerekre is készíthetők ilyen ábrák, ezt példázza az ország villamosenergia-ellátására a 3. ábra és a földgázellátásra a 4. ábra.

Összetett energiamérlegeknél nagy körütekintést érdemelnek a halmozódások. Az energiaátalakító folyamatok a betáplált primer vagy szekunder energiahordozók mellett gyakran felhasználnak másutt előállított szekunder ener-

2. ábra

Villamos motor energiaszármazási ábrája



3. táblázat

Országos energiamérleg energiafajta szerinti bontásban 1996-ban (mértékegység: TJ)

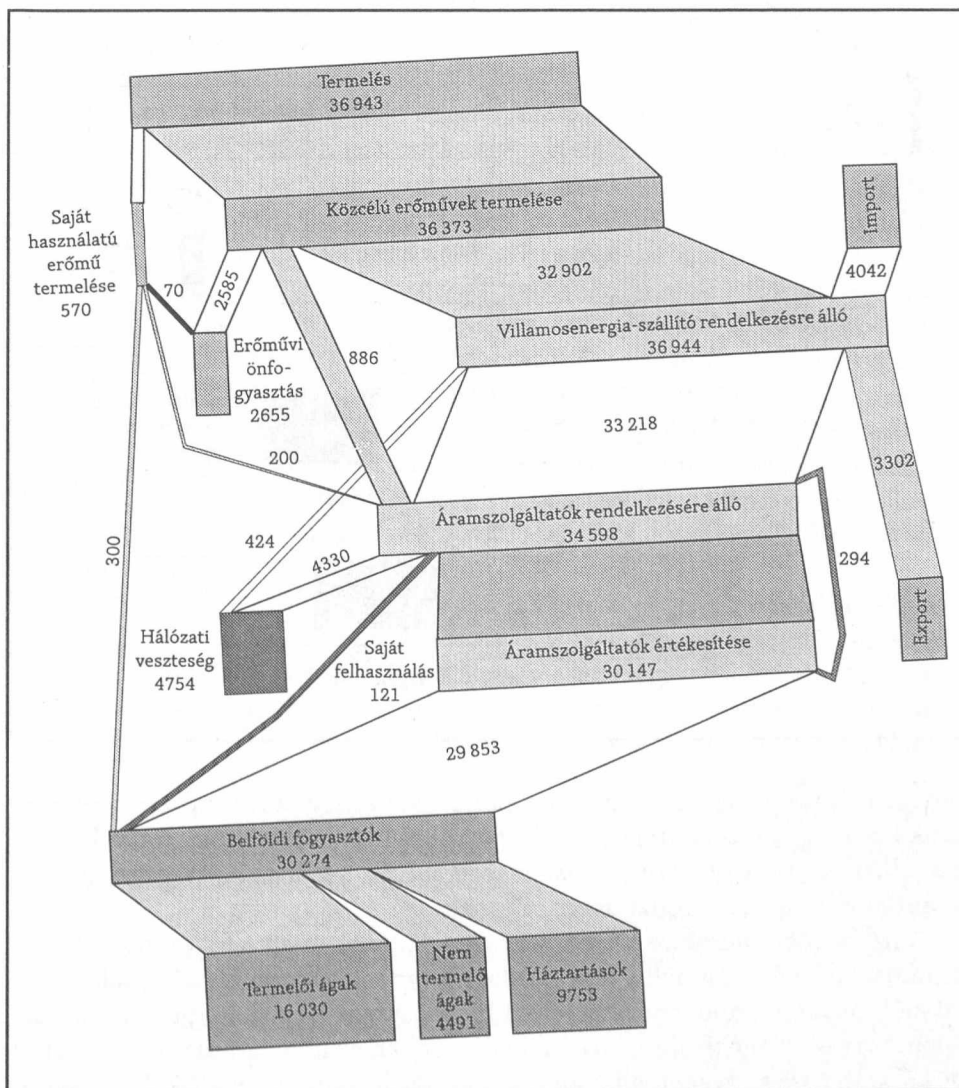
	Termelés	Behozatal	Készlet-csökkenés	Átalakításból	Hulladék energia	Forrás és elosztás	Belföldi felhasználás	Közvetlen felhasználás	Anyag jellegű	Átalakításra	Kivitel	Készlet-növelés	Átszámitási veszteség	Átalakítási veszteség
Primer energiahordozók	536 650	536 554	3 567			1 076 771	896 107	322 909	18 273	573 198	743	26 463		
szén	134 369	17 407				151 776	151 549	25 080		126 469	128	99		
kőolaj	60 557	214 963	3 567			279 087	278 472	195	69	278 277	615			
földgáz	150 776	304 184				454 960	428 596	279 556	17 169	149 040		26 364		
bányászott PB	9 588					9 588	*	*						
vízerőművi villamos energia	2 070					2 070	**	**						
atomerőművi villamos energia	141 800					141 800	**	**						
tűzifa	14 475					14 475	14 475	14 212		263				
egyéb	23 015					23 015	23 015	3 866	1 035	19 149				
Szekunder energiahordozók		115 080	2 948	515 206	13 560	646 794	606 685	484 469	43 452	122 216	79 454	7 976	106 137	
brikett		392		7 732		8 124	8 059	7 970		89		65		
koks		28 105	205			28 310	28 310	28 269	23	41				
PB kőolaj-feldolgozásból		3 901		3 948		7 849	16 262	15 800	93	462	1 128	47		
benzín		9 240		93 534		102 774	79 128	78 568	21 993	560	23 184	462		
petróleum		1 554		12 600		14 154	10 668	10 349	26	319	3 360	126		
gázolaj		6 930	2 730	103 656		113 316	72 450	67 902	6 512	4 548	40 866			
fűtőolaj		37 748		60 380		98 128	90 932	10 560		80 372		7 196		
bitumen		5 240		12 320		17 560	14 040	12 654	12 654	1 386	3 440	80		
egyéb kőolajtermék				14 315		14 315	6 839	1 404	1 404	5 435	7 476			
kohógáz					8 866	8 866	8 866	4 560	723	4 306				
hőenergia				132 148	4 694	136 842	136 842	123 170	4	13 672				
villamos energia				74 573		74 573	134 276	123 250	20	11 026			106 137	
import villamos energia		21 970				21 970	**	**						
egyéb			13			13	13							
Energiahordozó összesen	536 650	651 634	6 515	515 206	13 560	1 723 565	1 502 792	807 378	61 725	695 414	80 197	34 439	106 137	180 208
halmozatlan felhasználás	536 650	651 634	6 515			1 194 799	1 080 163							

* a kőolaj-feldolgozásból származó PB-nél figyelembe véve; ** a villamosenergia-elosztásban összevonva

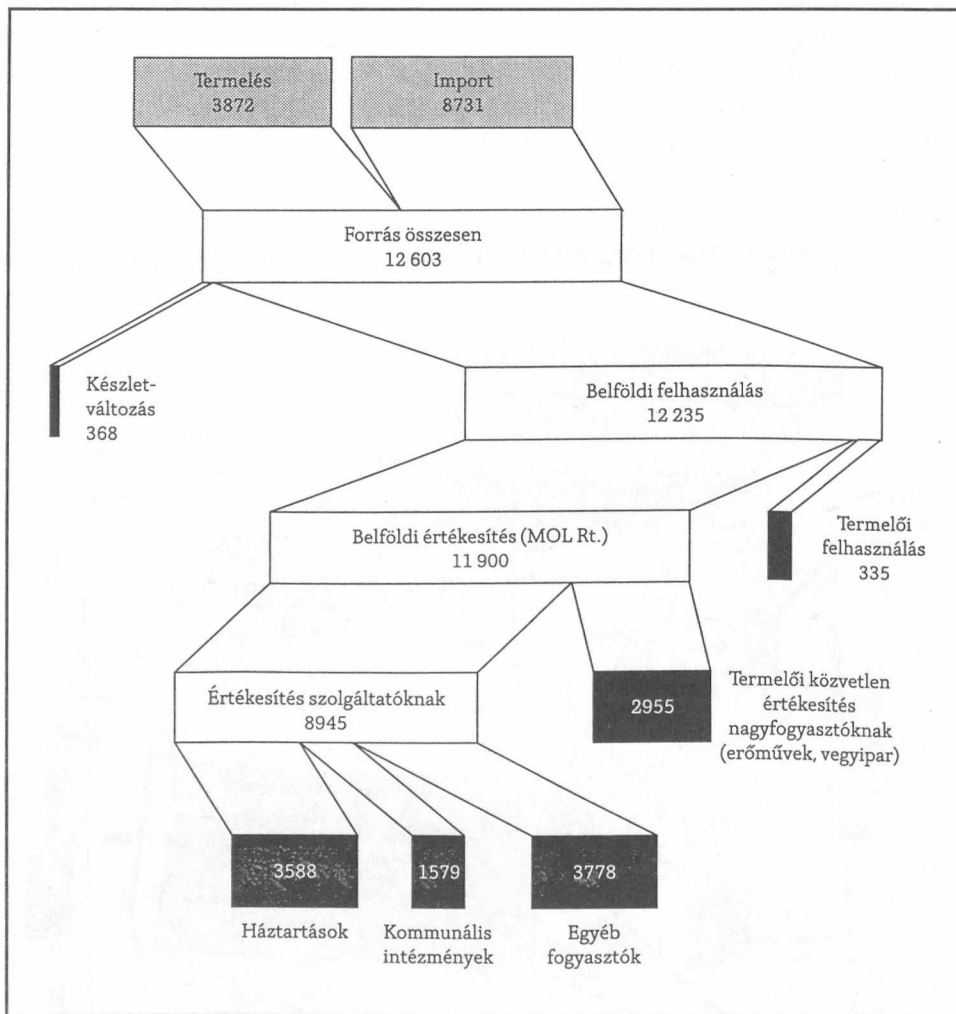
giahordozókat vagy hulladék energiákat is. E pótlólagos források energiája részben az átalakítás eredményeként nyert szekunder energiahordozók energiatartalmában testesül meg, részben veszteséggé válik. Ennek figyelembevétele az adott átalakítási technológia energiamérlegében nem okoz gondot, de az összevont mérlegek felállításában igen. A felhasznált energiák mechanikus összegezésénél ugyanis fennáll a veszély, hogy a szükséges primer energia meghatározásánál egyes energiamennyiségeket többször vesznek számba – hal-

3. ábra

A magyar villamosenergia-folyam 1998-ban (mértékegység: GWh)



4. ábra

A magyar földgázenergia-folyam 1998-ban (mértékegység: Mm³)

mozódás következik be –, hiszen a pótlólagos energiaforrás primerenergia-szükséglete egy másik átalakítási folyamatnál is jelentkezik. Hasonló helyzet alakulhat ki, ha egy berendezésben egy másik berendezés veszteségeként jelentkező hulladékenergiát hasznosítanak.

A halmazódás veszélye a többszörös átalakítások miatt a fogyasztói igények számbavételénél is fennáll. Nem mindegy, hogy a sorozatos átalakítások láncolatából milyen komponensekre terjed ki az összegzés. Az energiafelhasználás jelentős része pl. gőzfejlesztésre irányul, azonban ez nem mindig végcél, mert a gőz számottevő hányadát villamos energia előállítására használják. Ha ez utób-

bi hányadot nem határolják el, ami még egy erőművön belül sem mindig könnyű, nincs kizárva a kettős számbavétel. Az sem közömbös például, hogy a központi-lag előállított melegvíz rendeltetése használati melegvíz-ellátás vagy fűtés, vagy esetleg sorba kapcsolva mindkét funkció betöltése. A halmazódások kiszűrése a mérlegekből nagy figyelmet és a folyamatok alapos ismeretét igényli.

A fogyasztók energiaszükséglete

A végső hasznosítás

A fogyasztók energiaszükségletét az energiahasznosítással nyert szolgáltatások szabják meg. A végső hasznosítás energia-egyenértéke elvileg értelmezhető (pl. helyiségek légterének felmelegítése, kémiai átalakítások reakcióhője, halmazállapot-változtatások rejtett hője, megmunkálás deformációs munkája), de többnyire nehezen számszerűsíthető a gyakorlatban (pl. mi az indokolt fűtési hőmérséklet, megvilágítás, utazási sebesség, mennyi információ szükséges egy technológiai folyamatnál). Reprezentatív vizsgálatokkal vagy becslésekkel néha meghatározzák a végső hasznosítást is, de általában megelégszünk a fogyasztók által felhasznált (vásárolt vagy kitermelt) energiahordozók megfigyelésével; a statisztikai számbavételnek és a kereskedelmi elszámolásnak is ez a végső felhasználás az alapja. Az energiaszükségletben a végső felhasználást a fogyasztóberendezések előtt kell meghatározni, a végső hasznosítást pedig a fogyasztóberendezések után, ahol már nem következnek be további műszaki energiaátalakítások.

Az energiaszükséglet legnagyobb hányadának célja hőfejlesztés, a hőhasznosítás aránya a klímától, az életmódtól és az iparszerkezettől függően a mérsékelt égöv országokban az összes energiaszükséglet 60–70%-át teszi ki. A legtöbb hőre az emberi élet- és munkakörülmények biztosításához van szükség. Hazánkban térfűtésre fordítódik a teljes hőhasznosításnak mintegy fele, aminek lakásfűtésre szolgáló hányada 63% körül mozog. A közületi-kommunális szektor fűtése kereken 27%-ot tesz ki, a termelő munkahelyek, járművek stb. részesedése kb. 10%. Az üvegházhatás miatt lassú klimatikus változásokat prognosztizálnak, de azok egyelőre nem számszerűsíthetők. A fűtésen túlmenően a hasznosított hőnek további, mintegy 10%-át is az élet-körülmények megteremtésére (melegvíz-készítés, tisztálkodás, ételkészítés, ruhakarbantartás) fordítják.

A hőhasznosítás másik fele technológiai célokat szolgál, legfőbb fogyasztója az ipar (~80%). Alig van olyan termelési technológia, amihez ne lenne szükség hőre, az ipari energiaigény 70%-át felhasználó alapanyagiparnak (kohászat,

építőanyag-ipar, vegyipar) meglehetősen sokra. Hőközléssel lehet előidézni halmazállapot-változásokat (olvasztás, forralás, párologtatás), melegítéssel lehet anyagokat szétválasztani (lepárlás, desztillálás, rektifikálás, bepárlás, szárítás stb.). Gyakran az anyagok alakítása, formázása is csak melegítve vagy megolvastva végezhető el (öntés, termomechanikus megmunkálás, olvasztás, izzítás). Hőt használnak a fémek kinyeréséhez az ércekből (nagyolvasztó, direkt redukció, pörkölés), a fémes félkész gyártmányok előállításához, a fémek szövetszerkezetének módosításához (lágyítás, edzés) és a munkadarabok megalakításához (hengerlés, kovácsolás, extrudálás). A nem fémes technikai anyagok előállításának technológiáját is átszövik a termikus eljárások, a legfontosabb szervetlen alapanyagok és vegyületek előállításától (pirolízis, endoterm reakciók), a makromolekulák felépítéséig (polimerizálás, poliaddíció, polikondenzáció). Az élelmiszer- és könnyűipar technológiai eljárásaiban is gyakran van szükség halmazállapot-változásokra, anyagok szárítására, izzítására, anyagi jellemzők módosítására, a reakcióképesség növelésére és hasonló, hőt igénylő folyamatokra. A mezőgazdaságnak is van technológiai hőigénye (szárítás, keltetés, üvegházak fűtése). Nagy hőfogyasztók az átalakítóművek is, de ez nem a végső hasznosítás szintjén jelentkezik.

A hőhasznosításnál lényeges körülmény a hőmérséklet értéke. A hőmérséklet emelése többnyire gyorsítja a fizikai és kémiai folyamatokat, de a túl magas hőfokot kerülni kell az anyagok tönkremenetelének megakadályozására. Ugyanakkor bizonyos hőmérséklet alatt nem alakulnak ki a kívánt kémiai, metallurgiai, biológiai stb. folyamatok. A teljes hőhasznosításnak mintegy fele 100°C alatti, az életkörülményeket szolgáló hőfelhasználásnál ritkán van szükség ennél magasabb hőfokra, és az élővilágból nyert anyagokkal kapcsolatos műveletek nagy része is ebbe a tartományba tartozik. A hőfelhasználásnak kereken 20%-a 100°C és 300°C közé esik, főleg kémiai technológiai eljárások céljára. A szerves anyagokkal kapcsolatos műveleteket inkább e tartomány alsó fele jellemzi. Körülbelül 10%-ra tehető a hőfelhasználás 300 és 1000°C között, ez legnagyobbbrészt a szervetlen vegyipari technológiák tartománya, az ennél magasabb hőmérsékletű felhasználás 20% körül mozog, alapvetően metallurgiai és szilikátipari célokra.

A természetben két, műszakilag hasznosítható primer hőforrásfajta fordul elő: a földkéreg geotermikus energiája és a napsugárzás. A felszínre jutó termálvíz hőmérséklete túlnyomóan alacsony, ami a felhasználási lehetőséget mind a hasznosítás módja, mind a hatósugár tekintetében korlátozza. Néha – Magyarországon nagyon ritkán – gőzforrás is előfordul, de ebből villamosenergia-termelés csak nagy hozamoknál ígéretes. A napsugárzás hőjét közvetlenül csak kisberendezésekben tudjuk hasznosítani, magasabb hőmérséklet vagy nagyobb hőigény biztosításához a sugárzást nagy felületről kell összegyűjteni és koncentrálni, ami a Föld felszínén a jelenlegi technikai lehetőségekkel ritkán versenyképes. Mindezek következtében a primer hőforrások szerepe korlátozott, a hőt általában más energiaszintű energiákból állítjuk elő.

Hővé minden energiafajtát át lehet alakítani, de csak kevés megoldás nyert a gyakorlatban polgárjogot. A legáltalánosabb mód vegyi energia kiaknázása exoterm reakciókban, ami többnyire tüzelőanyagok és motorhajtóanyagok elégetésével történik. A magyar energiagazdálkodás 87%-a erre alapul. A tüzelőanyagok nagy részét kazánokban vagy kemencékben tüzelik el. A kemencékben a melegítés közvetlenül a tűztérben vagy a füstgázhuzamban történik. A kazánokban hőhordozót (levegő, víz, gőz, alkalmasan megválasztott gáz vagy folyadék) hevítenek fel, és azzal származtatják át a szükséges hőmennyiséget, a hőigények mintegy negyedét ilyen hőhordozókkal fedezik. Nagyléptékben a nukleáris energiát is hőfejlesztés révén hasznosítják, ez fedezi a magyar energiamérleg 12%-át. Az anyagok közvetlen melegítésének jól irányítható és szabályozható módja a villamos hőfejlesztés, amire sokféle eljárás áll rendelkezésre (ellenállásfűtés, ívfűtés, indukciós hevítés, dielektromos melegítés, infravörös besugárzás, mikrohullámú hevítés, lézeres sugárzás, Peltier-hatás). Terjedőben van a hő mechanikai munkából előállító hőszivattyú alkalmazása, a hőfejlesztés egyéb módszereit ritkán használják.

Az energiahasznosítás második legfontosabb válfaja 20-30%-os részesedéssel a mechanikai munka. Arányát erősen befolyásolja a közlekedés jellege és mértéke, a mechanikai munka mintegy kétharmadát a személyforgalmat és áruszállítást bonyolító közlekedés használja fel, a többi az emberi fizikai munkát helyettesítő gépeket működteti. Magyarországon a közlekedés energiaszükséglete a végső elosztás 14,5%-át teszi ki. A legtöbb gazdasági tevékenységhez sok anyagmozgatási és rakodási munkára van szükség, munkaigényes az anyagok bontása (darabolás, aprítás, őrlés), alakítása és formaadása (kovácsolás, sajtolás, hengerlés, mélyhúzás, forgácsolás stb.). A közlekedésen kívül a legtöbb mechanikai munkát felhasználó ágazatok: az ásványbányászat, a mezőgazdaság és az építőipar. Nem sok energiát vesz igénybe, de az életkörülmények szempontjából fontos a háztartások gépesítése is.

A primer energiaforrások közül közvetlenül mechanikai munkát a víz és a szél szolgáltat. A vízfolyások energiájának hasznosítása a vízikerékekkel és a vízimalmokkal másfél évezredes múltra tekint vissza, napjainkban a vízturbinákat szinte kizárólag villamosenergia-fejlesztésre használják, de ez a szerepük jelentős (sajnos Magyarországon a lehetőség csekély). Néhány – nem túl sikeres – árapályerőmű is működik a világban. Még nagyobb múltja van a szélenergia hasznosításának a vitorlás hajók és a szélmalmok révén, újabban a kedvező széljárású területeken terjednek a szél erőművek és a szélmotoros berendezések is.

Mechanikai munkát is lehet végeztetni minden más energiafajtával, a domináns megoldások a hőerőgépek és a villamos motorok. A mobil berendezések működtetésére többnyire belső égésű motorokat alkalmaznak, a helyhez kötött berendezések szinte kizárólagos erőgépe a villamos motor, a pályához kötött járművek hajtására mindkét erőgéptípus használatos. A hőerőgépekben lejátszódó hőkörfolyamatokban a munkavégzést gőz vagy gáz halmazállapotú mun-

kaközeg expanziója szolgáltatja, amit hőelvonás, kompresszió, majd újabb expanziót lehetővé tevő hőbevezetés követ. A hőerőgépek hatásfoka erősen függ a hőkörfolyamat kezdő hőmérsékletétől, amit a szerkezeti anyagok hőfoktűrése szab meg. Mechanikai munkát a legrugalmasabban és a legjobb hatásfokkal villamos motorokkal lehet szolgáltatni, ezek szabályozhatóságát a teljesítményelektronika nagymértékben kiszélesítette. Néha a hajtást közvetlenül mechanikai energiaforrásból (lendkerekek kinetikus energiája, rugók, súlyok vagy folyadékok potenciális energiája, sugárhajtás) fedezik. Más működtetési módok is lehetségesek (pl. ozmózis, magneto-hidrodinamika [MHD]), de ezek technikai szerepe jelentéktelen.

Az információtechnika napjainkban zajló rohamos térhódítása, az adatok, képek, hangok továbbítása, feldolgozása, interaktív kezelése, a folyamatok számítógépes irányítása, a szolgáltatások gépesítése, a szellemi tevékenységek alattamasztása, az információforgalom biztosítása, a szabadidő eltöltése és a szórakoztatás sokféle elektronikus eszközének működtetése egyedileg nem kíván sok energiát, de összesített igényük jelentős, a hasznosított energia 2-3%-ára becsülhető. Ezt telepített berendezéseknél a villamos hálózat, hordozható készülékeknél kémiai áramforrások fedezik. Az űrtechnika felhasználása az információátvitelre (valamint más jellegű feladatokra) nagy kihívást jelentett az energetikának is. Egyrészt az űrobjektumok feljuttatásához szükséges hajtóműveket és üzemanyagokat, másrészt a folyamatos működtetéshez szükséges áramforrásokat kellett kifejleszteni. Ezek a csúcstechnikát reprezentáló eredmények más területeken is hasznosultak, pl. a gázturbinák vagy a villamos energiát szolgáltató közvetlen átalakítási eljárások fejlesztésében. A jövő titka, hogy az űrtechnika szerepéhez jut-e a földi energiaellátásban, pl. kihelyezett naperőművekkel.

Meglepően kevés a világításnak a végső elosztás 1%-a körül mozgó energiaszükséglete, ami a fényforrások rossz hatásfokát figyelembe véve a hasznosítás szintjén még kisebb arányú. A villamos fényforrások (izzólámpák, ívlámpák, gázkisüléses fényforrások) kizárólagos szerepet játszanak, a fény kibocsátására más lehetőségek (lángok, testek izzítása) elvesztették a jelentőségüket. Új fejlemény az elektronoptika és a különféle lumineszcenciás hatások térhódítása. A különféle energiák főleg gyógyászati célokat szolgáló közvetlen biológiai hasznosítása (pl. fizikoterápia, nukleáris medicina) jelentéktelen hányadot képvisel az energiamérlegben.

A kémiai folyamatok mindig energiaváltozásokkal járnak együtt. Ezek nagy része endoterm, vagyis energiabevezetés hatására játszódnak le (pl. pirolízis, disszociáció, frakcionálás, fotokémiai reakciók, elektrolízis stb.). Gyakran energiaköltség szükséges a reakciófeltételek megteremtéséhez, vagy a folyamatok gyorsításához is. Nehéz szabatosan elhatárolni, hogy a kémiai reakciókban lejátszódó energiaszükséglet mennyiben járulnak hozzá az energiagazdálkodáshoz, és mennyiben tekintendők anyagok közötti kölcsönhatások részének. Ez már a kémiai energia kiaknázásában legjelentősebb energetikai tevékeny-

ségnél, a tüzelőanyagok hasznosításánál sem teljesen egyértelmű, mivel azokat nem csupán eltüzelik, hanem további energiahordozók és vegyipari anyagok előállítása érdekében fel is dolgozzák (kőolajlepárlás, kokszyártás, brikettálás, elgázosítás, kőolaj- és földgázbázisú vegyipar stb.). A tüzelésen túlmenően sok más exoterm kémiai folyamat reakcióhője is lényeges szerepet játszik az energiaigények fedezésében, különféle anyagok előállításánál vagy átalakításánál (vegyipar, élelmiszeripar, kohászat, szilikátipar, műanyagipar stb.). Ezeknek jelentős szerepük van a technológiai energiamérlegekben, de az országos energiamérlegek a forrásoknál csak a tüzelőanyagok égésén alapuló folyamatokat veszik tekintetbe, más energiafelszabadulással járó reakciókat nem.

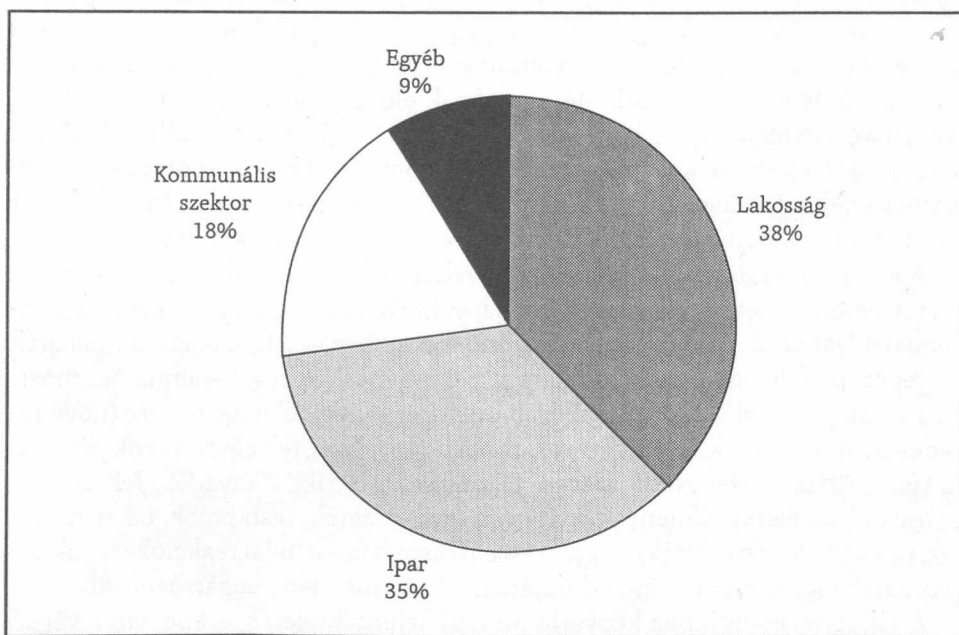
A kémiai energia megítélésének ambivalenciája érvényesül a végső hasznosítás területén is. Kémiai reagensek, kémiai és biokémiai reakciók, fizikai és fizikakémiai folyamatok előidézésével fokozódó mértékben veszik át más energiafajták szerepét (pl. felületaktivitás, fotokémia, bioaktivitás). A vegyi energia hasznosítására sok példa található, az emberi munka közvetlen helyettesítésére (növényvédelem, mosószerek, tisztítószerek, robbanóanyagok), természeti erők pótlására (műtrágyák, növényvédő szerek, tápanyagok, bioaktív anyagok, felületvédő eljárások), az életkörülmények javítására (gyógyszerek, testápolók, takarítószerek, rovarirtók, víztisztítók). A gyártási eljárásokban a kémiai reakciókat gyakran gyorsítják más energiahatások (hőmérséklet, nyomás, fény, sugárzások stb.).

A villamos energiának közvetlenül csak jelentéktelen szerepe van a végső hasznosításban, (fizikoterápia, elektrolízis, besugárzások), alapvető rendeltetése az energiaátvitel. A tiszta, könnyen szabályozható villamos energia minden más energiafajtába könnyen átalakítható, így azzal a felhasználók minden szükségletét ki lehet elégíteni. Fokozza a rugalmasságot, hogy áram fejlesztésére minden energiafajta használható.

Az 5. ábra a hazai végső felhasználás fogyasztói szektorok szerinti megoszlását mutatja. A lakossági fogyasztás részesedése (38%) növekvő, ami az életvitel alakulásától függ. Az életszínvonal javulása új igények megjelenésével párosul: a nagyobb gépkocsiforgalom, a több hétvégi ház növeli az energiafelhasználást, több energiával jár az igény a nagyobb komfortra, a nagyobb alapterületű lakások fűtése, az egyenletesebb hőmérséklet-eloszlás biztosítása, az átmeneti időszakok pótfűtése, a nyári légkondicionálás, a nagy teljesítményű háztartási gépek (automata mosógép, szárító, mosogatógép) használata, igényesebb karbantartás, másodkészülékek (tv, rádió, számítógép) beállítása stb. A közösségi szolgáltatások (üzeméltetés, mosodák, gyermekintézmények) visszaszorulása is növeli a háztartások energiafelhasználását, méghozzá a decentralizált tevékenység rosszabb fajlagos mutatójával. Hasonló hatása van a háztartáson belül ellátandó ételmezési funkciók bővülésének (mert drágulnak a félkész ételek, konzervek, vendéglők). A szolgáltatások szerepének erősödése miatt gyorsan növekvő kommunális szektor (közigazgatás, pénzintézetek, szociális, egészségügyi, oktatási, kulturális intézmények, kereskedelem, vendéglátóipar stb.) energiafelhasználása (18%) a lakossági felhasználás feléhez

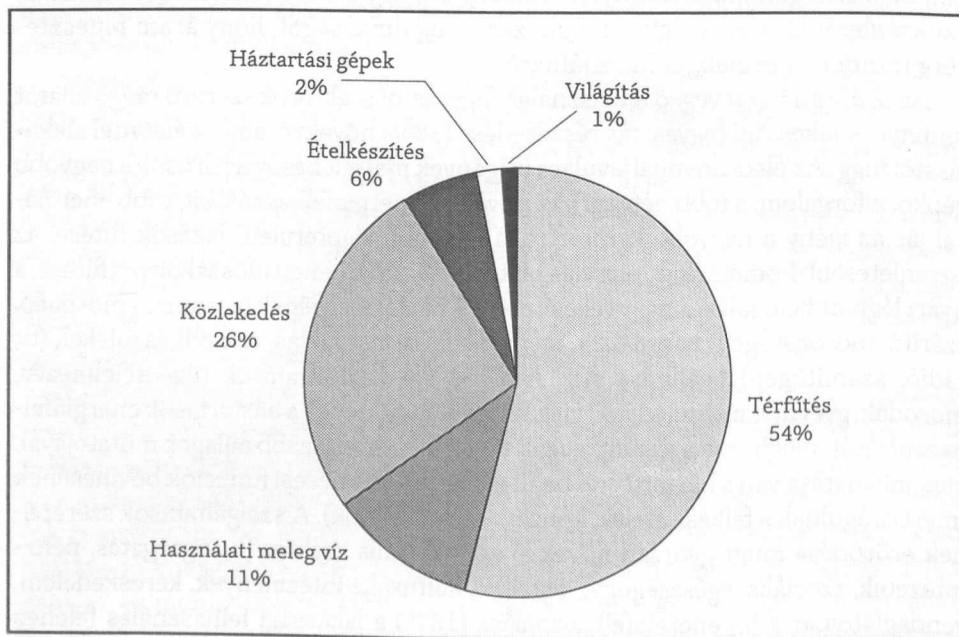
5. ábra

Végő felhasználás szektorok szerint Magyarországon



6. ábra

Háztartások átlagos energiateljesítményfelhasználása Magyarországon



közelít. Az ipar energiafelhasználása (31%) csökkenő, ahogy egyrészt visszaszorulnak az erősen energiaigényes ágazatok, másrészt a betelepülő multinacionális vállalatok korszerű, energiatakarékos technológiát hoznak magukkal.

A magyar háztartások végső felhasználásának rendeltetés szerinti átlagos megoszlását a 6. ábra szemlélteti. Az energiának több mint felét fűtésre fordítják. Globálisan negyedét a közlekedés teszi ki, de ez elsősorban a jobb módú rétegeknél érvényesül, jóval magasabb aránnyal. Számottevő a vízmelegítés energiaszükséglete, viszonylag kevés az ételkészítésé és meglepően kicsi a többi felhasználása.

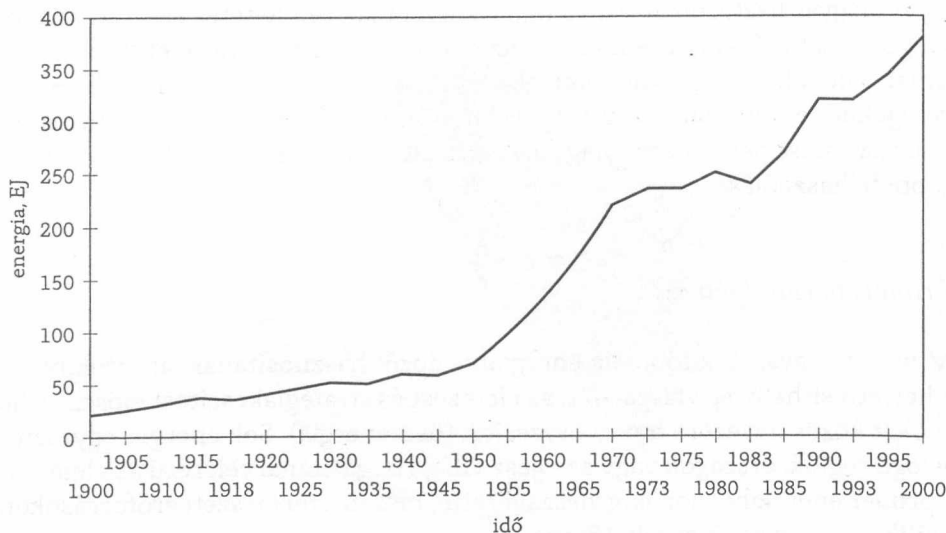
Primerenergia-igények

Miután a fogyasztók többféle energiahordozót hasznosítanak, az áttekintést, a helyettesíthetőség vizsgálatát, az elemzést és stratégiakészítést elősegíti, ha azokat közös nevezőre hozva összesítik (összenergia). Sok energiafogyasztót átfogó régiók, országok vagy az egész világ vizsgálatánál célszerű az elemzést a primer energiahordozókig visszavezetni, hiszen a természeti erőforrásokon múlik az energiaellátás lehetősége.

A kereskedelemben forgalmazott primer energiahordozók világfelhasználásának alakulását a 20. században a 7. ábra szemlélteti. Az évszázadot átfogó ábra szerint a világ energiaszükséglete az elmúlt 100 évben kereken hússzorosára nőtt, a fejlődést csak átmenetileg törik meg nagy horderejű fejlemények (világháborúk, gazdasági világválság, olajsokk, a szocialista világrendszer összeomlása), stagnálást vagy néhány százalékos visszaesését okozva. A század első felében a világ primerenergia-felhasználásának növekedési üteme átlagosan 2–2,2%/év volt, a II. világháborút követő három konjunkturális évtizedben az ütem 5%/év-re gyorsult, az 1970-es évek tranziensei után 2% körüli ütem stabilizálódott és az előrebecslések is hasonló növekedési ütem körül mozognak. (Mivel a világ lakossága is gyorsan nő, az egy főre vetített növekedési ütemek kb. fele akkorák.) A század első felében a fejlett országok energiafelhasználása az átlagnál gyorsabban, a második felében lényegesen lassabban nőtt. Az ábra nem tükrözi a teljes képet, mivel a felhasznált energia egy része (10–15%) nem kerül kereskedelmi forgalomba. Főleg a megújuló energiák – többek között a biomasz – lokális hasznosításának jelentős hányadára csak becslések vannak. Az energiaviszonyok számbavételében az is némi bizonytalanságot okoz, hogy az ásványi tüzelőanyagok fűtőértéke lelőhelyek szerint eltérő, és az átszámítás gyakorlata egyezményes tüzelőanyagokra² nem egységes.

2 A statisztikában használt meghatározott fűtőértékű tüzelőanyag: szén esetében ETA (egyegymé-
nyes tüzelőanyag) 29,3 GJ/t (7 Gcal/t), kőolajnál oe (olajjegyénérték) 42 GJ/t (10 Gcal/t), földgáz-
nál 36 MJ/m³ (8,6 Mcal/m³).

A világ primerenergia-felhasználása a 20. században



Megbecsülve a nem kereskedelmi forgalomból származó energiahordozókat is, a világ teljes primerenergia-felhasználása 2000-ben kerekén 400 EJ volt. A Föld 6 milliárdnyi lakosát figyelembe véve az egy főre eső átlag közelítőleg 70 GJ/fő,év. A szállítási és átalakítási veszteségek miatt a fogyasztókhoz ennek kb. 70%-a jut el, így a végső felhasználás világszerte 50 GJ/fő,év (az emberi munkavégző képességnek mintegy hetvenszerese). A végső hasznosítás energia-egyenértéke ennek felére becsülhető.

A fajlagos energiafelhasználásban rendkívül nagy különbségek vannak az országok között, és az egyes országokon belül a társadalom rétegei között. A legszegényebb rétegek alig, vagy csak kis mértékben igényelnek kereskedelmi forgalomban kapható energiahordozókat. A Világbank számítása szerint a Földön 1,5 milliárd olyan szegény él, akiknek napi jövedelme nem éri el a mértékadónak tekintett 1 USD-t. Bár a lakosság néhány százaléka a fejlett országokban is ebbe a kategóriába tartozik, a szegények zöme a fejlődő világban él, ahol a népesség harmadát teszik ki és egyes területeken (pl. Afrika Szaharától délre fekvő övezeteiben) az éhínségek sem ritkák. Az emberiség harmadának az alapvető energiaforrása a biomassza, és 2 milliárd ember él villamosítatlan térségekben.

A primer ásványi tüzelőanyag felhasználásának regionális megoszlásába bepillantást nyújtó 4. táblázat is érzékelteti, hogy a fejlődés teremtette lehetőségekből a Föld lakói nagyon egyenetlenül részesültek. Míg a legfejlettebb régiókban a fajlagos felhasználás a világszerte többszöröse, a szegényebbeket

4. táblázat

A primer tüzelőanyag felhasználásának regionális megoszlása 1994-ben

Régió	Lakosság		Tüzelőanyag-felhasználás		Fajlagos érték
	millió fő	%	EJ	%	GJ/fő
Nyugat-Európa	439	8,0	59,9	18,1	136
FÁK és Kelet-Közép-Európa	348	6,4	64,2	19,4	184
Észak-Amerika	283	5,2	92,0	27,8	325
Ausztrália és Óceánia	21	0,4	4,3	1,3	205
Közel-Kelet	139	2,5	10,6	3,2	76
Közép- és Dél-Amerika	457	8,4	16,2	4,9	35
Ázsia	3094	56,6	74,5	22,5	24
Afrika	682	12,5	9,3	2,8	13
A világ összesen	5463	100	331	100	60

Forrás: World Energy Council. *Energy Perspectives to 2050*. WEC, London, 1995.

annak tört része jellemzi, a Föld lakosainak 80%-át képviselő „fejlődő” országokra a primerenergia-felhasználásnak csupán 20%-a esik.

Még markánsabb a különbség, ha figyelembe vesszük, hogy a fejlődő világ palettája a kis tigrisektől a szinte reménytelen helyzetben levő országokig terjed Fekete-Afrikában. A nagy különbségeket érzékelteti az 5. táblázat a végső felhasználás szintjén, megbecsülve a nem kereskedelmi energiahasznosítást is. A fejlett világhoz viszonyított nagyságrendi különbség a katasztrofális elmaradást tükrözi gazdasági fejlettségben, életkörülményekben, életszínvonalban. A végső energiafelhasználás a legszegényebb országokban az emberi fizikai teljesítőképesség tört része, ami a biológiai lét határán történő tengődéshez is alig elég, és amiből még az élet minimális feltételeit sem sikerül biztosítani.

Az 5. táblázat arányai mögött súlyos politikai feszültségek húzódnak meg, az egyenlőtlenség nemcsak a természeti és gazdasági adottságokon múlik, hanem a gyarmati sors történelmi öröksége is. A gazdasági színvonalban mutatkozó hatalmas elmaradás csökkentése nemcsak az elmaradt országok elemi érdeke, hanem a fejlett országok saját stabilitásának megőrzése is ezt követeli. Enyhébb formában egy felénk irányuló nagymértékű migráció mérséklésére, távlatilag egy nyílt konfrontáció veszélyének elkerülésére, aminek csírái a fundamentalizmus leple alatt, valamint a regionális konfliktusok formájában már megjelentek. Megjegyzendő, hogy a fejlett országok gazdasági potenciáljának bővülése is szükséges feltétele annak, hogy a fejlődő régiók helyzete javuljon (felvevőpiac, tőkebefektetés, technológiatranszfer stb. érdekében). A világ jövőjének egyik legnagyobb dilemmája, végig sikerül-e járni az elmaradott térségek felzárkózásának keserves folyamatát egy nagy világégés

Egy évre eső fejenkénti végső energiafelhasználás relatív arányai

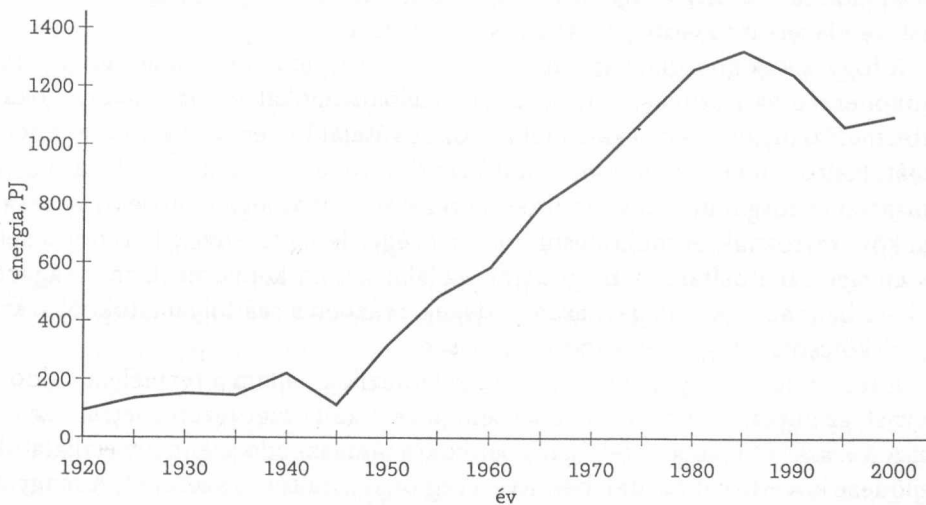
Országok	Relatív mutató
Egyesült Államok	4,10
Nyugat-Európa	2,20
Magyarország	1,50
Világátlag	1,00
Kína	0,33
India	0,11
Fekete-Afrika	0,01

Forrás: World Energy Council. *Energy Perspectives to 2050*. WEC, London, 1995.

elkerülésével. A gazdasági és a politikai feszültségek enyhítéséhez az elmaradt országok energiagazdaságának minél gyorsabb fejlődésére is szükség van. A világméretű problémákra csak politikai megoldás képzelhető el, de ez a felismerés egyelőre kevéssé párosul anyagi áldozatvállalással, a gazdasági érdekkellentétek nagyok, a szükséges kompromisszumok váratnak magukra. Az erők átrendeződése azonban már megindult, a világ gazdaság súlypontja áttevődött a Csendes-óceán – számos elmaradt országot is magában foglaló – térségére, jó néhány „fejlődő” ország ténylegesen rálépett a fejlődés útjára, a világ energiafelhasználásában is nő a fejlődő országok részaránya (ez a fejlemény nem mindig problémamentes, gyakran a szénen keresztül vezet az áttérés legolcsóbb útja a nem kereskedelmi energiafajtákról a kereskedelmiekre, annak környezetszennyező következményeivel).

Magyarország fajlagos energiafelhasználása a világ középmezőnyében helyezkedik el. A 8. ábra a primer energia hazai igényeinek alakulását mutatja be 1920-tól. Jól érzékelhető a II. világháború utáni erős visszaesés. Ugyancsak jelentős a csökkenés a rendszerváltást követő években a gazdasági visszaesés és az energiaigényes ágazatok (kohászat, építőanyag-gyártás, nehézipar) leépülése következtében. Az 1990-es évek második felében az energiafelhasználás enyhe ingadozásokkal lényegében stagnált, amit befolyásolt a viszonylag enyhe időjárás és az áremelkedés ösztönözte energiatakarékosság. A gazdasági fejlődést alapvetően a kevéssé energiaigényes feldolgozóipar biztosította, aminek bővülő energiaigényét a technikai innováció ellentételezte. A magyar primerenergia-felhasználás 1999-ben kerekén 1,1 EJ-t tett ki, ami fajlagosan 104 GJ/fő,év-et jelent, a végső felhasználás mutatója pedig mintegy 68 GJ/fő, év. Ezek az értékek lényegesen kisebbek, mint a fejlett országok mutatói. Törekvésünk a gazdasági felzárkózásra óhatatlanul az energiaigények növekedésével jár.

A primer energia hazai felhasználása



Energiaellátás

A technológia jellege

A természet energiaforrásaitól – a primer energiáktól – hosszú út vezet a végső felhasználásig. Gyakran érvényes ez földrajzi értelemben is, elég az ásványi tüzelőanyagok óceánokat és kontinenseket áthidaló szállításaira utalni. És igaz ez a technológiai lánc számottevő veszteséggel járó előkészítési, átalakítási, szállítási, tárolási műveleteinek sorozatára. A végső felhasználásban a primer energiáknak csak kis hányadát (egyes szénféleségeket és néhány megújuló energiafajtát) hasznosítják eredeti formájukban, legnagyobb részüket különféle technológiai műveletekkel teszik a fogyasztók számára könnyebben felhasználhatóvá (még a földgáz is szeparálásra, tisztításra és nyomásváltoztatásra szorul).

A primer energiahordozók legnagyobb részéből átalakító művekben (erőművek, fűtőművek, kőolaj-finomítók, szénfeldolgozók, nagy kazánok) szekunder energiahordozókat – villamos energiát, hőhordozókat, kőolajtermékeket, kokszt stb. – állítanak elő. Az átalakító művek kétarcú felhasználók, egyrészt fogyasztói a primer energiahordozóknak, másrészt forrásai a kibocsátott szekunder energiahordozóknak. A megújuló energiák átalakítására kis berende-

zések is alkalmazhatók, de ezek szerepe csak helyi jelentőségű. Eltekintve a geotermikus energia hőhordozóitól, a szekunder energiahordozók közvetlenül hasznosítható formában nem fordulnak elő a természetben. A végső felhasználóknál többnyire újabb energiaátalakítás biztosítja a végső hasznosítást, rendszerint további jelentős veszteség árán.

A fogyasztók energiaellátásához sokféle szervezet zökkenőmentes együttműködésére van szükség. Az ásványi tüzelőanyagokat és hasadóanyagokat kitermelő bányák, a termékeket feldolgozó és átalakító létesítmények, az energiaátalakító művek, az energiaszállító rendszereket üzemeltető vállalatok, az elosztást és forgalmazást biztosító szervezetek az ipar legjelentősebb társaságai közé tartoznak. A működésükhöz szükséges létesítmények, berendezések és anyagok biztosítása is nagyszámú vállalatnak ad kenyeret. E szerteágazó vállalathalmazt részben gazdasági érdekek, részben a reálfolyamatokból származó kölcsönös függések kapcsolják össze.

A technológiai kapcsolatok talaján keletkezik a hajlam a termelést, feldolgozást, szállítást és értékesítést összefogó vertikális szervezetek létrehozására. A 19. század második felében a bankokra támaszkodó szénbányavállalatok fejlődése követte ezt az utat, betöltve a regionális hajtóerő szerepét. A magyar iparfejlődésben is ilyen szerepet játszott néhány szénbánya, vezető szerepüket hosszú ideig megőrizték az államosításuk után is, egyetlen szervezetbe integrálva (Szénbányászati Tröszt).

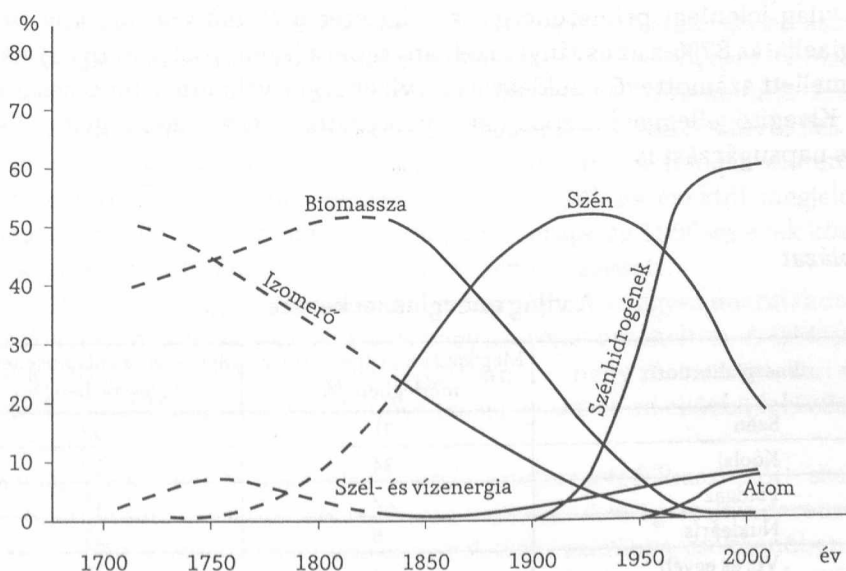
A 20. század elején jöttek létre a kőolajipari vertikumokat átfogó óriási gazdasági erőt képviselő multinacionális vállalatok, amelyek az 1930-as években Magyarországon is megjelentek, az államosítás után azonban egy nemzeti vállalat (Országos Kőolajipari és Gázipari Tröszt – OKGT) vette át a szerepüket, korlátozott lehetőségekkel. A villamosítás térhódításával nőttek nagyra – egyesek egész országok kizárólagos ellátására – a villamosenergia-ipar vállalatai. Magyarországon a Magyar Villamos Művek Tröszt (MVMT) töltött be ilyen monopolszerepet. A század közepe táján indult el a földgázipar területén hasonló fejlődés, esetenként a kőolajiparral összefonódva, ami a magyar viszonyokat is jellemezte. A 20. század végén két tendencia jelentkezett. Az egyik a monopóliumok megtörése és minél több szereplővel piaci viszonyok kialakítása az energiaellátás minden területén. Ez jellemzi a legtöbb fejlett ország állami politikáját, és az Európai Unióhoz illeszkedve a magyar törekvéseket is. A másik irányzat az erős vállalatok fúziója és nemzetközivé válása, gyakran a szakmai kereteket is átlépve, például többféle infrastruktúrális szolgáltatást ellátva. Tulajdonosként az ilyen nagy gazdasági és műszaki erőt képviselő és szilárd piaci helyzetre törő vállalatok (EdF, GdF, RWE, Bayernwerk, Ruhrgas, Vivendi, Power Gen stb.) Magyarországon is megjelentek, a jövő kérdése mire fog vezetni az állami és a vállalati törekvések szembeesülése. E vállalatok nagy gazdasági erővel, és sok évtizedes tapasztalatokra alapuló érdekérvényesítési képességgel rendelkeznek.

A globális energiaigények tulajdonképp semmitmondóak, a fogyasztók számára szükséges konkrét energiafajtákból kell az ellátást biztosítani. A felhasznált primer energiafajták egymás közötti aránya – az energiahordozó szerkezet – az idő során folyamatosan változott, és ez várható a jövőben is. A 9. ábra szemlélteti, hogy a különféle primer energiahordozók milyen arányt képviseltek az idő függvényében a világ energiaellátásában. Természetesen az ábra nagy része csupán kvalitatív becslés, mivel adatokkal csak az utolsó egymásfél évszázadra rendelkezünk, azokat is sok bizonytalanság terheli. Az ábrán „izomerő” az emberi és állati munkavégzést jellemzi, a „biomassza” tűzifát és éghető hulladékokat takar, a „szénhidrogén”-görbe együtt mutatja a kőolaj és földgáz felhasználását. Az energiaszerkezet változását sohasem a korábban hasznosított energiaforrások kimerülése idézte elő, hanem az előtérbe került energiafajták előnyösebb gazdasági és műszaki jellemzői.

Az energiaszerkezet jellege a jövőben is változni fog, de az nem látható előre, hogy távlatilag milyen új lehetőségeket tár fel a tudomány és a technika fejlődése az energetika számára. Lehet, hogy a kutatások megnyitják az utat az önfenntartó stabil fúzió előtt, nincs kizárva, hogy az űrtechnika lehetővé teszi az űrbe kihelyezett naperóműveket, esetleg a félvezető technika segít nagy hatásfokú napelemek vagy tüzelőanyag-cellák kifejlesztéséhez, melyek auto-

9. ábra

A világ primerenergia-szerkezetének alakulása



nóm ellátást valósítanak meg a villamos hálózatok helyett. Az ilyen bizonytalan spekulációk a futurológia tárgyai, a tapasztalatok csupán annak bizonyosságát támasztják alá, hogy a jövő biztosan nem úgy alakul, ahogy ma elképzeljük. Az viszont bizonyosan állítható, hogy a nagy időállandók miatt olyan megoldások a következő egy-két évtizedben nem jutnak lényeges szerephez, melyek alkalmazásának a reális kilátását jelenleg nem látjuk.

A makrogazdaság szintjén nem lehet az egyes energiahordozó-fajták szerepét elkülönítve megítélni. Az energiaellátást műszaki és gazdasági kölcsönhatások tömege szövi át, a rendszer valamely pontján történt beavatkozásnak sok más ponton vannak következményei. Az egyik energiahordozó preferálása szükségszerűen más energiahordozók háttérbe szorulásával jár együtt. Ahogy a gázfűtés lehetősége széleskörűen megteremtődött, a háztartások szénfelhasználása összezsugorodott. A távfűtés drágulása a fogyasztókat más fűtési módok kialakítására készíti. Ha elvetjük az atomerőművet, helyette más jellegű erőművet kell építeni, vállalva annak következményeit (pl. tüzelőanyag-ellátás, szén-dioxid-kibocsátás) is. Egy új létesítményt nem elég önmagában vizsgálni, annak visszahatása van a régi létesítményekre is, így egy korszerű, új erőmű átveszi a régi erőművek terhelésének egy részét, csökkentve azok káros hatásait is. A környezetvédelmi követelmények szigorítása nem azonos módon érinti a különböző energiaszektort, ezért az nemcsak az energiaköltségek emelkedését vonja maga után, hanem befolyásolja az energiahordozók felhasználásának arányait is. A gázolaj és a háztartási tüzelőolaj árkülönbségének megszüntetése az olajszőkítés felszámolására váratlan nehézséget okozott a földgáz csúcsgazdálkodásában, mert az alternatív fogyasztóknak gazdaságtalanná vált az áttérés téli csúcsidőszakban a földgázzól a tüzelőolajra.

A világ jelenlegi primerenergia-szerkezetét a 6. táblázat mutatja be, az energiaellátás 87%-a az ásványi tüzelőanyagokra (szén, kőolaj, földgáz) alapul, ezek mellett számottevő a nukleáris és a vízenergia, valamint a biomassa szerepe. Kisegítő jelleggel hasznosítják a geotermikus és a szélenergiát, helyenként a napsugárzást is.

6. táblázat

A világ energiaszerkezete

Energiahordozó	Megoszlás a primerenergia-mérlegben (%)	Megoszlás a villamosenergia-fejlesztésben (%)
Szén	31	39
Kőolaj	34	10
Földgáz	22	15
Nukleáris	6	17
Víz és egyéb	7	19

Az energiaszerkezetnek jelentős a tehetetlensége a változások nagy időállandója miatt. A nagy időállandót egyrészt az okozza, hogy az energetika alapvető létesítményeinek (bányák, szénhidrogénmezők, erőművek, kőolaj-finomítók, magisztrális csővezetékek és villamos távvezetékek stb.) létesítése sok évbe telik és ezt követő élettartamuk több évtized. Ebből következik, hogy működésük jó néhány évtizedre konzerválja az energetika egy általuk befolyásolt szektorának jellegét, az abban termelt és felhasznált energiahordozók fajtáját és nem kis mértékben a nemkívánatos következményeket is. Nem sokkal rövidebb a nagy ipari energiafogyasztók (pl. nagy kazánok és kemencék) élettideje, a kisebb erőgépek, technológiai berendezések és a háztartási készülékek is megélik két-három évtizedet, hamarabb használoznak el a gépjárművek, a leggyorsabb a termékváltás az elektronikus eszközöknél (7-10 év). Ezek magyarázzák, hogy a primer energiahordozók aránya, a primerenergia-szerkezet csak lassan változik, abban ugrásszerű fordulatok nem következnek be.

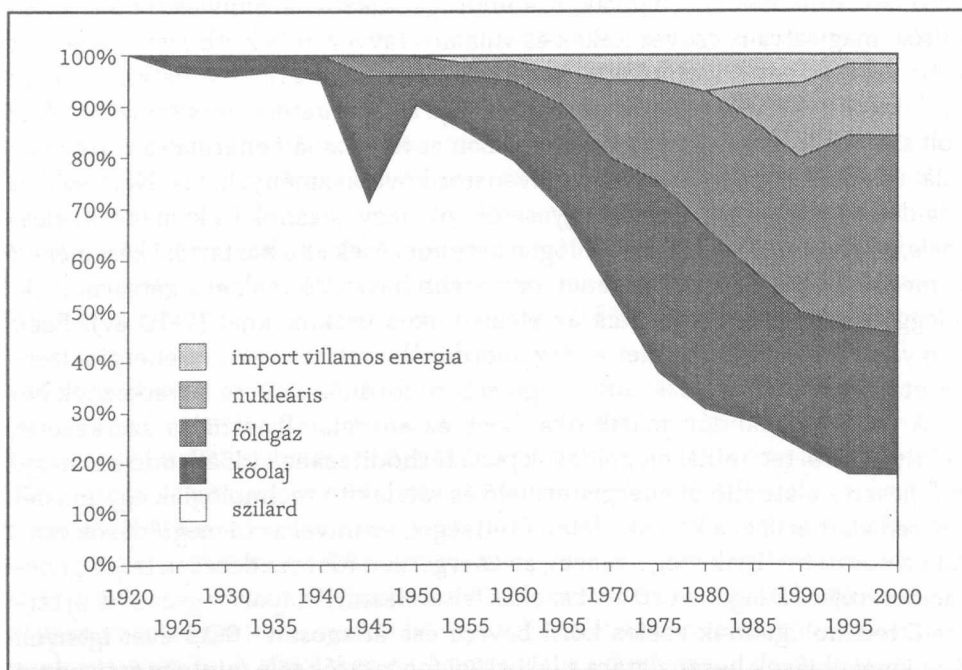
A nagy időállandók másik oka, hogy az energiafelhasználás szerkezetét befolyásoló új technikai megoldások piaci térhódításának időállandója is nagy. A fejlesztés alatt álló új energiatermelő és -átalakító technológiák egy-másfél évtized alatt érik el a kereskedelmi érettséget, és mivel az új megoldások csak fokozatosan hódítják meg a piacot, az energetikai főberendezések teljes generációcseréjére átlagosan 30 évet szokás feltételezni. Az ipari fogyasztók új termelő technológiáinak széles körű bevezetése átlagosan 10-15 évet igényel. Az új megoldások használatára a lakossági fogyasztók fele mintegy évtizednyi idő alatt tér át, mert gazdasági okokból nagyszámú fogyasztóberendezés cseréje (pl. energiatakarékos háztartási gépekre vagy az izzólámpák helyettesítése kompakt fénycsővel) csak fokozatosan képzelhető el, a tömeges felhasználás lassan hódít teret. Ezek következtében a fogyasztók energiafelhasználásának szerkezetében is csak fokozatosan következnek be lényeges változások.

A magyar primerenergia-szerkezet alakulását a 10. ábra mutatja. A szénbányászat dominanciáját a világháborús visszaesést követő fellendülés után fokozatosan visszaszorította a kőolajhasználat, amit a földgáz előretörése követett, csökkentve az olaj részesedését. Az 1980-as évektől megjelent a nukleáris energia, a villamosenergia-import szerepe az 1950-es évek közepétől fokozatosan nőtt, majd az 1990-es években visszaesett.

A 7. táblázat a magyar primerenergia-mérlegben az egyes energiahordozó típusok súlyát és különösen az import nagy szerepét érzékelteti. A táblázatból kitűnik a földgáz – nemzetközi viszonylatban is – nagy részaránya, ami energiaellátásunkat különösen érzékennyé teszi a gázár és az ellátási lehetőségek változására.

A világnak a végső felhasználás szintjén értelmezett felhasználói – szekunder – energia szerkezete is folyamatosan változik. A világ szekunderenergia-szerkezetében a szilárd tüzelőanyagok relatív részaránya csökkenőben van, egyrészt versenyképességük romlása, másrészt alkalmazásuk munkaigényes

A magyar energiaszerkezet alakulása



és környezetszennyező jellege miatt. A kőolajfrakciók részesedése stagnál vagy enyhén nő, főleg a közlekedés fejlődésétől függően. Mivel a vezetékes energiaellátás számos előnnyel jár (kényelmes, jól szabályozható, tiszta, környezetbarát stb.), részarányuk a szekunderenergia-mérlegben folyamatosan nő. A villamos energia a világ végső felhasználásának mintegy 15%-át reprezentálja, aminek fejlesztésére jelenleg a primer energia közel 40%-át fordítják, ennek megoszlását is mutatja a 6. táblázat. Ugyancsak gyorsan bővül a földgázfelhasználás is. A vezetékes távhőszolgáltatás versenyben van más fűtési módokkal, jövője erősen függ az energiaárak alakulásától. A hőszolgáltatás kapcsolása villamosenergia-termeléssel a primer energia jelentős megtakarítását teszi lehetővé, ami elég magas tüzelőanyagárak mellett gazdaságilag is vonzó, és aminek környezetvédelmi előnyei is vannak.

A végső felhasználás energiahordozók szerinti magyarországi szerkezetét a 11. ábra mutatja. A szilárd tüzelőanyagok a végső felhasználásból nálunk is fokozatosan visszaszorulnak. A hazai viszonyokat is a villamos energia és a földgáz felhasználásának növekvő részaránya jellemzi.

Az energetikai berendezések általában meghatározott energiahordozó alkalmazására készülnek, annak paramétereiben csak kis eltéréseket viselnek el. A rugalmasabb energiagazdálkodás érdekében egyes nagy tüzelőberende-

7. táblázat

A magyar energiamérleg primer energiaforrásai 1998-ban

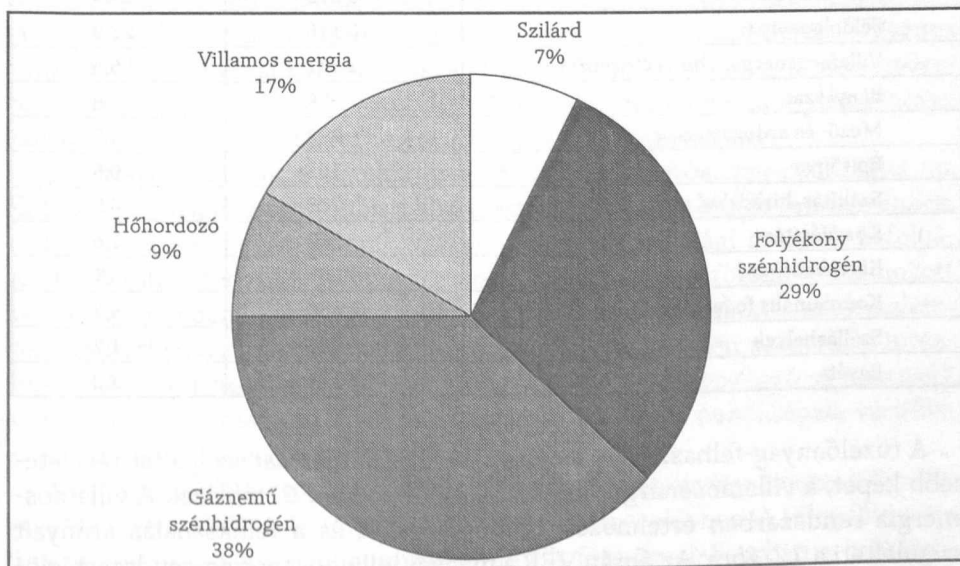
Energia- hordozó	Hazai termelés		Import		Összesen		Arány, %	
	PJ	%	PJ	%	PJ	%	hazai	import
Szilárd	142,2	12,4	29,90	2,6	172,1	15,0	82,6	17,4
Folyékony	66,7	5,8	317,0	27,6	383,7	33,4	17,4	82,6
Gáznemű	140,8	12,2	296,9	25,9	437,7	38,1	32,2	67,8
Atom			139,5	12,1	139,5	12,1		100,0
Egyéb	9,1	0,8	7,4*	0,6	16,5	1,4	55,2	44,8
Összesen	358,8	31,2	790,7	68,8	1149,5	100,0	31,2	68,8

* villamosenergia-szaldó

zéseket többféle tüzelőanyag alternatív hasznosítására alkalmas kivitelben alakítanak ki, például erőműveket földgáz és fűtőolaj (és esetleg szén) tüzelésére. A végső felhasználás szerkezetét a vezetékes energiaellátási módok merevebbé teszik, a vezetéken továbbított villamos energiát és földgázt más energiahordozóval nem lehet helyettesíteni. Nagyfokú rugalmasságot biztosít viszont a villamosenergia-rendszer a primerenergia-szerkezetben, mivel sokféle bázison (szén, földgáz, fűtőolaj, atom, víz stb.) fejleszthető, és a terhelést optimálisan lehet megosztani a különféle erőművek között.

11. ábra

Végső felhasználás Magyarországon energiatípusok szerint



8. táblázat

Magyarország tüzelőanyag-felhasználása 1997-ben

Szektor	Tüzelőanyag-felhasználás, PJ				Részesedés a felhasználásból, %			
	szilárd	folyé- kony	gáz	összes	szilárd	folyé- kony	gáz	összes
Lakosság	38,2	66,1	144,3	248,6	3,7	6,6	14,3	24,6
Kommunális*	3,6	22,0	68,3	93,9	0,4	2,1	6,8	9,3
Szállítás, hírközlés	0,8	22,9	3,7	27,4	<0,1	2,2	0,3	2,5
Erőművek	117,8	50,9	79,6	248,3	11,7	5,0	7,9	25,6
Ipár	37,6	78,1	145,9	261,6	3,7	7,7	14,5	25,9
Mezőgazdaság	3,3	17,3	9,1	29,7	0,3	1,7	0,9	2,9
Egyéb	1,0	78,9	17,6	99,5	<0,1	7,8	1,7	9,2
Összesen	202,3	336,2	468,5	1009,0	20,0	33,3	46,4	100,0

* hő és villany nélkül

9. táblázat

Magyarország villamosenergia-felhasználásának megoszlása 1998-ban

Szektor	GWh	%
Bruttó termelés	37 928	
Bruttó fogyasztás	34 998	100
Hálózati veszteség	4 916	14
Nettó fogyasztás	30 082	86
Háztartások	9 679	27,7
Feldolgozóipar	10 116	28,9
Villamosenergia-, hő-, és vízellátás	1 921	5,5
Bányászat	659	1,8
Mező- és erdőgazdaság	998	2,9
Építőipar	162	0,5
Szállítás, hírközlés, posta	1 709	4,9
Közüvilágítás	562	1,6
Kereskedelem	1 068	3,1
Kommunális fogyasztás	1 650	4,7
Szálláshelyek	434	1,2
Egyéb	1 124	3,2

A tüzelőanyag-felhasználás megoszlásáról a 8. táblázat szolgáltat részlete-
sebb képet, a villamosenergia-felhasználásról pedig a 9. táblázat. A villamos-
energia-rendszerben értelmezett mennyiségeket és a felhasználás arányait
szemlélteti a 12. ábra. Az ábrán VER a magyar villamosenergia-rendszert jelö-

li, a fogyasztói szektorok melletti betűk az ágazatok jelei a nemzetközi statisztikai rendszerben. Az ország primerenergia-mérlegében a villamos erőművek 1998. évi bruttó termelése (37,9 TWh) szerepel, amiből az erőművek segédüzemeinek önfogyasztását levonva nyerjük a bruttó fogyasztást. Az önfogyasztás átlagosan 8% körül mozog, de egyes régi létesítményeknél ennek többszörösét is elérheti. Az ábra érzékelteti a nem közcélú erőművek figyelembevételének nehézségeit az összesítéseknél. Meglehetősen nagy hányadot képvisel a vezetékhálózaton történő szállítás vesztesége (14%), a bruttó fogyasztás és a hálózati veszteség különbsége a nettó fogyasztás. A két legnagyobb felhasználói szektor a feldolgozóipar és a háztartások.

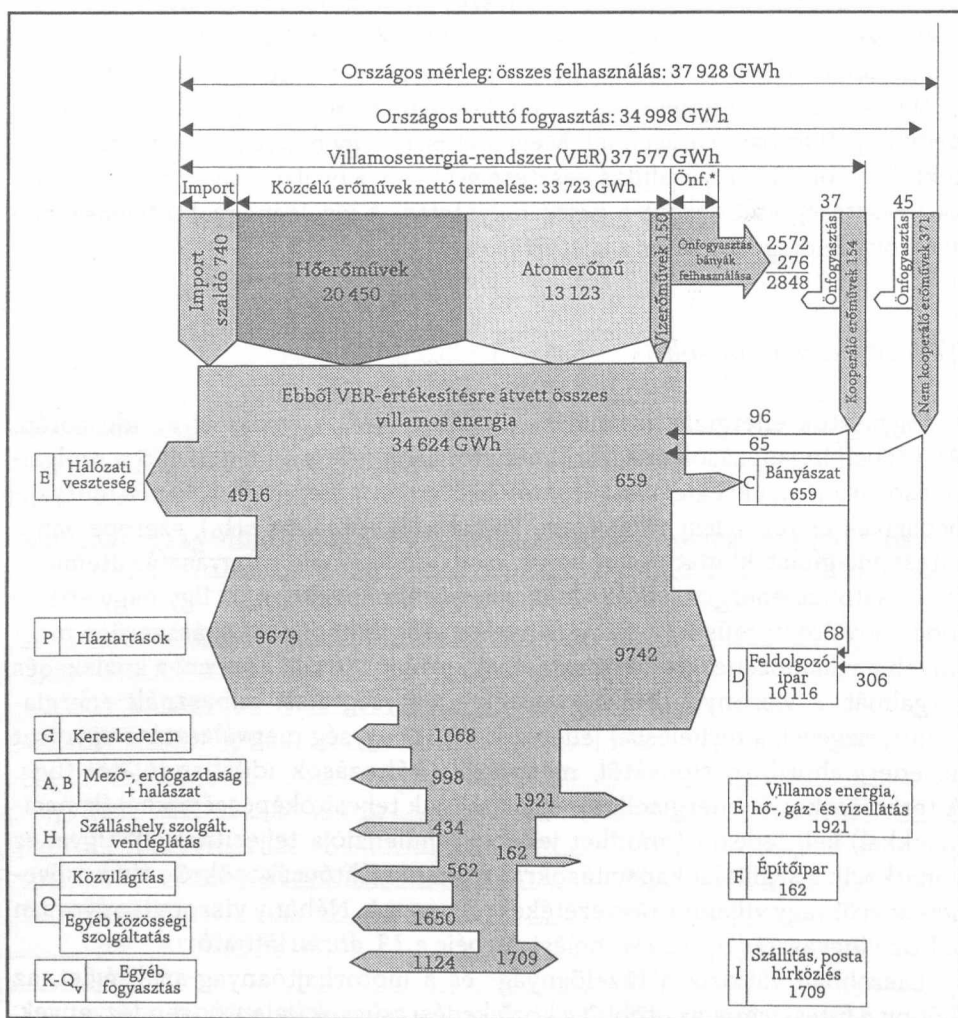
Teljesítményviszonyok

A fogyasztók energiafelhasználása általában nem egyenletes az idő során. Az időbeli ingadozások sok körülménytől függenek, mindenekelőtt a szolgáltatások iránti szükséglet alakulásától (háztartások életvitele, üzemek műszakbeosztása és termelési programja, közlekedés forgalma stb.), szerepe van a fűtést, világítást, klimatizációt befolyásoló időjárásnak, a fogyasztás ütemezésére ösztönző energiatarifáknak és más körülményeknek is. Egy nagy érdeklődést kiváltó tv-műsor, vagy egy hirtelen erős felhősödés ugrásszerűen megnöveli a villamosenergia-fogyasztást, egy vonzó ifjúsági koncert a közlekedés forgalmát. A viszonyokat a fogyasztók időegység alatt felhasznált energiamennyiségével, a terheléssel jellemzik. Az időegység megválasztása egyrészt az energiahordozó típusától, másrészt a változások időállandójától függ. A terheléseket az energiaellátó vállalatoknak teljesítőképességükkel (kapacitásukkal) kell fedezni (mindkét jellemző dimenziója teljesítmény). Ugyanez vonatkozik a szállítási kapacitásokra is, akár szállítóeszközökről, akár csővezetésekről vagy villamos távvezetésekről van szó. Néhány viszonylag gyorsan változó fogyasztás tipikus terhelési görbéje a 13. ábrán látható.

Lassabban változik a tüzelőanyag- és a motorhajtóanyag-szükséglet, az előbbi a fűtési igény, az utóbbit a közlekedési csúcsok (jelentős rendezvények, turistaidény, hétvégi forgalom), valamint a mezőgazdasági munkák befolyásolják. A csúcsigényeket főleg a termelő- és ellátóvállalatoknál felhalmozott készletekből fedezik, tüzelőanyagokból a fogyasztók is kialakítanak készleteket, amit árkedvezménnyel is ösztönöznek. Szükség esetén szervezési intézkedésekkel a termelőüzemek teljesítőképessége is szabályozható. A készletek a véletlen ingadozásokon kívül üzemzavarok, szállítási nehézségek, váratlan események áthidalását is szolgálják.

A vezetékes ellátási módoknál különösen fontos a teljesítménygazdálkodás, vagyis a teljesítőképesség folyamatos illesztése a terheléshez. A főleg föld alatti rezervoárokban nagy mennyiségben tárolt földgáz elsősorban a csúcsigé-

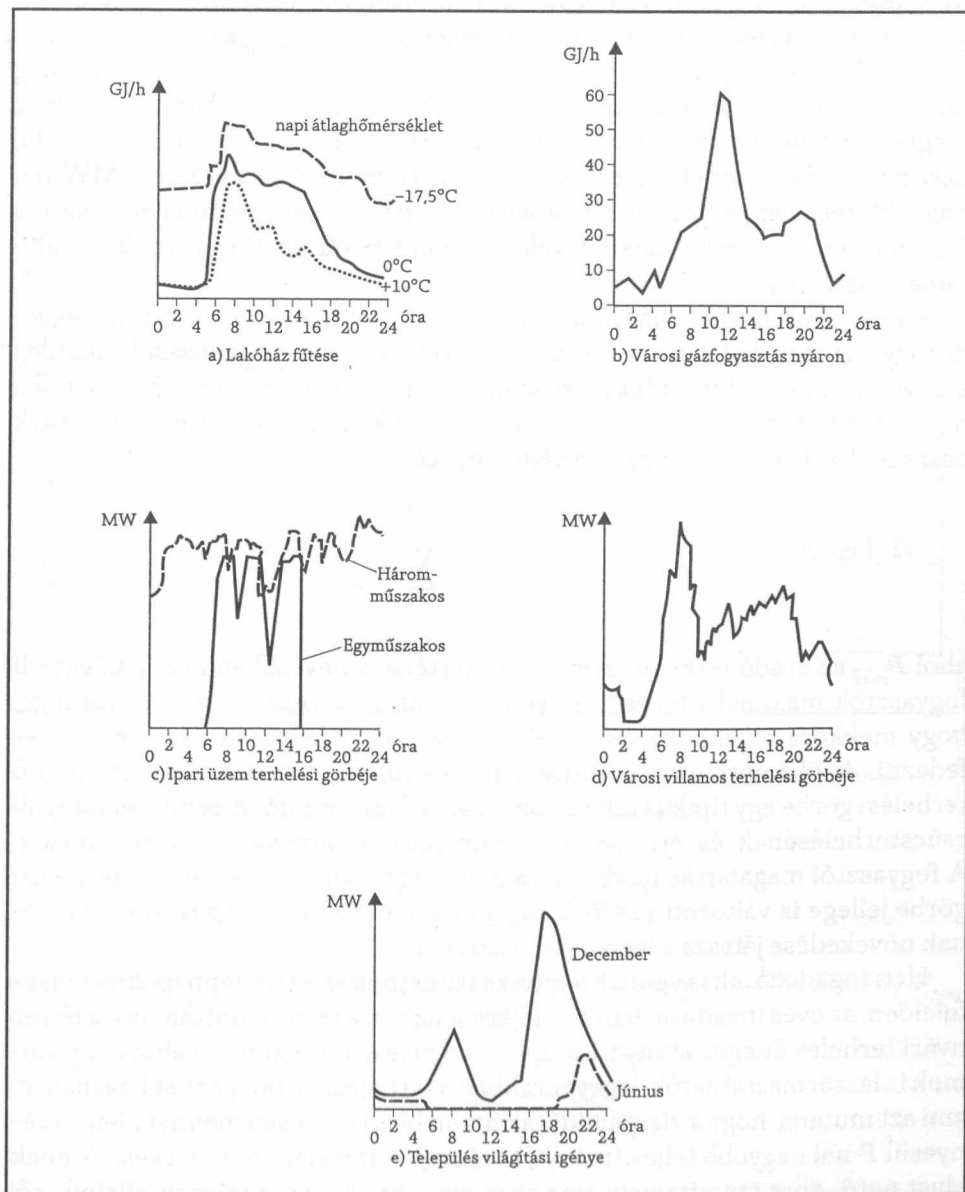
A magyar villamosenergia-termelés és -felhasználás 1998-ban



* önfogyasztás

nyek fedezésére és a fűtési idény és a nyári időszak terhelése közötti hat-hét-szeres arány kiegyenlítésére szolgál. Kisebb ingadozásokat tároló tartályok segítségével, valamint a csőhálózatban található gáz nyomásának változtatásával egyenlítene ki. A távhőszolgáltatás szabályozásával a külső hőmérséklet-hez kell illeszkedni, a forró vizes rendszerben levő hőhordozó termikus tehetetlensége néhány órányi változások áthidalására elég, a gőzellátásnál ilyen tartalék nincs. Mivel a váltakozó áram nem tárolható (egyenáram is csak kis mennyiségben), a villamosenergia-rendszer teljesítőképességét folyamatosan

Terhelési görbék



illeszteni kell a változó terheléshez. A diszpécserközpontok bonyolult feladata az erőművi kapacitások és a hálózati átviteli utak optimális biztosítása az ellátáshoz. Ennek során műszaki és gazdasági követelményeket kell figyelembe venni, biztosítva az ellátás minőségét (feszültség, frekvencia), tartalékok ren-

delkezésre állását, szabályozási lehetőségeket, a legkisebb költség beállítását, piaci szempontok (vásárlási megállapodások, kínálati árak, átviteli utak) érvényesítését stb. A diszpécserközpontoknak megfelelő előretartással kell dolgozni, mert az erőművek szabályozása időigényes, a víz- és gázturbinák felfutása perceket vesz igénybe, de a kondenzációs gőzturbináké órákba, a hideg tartalékok üzembe vétele pedig hosszú időbe telik, és a karbantartásokat is megfelelően ütemezni kell. Mindezek teljesítéséhez negyedórás, órás, napi, heti, havi és éves menetrendeket készítenek. (A mérésre kötelezett, 1 MW-nál nagyobb terhelést képviselő nagyfogyasztók havonta egy előre kijelölt napon óránként mérik a terhelésüket a villamosenergia-rendszer üzemvitelének alátámasztásához.)

A vezetékesenergia-ellátó vállalatok ellátási körzetében a nagyszámú egyedi fogyasztói terhelés összegződik, és a véletlenszerű ingadozások némileg kiegyenlítődnek. Mivel a fogyasztók maximális terhelése nem egy időben lép fel, az eredő terhelés kisebb, mint a fogyasztók maximális teljesítményének összege. Ezt tükrözi az l egyidejűségi tényező

$$1. \text{ képlet} \quad l = \frac{P_{\max}}{\sum_i^n P_{i\max}}$$

ahol $P_{\max}$ az eredő terhelési görbe csúcscértéke, a nevezőben pedig az egyedi fogyasztók maximális teljesítményének összege szerepel. E tényezőtől függ, hogy mekkora teljesítőképességgel lehet az adott fogyasztói kör terhelését fedezni. A villamosenergia-rendszer terhelésének időbeli alakulását mutató terhelési görbe egy tipikus téli napon a 14/a ábrán látható. A rendszer nappali csúcsterhelésének és éjszakai minimumának az aránya 1,6 körül mozog. A fogyasztói magatartás módosulása következtében az évek során a terhelési görbe jellege is változott (14/b ábra), amiben a háztartási fogyasztás arányának növekedése játssza a legnagyobb szerepet.

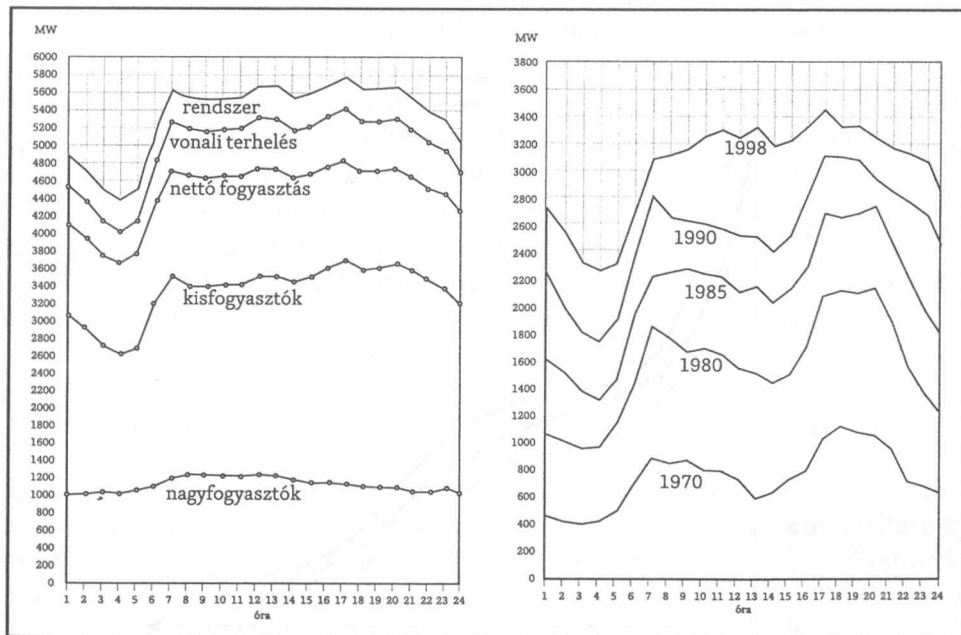
Heti ingadozások is vannak a munkaszünetnek és az ünnepnapoknak megfelelően, az éves ingadozásban az időjárásnak van a legnagyobb hatása, a téli és nyári terhelés átlagos aránya 1,3-1,4. A terhelési görbékből további diagrammok is leszámaztathatók, leggyakrabban a terhelési tartamgörbét használják, ami azt mutatja, hogy a vizsgált időtartamon belül összesen mennyi ideig érvényesül P -nél nagyobb teljesítmény (15. ábra). A tartamgörbe szerkesztésének elvét a 16. ábra mutatja napi terhelési görbére. Az a ábrarészen kijelölhető, hogy mennyi τ időig érvényesül P_i -t meghaladó teljesítmény, és azok összege átvethető a b ábrarészre a P_i teljesítményhez. A terhelési görbék fontos eszközei a vezetékes energiaellátó rendszerek üzemirányításának. Ezekre támaszkodva tervezik meg a menetrendeket és gondoskodnak a szükséges kapacitásokról.

14. ábra

A magyar villamosenergia-rendszer téli terhelési görbéi

a) Fogyasztói szerkezet 1998-ban

b) Kisfogyasztók terhelésének változása



A terhelési viszonyok jellemzésére különféle mutatók használatosak. A T időintervallum során ingadozó P teljesítmény átlagértéke

2. képlet

$$\bar{P} = \frac{E}{T} = \frac{1}{T} \int_0^T P dt$$

ahol az integrál alatti mennyiség az E összegzett energia. A teljesítmény P_{max} csúcserőértékét figyelembe véve értelmezik a

3. képlet

$$h = \frac{E}{P_{max}} = T \frac{\bar{P}}{P_{max}}$$

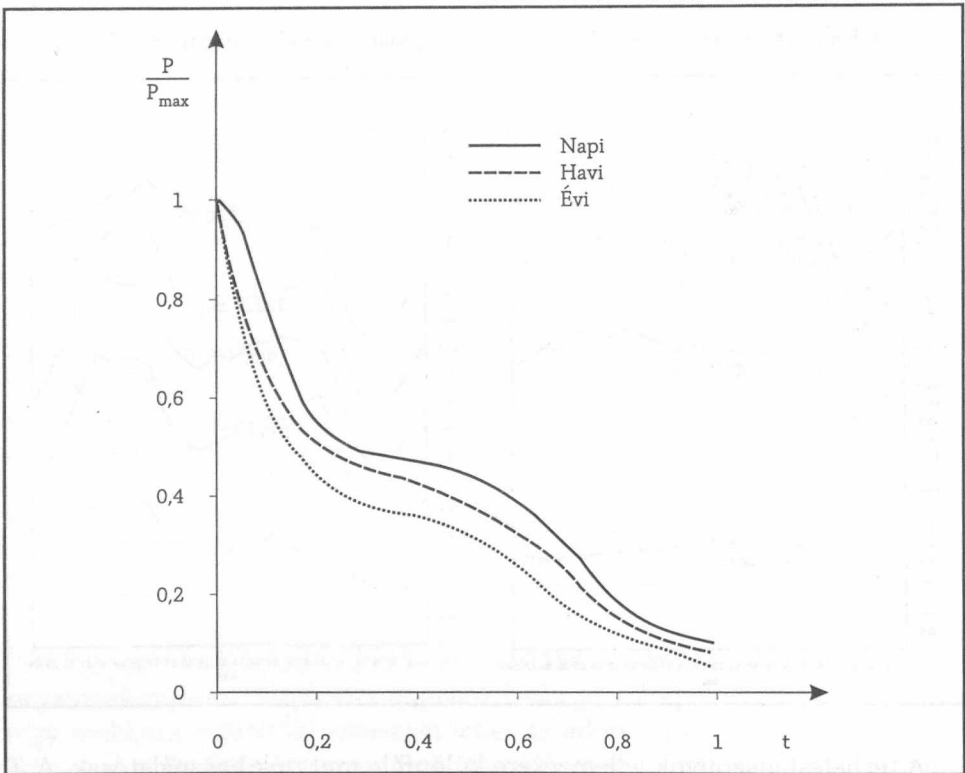
kihasználási tényezőt, amit többnyire órákban adnak meg (kihasználási óraszám). Ebből származtatható a teljesítmény egyenlőtlenségét jellemző

4. képlet

$$k = \frac{h}{T} = \frac{\bar{P}}{P_{max}}$$

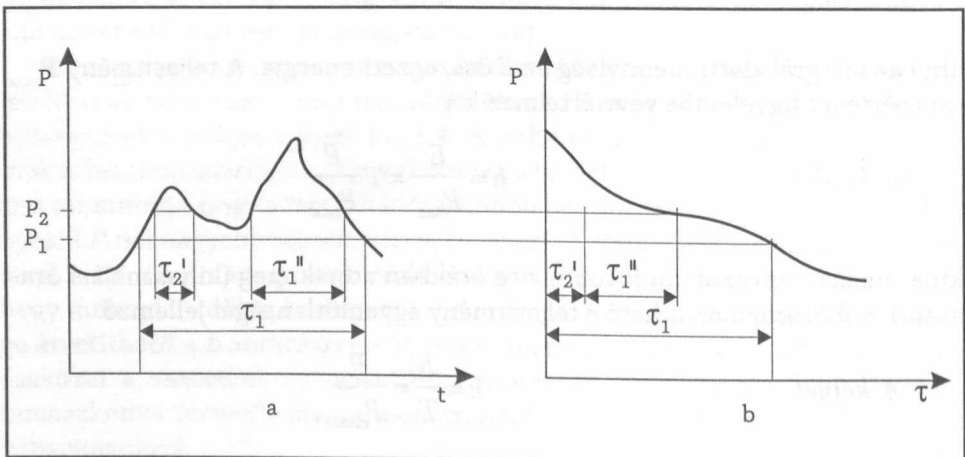
15. ábra

A villamosenergia-rendszer tartamgörbéi relatív egységekben



16. ábra

Terhelési tartamgörbe szerkesztése



terhelési tényező. A h és k tényezők főleg a kapacitástervek készítéséhez hasznosak, de fontos szerepük van a létesítmények gazdaságossági számításainál is.

Energetikai hatások

Az energetikai hatásokkal jellemezhető a gazdálkodás minősége az energiával. Értelmezhető a hatások berendezésekre és technológiákra, vállalatokra és intézményekre, vagy egész országokra is. Az utóbbi esetben a leginformatívabb a hasznos és a primer energiák hányadosa lenne, de az említett értelmezési nehézségek miatt legfeljebb a végső elosztás és a primer energia hányadosát lehet meghatározni, ami az energiaellátó rendszerek hatékonyságát (az átalakítási és szállítási veszteségeket) jellemzi.

A hatások értelmezése

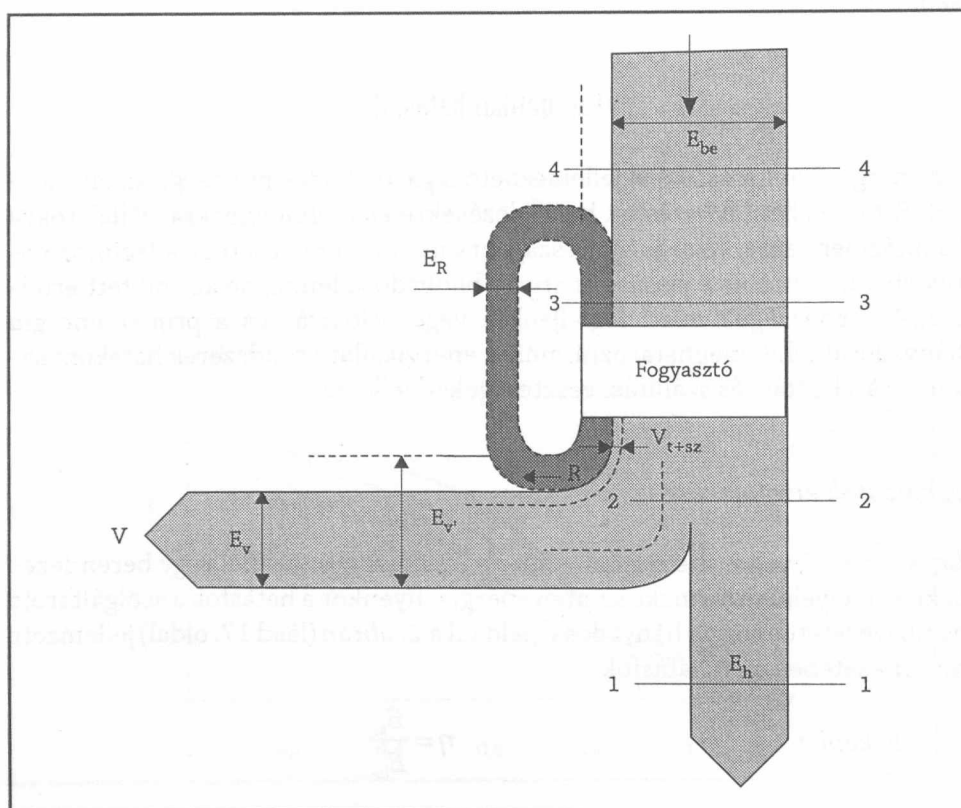
Egyszerűen értelmezhető a hatások olyan létesítményeknél vagy berendezéseknél, melyeknek terméke szintén energia. Ilyenkor a hatások a szolgáltatott és a bevezetett energia hányadosa, például a 2. ábrán (lásd 17. oldal) jellemzett motor esetében az η hatások

$$5. \text{ képlet} \quad \eta = \frac{E_{ki}}{E_{be}}$$

képlettel írható le.

A hatások értelmezése azonban nem mindig ilyen egyszerű, a 17. ábrán egy bonyolultabb fogyasztóberendezés esete látható, melynél az E_h hasznos energia biztosításához E_{be} energiát kell bevezetni. Ez azonban önmagában nem elegendő a fogyasztó működéséhez, a különbséget a veszteség E_r -nyi részének hasznosításával fedezik, a betáplálás $E_{be} + E_r$ értékre nő, amiből E_v veszteséggé válik (beleértve a tárolás és szállítás nehezen különválasztható V_{t+sz} volumenveszteség energiaértékét is). Visszatáplálás nélkül a veszteség E_v lenne. Attól függően, hogy az energiaszállításban hol vonjuk meg a rendszer határát, az 1, 2, 3, 4 keresztmetszeteket lehet kijelölni, és ettől függően eltérő be- és kimenő energiaértékeket lehet meghatározni. A 2-2 metszékhez tartozó bizonytalan helyzetű szaggatott görbe a hasznos energia értelmezésének gondjára utal. Például egy kémiai technológiai folyamatnál megítélés kérdése, hogy a reakciófeltételek megteremtéséhez (nyomás, hőmérséklet) és a közegek áramoltatásához szükséges energia veszteség-e, vagy a reakcióhővel összevonandó hasznos energia.

Fogyasztóberendezés Sankey-diagramja



Problematiskus a hatásfok értelmezése az olyan technológiáknál, melyek nem energiát szolgáltatnak, mert bizonytalan a végső hasznosítás energiatar-talmának meghatározása. Ilyenkor az energiaveszteség megállapítására cél-szerű törekedni, azonban a számítással vagy méréssel meghatározott vesz-teség általában kisebb, mint a bevezetett és a hasznos energia különbségével definiálható elméleti érték. A hasznosítás minőségét jellemző V veszteséggel is leszámaztatható egy η átalakítási hatásfok.

6. képlet

$$\eta = 1 - \frac{V}{E_{be}}$$

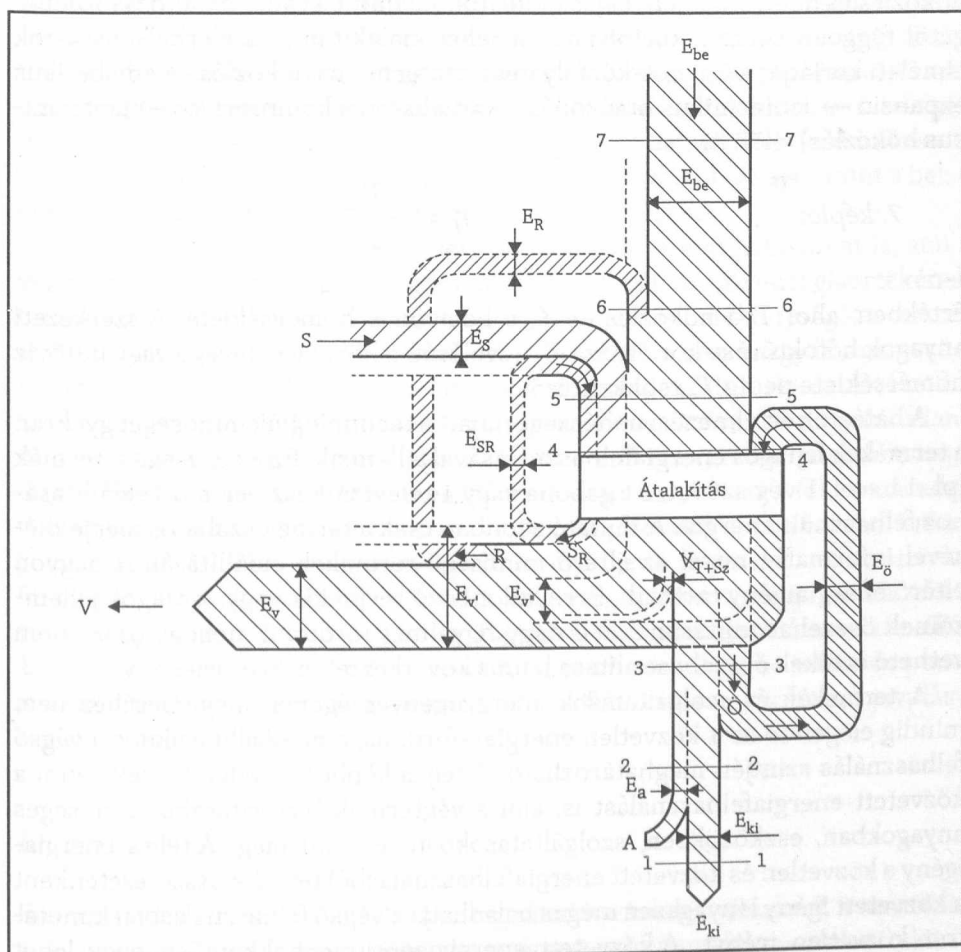
Mindig veszteséges folyamat az energiahordozók szállítása, akár tüzelő-anyagokról, hőhordozókról vagy villamos áramról van szó, és veszteségesek az energiaátalakítások is, mind az átalakítóműveknél, mind a fogyasztóknál. Ugyan-csak veszteséggel jár az egyensúly biztosítása a környezettel, pl. hőátzármaz-tatás (sugárzás, hőátadás, konvekció, hővezetés) miatt.

Az energiaátalakítás hatásfokának meghatározása sem mindig egyszerű, amit a 18. ábra érzékeltet.

Ha az átalakítás többféle szekunder energiahordozót eredményez (pl. hőt és villamos energiát, vagy kokszot és gázt), az E_{ki} energia e komponensek energiaértékének eredője. Az átalakítás terméke lehet nem energetikai rendeltetésű A anyag is (kőolajfinomításnál bitumen, zsírok, kenőolaj, szénlepárlásnál kátrány stb.), amit E_a fűtőértékével célszerű figyelembe venni, hogy az energiamérleg egyensúlya ne boruljon fel. Az előállított másodlagos energiahordozók egy része az átalakítás $\dot{O}$ önfogyasztásának fedezetéhez járul hozzá, az ennek megfelelő E_o energiát visszatáplálják a folyamatba. Az 1, 2, 3 ellenőrzőfelületeknek megfelelően a kilépő energiát háromféleképpen lehet értelmezni,

18. ábra

Energiaátalakítás folyamatábrája



$E_{ki} \cdot E_{ki} + E_a$ és $E_{ki} + E_a + E_o$ értékekkel. Az átalakításhoz gyakran segédenergiára is szükség van (pl. hajtásokhoz, melegítéshez), ennek E_s -nyi része származik külső energiaforrásból, E_{sr} pedig veszteség-hasznosításból. A bemenő energiaszükséglet is csökkenthető veszteség-hasznosítással (E_r), a kétféle veszteség-hasznosítás következtében az eredeti E_v érték helyett csupán E_v lép ki veszteséggént a folyamatból. A bemenő oldalon 4, 5, 6, 7 ellenőrzőfelületek szerint négyféleképpen értelmezhető a betáplált energia: $E_{be} \cdot E_{be} + E_r \cdot E_{be} + E_r + (E_s + E_{sr})$; $E_{be} + E_r + (E_s + E_{sr}) + E_o$ értékekkel. A be- és kimenő energiaértékek megválasztásától függően tizenkétféle átalakítási hatásfokot lehet felírni, ami könnyen válhat némi konfúzió forrásává.

Vannak kitűnő energiaátalakító berendezéseink (pl. transzformátorok, villamos generátorok, ellenállás-fűtésű villamos készülékek), amelyek hatásfoka megközelíti a 100%-os határértéket, de elkedvetlenítően alacsony hatásfokú eszközeink is vannak (pl. a fényforrások és a hőerőgépek). A hőerőgépekben a hőközlés és hőelvonás tényleges módjától, valamint az állapotváltozások jellegétől függően sokféle körfolyamatot lehet kialakítani. Az elérhető hatásfok elméleti korlátját a Carnot-körfolyamat (izotermikus hőközlés $\rightarrow$ adiabatikus expanzió $\rightarrow$ izotermikus hőelvonás $\rightarrow$ adiabatikus kompresszió $\rightarrow$ izotermikus hőközlés) jelöli ki

7. képlet

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

értékben, ahol T_1 a hőközlés és T_2 a hőelvonás hőmérséklete. A szerkezeti anyagok hőfoktűrése korlátozza T_1 növelését, a környező levegő vagy hűtővíz hőmérséklete pedig T_2 csökkentését.

A hatásfok értelmezési nehézségei miatt a technológiák minőségét gyakran a termékek fajlagos energiafelhasználásával jellemzik. Ez az egységnyi termék (pl. 1 t acél, 1 vég szövet, 1 t gabona vagy 1 televíziókészülék stb.) előállításához felhasznált energia. A mutató azonban csak a termék szabatos megjelölésével informatív, mivel az eltérő minőségű termékek előállításához nagyon eltérő energiaigény tartozik. Erre különböző termelők vagy országok jellemzőinek összehasonlításánál kell nagy figyelmet fordítani, nehogy össze nem vethető értékek összehasonlítása hamis következtetésekre vezessen.

A termékek és szolgáltatások energiaigényességének megítéléséhez nem mindig elegendő az a közvetlen energiaráfordítás, ami előállításukhoz a végső felhasználás szintjén meghatározható. A teljes képhez figyelembe kell venni a közvetett energiafelhasználást is, ami a végtermék biztosításához szükséges anyagokban, eszközökben, szolgáltatásokban testesül meg. A teljes energiaigény a közvetlen és közvetett energiafelhasználásból tevődik össze, esetenként a közvetett igény lényegesen meg is haladhatja a végső felhasználásban kimutatott közvetlen igényt. A közvetett energiaigény meghökkentően nagy lehet

fémekből vagy szerves vegyipari anyagokból készült termékeknél. Előfordulhat, hogy a közvetlen energiafelhasználás alapján energiatakarékosnak minősített helyettesítő termék teljes energiataralma jóval nagyobb, mint a helyettesítetté, például a műanyag csomagolóanyagé a papírénál vagy üvegénél, különösen, ha a hulladék újrafeldolgozhatóságát is figyelembe vesszük. Aggregált vizsgálatoknál a közvetett energiaigényt közelítőleg meg lehet határozni az ágazati kapcsolatok mérlegéből (ÁKM), kiszámítva, hogy az igénybe vett szolgáltatások vagy létesítmények használatarányos részének mennyi az energiataralma a felhasznált anyagokban, eszközökben, infrastrukturális és egyéb szolgáltatásokban. Néha még az utóéletre is gondolni kell, a megzavart terület rekonstrukciója, a visszamaradt hulladékok kezelése is energiaigényes lehet.

Az energiaigényességet a teljes energiafelhasználás néha más megvilágításba helyezi, mint a közvetlen felhasználás figyelembevétele. Előfordulnak például olyan energiaátalakító eljárások, melyek eredő energiamérlege negatív, az élettartamuk alatt szükséges teljes energiaigényük meghaladja az ugyanezen idő alatt szolgáltatott energia mennyiségét (pl. egyes energiaplan-tációk a mérsékelt égövön, ha figyelembe vesszük a műtrágyák, növényvédő szerek és a gépi művelés energiataralmát). A sokszoros átalakítási veszteségek miatt az akkumulátorról táplált villamos autó rossz hatásfokú hőerőműves villamosenergia-rendszerben több primer energiahordozót igényel, mint a belső égésű motorok (igaz, kevesebb környezetszennyezéssel).

Néha vizsgálják az országok energiaellátásának eredő hatásfokát is, ami a végső felhasználás és az elsődleges energiahordozók in situ energiaértékének hányadosa. Ezzel a mutatóval jellemzik a gazdálkodás hatékonyságát a természetből kinyert energiahordozókkal. Alacsony értéke nem magyar sajátosság, a hazai mutató nem sokkal kisebb a fejlett országok 35-40%-os értékénél. Értéke lassan módosul, amit az energiaszerkezet változásának nagy időállandója magyaráz. Az egész világra értelmezett eredő energetikai hatásfok megduplázódásához az olajkrízist megelőző időszakban mintegy fél évszázadra volt szükség. Az energiapolitikában biztosított prioritás hatására a hatásfokjavulás az 1970-es években felgyorsult, de egy újabb duplázódás a következő 50 év alatt aligha képzelhető el, mert a veszteségcsökkentés egyre nehezebbé válik, ahogy az eredő hatásfok az idő függvényében aszimptotikusan közelít a 100%-os elméleti határhoz. Feltételezik, hogy a hatásfokgörbe inflexió pontja körüli jelenlegi szakasz erőteljes javulását fokozatosan csökkenő javulású szakasz követi.

Energiatakarékosság

Energiatakarékos szemlélettel, az energetikai hatásfok javításával, a veszteségek csökkentésével az energiaigények számottevő hányadát meg lehet takarí-

tani. Különösen az 1970-es évek olajkrízise óta az energiatakarékosság minden ország energiapolitikájának elsődleges célkitűzése, de az energetika racionalizálása természetesen nem korlátozhatja indokolt egyéni vagy társadalmi szükségletek kielégítését. Az energiatakarékosság nem lehet öncélú, csak olyan mértékben van létjogosultsága, amennyire gazdasági haszonnal is együtt jár. Ez a haszon jelentkezhet kisebb energiaszámlával a fogyasztóknál, vagy érvényesülhet társadalmi szinten, nemritkán áttételes formában. Az utóbbira példa, ha az energiaimport csökkentése javítja a fizetési mérleget, ha a kevesebb környezetszennyezés csökkenti a környezeti károk megelőzésére és mérséklésére szükséges társadalmi ráfordításokat, ha az energiaforrások bővítése helyett nagyobb hatékonyságú beruházásokra fordítható a tőke, vagy ha több exportra telik az ásványvagyonból stb. A fogyasztók akkor tesznek aktív lépéseket az energiatakarékosság érdekében, ha az számukra gazdasági haszonnal is jár. A piaci viszonyok nem mindig támasztják alá az energiatakarékosság gazdaságosságát, ilyenkor állami preferenciákkal (pl. kedvezményes hitel, adó-visszatérítés, gyorsított leírás, beruházási hozzájárulás) lehet pótolni a hiányzó motivációt. Az állami szerepvállalást indokolhatja egyrészt a közösségi érdek (pl. ellátásbiztonság, honvédelem, gazdaságpolitika, fizetési mérleg egyensúlya), másrészt a piac érzéketlensége a társadalmi terhek (pl. egyes környezeti hatások, egészségi ártalmak, szociális kiadások) iránt. A preferencia csak a társadalmi haszon mértékéig indokolt, ellenkező esetben deformálja az energiapiacot, aminek torzító hatása visszahat a gazdaság egészére.

Az energiatakarékosság egyik lehetősége a felesleges energiahasználat visszaszorítása, ami nem igényel befektetéseket, kizárólag emberi tevékenységeken múlik. Helyiségek túlfűtése, pazarló anyagfelhasználás, berendezések szükségtelen üresjárata, anyagok indokolatlan szállítása, sportos autóvezetési stílus csupán példái az energia sokféle felesleges pocskolásának. Alapos elemzés sok lehetőséget tud feltárni a termelésben is: felesleges anyagmozgatás, megmunkálás, hőkezelés megszüntetésére; a hulladékok hasznosítására; a folyamatok szabályozásának optimalizálására; a tevékenységek ésszerűsítésére. A pazarlás adminisztratív módszerekkel is csökkenthető, példa erre a közúti sebességkorlátozás, az épületek hőszigetelésének szabványban előírt mértéke vagy a középületek fűtési hőmérsékletének korlátozása. A pazarlás visszaszorítása „csak” emberek magatartásán múlik, de ez egyben a nehézsége is, mivel a megszokott emberi hozzáállás nehezen módosítható, ha nem elég erős a személyes motiváció, elsősorban az anyagi érdekelttség. Az energia jelentős drágulása az olajkrízis időszakában, vagy a tervgazdaságban érvényesített dotációk felszámolása nyomán, erős hajtóerő volt az indokolatlan energiafelhasználás visszaszorítására. Az energiapazarlás megszüntetését csak energiatudatos szemléletre lehet alapozni, aminek kialakítását az általános iskolai tudatformálással kell kezdeni. Sokat segíthet a

színvonalas tudományos ismeretterjesztés, a mértékadó intézmények és vállalatok tanácsadása és tájékoztató anyagai, valamint a tömegtájékoztatásban megjelentetett objektív propagandaanyagok.

Az energiatakarékosság másik lehetősége a hatásfok javítása az energia-vesztések csökkentésével. Energiamegtakarítást jelent az anyagfelhasználás csökkentése is, mivel az anyagok energiaigényes termékek. A hatásfokot javítani lehet a meglévő konstrukciók és technológiák módosításával, vagy a régebbi termelési eljárást felváltva korszerű technológiával. A hatásfokjavításhoz többnyire beruházásra van szükség, ami előtérbe állítja a gazdasági követelményeket, a gazdasági hatékonyságot és a ráfordítás gyors megtérülését.

A hatásfokjavítás a műszaki fejlesztés állandó feladata, de eredményei – a korábban említettek szerint – lassan érvényesülnek. Előfordulnak ugyan a fajlagos energiafelhasználás nagyságrendi csökkenését eredményező technikai fejlemények – pl. miniaturizálás, kemizálás, elektronizálás – de gyakran éppen ezen eljárások hasznosításának gyors elterjedése ellensúlyozza a megtakarítást. Jó példája ennek az információtechnikai eszközök tömeges térhódítása, hiába csökken az új konstrukciójú személyi számítógépek energiafelvétele évente néhány százalékkal, ha értékesítésük ennek sokszorosával nő, és szinte minden háztartásban megjelennek. Az általános tendenciára azonban nem az ugrásszerű változások, hanem a kis lépések a jellemzőek.

A tapasztalatok szerint a hatásfok időbeli alakulása logisztikus görbét követ. Alacsony hatásfoknál többnyire egyszerűen és gyorsan lehet azt javítani, de a legkönnyebben és legolcsóbban megvalósítható lehetőségek gyorsan elfogynak. Egy, az inflexiós ponttal jellemzett értéken túl egyre nehezebb a hatásfok további növelése, mert a veszteségek csökkentése mind bonyolultabb műszaki megoldást kíván meg. Ez egyben a gazdasági körülményeket is megszabja, az energiamegtakarítás fajlagos beruházási költsége nő a veszteségcsökkentés kívánt mértékével. Főképezőleg hat az energetikai berendezések hosszú élettartama miatt a lassú piaci elterjedés is.

Mind az energetikai hatásfokokat, mind a fajlagos energiafelhasználásokat vizsgálva átlagos elmaradásunk a fejlett országokhoz viszonyítva nem haladja meg a 20-25%-ot. Természetesen előfordulnak az átlagosnál sokkal rosszabb és sokkal jobb hatásfokú tevékenységek is. A 20-25%-os átlagos elmaradás gyors felszámolása nagyon vonzó lenne, mivel az energiaigény mérséklésén túlmenően sok más problémánkat is enyhítené (csökkenne a környezetszennyezés, mérséklődne az erőforrások terhelése, az energetika kevesebb tőkét vonna el más feladatoktól, javulna a fizetési mérleg, mérséklődnének a társadalmi feszültségek stb.), azonban egy ilyen mértékű javulás sajnos a nagy tökeigény miatt nem valósítható meg rövid idő alatt. Távlati elképzeléseink a következő 10 évben a gyorsabban megtérülő intézkedések révén (pl. lakások hőszigetelése, hulladékhő hasznosítása, villamosenergia-fejlesztéssel kapcsolt hőszolgáltatás előtérbe helyezése) az országos energiafelhasználás

7%-ának (~75 PJ) megtakarítását irányozzák elő, amihez 200-250 Mrd Ft-os beruházás tartozik. A számítások szerint további 7% megtakarításához már a lassan megtérülő beavatkozásokra (pl. alapanyagiparok technológiájának váltása, kondenzációs hőerőműveink cseréje gázturbinás kombinált ciklusúakra, az izzólámpák cseréje kompakt fénycsövekre) is sort kell keríteni, de ennek már legalább 500 Mrd Ft lenne az ára. Az erre fordítható tőke szűkössége miatt távlati energetikai koncepciónk az ország globális energetikai hatásfokának évente mintegy 0,75% körüli javulását tételezi fel. Ez azonban az energiaszükségletnek a gazdasági fejlődés és az életszínvonal emelkedés miatt elkerülhetetlen növekedését csak részben tudja ellentételezni.

A hatásfokjavítás legnagyobb lehetőségei a hő hasznosításánál vannak, ezen belül is a fűtésnél és a magas hőmérsékletű technológiáknál tapasztalhatók a legnagyobb veszteségek. Korszerűtlen építményeknél a nyílászárók szerkezetétől, a helyiségeket határoló felületek hőszigetelésétől függően a bevezetett hő 40-50%-a is a környezetet fűti, a hőszigetelés javításával ennek nagy része megtakarítható (a természetes szellőzés csökkenése viszont megnöveli a helyiségek radonkoncentrációját, növelve a sugárterhelést). A hő technológiai hasznosításánál is a hőszigetelés javítása az egyik lehetőség, de ez annál bonyolultabb feladat, minél magasabb a hőfokszint. A 100-300°C hőmérséklet-tartományban a veszteség átlagosan 20-40%, 1000°C felett pedig már 50-60%. A hatásfokjavítás sokoldalú lehetősége a folyamatokból távozó közegek (hűtővíz, füstgáz, hulladék anyag, újrahasználatos tárolóeszközök stb.) hulladékhőjének hasznosítása előmelegítésre, alacsonyabb hőmérsékletű funkciókra, esetleg fűtésre. Főleg vegyipari és fémkohászati folyamatokban keletkeznek éghető hulladék gázok is, ezek eltüzelésével javítható a technológia hőmérlege.

A hőerőgépek alacsony hatásfoka különösen erősen érezteti hatását a közlekedésben és a hőerőművekre alapuló villamos energetikában. A közlekedésben nem ritka, hogy a felhasznált primer energia 75-80%-a veszteséggé válik. Ezen a területen szervezési intézkedésekkel lehet a leggyorsabban csökkenteni a fajlagos energiafelhasználást, a szállítási mód megválasztásával, a forgalom optimalizálásával (sebesség, gyorsítások gyakorisága), az üzemvitel szervezési lépéseivel (szállítási kapacitás kihasználása, üresjáratok kiküszöbölése). A konstruktőrök komoly eredményeket értek el a belső égésű motorok hatásfokjavításában, a 100 km-en 3-4 liter benzint fogyasztó gépkocsi is megvalósítható. A személyautó-közlekedésben azonban jelentős szerepe van a divatnak, hiába fejlesztettek ki a gyárak kis fogyasztású gépkocsikat, a kereslet a fejlett országokban nagyrészt mégis a státusszimbólumnak tekintett, nagy fogyasztású járművek felé irányul.

A villamos energetika nagy tehertétele a hőerőművek alacsony hatásfoka. Az atomerőművek hatásfoka még alacsonyabb, mint a hagyományos hőerőművéké, mert technológiai okokból a hőkörfolyamatban alacsonyabb a kezdő hőmérséklet. A villamosenergia-ellátás eredő hatásfokát tovább rontja az erőművek önfogyasztása, valamint a távvezetési szállítás vesztesége is. Hőerő-

műves rendszerekben a felhasznált primer energiának 70-75%-a veszteséggé válik. Ez nagymértékben rontja egy ország eredő energetikai hatásfokát, és fékezi is a hatásfokjavulást, mivel a villamosenergia-fogyasztás gyorsabban nő az összenergia-felhasználásnál. A hazai helyzetet az is sújtja, hogy még jó néhány olyan öreg, kis egységteljesítményű erőmű is üzemben van, melyek átalakítási hatásfoka 20% körül mozog, ezek helyettesítése korszerű berendezésekkel az ország eredő hatásfokát is számottevően javítani fogja. Az utóbbi időben új anyagokkal (ötvözött acélok, kerámiák) radikálisan sikerült növelni az erőművekben elérhető hatásfokot. A gázturbinák kezdő hőmérsékletét 1500°C-ra növelve, kombinált ciklusban 60%-os hatásfok is megcélozható, és hőszolgáltatással kapcsolva 90% körüli átalakítási hatásfok sem elérhetetlen. A gázturbina-fejlesztés átütő sikerei világszerte azok széles körű alkalmazására vezettek. Szénbázisnál lehet jelentősége, hogy ultra-szuperkritikus gőzparaméterekkel (350 bar és 700°C körüli hőmérséklet) az alaperőművek hatásfokának korábbi bűvös 40%-os határát 50-55%-ra lehet növelni, de ennek nagy ára van a különleges ötvözetek magas költsége miatt. Az energetikai hatásfok növelésének hatékony módja hőszolgáltatás a körfolyamatból elvont hőhordozóval, az ilyen kapcsolt energiatermelés műszaki feltétele a távhő felhasználására kész fogyasztók léte, valamint a hőhordozó szállítására szolgáló infrastruktúra. Az erőműtechnika látványos eredményei azonban csak fokozatosan érvényesülnek, a beruházási lehetőségek függvényében.

A termikus villamos készülékeknek, valamint a jól illesztett és korszerűen szabályozott villamos hajtásoknak kicsi a vesztesége, de a nagy darabszám miatt a hatásfokjavításnak még így is nagy a kihatása. A villamos háztartási készülékek többségénél jelentősek a veszteségcsökkentés lehetőségei. A fényforrások vesztesége pedig katasztrofálisan magas, még a kompakt fénycsővek fogyasztásának is 80%-a hőveszteség, a hagyományos izzólámpáknál pedig ez 95% körül mozog.

Az energiatakarékosság jóformán mindig szerepelt a hazai gazdaságpolitika prioritásai között, de annak érvényesülése energiagazdálkodásunkban egyenetlen volt, sikeresebb időszakok váltakoztak kevésbé eredményes periódusokkal. A megszokás, az eszközállomány visszahúzó hatása, a tőkehiány és a nem eléggé ösztönző piaci viszonyok miatt az energiatakarékosság még ma is a lehetségesnél lassabban tör utat. A hiányzó gazdasági ösztönzés ellensúlyozására költségvetési eszközök kevésbé álltak rendelkezésre, az állam hazai és külföldi források mozgósításával évente 1-2 GfT-ot tudott kedvezményes hitel formájában az energiatakarékosság szolgálatába állítani, de ennek kihasználásánál is gondot jelentett a szükséges saját tőkehiányad biztosítása. A hitellehetőségek bővítése célja az állami politikának. A vállalatoknak nagyobb jövedelmet és gyorsabb megtérülést ígérő más befektetési lehetőségek (piacbővítés, termékváltás, bér- és anyagköltségek visszaszorítása) gyakran háttérbe szorítják a lassabban megtérülő energiahatékonyságot növelő beruházásokat.

A becslések szerint energiaszükségletünk 10-15%-át lehetne megtakarítani a gyorsabban megtérülő veszteségcsökkentéssel (pl. lakások hőszigetelése, kapcsolt hőszolgáltatás alkalmazása), de ehhez mintegy 100 GFt beruházásra lenne szükség. További 10-15% megtakarítását eredményeznék a lassabban megtérülő lépések (pl. alapanyaggyártó technológiák megújítása, kondenzációs erőművek helyettesítése gázturbinás kombi ciklusokkal, izzólámpák kiszorítása kompakt fényforrásokkal), ami viszont fajlagosan nagyobb, 150-200 GFt tőkebefektetéssel járna. E nagy tőkeigények is a mérsékelt ütemű hatásfokjavítás lehetőségét támasztják alá.

Gyakran tapasztalható vélemény, hogy az energiaellátás bővítésére nincs szükség, a gazdaság energiaigényének növekedését az energetikai hatásfok javításával kell ellentételezni. Az ilyen véleményeket Magyarországon azzal támasztják alá, hogy az élenjáró országok többszörösen hatékonyabban hasznosítják az energiát, mint mi, és a hatásfokjavításban rejlő óriási lehetőségek kiaknázása a megoldás kulcsa. A hatásfokjavítást ösztönözni és támogatni kell, de az csupán lassítani tudja az energiafelhasználás növekedését, önmagában nem elegendő a jövőbeli energiaellátás megoldására. Sajnos a tartósan negatív, vagy zéró növekedési ütemű energiaprognózisok illuzórikusak, a szakszerű vizsgálatok szerint a gazdaság fejlődése nem biztosítható az energiaigény növekedése nélkül. Néhány év múltán azokban az országokban is visszaállt az energiaigények növekvő trendje, amelyeknek az olajárrobbanások hatására sikerült átmenetileg csökkenő vagy stagnáló energiafelhasználás mellett biztosítani a gazdasági fejlődést. A reális lehetőségeket félreismerő vélemények háttérben többnyire az energetikai hatásfok és az energetikai hatékonyság fogalmainak nem megfelelő értelmezése áll, figyelmen kívül hagyva, hogy a hatásfok műszaki, a hatékonyság pedig gazdasági kategória.

Energiahatékonyság

Az energetikai hatékonysággal az energiabefektetés gazdasági hozamát jellemezzük, a mutató értékének elvileg nincs korlátja. A hozam lehet egy termék, illetve szolgáltatás ellenértéke vagy az értékesítésénél elért nyereség, az ország globális vizsgálatánál többnyire a GDP-t tekintik mértékadónak. Az energiaellátás bővítését ellenző nézetek főleg arra alapulnak, hogy az egységnyi primer energia befektetésével előállított magyar bruttó hazai termék kereken harmada a fejlett országokénak, ami kétségtelenül a jelentős elmaradás jele.

Az országok nemzeti jövedelmének és energiafelhasználásának viszonya, illetve az egy főre eső GDP n értéke és az ugyancsak egy főre vetített e energiafelhasználás n/e hányadosával értelmezett energiahatékonyság erősen függ a gazdasági fejlettségtől. Ezt tükrözi a 10. táblázat néhány régió jelenlegi mutatójával. Az OECD-országok (Organization for Economic Cooperation and Develop-

Energiahatékonysági mutatók

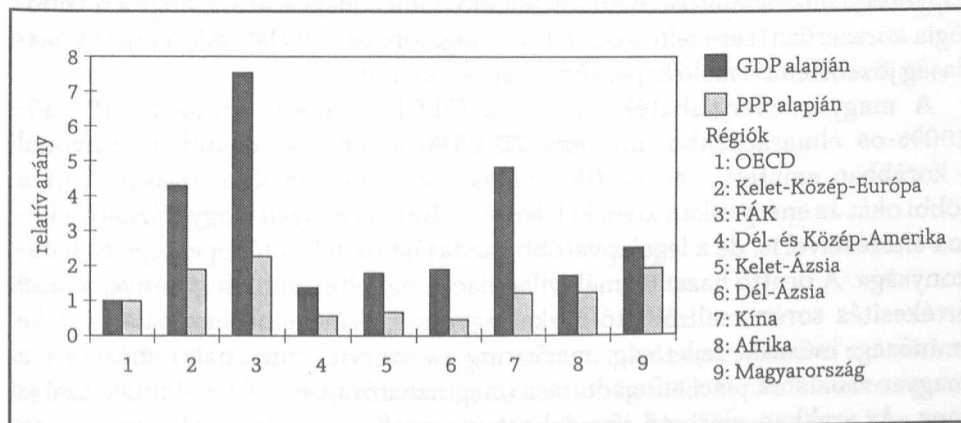
Régió	USD/GJ
Világátlag	30
Fejlett országok	60–100
Volt szocialista országok	20–30
Fejlődő országok	5–10

ment, Gazdasági Együttműködési és Fejlesztési Szervezet) a jelenlegi 95 USD/GJ átlagértékük 108 USD/GJ-ra történő növekedését várják egy évtizeden belül.

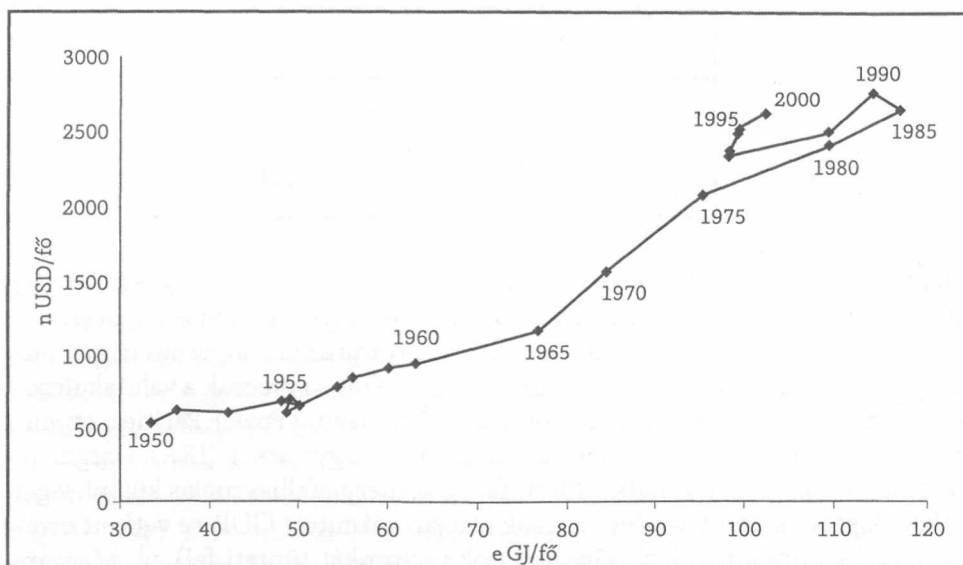
Az államok GDP-jének összehasonlítását zavarja az országok eltérő árrendszere és árszínvonala. Ezért újabban a vizsgálatokhoz nemcsak a valutakulcsokat használják, hanem a vásárlóerőt (PPP – Purchasing Power Parities, egyenértékű vásárlóerő) is. A Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA) vizsgálata szerint a vásárlóerőre vonatkoztatott fajlagos energiafelhasználás különbségei sokkal kisebbek, mint a valutakulcsok alapján számított GDP-re vetített értékeké (a 19. ábra a hatékonysági mutatók reciprokát tünteti fel), pl. Magyarország e/n mutatójának az OECD átlagához viszonyított aránya a GDP alapján 3, az egyenértékű vásárlóerő (PPP) figyelembevételével 2,5. A statisztikai adatoknak az egész világra összesített feldolgozása alapján az Európai Gazdasági Bizottság egy 25 éves periódusban az egyenértékű vásárlóerőre vetített energiaigényesség évenkénti javulására átlagosan 0,8%-ot mutatott ki.

A 20. ábra a magyar nemzeti jövedelem és energiafelhasználás fajlagos mutatóinak alakulását szemlélteti a 20. század második felében (az infláció kiszűrésé-

19. ábra

Az energiahatékonyság relatív mutatói

Az energiafelhasználás és a GDP alakulása Magyarországon



re a GDP-t 1988-as dollárértékre számítottuk át). Az ábrán az 1960-as évek közepétől a $n = f(e)$ jelleggörbe irányultsága, az energiahatékonyság nagyobb prioritásának megfelelően lényegesen módosult, a nagy gazdaságpolitikai fordulatok pedig negatív szakaszokat is létrehozta, így az 1950-es évek derekán, és főleg a rendszerváltás nyomán. A feltüntetett fél évszázad alatt a magyar n/e mutató 16 USD/GJ-ről 26 USD/GJ-ra nőtt (62% javulás, éves átlagban 1,24%), a rendszerváltást követő évtizedben a gazdaság alapvető átstrukturálódása is csupán 13%-os javulást eredményezett, ami átlagosan 1,3 százalékot jelent évenként. Az ábrából kitűnik, hogy az energiahatékonyságban évente 1-1,5%-nál nagyobb javulás a múltban nem fordult elő. Ennek magyarázata, hogy a technológia korszerűsítésére felhasználható anyagi források korlátossága miatt a gazdaság jövedelemtermelő képessége csak lassan nőtt.

A magyar energiahatékonyság az OECD-átlaghoz viszonyított 150-200%-os elmaradásából mintegy 20-25%-ot lehet a technikai színvonal – korábban említett – energetikai hatásfokkülönbségének a rovására írni, a többi okát az energetikán kívül kell keresni. Egy kis hányad magyarázható a klíma eltéréseivel is, de a legalapvetőbb gazdaságunk teljesítőképessége és hatékonysága. A bruttó hazai termék világpiaci megítélésünk függvénye, a piaci értékesítés során realizálható árakat egyrészt termékeink használati értéke (minőség, műszaki fejlettség, marketing és szervíz színvonala), másrészt a magyar vállalatok piaci elfogadtatása (megbízhatóság, hírnév, stabilitás) szabja meg. Az árakban elérhető jövedelmet megszabó termelési költséget is sok

körülmény befolyásolja, az árszerkezet, a termelékenység, a technológia műszaki színvonala, a munkaerő képzettsége stb. Az eltérő minőségű termékekbe fektetett munka és anyag fajlagos költségének különbsége sokkal kisebb, mint amit a jobb minőséggel a piaci árban realizálni lehet, pl. a szélsőséges igénybevételeket elviselő ötvöztött acél és a közönséges szénacél előállításánál, vagy a házimozsi minőségű elektronika és a rádió és tv sorozatgyártásánál. Jellemzi a problémát, hogy gazdaságunkban a hozzáadott érték átlaga a nyugat-európainak ötöde. A nagy árkülönbség jó részét a rendelkezésre álló tudás teremti meg, ami az utóbbi évtizedekben rendkívüli módon felértékelődött.

Az energetikai hatékonyság javításának legfőbb eszköze a korszerű és kitűnő minőségű termékek és szolgáltatások értékesítése. Jelentős hatékonyságjavítást eredményez az energiaigényes tevékenységek visszaszorításával járó termelési szerkezetváltás is. Ugyan a volt szocialista országok között Magyarország energiahatékonysága volt a legkedvezőbb, az adottságainkhoz nem illő gazdasági szerkezet visszahúzó hatása nagyon jelentős volt. Államközi megállapodásokkal sikerült néhány energiakímélő konstrukciót létrehozni (pl. a magyar timföldből alumíniumgyártást a Szovjetunióban), de a piaci körülmények kevésbé tették lehetővé annak az iparpolitikai célkitűzésnek a teljesítését, hogy az energiaigényes termékeket lehetőleg importáljuk, exportunkban pedig kicsi legyen az energiatartalom. A devizaszerzés érdekében rákényszerültünk az energiatartaló iparágak fejlesztésére, mert a tőkés piacokon nagy mennyiségben kellett energiaigényes kohászati és nehézszerkezeti termékeket értékesítenünk. A nagyon energiaigényes iparágak visszaszorítására csak a rendszerváltást követő gazdasági átstrukturálódás adott módot. A következő évtizedre meghirdetett gazdaságpolitika évente 3,5%-os energetikai hatékonyságnövelést irányoz elő, ami a hatásfokjavulás 0,75%-os értékét figyelembe véve 2,75%/év javulást tételez fel a gazdasági hatékonyságban. Ennek a nagyon ambiciózus törekvésnek csak egy gyorsan javuló szerkezetű és dinamikus gazdasági fejlődés tud eleget tenni.

Az energetika az energiaveszteségek csökkentésén túlmenően az energiaszerkezet korszerűsítésével is hozzá tud járulni a hatékonyság javításához, pl. a nem elég gazdaságos tevékenységek leépítésével.

Energiaprognózisok

Alapvető körülmények

Az előretételezés még egy családi háztartásban sem egyszerű, mivel számításba kell venni az életváltás jövőbeli alakulását, a bővülő illetve visszaszoruló tevékenységeket, a tervezett korszerűsítéseket és komfortnövelést. Egy ter-

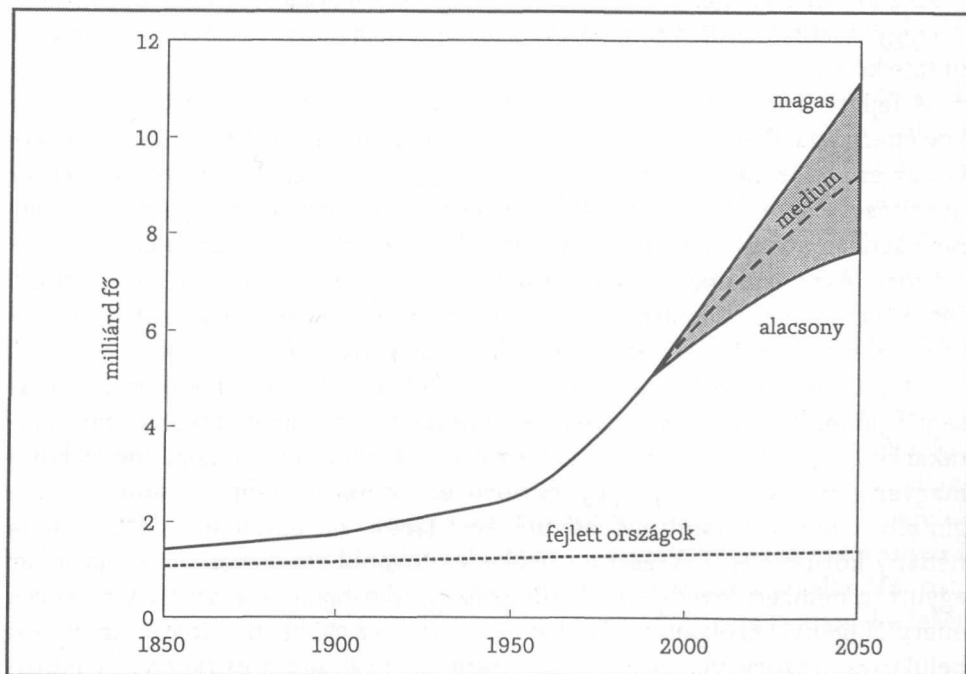
melővállalat energiaigényének előrebecslését sokkal több bizonytalanság terheli. Az értékesítési lehetőségek konjunktúrafüggők, a termékváltás célszerűségét a piaci versenyhelyzet szabja meg, a technológiai innováció lehetősége a tőkeerőtől függ stb. Mértékadó szempontok híján a korábbi trendet folytató növekedési ütem feltételezése gyakran beválik az egyes fogyasztókra, de ennek nem jelentéktelen a kockázata. Egy nagyobb régió, vagy sok szereplőt felölelő ágazat távlati tervezésénél statisztikai megközelítés alkalmazható, a piaci verseny egyes szereplői elbuknak, mások megerősödnek, az eredő többnyire a stabil középser körül rendeződik. Még erősebb a kiegyenlítő szerep egy ország energiaigényének alakulásában.

Az 1970-es évek olajkrízise nyomán az országok gazdaságpolitikájának alapvető kérdésévé vált az energiaigény prognózisa. Reális elképzeléseket azonban csak az egész világ energiahelyzetének figyelembevételével lehet kialakítani. A jövőre készített nagyszámú prognózis eredményei között jelentősek az eltérések, de valamennyi elkerülhetetlennek tartja az energiafelhasználás további növekedését. A korábbi becslések meglehetősen ambiciózusak voltak, a tényleges fejlemények a mérsékeltőbb előirányzatokat támasztották alá.

Az energiaszükséglet alakulását a legnagyobb mértékben a demográfiai helyzet, a klíma, a gazdasági aktivitás, az életszínvonal és az energiaárak színe befolyásolja. A demográfiai prognózisok (21. ábra) a Föld lakosságának további gyors növekedését jelzik, a jelenlegi 6 milliárról 2050-ig mintegy 8-10 milliárdra. Ez óhatatlanul maga után vonja az energiafelhasználás növekedését is, hiszen Földünk minden új lakosának életszükségleteit csak energiabefektetés árán lehet kielégíteni. A fejlett országok népessége csak kismértékben nő (jelentős részben migráció hatására), a nagy népsűrűsű országot jellemzi, amelyek már jelenleg is a Föld lakosságának négyötödét képviselik. A legnagyobb növekedést Dél-Ázsiában várják, egy ENSZ-tanulmány szerint fél évszázadon belül Kína és India népessége meg fogja haladni a 1,5 milliárdot, a fejlődők közül 250 milliónál több lakosa lesz Braziliának, Indonéziának, Nigériának, Pakisztánnak stb. A demográfusok a magyar népesség lassú csökkenését prognosztizálják, aminek mérséklő szerepe lesz az energiaigények növekedésére.

A klíma hatása legnagyobb mértékben a fűtés energiaszükségletében nyilvánul meg, a mérsékelt égöv országaiban erre fordítják a teljes energiaszükségletnek mintegy harmadát, az északi országokban még többet. A fűtés szükséges mértéke észak felé és a kontinensek belseje felé haladva nő, dél felé csökken. A fejlődő országok nagy részének terheit enyhíti, hogy mentesülnek a fűtés terhe alól. Egyes térségekben a nedves meleget ellensúlyozó hűtésre is szükség van, de ez csak bizonyos jövedelemszint felett számottevő. A fűtés és hűtés módja és mértéke természetesen nem független egy ország gazdasági színvonalától, de az arra fordított energia legfeljebb csak áttételesen befolyásolja a gazdasági tevékenységeket (pl. az emberek közérzetén és erőnlétén keresztül). Ezért

Prognózis a világ népességének alakulására



az energiaviszonyok behatóbb vizsgálatánál célszerű különválasztani a klimatikus viszonyok ellensúlyozására fordított energiát az egyéb célokat szolgáló energiafelhasználástól.

A fűtés energiaigényét befolyásolja az időjárás ingadozása; a téli középhőmérséklet 1%-os változása Magyarországon közel 5%-os különbséget okoz. A téli időjárás jellege az ország összenergiájának felhasználásában egy-két százalékos eltéréseket okoz. A Kárpát-medence a kelet-európai szárazföldi, a nyugat-európai óceáni és a dél-európai mediterrán klímaövezetek ütközőpontjában van. Attól függően, hogy mikor melyik befolyás válik uralkodóvá, kiegyenlítettebb vagy szélsőségesebb időjárású évek alakulnak ki, hidegebb vagy melegebb telekkel. Hazánkban az átlagosnál enyhébb telek gyakoribbak és az átmeneti tavaszi és őszi időszakok is enyhék, ezért a hasonló földrajzi fekvésű országokénál kevesebb energiát kell fűtésre fordítanunk.

A Világbank és a Nemzetközi Valutaalap prognózisai szerint a világgazdaság fellendülése – néha megtorpanásokkal és ütemcsökkenéssel – de tovább tart, ami szintén az energiafelhasználás bővítését teszi szükségessé, hiszen minden új szervezet, minden új vagy bővülő tevékenység fogyasztásnövekedést is jelent. E növekmény egy részét a fejlett országokban ellentételezni lehet energiatakarékossgal, de a fejlődőknél a felhasználás alacsony mérté-

ke miatt erre nem lehet alapozni. A következő időszakban a gazdasági növekedés a fejlődő országokban lesz a leggyorsabb, a vásárlóerőben (PPP) számított részesedésük a világ gazdaságban a jelenlegi 30%-ról 20 éven belül 50%-ra nő. A leggyorsabb fejlődést Kínában várják, amit más ázsiai országok növekedési üteme követ.

A fejlett országok a jövőben is hatékony, környezetkímélő, energiatakarékos energiagazdálkodásra fognak törekedni, hogy a gazdasági fejlődés ne járjon az energiaszükséglet erős növekedésével. De e célok következetes érvényesítésével sem lehet a gazdasági fejlődést tartósan az energiafelhasználás növekedése nélkül biztosítani. A fejlődőket – különösen a sűrűn lakottakat – extenzív és energiaigényes gazdasági fejlődésre kényszeríti a népszaporulat, valamint az életszínvonal növelés szándéka, ami egyeseknél párosul a nemzetközi politikai erőviszonyok befolyásolásának igényével is.

Magyarország köztes helyzetben van, a felzárkózás szándéka gyors gazdasági fejlődést kíván, de a kedvezőtlen energiahelyzet miatt fokozott energiatakarékoságra van szükség. Várakozásaink szerint a következő időszakot a magyar gazdaság viszonylag gyors növekedése fogja jellemezni, ami az energiafelhasználás számottevő bővülésével járna, ha azt nem ellensúlyozná néhány körülmény. Egyrészt a növekedés további szerkezetátalakulással jár együtt, a nemzeti jövedelem előállításában nő a fajlagosan viszonylag kevés energiát igénylő szolgáltató szektor részaránya és csökken az iparé. Az iparon belül tovább szorul vissza az erősen energiaigényes ágazatok (kohászat, építőanyag-ipar, nehézszerkezetgyártás) termelése, a befektetőket is elsősorban a munkáigényes és kevés energiát használó szektorok (gépgyártás, autóipar, gyógyszeripar, elektronika) vonzzák. A piaci verseny kikényszeríti a technikai korszerűsítést, ami szükségszerűen együtt jár a fajlagos energiafelhasználást csökkentő technológiák térhódításával. Mindezek eredményeképp a gazdaság energiaszükséglete csak egy néhány évig tartó stagnáló, legfeljebb szerény növekedést felmutató időszak után fog számottevően nőni.

Természetesen az életkörülmények javításához is energiára van szükség. Az életszínvonal energiavonzatát egyrészt a lakosság közvetlen felhasználása képviseli az életkörülmények biztosítására, másrészt az igénybe vett termékekben és szolgáltatásokban megtestesült közvetett felhasználás. Magától értetődő emberi szükséglet a törekvés jobb táplálkozásra, nagyobb komfortra, több és jobb minőségű fogyasztási cikkekre, kényelmesebb életre, nagyobb mobilitásra. Ezek kielégíthetősége függ az egyének gazdasági helyzetétől, ami mindenki számára nem teszi lehetővé az igények teljesülését, de a statisztikai átlagok a majdnem folyamatos fejlődést tanúsítják, a társadalom hasznosenergia-igénye szinte folyamatosan nő. Az energiaátalakítások határfokának javulásától függ, hogy ez hogyan tükröződik a végső felhasználás szintjén. Bizonyos határok között az energiafelhasználás arányos a személyi jövedelemmel, nagy jövedelemnél a közvetlen energiafelhasználás telítődés felé tart, de nő a

közvetett felhasználás. A fejlett országokban az életszínvonal további növekedését prognosztizálják, az elmaradottak többségében azonban csak lassan tud nőni a nagy népszaporulat miatt.

Figyelmet érdemel, hogy a magyar lakosság összesített közvetlen energiafelhasználása az 1990-es évek nagy recessziójának időszakában sem csökkent (annak ellenére, hogy az energiaárak erősen megnöttek és jelentős rétegek elszegényedtek). Magyarországon nagyon erős a vágy és a szándék a nyugati életszínvonal utolérésére, a következő évtizedekben ez lesz az egyik fő hajtóereje az energiaigények növelésének, törekvés komfortosabb lakások, nagyobb mobilitás, igényesebb fogyasztási cikkek, jobb munkakörülmények elérésére. Az életszínvonal emelkedése különösen a villamosenergia-igényeket növeli, elmaradásunkat érzékelteti, hogy a lakosság villamosenergia-fogyasztásának jelenlegi fajlagos értékével (2,2 MWh/lakás,év) hazánk az európai rangsor végén helyezkedik el.

Az energiaárak prognózisa meglehetősen bizonytalan, az árak a kereslet és kínálat alakulásán kívül más körülményektől – monopóliumok, kartellek (pl. OPEC), állami befolyásolás, geopolitikai helyzet stb. – is függenek. A világpiaci reálárakat az ásványi energiahordozók kedvezőtlenebb lelőhelyeinek fokozatos termelésbe vétele, valamint a környezetvédelmi és egyéb társadalmi követelmények költsége enyhén felfelé hajtja. Az energiaárak emelkedése ösztönzi az energiatakarékosságot, fékezve az energiafelhasználás növekedését, az árcsökkenésnek ellentett hatása van.

A magyar tüzelőanyagárak a világpiac ármozgását követik, a vezetékes energiahordozók ára azonban számottevően elmarad az Európai Unió országainak árszínvonalától. A különbséget csatlakozásunk időpontjáig fel kell számolni, hogy egyrészt az egységes energiapiac részeseivé válhassunk, másrészt ne képviseljünk vonzerőt az energiaigényes külföldi technológiák betelepítésére. Ezen árak elkerülhetetlen emelkedése fékezőleg fog hatni az energiaigényekre.

Előrejelzési módszerek

Az energiaigények előrejelzésére két megközelítés használatos. A globális eljárás egy átfogó gazdasági jellemző – többnyire a bruttó nemzeti termék – és az energiafelhasználás kapcsolatára alapul. A módszer lényege a korábbi trendek extrapolálása, esetleg figyelembe véve az energiahatékonyságot befolyásoló fontosabb hatásokat (pl. hatásfokjavulás, iparszerkezet változtatása, energiaárak mozgása). Ez a megközelítés figyelmen kívül hagyja, hogy az energiaigényeket a gazdasági fejlődésen kívül más tényezők is lényegesen befolyásolják, pl. a klíma, a környezetvédelem, a fogyasztói szokások, adminisztratív intézkedések stb.

A globális módszert az alapozta meg, hogy a 20. század első hét évtizedében, elég nagy időszakaszokat átfogva, a t idő függvényében az országok e egy főre eső energiafelhasználásának logaritmusához jó korrelációval illeszthető egy lineáris regressziós egyenes, melynek alakja

8. képlet

$$\log e = a + b \cdot t$$

ahol a és b állandók. Hasonló kifejezéseket lehet felállítani egyes energiahordozók – pl. villamos energia – felhasználására is. A fenti, gyakran alkalmazott képlet az energiafelhasználás monoton és exponenciális növekedését sugallja. Ez a következtetés félrevezető, mert a logaritmikus lépték elfedi az értékek szórását és a trendek időnkénti módosulását (ami pl. a 7. és 8. ábrákon is érzékelhető), ezért a 8. képlet csak a tendenciák jellemzésére szolgál, és nem alkalmas extrapolálással prognózisok készítésére. A 20. ábra is tükrözi, hogy a globális növekedési tendencia érvényesülése mellett a gazdasági struktúra változása időnként visszaeséseket, irányváltásokat is előidéz, pl. Magyarországon az 1950-es évek második felében vagy az 1990-es évtizedben. Féllogaritmikus ábrázolásban a különböző országok 8. képlet szerinti egyenesei közel párhuzamosak egymással, a köztük lévő távolság az energiafelhasználás szintjével arányos. Hasonló típusú függvényeket lehet az egy főre eső n nemzeti jövedelemre is szerkeszteni, ezért csábító gondolat a két jellemző összekapcsolása a

9. képlet

$$\log e = c + d \cdot \log(n)$$

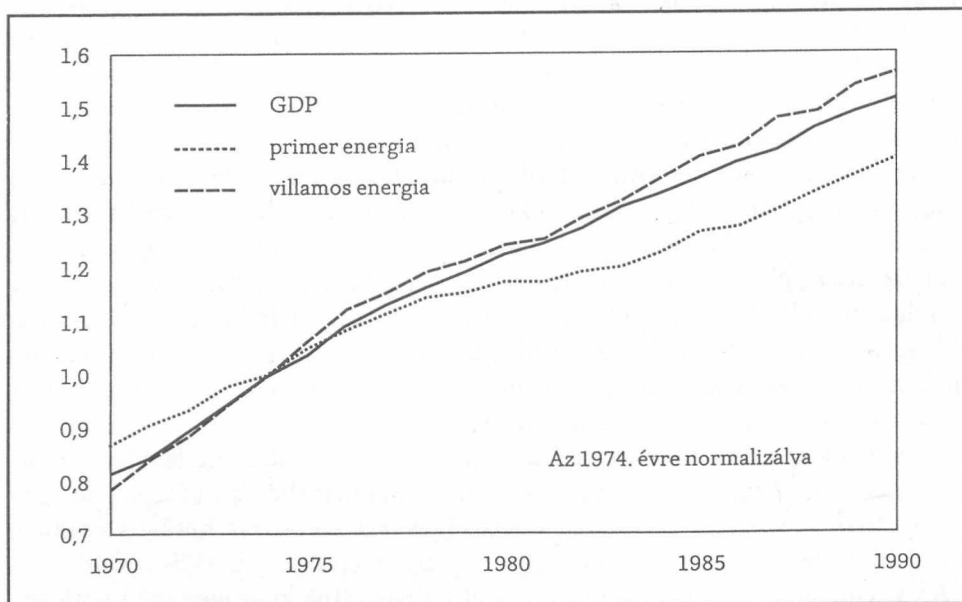
kifejezéssel, ahol c és d szintén állandók. A kétszer logaritmikus ábrázolás végleg elfedi a részleteket, ami téves következtetésekre is vezethet. Egy időben nemzetközi összehasonlításokra is ajánlották az összefüggést, feltételezve, hogy ha egy ország nemzeti jövedelme időben késleltetve utoléri egy fejlettebb országét, energiafelhasználása is ennek megfelelően fog alakulni. E következtetés figyelmen kívül hagyja, hogy az egy főre eső energiafelhasználás azonos gazdasági fejlettség esetében lényegesen eltérő lehet, mivel azt befolyásolja a nemzetgazdaság szerkezete, az energiaigényes iparágak szerepe, a műszaki fejlettség, a termékek és szolgáltatások fajlagos energiatartalma, a fogyasztói szokások, a szállítási igényesség, az energiatakarékos szemlélet, a klíma stb. Azonos bruttó nemzeti terméket is nagyon eltérő gazdasági szerkezetekkel lehet elérni, például azonos GDP-vel egy jelentős nehéziparral rendelkező ország fajlagos energiafelhasználása elérheti egy mezőgazdasági ország mutatójának a kétszeresét is. Az is figyelmet érdemel, hogy az energia számottevő hányada – a mérsékelt égövön 40-50%-a – nem vesz részt a nemzeti jövedelem előállításában, hanem azt személyes szükségletre és az életkörülmények kialakítására fordítják. A gazdaság szerepét jobban tükrözné a GDP és az annak előállítására fordított energia kapcsolatának bemutatása.

A fejlett országokban az 1970-es évek olajkrízise nyomán az energiatakarékosság a legfontosabb gazdaságstratégiai célkitűzések egyikévé vált. Ennek hatására néhány országnak egyes időszakokban stagnáló vagy egyenesen csökkenő energiafelhasználás mellett is erőteljes gazdasági növekedést sikerült produkálni. Ez a tapasztalat megingatta a szakemberek hitét a GDP és az energiafelhasználás növekedési üteme közötti korrelációban. Az energiafelhasználás csökkenése azonban csak átmenetinek bizonyult, idővel a fejlődési tendencia helyreállt, de jóval kisebb ütemmel. Mára az a felfogás alakult ki, hogy elég nagy időszakot átfogva a két jellemző trendje között van kapcsolat, de a korreláció időszakosan és lokálisan módosulhat, amiben nagy szerepe van az energiahatékonyság alakulásának. A globális megközelítés az ilyen részleteket elfedi, amit példáz az OECD-országok fejlődését feltüntető 22. ábra az 1970 és 1990 közötti időszakra. Az ábra az energiafelhasználás monoton növekedését mutatja, a primerenergia-igény a GDP-nél lassabban, a villamos energia annál gyorsabban nőtt.

A második eljárás, a szintetikus módszer az energiafelhasználást leginkább befolyásoló természetes tevékenységek várható alakulásából építi fel az energia-prognózist. A számítástechnikai lehetőségek kiszélesedése hatásos eszközt adott a tervezők kezébe. Rangos intézmények (IEA, MIT, WEC, DoE, EC, IIASA, World Bank stb.³) számos modellt fejlesztettek ki az igények becslésére. A háztartásoknál az életvitel változásából és az urbanizáció hatásából indulnak ki, pl. a lakásszámból és azok komfortfokozatából (alapterület, fűtési mód, háztartások gépesítettsége). Az iparnál a termelés volumenét, a fejlesztést befolyásoló körülményeket és a technológia fejlődését prognosztizálva, a fajlagos energiafelhasználás jövőre becsült mutatóinak számításba vételével szintetizálható a felhasználók igénye. A közlekedésnél a szállítási teljesítményből és annak szállítási módok közötti megoszlásából, a motorizáció mértékéből, és hasonló jellemzőkből vezetik le az energiaszükségletet. E munkai igényes megközelítés megbízhatósága csak látszólag nagyobb, mint a globális megközelítésé, hiszen a részfolyamatok jellemzőinek előre becslését sem terheli kisebb bizonytalanság, mint egy globális mutatóét. Előnye viszont a szintetikus módszernek, hogy követhetők a strukturális változások, pl. az iparszerkezet módosulása, a társadalmi rétegek jövedelemarányainak eltolódása, az életvitel átalakulása. A modellek lineáris programozás segítségével többnyire alkalmasak energiaigény, költség, energiaszerkezet, szállítási munka stb. optimumának meghatározására is.

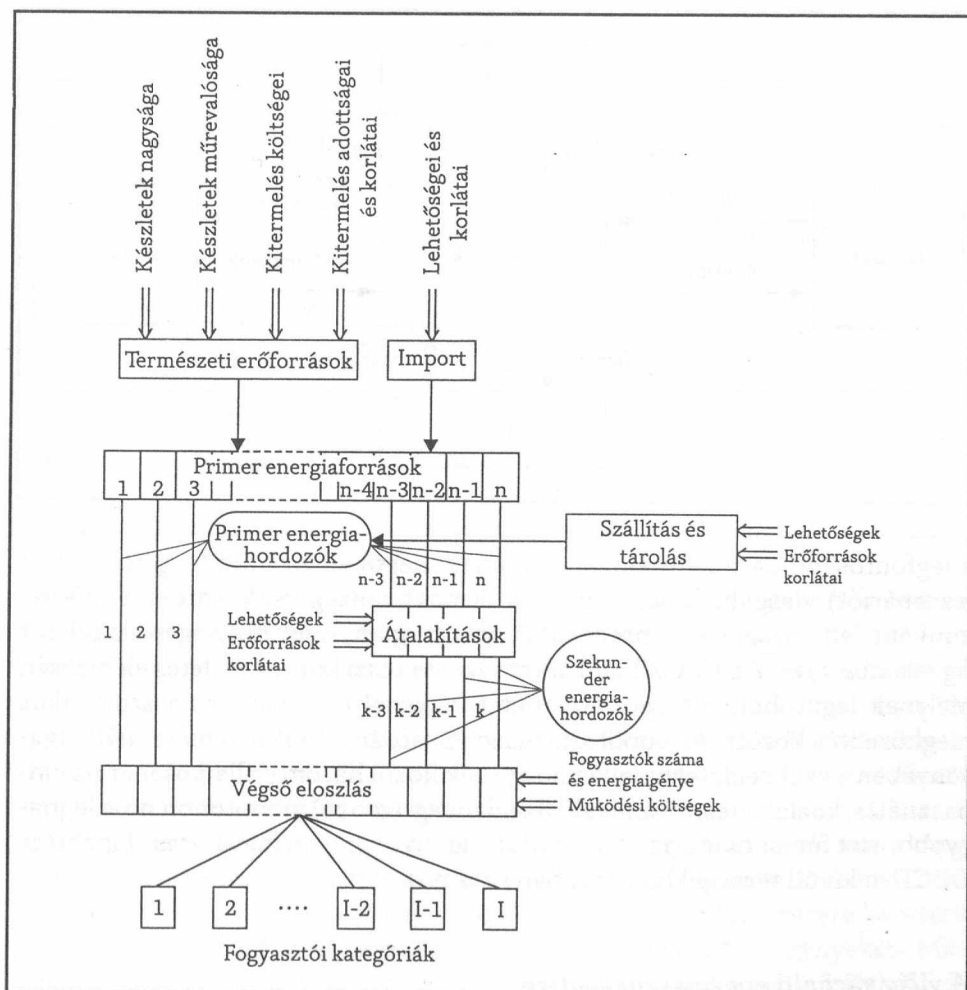
3 IEA = International Energy Agency, Nemzetközi Energia Ügynökség (OECD-szervezet); MIT = Massachusetts Institute of Technology, Massachusettsi Műszaki Egyetem; WEC = World Energy Council, Világ Energiatanács; DoE = Department of Energy, Energia Minisztérium (USA); EC = European Commission, Európai Bizottság (az Európai Unió „kormányá”); IIASA = International Institute of Applied System Analysis, Alkalmazott Rendszerelemzés Nemzetközi Intézete.

Fejlődés az OECD-országokban



A legtöbb modell csak az energiaszükségleteket követi (23. ábra), mellőzve az energiaigényeket lényegesen befolyásoló olyan külső tényezőket, mint a környezetvédelem, a gazdaság adottságai (pl. tőkeerő, infláció), az állami gazdaság- és pénzügyi politika szempontjai, a nemzetközi viszonyok és a geopolitika alakulása stb. Az ilyen kölcsönhatásokat többféle almodelltől álló rendszerekkel lehet követni, a 24. ábrán feltüntetett rendszer például négy almodellt tartalmaz, melyekkel leírhatóak az energetika kölcsönhatásai a természettel, a gazdasággal, az állammal és a társadalommal. A természetet érintő kölcsönhatásokat tárgyaló almodell veszi figyelembe, hogy az energiaellátáshoz szükséges erőforrások nagy részét (primer energiahordozók, a létesítmények által elfoglalt terület, a létesítéshez és működtetéséhez szükséges nyersanyagok és víz) a természetből nyerik, ugyanakkor az energetika kibocsátásaival, hulladékaival és az ásványvagyon felélésével korlátozza is a lehetőségeket. A következő évtizedekben az energiaellátás lehetőségeit meghatározó módon fogja befolyásolni a környezetvédelem – mindenekelőtt az üvegházhatás mérséklése. A második almodell a gazdasági kölcsönhatásokat írja le, egyrészt erőforrásokra van szükség ebből a szférából is, többek között tőkére, szakképzett munkaerőre, ipari termékekre (épületek, létesítmények, berendezések, gépek, eszközök stb.), infrastruktúrára (szállítás, hírközlés, kommunális létesítmények stb.), másrészt az energetika megrendeléseivel és áraival befolyásolja a gazdaság lehetőségeit. A harmadik almodell azt írja le, hogy az állam szabá-

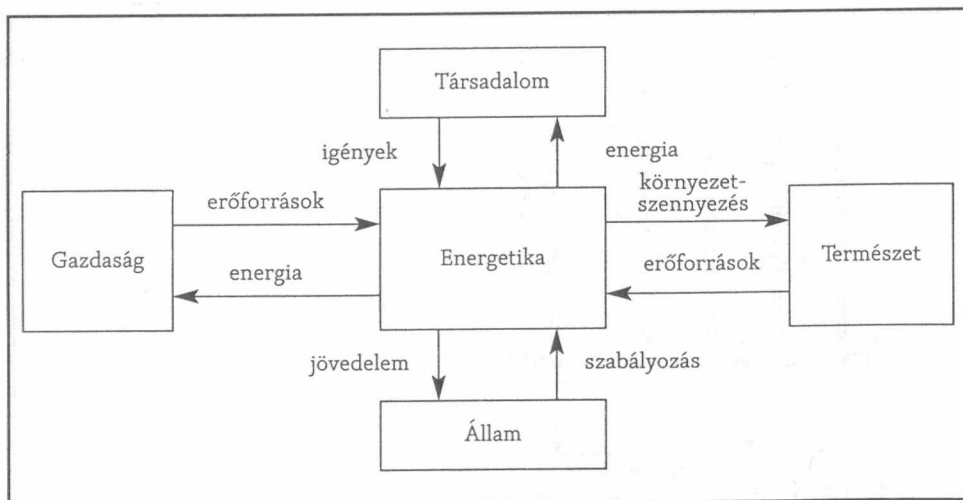
Energiafolyamatokat követő modell



lyozza az energetika tevékenységét, a költségvetés pedig bevételekhez jut az energiaellátástól. Az energiaellátás számos feltétele a társadalom magatartásán, annak különféle elvárásain múlik: az energiaellátás minőségi követelményei (előírt jellemzők, folyamatos rendelkezésre állás, alacsony költségek), élet- és vagyonbiztonság, egészségi ártalmak kiküszöbölése, környezetvédelem, szerepvállalás a szociális kérdésekben (munkaerő foglalkoztatása, településfejlesztés, szponzori szerep stb.), ez a tárgya a negyedik almodellnek.

Mind a globális, mind a szintetikus megközelítést terheli a jövőre vonatkozó becslések bizonytalansága, akár a természetes folyamatokról, akár a GDP-ről van szó. Ennek csökkentésére a hosszabb időtávra egyetlen prognózis helyett

Kölcsönhatásokat követő modellrendszer

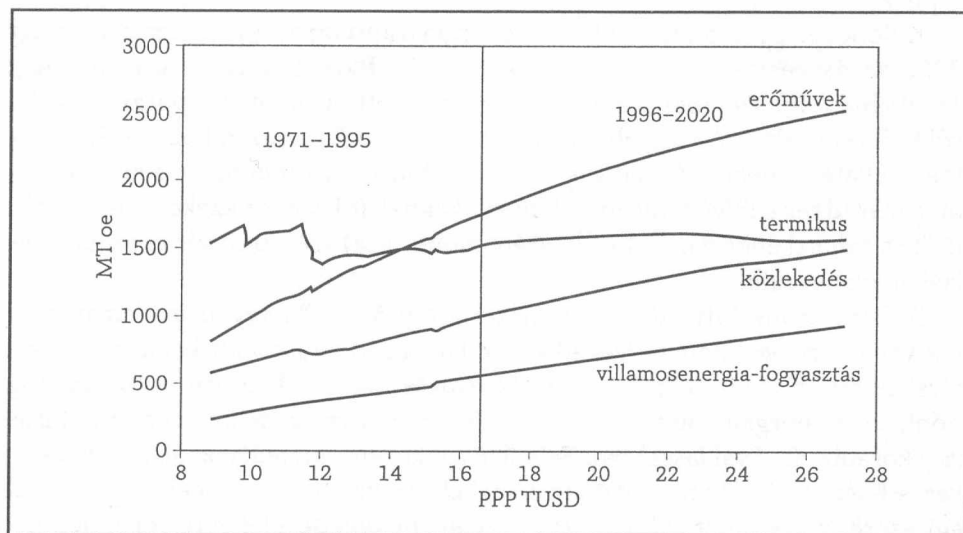


a legfontosabb paraméterek változatainak megfelelően több forgatókönyvet (szcenárió) vizsgálnak. Ugyancsak a bizonytalanság csökkentésére időszakonként felülvizsgálják a prognózist, az energiahelyzet tényleges alakulását figyelembe véve. Az IEA például háromévente teszi közzé részletes elemzését, melynek legutóbbi változata átmenetet képvisel a globális és a szintetikus megközelítés között. Az ebből származó 25. ábrán a PPP-ben mért GDP függvényében a szükségleteket jellemző görbék közül három (villamosenergia-felhasználás, közlekedés, erőművek tüzelőanyag-igénye) monotonon nő, a legnagyobb részt fűtést és ipari felhasználást jelentő termikus fogyasztás stagnál (az OECD-n kívüli térségekben azonban ez is nő).

A világ várható energiaszükséglete

A következő két évtizedre az előrejelzések a világ primerenergia-igényének 50-60%-os növekedését tételezik fel, aminek több mint kétharmada a fejlődő világban (különösen Kínában és Indiában) várható. A prognózisok szerint a világ energiaellátása a következő két-három évtizedben is legnagyobb részben a fosszilis tüzelőanyagokra fog alapulni. Egyelőre a tudomány és a technika nem kínál olyan megoldást, ami ezt a helyzetet radikálisan megváltoztatná. A megújuló energiák kiaknázása ugyan nő, a jelenleg főleg vízerő és biomassza hasznosításából származó évi 800 Mt olajat helyettesítő mennyiségről 1300 Mt-nyira, de ez még mindig csak kis hányadát jelenti a mérlegnek. A megújuló energiák nem hagyományos hasznosítása csak lassan tör utat, főleg helyi igények kielégí-

Az OECD-országok energiaigénye



tésére, ahol kedvezőek a versenyképességet meghatározó körülmények, esetleg dotáció igénybevételével. A világ legfontosabb energiahordozója változatlanul a kőolaj marad, felhasználása a jelenlegi 3,4 Gt/évről 20 év alatt 4,0 Gt/év körüli értékre nő, de részaránya a mérlegben csökken. A fejlett országokban alapvetően a közlekedés szabja meg a kőolajigényt, az erőművi és egyéb felhasználás visszaszorul. Ahol a fejlődő világban más energiabázis kevésbé áll rendelkezésre ott a legkönnyebben szállítható energiahordozó, az olaj más célú hasznosítása is bővül, beleértve a villamosenergia-termelést is. A legdinamikusabban a világ földgázhasznosítása nő, jelenlegi 2,5 Tm³/év körüli termelése 2020-ra majdnem megduplázódik. Különösen erősen nő az erőművi felhasználás, mivel a korszerű gázturbinákkal lehet a legolcsóbban kielégíteni a fejlesztési igényeket. Más szektorokban is erős növekedés várható, ahol biztosíthatók a szállítási lehetőségek. A szilárd tüzelőanyagok 5 Gt/éves termelése 2 évtizeden belül 7 Gt körüli értékre nő, aminek több mint fele erőművekbe kerül. A szilárd tüzelőanyagok 70%-ot meghaladó hányada kőszén, a lignit és barnaszén részesedése 12%, 15% pedig biomassza. Különösen a nagy szénvagyonnal rendelkező fejlődő országokban nő a szénfelhasználás, a legnagyobb mértékben Kínában és Indiában. A nukleáris energiahasznosítás gyors felfutását stagnálás követte az évenkénti 2,3 TWh-nyi villamosenergia-termelés szintjén. Ha nem módosul az atomenergetika megítélése a nyugati országokban, a következő egy-két évtizedben az atomerőművi kapacitás csökkenése is bekövetkezik, ahogy az életidejüket betöltő erőműveket leszerelik, amit a Távol-Keleten épülő új kapacitások nem ellensúlyoznak. Nagyobb távlatban, a 21. század második harmadában már

kevésbé kötött a primerenergia-szerkezet, a technológiák fejlődésétől függ, hogy abban a „tisztá szén”, a megújuló energiák vagy az atom jut domináns szerephez.

Különösen gyorsan nő a villamos energia iránti igény, a prognózisok a világ 2020-as összesített fogyasztására évi 20-22 PWh-t becsülnék a jelenlegi 13 PWh/évvel szemben, és ehhez az összesített erőművi kapacitás 3,2 PW-ról 6 PW-ra bővül. A nagyobb távú prognózisok a 21. század közepére a vezetékes ellátási formák (villany, gáz, távhő, hidrogén) dominanciáját jósolják, még marad tér a folyékony energiahordozóknak (olajszármazékok, alkoholok) is, de a szilárd energiahordozók (szén, biomassza) szerepe a végső felhasználásban elenyészlik.

A két-három évtizeden túltekintő prognózisok nagyon kockázatosak. Ha az emberiséget nem fenyegeti valamilyen rendkívül súlyos katasztrófa, feltételezhető, hogy a világ energiaszükséglete a 21. században is tovább fog nőni, de az energiatakarékos szemlélet és a környezetvédelmi nyomás hatására a korábbinál jóval lassabban. Jelenleg a világ energiafelhasználásának kerekén a felét az OECD tagságát alkotó fejlett országok veszik igénybe, ezeknél egy szerény, évenként 1%-nál nem nagyobb növekedést lehet figyelembe venni. A felhasználás másik fele többségében fejlődő országokra esik, melyeknél legalább 2,5-3%/év átlagos növekedési ütem tételezhető fel, aminek legfőbb hajtóereje a lakosság gyarapodása és a törekvés a gazdasági felzárkózásra (egyes országoknál a jelenlegi ütem 5-8%/év). A két trend eredője évenként 2% körüli érték, amivel a 21. század során a világ energiafelhasználása nyolctízszerezésre nő, szemben a 20. század hússzoros növekedésével. Ilyen ütem mellett a 21. század száz évre kumulált energiafelhasználása 10^{23} J (10^5 EJ) nagyságrendű. Az energetika nagy feladványa ennek a hatalmas energiaszükségletnek a fedezése, vagy mérséklése.

Magyar előretekintés

A magyar energiaellátás jövőbeli lehetőségeit a világhelyzet, valamint az Európai Unió stratégiájának figyelembevétele nélkül nem lehet megítélni. Energiaszükségleteinket ellentétes hatások befolyásolják. A fejlődés többletigénnyel jár együtt, ebbe az irányba hat a gazdasági növekedés, a belső piac élénkülése, a lakosság életszínvonalának emelkedése. A szolgáltatások fejlődése is többletenergiát igényel, különösen ha az ország regionális szerepe erősödik, a külföldi tőke befektetései és az ipar exportdinamikája is ebbe az irányba terelnek. Ugyanakkor fékezi az igények növekedését a hatékonyságnövelést igénylő piaci verseny, az energiatakarékosság állami ösztönzése, valamint az energiaárak növekvő tendenciája. Következetes és célratörő gazdaságpolitikával elérhető, hogy az energiafelhasználást mérséklő hatások néhány éven keresztül

lényegében ellentételezzék a növekményeket, és a gazdasági fellendülés stagnáló vagy enyhén változó primerenergia-felhasználás mellett következzen be. Nagyobb távon azonban szinte minden területen az energiafelhasználást növelő hatások fogják megszabni a fejlődést.

A várható magyar energiaszükségletre több igénybecslés készült az Országgyűlés számára is, az 1997-ben készült globális prognózis a gazdaság egy és három százalék közötti növekedési üteméből indul ki, és a következő tíz-tizenöt évre a primerenergia-felhasználás évenkénti növekményére minimum 0,5% és maximum 1,5% ütemet valószínűsít, feltételezve, hogy az energetikai hatékonyság ugyanilyen ütemben javul. Ezen ütemekkel a primerenergia-igény a jelenlegi ~1 EJ/év-ről 2010-re 1,1-1,25 EJ/év-re nőne, a 2020-ra becsülhető érték 1,4-1,6 EJ. A gazdasági növekedés időközben felgyorsult 4-5%/év-re, de e miatt az energiafelhasználás feltételezett értékét valószínűleg nem szükséges felfele korrigálni, mivel a nagyobb gazdasági erő feltehetőleg gyorsítani tudja a korszerűsödést és az energetikai hatékonyság növelését.

Szintetikus módszerrel hazai igénybecslések az utóbbi években nem készültek. A tíz évet meghaladó távlatban energiahelyzetünket nagymértékben befolyásolni fogják az Európai Unión belüli kapcsolataink, energiaszükségletünk növekedési üteme feltehetően a fejlett országokhoz hasonlóan 1% körül alakul, de ennél gyorsabban bővül a villamos energia és földgáz iránti igény. A jelenlegi bruttó villamosenergia-felhasználás évi 36 TWh, a prognózisok egy-két százalékos növekedési ütemet feltételezve 2010-re 39-49 TWh, 2020-ra 50-60 TWh fogyasztást várnak. Az erőteljesen bővülő földgázfelhasználás várt mértéke 2010-re 15-17 Gm³, de sajnos a hazai termelés fokozatos csökkenése mellett. A földgázfogyasztás további alakulása árfüggő, jelentősebb drágulása más energiahordozók helyzetét erősítené, az erőművekben a lignit és az atomenergia, a fűtés területén a villamosenergia-fejlesztéssel kapcsolt távhőszolgáltatás részesedése nőhet.

A következő egy-két évtizedben a primerenergia-hordozók közül fokozatosan csökkenni fog a mélyműveléses barnaszén felhasználása, viszont elképzelhető a külfejtéses lignit termelésének növelése, esetleg a feketeszen importjára is sor fog kerülni. A kőolaj-felhasználás enyhén fog nőni, miközben részaránya csökken, és valószínűleg változatlan marad az atomenergia hasznosításának szintje. A megújuló energiafajták aránya nőni fog az energiamérlegben, a hazai adottságok elsősorban a biomassza hasznosításának kedveznek.

Az import jelenlegi kétharmadot meghaladó aránya a jövőben tovább nő. Az energiahordozók világpiaca tovább bővül, ami némileg enyhíti importfüggésünk további növekedésének veszélyét. Tagságunk az Európai Unióban is növeli ellátásbiztonságunkat, de nem jelent teljes biztonságot, mivel az EU is nagymértékben energiaimportra szorul. A prognózisok szerint 2020-ban az EU ellátásának mintegy 70%-a fog a közösségen kívülről származni, jó részt politikailag és stratégiaiilag labilis térségekből (Közel-Kelet, FÁK, Észak-Afrika).

- Berthelemy, J. C. et al.: Le modele Melodie, un modele energetique de long terme. *Rev. d'Economie Politique* (97) 649, 1987.
- Buehring, W. A. et al.: ENPEP, An Integrated Approach for Modelling National Energy Systems. *Argonne Nat. Lab.* 1991 Febr.
- Darmstadter, J. et al.: *Energy in the World Economy*. Resources of the Future Inc. London, 1971.
- DECADES, Inter-agency joint project: *Computer Tools for Comparative Assessment of Electricity Generation*. Options and Strategies. IAEA, Vienna, 1995.
- Energy Perspectives to 2050*. World Energy Council, London, 1995.
- Energy in Europe, European Energy to 2020*. European Commission DG. XVIII. Brussels, 1996.
- Experience in Energy and Electricity Supply and Demand Planning with Emphasis on MAED and Easp*. IAEA-TECDOC-607, Vienna, 1991.
- Fisch, J. R.: *Future Stresses for Energy Resources*. Graham and Trotman, London, 1987.
- Fremont, F.: Energie electrique, energie totale et revenue national. *L'energia elettrica*, (9) 721. 1963.
- Global Energy Perspectives to 2050 and Beyond*. WEC, IIASA, London, 1995.
- Goldstein, G. A., Hamilton, L. D.: PC-Markal User's Guide. *Brookhaven Nat. Lab. Ass. Univ. Inc.*, 1990 Oct.
- Gouse, S. W.: *The Transition to a Sustainable World Energy Supply*. Rep. 2.4.09, World Energy Council 16th Congress. WEC Tokyo, 1995.
- Gronheit, P. E.: Economic Interpretation of the EFOM Model. *Energy Economics*, (13) 143. 1991.
- Häfele, W. et al.: *Energy in a finite world*. Ballinger, Cambridge, 1981.
- International Energy Outlook*. US Department of Energy, Washington, 1997.
- Krujik, H.-M. Broek: *The EC Energy and Environmental Model Gams*. Petten, nov. 1993.
- Lapillone, B. B.: The MEDEE Modells for Long-Term Energy Demand Forecasting. *Proc. Int. Conf. En. Syst. Analysis EC-EUR 6763*. Dublin, 1979.
- LEAP - A Computerized Energy Planning System. Stockholm Environmental Institute, Tellus, Boston, 1990.
- Lev, B. et al.: Strategic Planning in Energy and Natural Resources. North-Holland, Amsterdam, 1987.
- Manne, A. S., Wenw, C. O.: MARCAL-MACRO A linked Model for Energy-Economy Analysis. *Brookhaven Nat. Lab.* BNL-47161, 1992.
- Messner, S.-Strubegger, M.: *The Energy Model MESSAGE*. TEMPLAN Group, Vienna, 1990 April.
- Psarras, J. P. et al.: Multicriteria Analysis Using a Large Scale Energy Supply LP Model. *European Journal of Operational Research*, (44) 383. 1990.
- Reuter, A. et al.: MESAP Manuel. University of Stuttgart, 1990, Aug.
- Statisztikai Évkönyvek. Központi Statisztikai Hivatal, Budapest.
- Stub, P.: *An Energy Scenario Generating Model*. SFIT, ORL Inst. WP. 27, Zürich, 1993.
- Sustainable Energy Developments in Europe and North America*. The Economic Commission for Europe Energy Series, United Nations, New York, 1997.
- Szergényi I.: A magyar energiapolitika tíz éve. *Energiagazdálkodás*, 41. (5) 3. 2000.
- Vajda Gy.: *Energetika*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1981.
- Wene, C. O.: A comparison of the IEA-MARKAL and EC-EFOM Technical Energy System Models and the ANL Electric Utility Model. *Brookhaven Nat. Lab. Ass. Univ. Inc.*, 1989 Nov.
- World Energy Outlook*. International Energy Agency, OECD, Paris, 1998.
- World Population Projections*. United Nations, New York, NY. 1996.

Jogszabályok

1113/1996. (XI. 29.) kormányhatározat az Energiatakarékossági Hitel Program létrehozásáról; kiegészítve az 1025/1999. (II. 26.) kormányhatározattal; 105/1996. (VII. 16.) kormányrendelet az energiamegtakarítást eredményező épületfelújítások támogatásáról; 1107/1999. (X. 8.) kormányhatározat a 2010-ig terjedő energiatakarékossági és energiahatékonyság-növelési stratégiáról.

Energiaforrások

Az energiaellátás jövőjére vonatkozóan visszatérő kétely, meddig elégíthető ki az energia iránti feneketlen étvágy, nem merítjük-e ki energiaforrásainkat, nem idézünk-e elő súlyos ökológiai katasztrófákat. E problémáknak van valós magja, a természet terhelhetősége nem korlátlan, de bízhatunk az emberi leleményességben, ami mindig megtalálta a kiutat a szorongató problémákból.

Primer energiaforrások

A természetben sokféle munkavégzésre hasznosítható erő – primer energiaforrás – található. A 11. táblázat bemutatja a mai ismereteink szerint számításba vehető primer energia fajtáit. Az energiakínálat választékát nagymértékben bővíti a primer energiákból előállítható nagyszámú szekunder energiahordozó: villamos energia, gyártott gázok (pl. városi gáz, hidrogén, kohógáz), lepárlási termékek (pl. benzin, gázolaj, PB-gáz, kokszt), hőhordozók (gőzök, gázok, folyadékok) stb.

A kimerülő és megújuló energiafajták között a megkülönböztetés nem teljesen szabatos és függ az emberi tevékenység léptékétől. A kimerülők is többnyire újratermelődnek (pl. ma is zajlik szénülés és kőolajképződés), de a források elapadnak, ha kiaknázásuk gyorsabban történik, mint az újratermelődés. Ez jellemzi jelenleg gazdálkodásunkat az ásványi tüzelőanyagokkal. A megújulóknál is előfordulhat, hogy a kiaknázás a megújulás akadályává válik (pl. erdők kiirtása) és végső soron a Nap is ki fog húlni 5 milliárd év múlva. A fenntartható fejlődés lényeges követelménye, hogy az emberi tevékenység ne vezessen a kimerülő források tényleges kimerülésére, és ne korlátozza a megújuló megújulását.

A napenergia nem egy forrás a sok közül, hanem a Földön hasznosítható primer energiáknak majdnem kizárólagos közvetlen vagy közvetett forrása. A Föld és az abból kiszakadt Hold anyaga vagy a Napból lökődött ki, vagy a Nap ragadta magával a csillagközi tér porából, a Nap hatására kondenzálódtak égitestté, attól függ mozgásuk és hőtartalmuk. A fotoszintézis révén magát a biológiai létet is a napsugárzás tartja fenn, ez a forrása az emberi tápláléknak és a biológiai energiáknak. A napsugárzás alakítja az életfeltételeket meghatározó éghajlatot és időjárást. A technikai eszközök működtetéséhez szükséges energia is a Nappal hozható kapcsolatba. Nemcsak a közvetlen napsugárzás

A primer energia fajtái

Kimerülő energiaforrások	Megújuló energiaforrások
Ásványi tüzelőanyagok szén kőolaj nem konvencionális olaj földgáz nem konvencionális földgáz	Napenergia napsugárzás fotoszintézis szélenergia vízfolyások energiája tengeri áramlások tengeri hőfokkülönbség hullámozás
Nukleáris üzemanyagok hasadó anyagok tenyészanyagok fúzió anyagai radioizotópok	Biológiai energia izomerő biomassza mikrobiológiai reakciók
Geotermikus energia konvektív hőhordozók kondukción forró sziklák	Gravitáció árapály égitestek vonzása
Egyéb tüzelőanyagok Exoterm kémiai reakciók a tüzelésen kívül	Kozmikus hatások

energiája, valamint a sugárzás hatására közvetetten kialakuló folyamatok – a szél, a vízkörforgásból táplálkozó vízfolyások, a tengeri áramlások és hőfokkülönbségek, a szél gerjesztette hullámozás stb. – energiája sorolható ide. A fosszilis ásványi tüzelőanyagok tulajdonképp napenergia-konzervek, melyeket a fotoszintézis révén keletkezett biomasszából hoztak létre a földkéregben érvényesülő hatások. Van becslés a Földön található karbon mennyiségére, kiindulva abból, hogy az eredeti légkörben csupán szén-dioxid volt és a jelenlegi oxigéntartalom abból keletkezett a fotoszintézis révén. A légkör $6 \cdot 10^{16}$ t-ra becsült oxigénmennyiségéhez ilyen alapon $2,25 \cdot 10^{16}$ t karbon tartozik. Ennek kis része az élő szervezetekben, legnagyobb hányada diszpergálva a talajban található, az ásványi tüzelőanyagokban felhalmozódott részét pedig $3,6 \cdot 10^{14}$ t-ra becsülik. A hozzáférhető fosszilis tüzelőanyag-vagyon ennél legalább egy-két nagyságrenddel kevesebb. Az atomenergia alkalmazásának üzemanyagai (radioizotópok, a hasadásra képes aktinidák, néhány, a fúzióhoz szükséges könnyűelem) a Föld anyagából származnak. A Nap hatására vezethető vissza a geotermikus energia is, amit részben a kőzetekben lévő radio-

aktív anyagok bomlása, részben a felszín közelébe hatoló magma táplál. Az árapályt legnagyobb részt a Hold gravitációs vonzása okozza, a Nap közvetlen hatásának szerepe másodlagos.

A ténylegesen hasznosított primer energiaforrások köre fokozatosan bővült, ahogy a technika fejlődése újabb források kiaknázása előtt nyitotta meg az utat. Ez a folyamat nemcsak az energiabázis növekedése miatt volt jelentős, hanem visszahatott a technika és a termelési technológiák általános fejlődésére is. Az energetika új berendezései gyakran képviselték a műszaki fejlődés élvonalát, a nagy technikai előrelépéseket sokszor az energetika új vívmányai tették lehetővé.

Az emberiség hosszú ideig csupán saját fizikai munkavégző képességére tudott támaszkodni, ez volt az egyetlen energiaforrása. Bámulatra méltó, hogy tulajdonképp ez a nagyon szerény potenciál biztosította az emberi társadalmak fejlődését, ez teremtette meg a civilizáció alapjait, és ez hozta létre az ókor hatalmas birodalmait. Bár az ember fizikai munkája sok munkafolyamatnál ma sem nélkülözhető, részesedése a világ energiamérlegében jelentéktelenné vált. Magyarország munkaképes lakosságának összesített elméleti munkavégző képessége 4 PJ/év, ami a felhasznált primer energia 0,4%-a, a ténylegesen kifejtett fizikai munka pedig ennél egy-két nagyságrenddel kisebb. Hasonló arányok jellemzik a világátlagot is, bár vannak elmaradott régiók, ahol még ma is meghatározó az emberek fizikai munkavégzésének a szerepe.

A rézkorszaktól kezdve jelentős fejlemény volt az emberi teljesítőképesség többszörösére képes állatok munkára fogása. Az ígásállatok elsősorban a mezőgazdaságban és a szállításban jutottak szerephez, a ló a közlekedésben, majd a manufaktúrákban is. Egy ló teljesítőképessége az emberinek mintegy tizenötszöröse, de a 12. századig ennek csak negyedét tudták kiaknázni, a lószerszám célszerűtlensége és a patkó hiánya miatt. A ló szerepe a középkorban volt a legnagyobb, a lovagok körében egyenesen státusszimbólumnak számított.

A mezőgazdasági munkafolyamatok nagy része a 19. század végéig az ígásállatokra alapozódott. A sok gondozást és táplálást igénylő segítőtársak az ipari társadalomban elvesztették a szerepüket. (A 21. század elején már anakronizmus a lóval vontatott ekék újbóli felbukkanása a magyar mezőgazdaságban.) Az emberi és állati izomerő együttesen a 19. század elején még a világ energiaigényének számottevő részét fedezte, aránya a 20. század elejére néhány százalékra csökkent, és napjainkban már az ezreléket sem éri el, de egyes elmaradt területeken még sokkal nagyobb a részaránya.

Az energetikai potenciál első jelentős bővülését a biomasszából nyert tüzelőanyagok felhasználása jelentette. A Prométheusz legenda megszépítve szimbolizálja az őseMBERnek a tűz megszelídítéséhez vezető hosszú és keserves küzdelmét. Tízezer évek sokaságába tellett a pusztító erdőtüzek megzabolázása tábortüzzé, majd a falánk lángok állandó táplálása helyett a tűzcsiholás

módjának feltalálása. E kőkorszakbeli őseinknek köszönhető fejlemény jelentőségét nem lehet túlbecsülni, az messze túlnő energetikai szerepén. A tűz nemcsak fényt és meleget szolgáltatott, hanem a táplálékkészítéstől a ragadozók és a rovarok elleni védelmen keresztül a technika fejlesztéséig sok mindegyikre kihatott.

A technika történetének jelentős része az égés során felszabaduló hő hasznosításának krónikája, a fazekasság kialakulása, fémek kinyerése az ércekből, a fémek feldolgozása, élelmiszer-ipari és vegyipari technológiák kifejlődése, kazánok és kemencék sokféle alkalmazása stb., stb. csak példái a tüzeléstechnika fejlődésétől függő fejleményeknek. A kezdet a növényi, állati és háztartási hulladékok elégetésével nyert hő hasznosítása volt. A fejlődésben nagyon elmaradt néhány térségben a felhasznált tüzelőanyag legnagyobb részét ma is mezőgazdasági hulladékok (növényi maradékok, szárított trágya) teszik ki. A szerszámok fejlődése idővel lehetővé tette a tűzifa kitermelését is, hosszú ideig ez volt a fejlett országoknak is a legfontosabb tüzelőanyaga. A 16–17. században a gyorsan fejlődő kohászat tüzelőigényének kielégítésére egész erdőket kellett kipusztítani, a kibontakozó faválság enyhítésére Angliában és Hollandiában az erdők védelmére „környezetvédelmi” intézkedések születtek, a vasgyártás egy része az erdőkben bővelkedő Svédországba és Oroszországba települt át.

Az ipari forradalom véget vetett a tűzifa dominanciájának, a biomassza nem bizonyult versenyképesnek a szénnel szemben. A becslések szerint a világ tüzelőanyag-felhasználásában a tűzifa részesedése 10% körül mozog, a hulladékok részesedése pedig ennél jóval kisebb. A biomassza – mint megújuló energiafajta – felhasználása ma új megvilágításba került, részben energetikai célra termesztett nyersanyagként, részben hulladékhasznosítási lehetőségként, nemcsak tüzelés céljára, hanem – mint nyersanyag – nemesebb energiahordozók előállítására.

A széllel hajtott vitorlás hajók legalább 6000 éve jelentek meg, a folyók energiáját is hasznosították már az ókori öntözéses birodalmak és a rómaiak. A rabszolgamunka olcsósága miatt az ókorban csak elvétve vették igénybe a szél és a víz kinetikus energiáját gépek hajtására, a szélesebb körű alkalmazás feltételei a középkorban alakultak ki. Az újkor első századaiban a legfontosabb technikai energiaforrássá léptek elő, szél hajtotta a nagy földrajzi felfedezésekre induló hajókat, szélmalomok és vízikerekek voltak a manufaktúrák fő energiaforrásai, a tömeges alkalmazás fénykora a 17–18. századra esik. E két energiafajta a hőerőgépek megjelenésekor elvesztette versenyképességét. A vízenergia hasznosításnak a villamosság megjelenése, a szélenergia alkalmazására korunk szemléletének változása adott új lökést. Jelenleg villamosenergia-fejlesztésre a megújuló energiafajták kiaknázásában a szél- és a vízenergia hasznosítása képviseli a legnagyobb hányadot.

A szén viszonylag későn jutott szerephez, akkor viszont az első ipari forradalom fő hajtóerejévé vált. Addig e nehezen kezelhető, rosszul égő, környezetszennyező anyag alkalmazását kerülték, Angliában még törvény is tiltotta használatát. Előretörése a tűzifa rovására magas fűtőértékével és az égés magas hőmérsékletével magyarázható, valamint azzal, hogy termelékenyen és nagy mennyiségben lehet egy-egy bányából kitermelni. A világ energiamérlegében a szén relatív súlya mintegy 50%-kal az 1930-as években tetőzött (9. ábra), Magyarországon az 1950-es években 75%-kal (10. ábra), ezt követően főleg a mélybányászat visszaszorult, mert termelése drágának és veszélyesnek, égésterméke környezetszennyezőnek és felhasználása munkaigényesnek minősült.

A szén másfél évszázados monopolhelyzetét a 19. század vége felé kezdte megtörni a kőolaj, majd a belső égésű motorok térhódítása nyomán a kőolajból nyert, magas fűtőértékű motorhajtóanyagok használata robbanásszerűen bővült. E folyékony energiahordozók égése homogén összetételük révén jól szabályozható, az égés során jelentéktelen mennyiségű szilárd égéstermék keletkezik, az energiahordozók könnyen szállíthatók és a közlekedésben nagy előny, hogy a járművekben kis térfogatban nagy energiamennyiség tárolható. A kőolajtermékek forradalmi változásokat eredményeztek a közlekedésben, a hadviselésben, a vegyiparban és a tüzeléstechnika különféle alkalmazásaiban. A 20. század derekán elindult hódító útjára a másik szénhidrogénfajta, a földgáz is. Ennek a még tisztább és könnyebben kezelhető tüzelőanyagnak hátránya, hogy használata a szállító infrastruktúrához kötődik. Jelenleg a folyékony és gáznemű szénhidrogének a primer energia legfőbb hordozói, ezek fedezik a világ energiaigényének kétharmadát, arányuk a magyar energiamérlegben is ekkora. Valamennyi fosszilis energiahordozó tüzelésének komoly hátránya a környezetszennyezés, aminek mérséklése komoly erőfeszítéseket követel. Ahogy bővült az energetika dimenziója, úgy nőtt a környezetszennyezés egyes megnyilvánulásainak térbeli kiterjedése, lokális jelenségek regionális kihatásúvá váltak (pl. savas eső), az üvegházhatás már globális jellegű.

Századunk közepén megjelent az atomenergia, kezdetben a végleges megoldás ígéretéeként, amit később erősen elbizonytalanított a társadalmi ellenérzés. A nagy előnyöket (környezetbarát, az üzemanyagban nagy a fajlagos energiakoncentráció, a hasadóanyagok nem ritka elemek a földkéregben) közömbösíti a társadalom bizalmatlansága. Ebben szerepe van az asszociációnak az atombombával, a hidegháborús nukleáris fegyverkezési verseny emlékének, a rettegésnek egy nukleáris katasztrófától (különösen Csernobil óta), a félelemnek a radioaktív hulladékok káros hatásától és az aggodalomnak a nukleáris fegyverfejlesztés megkönnyítése miatt. Bár e problémák technikailag uralhatók, nagyon nehéz az atomenergetika fejlesztéséhez a társadalmi támogatást megszerezni. Ha ez a patthelyzet nem változik meg, a társadalomnak azzal a problémával kell szembesülnie, hogy sikerül-e felgyorsítani az egyelő-

re csak nagyon lassan teret nyerő megújuló energiahasznosítás új irányainak fejlesztését és versenyképessé tételét, vagy – minden hátrányuk ellenére – a fosszilis tüzelőanyagok maradnak a legfőbb energiahordozók.

A megújuló energiák hasznosítása csak fokozatosan hódít teret. A hagyományos lehetőségek (víz- és szélenergiák, biomassza-tüzelés) kiaknázása a helyi adottságokon és a környezetvédelmi követelményeken múlik. Az ezeken túlmenő („nem hagyományos”) energiaformák (közvetlen napsugárzás, geotermia, tengeri energiák stb.) egyelőre csak kivételesen kedvező feltételek között versenyképesek. A környezetvédők erőteljesen követelik szélesebb körű alkalmazását, de az óhajok nem tudják helyettesíteni a gazdasági érdeket.

Nehéz előre látni, hogyan fog alakulni a távolabbi jövő energiaszerkezete. Világszerte erőteljes kutató-fejlesztő munka folyik új megoldások keresésére, ásványi energiahordozók újfajta kiaknázási technológiája, szintetikus tüzelőanyagok előállítása, megújuló energiafajták új hasznosítási lehetőségei, új elvekre alapuló energiaátalakítási eljárások, szabályozott termonukleáris fúzió megvalósítása, hidrogéngazdaság megalapozása és sok más irányzat szerepel a célkitűzések között. A nagy szellemi és anyagi ráfordítások előbb-utóbb bizonyosan sikerre vezetnek, az sem zárható ki, hogy a tudomány előre nem látott új felismerésekkel siet az energetika segítségére, de ma még nem érzékelhető, melyik megoldásnál fog bekövetkezni az áttörés. Fél évszázada még a szakemberek sem sejtették a nukleáris energia hasznosíthatóságát, sőt jeles atomfizikusok még ki is zárták ennek a lehetőségét (amit egy évtized múlva – sajnos – az atombomba és egy további évtizeden belül az első atomerőmű cáfolt meg).

Ki merne ma jóslatokba bocsátkozni, hogy fél évszázadon belül a fizika fel-tár-e alapvetően új lehetőségeket? De az valószínű, hogy az energetika új irányzatainak a jövőben is göröngyös pályát kell majd befutni, ahogy a múltban is értetlenség és félelmek, ellenzés és gyakran szenvedélyes viták kísérték az új megoldások első lépéseit. I. Edward angol király 1306-ban állítólag még lefejeztetett egy londoni polgárt, mert megsértette a szén tüzelését tiltó törvényt, az első vasutakról Bajorországban akadémiai vélemény mondta ki 1838-ban, hogy károsítják az agyműködést, Skóciában a villamosítás első kísérletét az ördög találmányának minősítve tiltották be. A motorizáció hajnalán az amerikai Kongresszusban a szenvedélyes viták hatására majdnem betiltották a benzin szabad forgalmazását tűzveszélyessége miatt és sokan a mezőgazdaságot a tönkremeneteltől féltették, ha a trágyát szolgáltató lovakat kiszorítják az autók. Napjainkban pedig környezetvédő aktivisták a vasúti sínekhez bilincselik magukat, hogy megakadályozzák az atomerőművek üzemanyag-ellátását.

A múltban a primerenergia-struktúrában nem fordultak elő gyors és radikális változások, és ilyesmi a nagy időállandók miatt a jövőben sem várható, amit esetenként a társadalmi befogadókészség hiánya is lassít. Ez viszont a rendszer tehetetlensége miatt azt is jelenti, hogy egy-két évtizeden belül nem várható alapvető változás az energiaszerkezetben.

A természet kínálata

A 12. táblázatban összevetettük az emberiség jelenlegi 400 EJ/évnnyi primerenergia-felhasználását bolygónk körülményeinek és az azon zajló biológiai folyamatoknak néhány jellemző energiaértékével. Természetesen a táblázatban szereplő értékek egy része – különösen az energiavagyonra és a biológiai folyamatokra vonatkozóak – csupán becslések, ezeket ismereteink bővülése számottevően módosíthatja. A táblázat néhány figyelmet érdemlő összehasonlításra azért módot ad. A korábbinál lényegesen lassabb növekedési ütem mellett is a 21. század végére az emberiség évenkénti primerenergia-szükséglete majdnem egy nagyságrenddel fogja meghaladni a jelenlegit, és megközelíti a fotoszintézis energiafelhasználását, ami a Föld teljes növény- és állatvilágát magában foglaló biológiai élet fenntartásának szinte kizárólagos forrása. Az emberiség táplálékának energiaértéke három nagyságrenddel kevesebb korunk technikai energiafelhasználásánál. A jelenlegi technikai lehetőségeinkkel kiaknázható ásványi tüzelő- és hasadóanyag a 21. század energiaigényét még ki tudja elégíteni, de a fenntartható fejlődés követelményeinek teljesítésére új technológiák – pl. tisztaszén-, szén-dioxid-visszatartás, szaporítóreaktor, fúzió – bevezetésére lesz szükség. Korlátozott a megújuló energiafajták kiak-

12. táblázat

A Földre jellemző energiaértékek

A Földre jellemző energiák	EJ*
Az emberiség jelenlegi primerenergia-felhasználása egy év alatt	$4 \cdot 10^2$
Az emberiség éves primerenergia-felhasználása egy évszázad múlva	$(3-4) \cdot 10^3$
Az emberiség kumulált primerenergia-felhasználása napjainkig	$2,5 \cdot 10^4$
A Földet érő napsugárzás egy év alatt	$5,6 \cdot 10^6$
Feltételezhető ásványi tüzelőanyag-vagyon	$3 \cdot 10^5$
Hasadóanyag vagyon mai technológiával	$2,1 \cdot 10^6$
Jelenlegi technikával kiaknázható évenkénti megújuló energia	$(5-10) \cdot 10^2$
A biológiai élet évenkénti energiaigénye a Földön	$(3-4) \cdot 10^3$
Az emberiség egy évi táplálékának energiaértéke	0,15
A Föld hőtartalma	10^{13}
A Föld tömegének energia-egyenértéke	$5,3 \cdot 10^{26}$
A tengely körüli forgás kinetikus energiája	$2,6 \cdot 10^{11}$
A Nap körüli keringés kinetikus energiája	$2,7 \cdot 10^{15}$
Mozgás a Naprendszerrel a Herkules csillagkép felé	$1 \cdot 10^{15}$
Keringés energiája a Tejútrendszer középpontja körül	$1,5 \cdot 10^{17}$

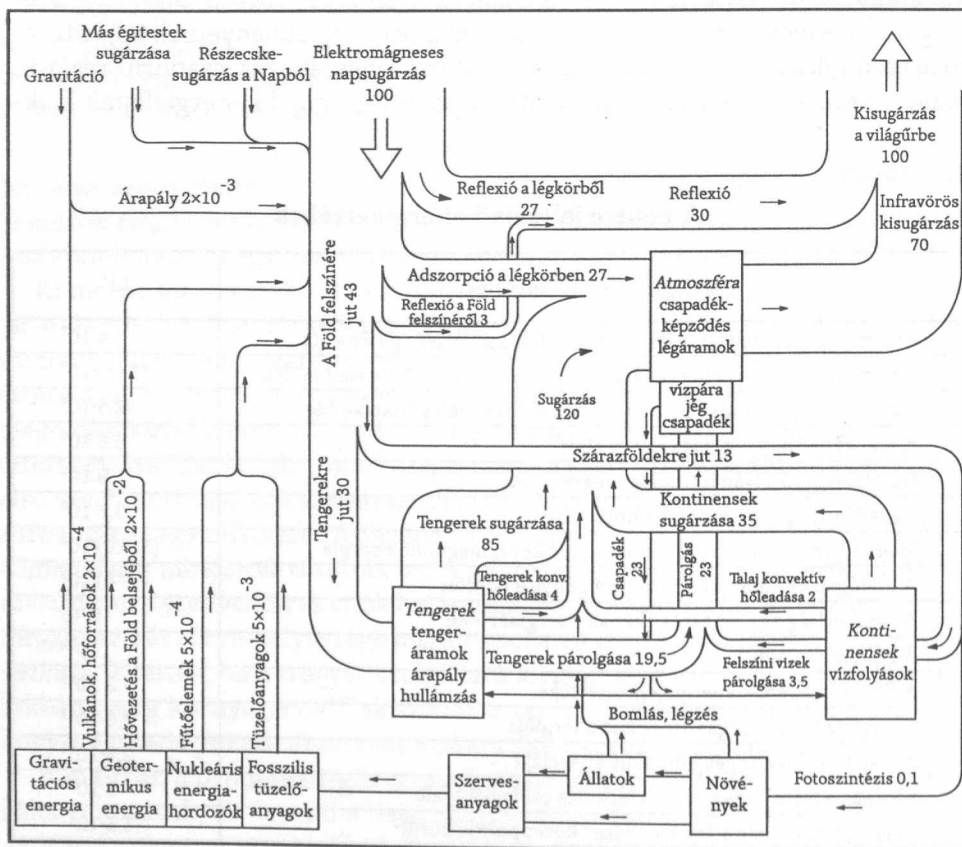
* 1 EJ = 10^{18} joule (= 0,27 PWh)

názhatósága is a jelenlegi technikával, részarányuk lényeges növelésének a feltevése a technika radikális fejlesztése. A Föld létével és mozgásával összefüggő energiák sok nagyságrenddel haladják meg a technikai energiahasznosítást, bármilyen szabadra is engedjük a fantáziánkat, nem tudunk olyan emberi tevékenységet elképzelni, ami bolygónk viszonyait érzékelhetően megváltoztatná. Nem ez a helyzet az életfeltételeket is befolyásoló meteorológiai viszonyok tekintetében, az energetikai eredetű hőkibocsátás hatása a klímára egyes agglomerációk térségében már érzékelhető és ez egy évszázadon belül regionálisan is számottevővé válhat. Az üvegházhatás energetikai eredetű módosítása pedig korunk egyik globális fenyegetésévé vált.

Bolygónk energiaháztartását szemlélteti a 26. ábra, egyben vázlatosan érzékeltetve energetikai lehetőségeinket is. Az ábrán az energiafolyamokat sávok, az

26. ábra

A Föld energiaviszonyai



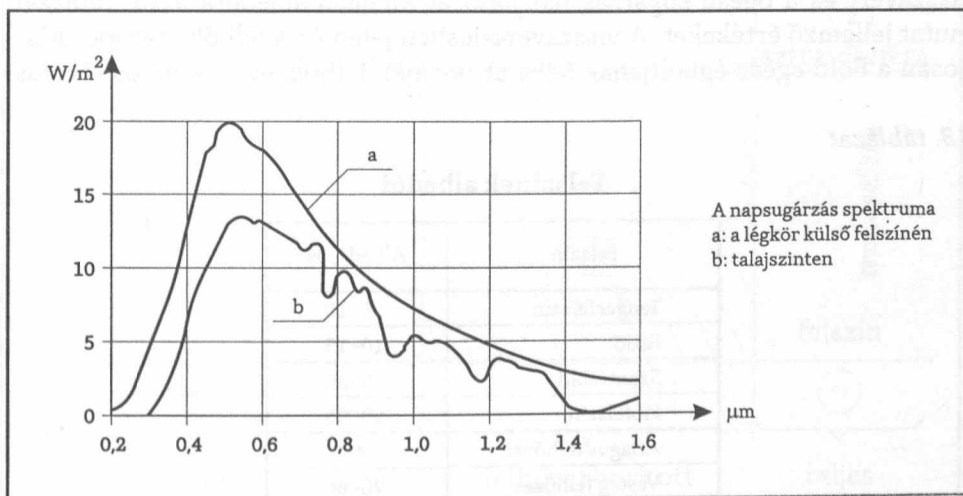
177 PW = 100%

energiatárolókat négyzetek jelölik. Hangsúlyozni kell, hogy a Föld energiaviszonyairól ismereteink még csak vázlatosak, az energiaáramokat és kölcsönhatásokat elemző kutatók eredményei között jelentősek az eltérések, a szaktudományok pontosabb mérései az adatokat a jövőben számottevően módosíthatják. Az ábrán szereplő értékek a teljesítményeknek, illetve az egy évre összegzett energiamennyiségeknek a beeső napsugárzás teljesítményének ($177 \text{ PW} = 5,6 \cdot 10^{24} \text{ J/év}$) százalékában mért arányai. Az energiaértékeket a teljesítmények egyéves folyamatos érvényesülésének feltételezésével számítottuk, változó teljesítmények esetében az időbeli átlagot tekintettük mérvadónak.

A napsugárzás energiája a Nap belsejében 20–50 millió fokok hőmérsékleten zajló fúzióból származik, aminek teljesítményét $3 \cdot 10^8 \text{ EW}$ -ra becsülik. Ez hevíti 6000 K körüli hőmérsékletre a napgolyót övező fotoszférát és ezen burokok sugározza ki az elektromágneses hullámokat a világűrbe. A Nap elektromágneses sugárzásának spektrumát a 27. ábra a jelű görbéje mutatja, a sugárzás energiájának 99%-a a $0,15$ és $4,0 \mu\text{m}$ közötti hullámsávba esik, maximuma a látható kék fénynél ($\lambda = 0,474 \mu\text{m}$) van. A Nap felszínén időnként nagy energiájú folyamatok zajlanak (napfoltok, napkitörések, protuberanciák, napfáklyák), e naptevékenységek azonban csak az elektromágneses sugárzásoknál sokkal kisebb teljesítményű – elsősorban elektronokból és protonokból álló – korpuszkuláris sugárzást befolyásolják, az elektromágnesest nem. A Napból kilépő részecskesugárzás teljesítménye hat nagyságrenddel marad el a Nap elektromágneses sugárzása mögött. A Nap elektromágneses sugárzását az időben nagyfokú állandóság jellemzi, de geológiai korszakok léptékében előfordulhatnak ismeretlen eredetű ingadozások (pl. jégkorszak). A Napból kiáramló ener-

27. ábra

A napsugárzás spektruma



gia- és anyagáramok naponta 363 Gt tömegvesztést okoznak, ennek ellenére a Nap tömege 10 milliárd év alatt csupán 0,01%-kal csökken. A saját galaxisunkból és más galaxisokból származó kozmikus sugárzás teljesítménye is hat nagyságrenddel kisebb a napsugárzásnál. A kozmikus sugárzás spektruma nagyon széles, a rádióhullámoktól a röntgensugarakig terjed.

A napsugárzás teljesítménye a közepes Nap-Föld távolság helyén $1,39 \text{ kW/m}^2$ (napállandó), ekkora teljesítmény érvényesül a földi légkör külső határán a sugárzás irányára merőleges felszínen. A Föld $1,28 \cdot 10^8 \text{ km}^2$ területű síkmetszete a napsugárzás fluxusából 177 PW teljesítményt metsz ki, ami a teljes napsugárzás 10^9 -edénél kisebb hányadot képvisel. E teljesítmény folyamatos besugárzása alapján a Földre eső energia évente $5,6 \cdot 10^6 \text{ EJ}$, de ennél jóval kevesebb jut a talajszintre a légkörben lejátszódó összetett folyamatok miatt.

A légkörön áthaladva a sugárzás lényegesen módosul, a teljesítmény csökken, és a görbe a hosszabb hullámok felé tolódik el. A talajszintre érő spektrumot a 27. ábra b jelű görbéje mutatja, maximuma a látható sárga fénynél ($\lambda = 0,555 \text{ }\mu\text{m}$) van. A beeső sugárzás egy részét a légkör elnyeli. Különösen fontos a sztratoszférában lévő ózonpajzs szelektív abszorpciója az életre veszélyes $0,22 \text{ }\mu\text{m}$ és $0,29 \text{ }\mu\text{m}$ közötti hullámhosszú ibolyántúli sugarakra, a $0,22 \text{ }\mu\text{m}$ -nél rövidebb hullámhosszú sugárzást más gázok (O_2 , N_2 stb.) abszorbeálják. A nagyobb hullámhosszú sugarak abszorpciója legnagyobb részben a troposzférában történik, legjelentősebb a vízgőz hatása, különösen az infravörös tartományban, de más molekulák (CO_2 , O_2 , N_2O , CH_4 stb.) szerepe sem mellékes. Nemcsak az abszorpció csökkenti a lefele irányuló sugárzást, hanem a szóródás is. A sugarak a levegőt alkotó részecskébe (atomok, molekulák, porszemek, vízcseppek, jégkristályok) ütközve irányt változtatnak és egy részük kilép a világűrbe.

Az elnyelésen és szóráson kívül a visszaverődést is figyelembe kell venni, a visszavert és a beeső sugárzás hányadosát kifejező albedóra a 13. táblázat mutat jellemző értékeket. A visszaverődésben jelentős a felhők szerepe, átlagosan a Föld egész égboltjának 54%-át borítják felhők, ezek 48%-os átlagos

13. táblázat

Felszínek albedói

Felszín	Albedó, %
Tengerfelszín	5–10
Erdő	10–15
Szántóföld	5–30
Hófelszín	50–95
Átlagos felhőzet	48
Vastag felhőzet	70–80

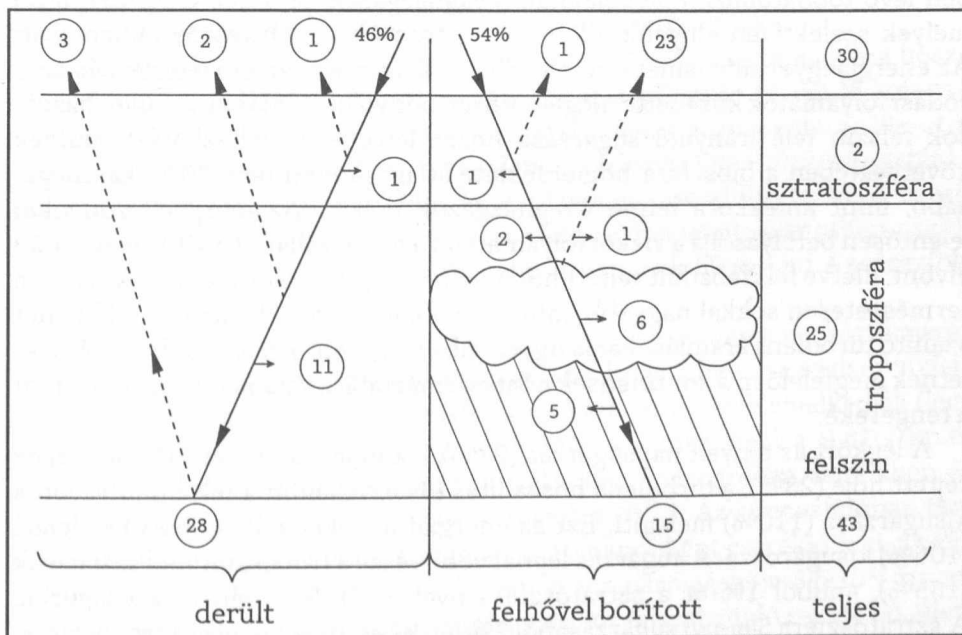
albedóját figyelembe véve a felhőzet veri vissza a beeső napsugárzásnak mintegy negyedét.

A beeső napsugárzás sorsát sematikusan a 28. ábra szemlélteti. A beérkező napsugárzás 46%-a felhőtlen, derült területen éri a Földet, e teljesítményhányadból 1%-ot a sztratoszféra ózonpajzsa, 11%-ot a troposzféra nyel el, szóródás következtében kilép a világűrbe 3% és a felszínről ugyancsak 3% visszaverődik. Vagyis a beeső 46%-ból 12%-ot elnyel a légkör, 6% közvetlenül visszaverődik a világűrbe, és a megmaradó 28%-ot nyeli el a felszín a derült területen. A felhővel borított területet éri a beeső napsugárzás 54%-a, ebből az ionoszféra 1%-ot elnyel és 1%-ot kiszór, a felhők feletti légrétegek 2%-ot nyelnek el, így a felhőket a sugárzás 50%-a éri. A felhők felső rétegeiről 24% verődik vissza, de ennek 1%-át is elnyeli a levegő, így csak 23% jut ki a világűrbe. Maguk a felhők 6%-ot, az alattuk levő sűrű légrétegek 5%-ot abszorbeálnak, a felszínre csupán 15% jut. Az előző – hozzávetőleges – kép szerint a Földre jutó napsugárzásnak kerekén 30%-a visszaverődik, 27%-át elnyeli a légkör és 43%-a ($76 \text{ PW} = 2,4 \cdot 10^6 \text{ EJ/év}$) jut a talajszintre.

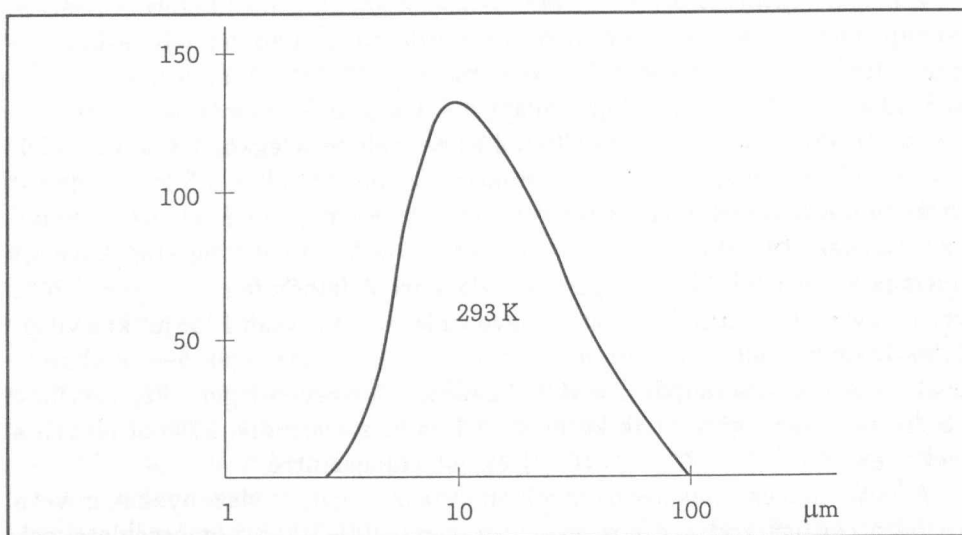
A légkörben és a felszínen elnyelt energia módosítja a viszonyokat, mivel a közölt hő kisugárzódik. A sokkal alacsonyabb, 200–300 K hőmérsékleteknek megfelelően ez a sugárzás a 4 és 100 μm közötti infravörös spektrumba esik, maximuma 10 μm táján van, példaképp a 29. ábra a 20°C hőmérsékletű fekete

28. ábra

Napsugárzás-mérleg



Az infravörös sugárzás spektruma a felszínen



test sugárzási spektrumát mutatja. Ilyen jellegű görbékkel lehet a felszín sugárzását jellemezni, de a spektrumot lényegesen módosítja a levegőben levő részecskék szelektív abszorpciója, mialatt a sugárzás áthalad a Föld légkörén. Az energiaviszonyok alakulásában megkülönböztetett szerepe van a légkörben levő többatomos molekuláknak (üvegházgázok, pl. H_2O , CO_2 , CH_4 stb.) melyek szelektíven elnyelik, illetve kisugározzák az infravörös hullámokat. Az energiaegyensúly ismétlődő elnyelési, kisugárzási, visszaverődési és szóródási folyamatok közepette meglehetősen bonyolultan alakul. Az üvegházgázok felszín felé irányuló sugárzása hozza létre az üvegházhatást, aminek következtében a bioszféra hőmérséklete átlagosan mintegy 30°C -kal magasabb, mint amekkora lenne üvegházgázok nélkül. Az energiaviszonyokat jelentősen befolyásolja a vízkörfolyamatban a halmazállapot-változások során elvont, illetve felszabadult rejtett hő. Az elpárologtatásban a tengerek szerepe természetesen sokkal nagyobb, mint a szárazföldeké. A felszínről felfelé hőt szállító turbulens áramlásokat is figyelembe kell venni, a magasabb hőmérsékletnek megfelelően a kontinensek hőátszármaztatása valamivel nagyobb, mint a tengereké.

A légkört az elnyelt napsugárzás (27%), a kondenzálódó és kifagyó vízgőz rejtett hője (23%), a turbulens hőszállítás (6%), valamint a felszín infravörös kisugárzása (110%) melegíti. Ezt az energiát a légkör felfelé (60%) és lefelé (106%) kisugározza. A sugárzás legnagyobb része a troposzférából származik (165%), amiből 1%-ot a sztratoszféra nyel el, és 58% lép ki a világűrbe. A sztratoszféra 5%-nyi sugárzásából 2% lép ki, és 3%-ot nyel el a troposzféra.

A légkörben felhalmozódó hatalmas energia összetett folyamatok forrása. Az atmoszférából az energia egy kis része a csapadékkal jut a felszínre, a többi végső fokon kisugárzódik. Az atmoszférán belül azonban az egyenetlen hőmérséklet-eloszlás nyomáskülönbségeket ébreszt, ezek alapvetően a troposzférában lejátszódó nagyon bonyolult vertikális és horizontális légmozgásokat okoznak. A függőleges és vízszintes légmozgásokat sok tényező befolyásolja, a beeső napsugárzás térbeli eloszlása, a gravitáció, a Föld forgása által okozott centrifugális és Coriolis-erő, a sűrűlódás, lokális hőmérséklet- vagy nyomáskülönbség (a vizek és a szárazföld között, a domborzat eltérítő hatása miatt, eltérő légnedvesség következtében stb.). A legtartósabb légmozgás a trópusi és a sarkvidéki övezetek hőmérséklet-különbsége által okozott általános légkörzés, erre szuperponálódhatnak tartósabb regionális légmozgások (pl. passzát, monszun). Viszonylag állandóak a tenger és a szárazföld hőmérséklet-különbségét kiegyenlítő szelek, hosszabb ideig érvényesülnek a mérsékelt égövben kialakuló – nyugati – szelek. Rövidebb ideig hatnak a lokális vagy regionális nyomáskülönbségek okozta ciklonok, és a kisebb kiterjedésű, de nagy energiájú turbulens képződmények (tornádó, hurrikán, tájfun). E rendkívül bonyolult, összetett folyamatok energiaviszonyairól ismereteink még hézagosak. Bár a légmozgásokban megtestesülő mozgási energia a légkör teljes energiájának csupán kis része, hatalmas teljesítményt képvisel, összesített értékét a becslések 1,5 PW-ra becsülik. A mozgási energia legnagyobb része a sűrűlódás révén hővé alakul és a légkört melegíti, a függőleges mozgás potenciális energiaváltozást is okoz. A szelek legnagyobb részét a troposzférában alakulnak ki, sebességük és ezzel a kinetikus energiájuk a magasság függvényében deformált haranggörbe szerint alakul, 1-2 km-nél fellépő maximummal, a földfelszín közelében lényegesen kisebb értékkel.

A felszín hőbevétele a beeső napsugárzásból (43%) és a troposzféra hosszúhullámú sugárzásából (106%) tevődik össze, a hőleadás három fő komponense: a felszín kisugárzása (120%, amiből 108%-ot a troposzféra, 2%-ot a sztratoszféra nyel el, 10% kilép a világűrbe), a felszíni vizek elpárolgottatásához szükséges párolgási hő (23%), és a turbulens hőszállítás (6%). A beeső napsugárzás a kontinensek és a tengerek között felületeik arányában oszlik meg, a Föld felszínére érkező 76 PW teljesítménynek 29%-a jut a szárazföldekre (22 PW).

A légkör és a felszín kölcsönhatásában nagy szerepe van a víz körforgásának. Mintegy 2,4 MJ energia szükséges ahhoz, hogy 1 kg víz a szabad vízfelszínről elpárologjon, és a vízgőz a felhőképződés szintjéig felemelkedjék (légköri nyomáson a víz párolgáshője 2,26 MJ/kg, ehhez járul a 9,81 J/kg emelési munka). A becslések szerint a légkörben a vízpárában, felhőkben és csapadéokban lévő latens hő együttes értéke $1,3 \cdot 10^{26}$ J. Az atmoszférában tartózkodó átlagosan 14 Tt mennyiségű víz 9-10 naponként cserélődik ki, az egy napra eső globális csapadék 1,44 Tt, ennyi víz párolgáshője $3,5 \cdot 10^{21}$ J/nap. A gőz kondenzálódásakor, illetve megfagyásakor felszabaduló rejtett hő, illet-

ve a csapadék (eső, hó, jég) mozgása közben fellépő súrlódási és ütközési veszteség a felhőket melegíti. Ez az energia a felszíni hasznosítás szempontjából elvész, és ugyancsak veszendőbe megy a felhő és a felszín közötti potenciális energia legnagyobb része is. A potenciális energiának csak az a kis hányada térül vissza, amit a tengerszintnél érdemlegesen magasabban fekvő szárazföldi vízgyűjtő területekre hulló csapadékból a vízfolyásokba kerülő hányad potenciálja képvisel.

A geotermikus energia szabatosan nem megújuló, de a kiapadása nagyon hosszú időbe telik. Alapvető forrása a földkéreg felső, mintegy 20 km-es részében a ^{40}K izotóp, illetve az U-, és Th-sorok radioaktív bomlása. A felszabaduló hő $4 \cdot 10^{21}$ J körüli értékű, a felszínre jutó teljesítmény 35 TW. Egyes térségekben növeli a hőátzármaztatást a tektonikus törésvonalak térségében a felszín közelébe jutó magma is. Az energia legnagyobb része a kőzetek átlagosan $0,05 \text{ W/m}^2$ mértékű hővezetésén keresztül, kisebb hányada a hévizek és vulkánok konvektív hőszállításával jut a felszínre.

A felszín hőbeviteléből az óceánokra esik a legnagyobb rész. A meleg tengerek energiabevitelének hasznosítását célzó javaslatok a felszín meleg és a mélyebb rétegek hideg hőmérséklete közötti körfolyamatot ajánlanak (OTEC – Ocean Thermal Energy Conversion, tengeri termikus energia átalakítása). A tengerekben a hőmérséklet-különbségek és a sókoncentráció változásai áramlásokat okoznak, amit a széljárás is befolyásol (Golf, Humboldt, Labrador, El Nino áramok stb.). A tengerek felett uralkodó néhány TW teljesítményű szelek gerjesztik a tenger hullámzását. A tengeri áramlások és a hullámzás energiájának számítása kiforratlan, de a gyakorlati hasznosítás lehetőségei szerények, mivel a mozgási és potenciális energia fajlagos értéke kicsi.

Csillagászati adatokból számítva az árapály összesített teljesítményének becsült mértéke 3 TW. (Egyelőre csak tudományos érdekesség, hogy az űrhajók pályájának befolyásolására kihasználják más égitestek gravitációs terét.)

A Földön található biomassza energiataralma $\sim 1,5 \cdot 10^{22}$ J, ami átlagosan 3-5 évenként újul meg. A biológiai élet fenntartásában legnagyobb szerepet játszó fotoszintézis energiaszükségletét $3,2 \cdot 10^{21}$ J/év-re becsülik (~ 150 TW), ami a beeső energia egy ezreléke alatt van. Az évente hasznosított energia harmada az óceánok élővilágának fenntartására szolgál, másik harmadát a trópusi és szubtrópusi erdők használják fel, a harmadik harmad a szárazföldi lét többi részét szolgálja, aminek csak kb. 2,5%-a az emberiség mező- és erdőgazdaságának részesedése. Az emberiség táplálékának számított energiaértéke 10^{19} J/év (másfél nagyságrenddel kisebb a technikai energiafelhasználásnál).

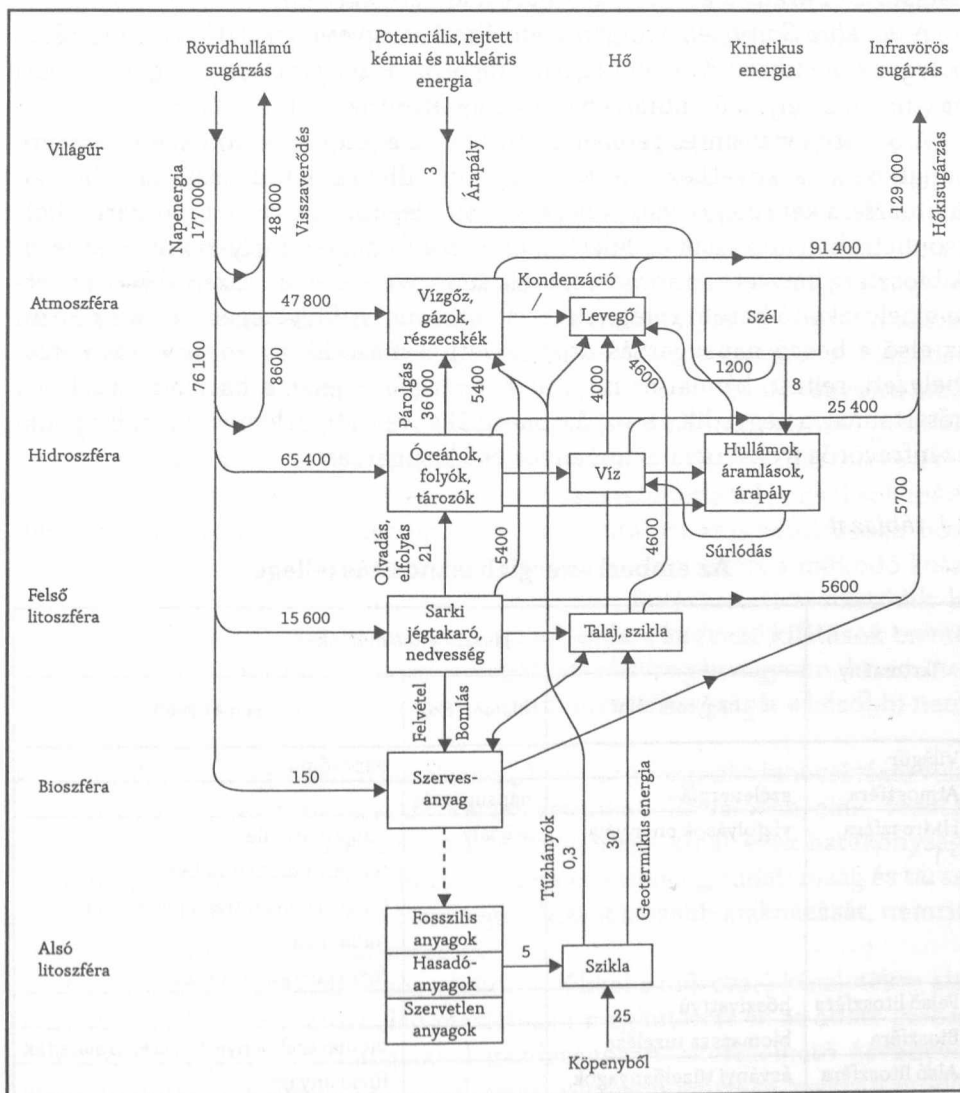
A növényeket alkotó szénhidrátokat felépítő fotoszintézist a növények citoplazmájában található kloroplaszt vezérli. Az energia legnagyobb részt víz- és szén-dioxid-molekulák bontására fordítódik, az energiaátalakítási folyamatnak nagyon rossz a hatásfoka, átlagértéke egy-két százalék. A biomassza anyaga végső soron anyagcsere és bomlás révén a légkörbe és a talajba

kerül. Kedvező feltételek mellett az elhalt élőlények egyes fajtáinak üledékéből képződnek a fosszilis ásványi tüzelőanyagok. Ezen nagyon lassú átalakulási folyamatokat a földkéregben érvényesülő hatások hozzák létre.

Az energiaviszonyok többszörös bonyolult átrendeződése közepette is teljesülni kell a Föld termikus egyensúlyának. Ennek feltétele, hogy a bolygó ere-

30. ábra

Az energiátípusok szerepe a Földön



A teljesítmény léptéke TW.

dő kisugárzása megegyezzen a beeső 177 PW-al. A 30%-os visszavert nap-sugárzás és a kilépő 70%-nyi infravörös sugárzás (10% a felszínről és 60% a légkörből) összege ezt a globális egyensúlyt biztosítja. Ritkán esik szó arról, hogy befolyásolja-e az emberi tevékenység bolygónk energia-egyensúlyát. Az üvegházhatás erősödése csupán a légkör és a felszín közötti energiameg-
oszlást módosítja, a globális egyensúlyt nem érinti. A fosszilis és nukleáris energiahordozókkal jelenleg évente fejlesztett hő a szárazföldekre beeső nap-sugárzás tized ezreléke, ami kis hányad, de vajon hol kezdődik a mértékadó hatás? Ez az arány a 21. század végére már ezrelékre nő.

A 30. ábra Sorensen nyomán szemlélteti az egyes energiatípusok mértékét bolygónk vertikális övezetei szerint tagolva, a 14. táblázat pedig az emberi hasznosítás helyzetét mutatja be e tartományok szerinti bontásban.

A 30. ábra vízszintes rétegei közül az első a földi légkörön kívüli térségre vonatkozik, a következő kettő a légkört, illetve a hidroszférát jellemzi. A litoszféra két rétegre van bontva, a felső a légkörrel és a vízrendszerrel köl-
csönhatásban álló talajt és felszínt, az alsó a földkéreg mélyebb rétegeit jelzi. A bioszféra helyzete az ábrán nem teljesen következetes, hiszen abban a felet-
te elhelyezkedő három rétegnek is van szerepe. A függőleges oszlopok közül az első a beeső napsugárzás útját követi, a második az anyagokhoz kötött (helyzeti, rejtett, kémiai és nukleáris) energiákat jelzi, a harmadik oszlop a hőtartalmat, a negyedik a mozgási energiákat veszi figyelembe, az utolsó pedig az infravörös frekvenciatartományba eső kisugárzást.

14. táblázat

Az emberi energiahasznosítás jellege

Tartomány	Hasznosítás mértéke		
	nagymértékű	kismértékű	reménybeli
Világűr			naperőmű
Atmoszféra	szélenergia	napsugárzás	
Hidroszféra	vízfolyások energiája	árapály	tengeri áramlás, tengeri hőfokkülönbség, tengeri koncentrációkülönbség, hullámmás, fúzió energiahordozói
Felső litoszféra	hőszivattyú		
Bioszféra	biomassza tüzelése		biomasszából nyert más energiatípusok
Alsó litoszféra	ásványi tüzelőanyagok, hasadóanyagok, geotermikus energia		fúzió anyagai

Hasznosítható energiaforrások

Bolygónk energiaviszonyainak bemutatása elsősorban a potenciálok és a nagyságrendek érzékeltetését szolgálta, abból a hasznosítható energia mértékére csak nagyon áttételesen lehet következtetni. Jelenleg a világ primerenergia-felhasználásának több mint 80%-a ásványi tüzelőanyagokra alapul. Az energetika lehetőségeinek reális felmérése alapján az ásványi tüzelőanyagoknak ez a domináns szerepe egy-két évtizeden belül nem változik. Egyrészt az ösztönzött más lehetőségek nehezen válnak gazdaságilag versenyképesé, másrészt ilyen időintervallumon belül nem is alakulhatnak ki nagyléptékű változások, az energetika nagy időállandói miatt.

A gyors változtatást igénylő nézetek a sürgősséget gyakran a világ műrevaló szénhidrogénvagyonának – mindenek előtt a kőolajnak – a közeli elapadását jósoló prognózisokkal indokolják. Az ilyen jóslatok arra alapulnak, hogy a vagyon élettartamát jellemző ellátottság – ami a műrevaló készletek és az adott időpontra jellemző termelés mértékének hányadosa – néhány évtizednyi. Ám a 20. században a világ kőolaj-ellátottságát mindig néhány évtized jellemezte, a termelés tonnában mért mennyiségének mind a század eleji néhány milliós, mind a jelenlegi néhány milliárdos szintjén. A kiapadás-sal fenyegető jóslatok nem veszik figyelembe, hogy a műrevaló vagyon a múltban folyamatosan nőtt, sőt az utóbbi évtizedekben a kitermelésnél gyorsabban. A földtani ismeretek feljogosítanak további növekedés feltételezésére a belátható jövőben, jelentős új felfedezések sem lehetetlenek, mivel sok még a meg nem kutatott ígéretes térség. A földtani kutatást az is befolyásolja, hogy a túl nagy kőolajkészleteknek ármérséklő hatása van, ezért a működő kutak élettartamát lényegesen meghaladó készletek feltárása nem fizetődik ki. A pesszimista jóslatokat az élet nem igazolta, de a kedvező kilátások természetesen nem jelentik azt, hogy a véges szénhidrogénvagyonnal nem kell takarékosan gazdálkodni, biztosítva annak használhatóságát a későbbi nemzedékek számára is.

A türelmetlenség másik oka a félelem, hogy az energetika kibocsátásai visszafordíthatatlanul tönkreteszik környezetünket. Ez valóban akut veszély, aminek visszaszorítására a technika sok megoldást kínál, ezek hatékonysága csak az anyagi ráfordításokon múlik. Sajnos értetlenség, tudatlanság és társadalmi tévhitek korlátozzák a lehetőségek leghatásosabb kiaknázását, nemritkán rossz döntéseket kényszerítve ki.

A gazdálkodás az ásványi energiahordozókkal a műrevaló készletekre alapul. Műrevalónak a geológiai részletesen megkutatott és az adott időben rendelkezésre álló technológiákkal gazdaságosan kitermelhető ásványvagyonot tekintik. A műrevaló energiahordozó-vagyon mértéke gyakran módosul, többnyire nő, mert a földtani kutatások az ásványvagyon újabb előfordulásait tárják fel, és a technológia fejlődése is bővíti a kitermelhető előfordulások

körét. Jelentős a világpiaci határkölség (a még kitermelésre érdemes legkedvezőtlenebb előfordulás költsége) szerepe is, növekedése szintén bővíti a műrevaló vagyon körét. A feltárt ásványvagyon geológiai és technológiai okokból nem lehet teljes mértékben kitermelni. Fluid energiahordozóknál a mélységben uralkodó rétegyomás, valamint az áramlást akadályozó hatások, szilárd bányatermékeknel a munkahely stabilitása és a munkavégzés biztonsága korlátozza a kitermelhetőséget. Ezt jellemzi a kihozatali tényező, amit a felszínre hozható és a mélységben található (in situ) mennyiség arányával értelmeznek. A kihozatali tényező kőolajnál 0,3–0,5, földgáznál 0,8–0,9 és szénnél 0,5 körüli érték.

A műrevalónál jóval nagyobb a földtani vagyon, amibe a nem műrevaló előfordulásokat is beleértik, ha azok megkutatottsága elég részletes. A reménybeli vagyon is több a műrevalónál, meglétét földtani vizsgálatok támasztják alá, de az előfordulás nincs részletesen megkutatva. Az eddigiek sokszorosát teszi ki a feltételezett vagyon, aminek becslése analógiákra és egyéb indikációkra alapul. Megjegyzendő, hogy a készlet- és vagyonkategóriák megnevezése és kritériumai nem egységesek, mind energiahordozók, mind országok és nemzetközi szervezetek szerint előfordulnak eltérések, ami zavarja az áttekintést. Így pl. az ismert vagyon nevezik iparinak, kitermelhetőnek, feltártnak, bizonyítottnak, megalapozottan bizonyítottnak, a kevésbé részletesen megkutatottnál lehetséges vagy indikált jelzőt alkalmaznak, egyes országokban csak betűvel vagy számmal kategorizálnak. Az ismert, de részletesen nem megkutatott vagyonnál becsült, perspektív, lehetséges feltételezett, járulékos megkülönböztetések vagy szám és betűjelzések szokásosak. A nem ismert vagyonnál becsült járulékos, prognosztizált, spekulatív, reménybeli megnevezések használatosak. Eltérőek a kategóriákba sorolás feltételei is. Az egységesítés érdekében az Európai Gazdasági Bizottság új kategorizálási rendszer bevezetését kezdeményezte, figyelembe véve a geológiai megkutatottság mértékét, a hasznosítás gazdasági kilátásait és a kiaknázás módjának kidolgozottságát.

Az ásványvagyonról publikált adatok erősen szórnak, azok gazdasági, politikai vagy stratégiai érdekből gyakran nem is hitelesek. A 15. táblázat bemutatja a jelenleg legelfogadottabb adatokat a világ műrevaló fosszilis ásványi energiahordozó vagyonáról, valamint a világ földtani energiahordozó vagyonának becsült mértékét, főleg a WEC és az IAEA alapján. Valószínű, hogy a vagyon jelentős hányadát politikai, gazdasági, technológiai, vagy környezetvédelmi okokból nem is fogják kiaknázni. Példázza ezt, hogy a versenyképtelenség miatt bezárt urán és szénbányáinkban jelentős energiahordozó vagyon maradt véglegesen vissza.

Az energiahordozók között a vezető szerepet a kőolaj tölti be, stratégiai jelentősége miatt a kőolajellátás az országok energiapolitikájának meghatározó tényezője. A geológiai körülményektől és a kitermelés technológiájától függően a porózus kőzetekben elhelyezkedő kőolajnak csak 30–50%-át lehet felszínre hozni e

A világ fosszilis energiahordozó vagyona

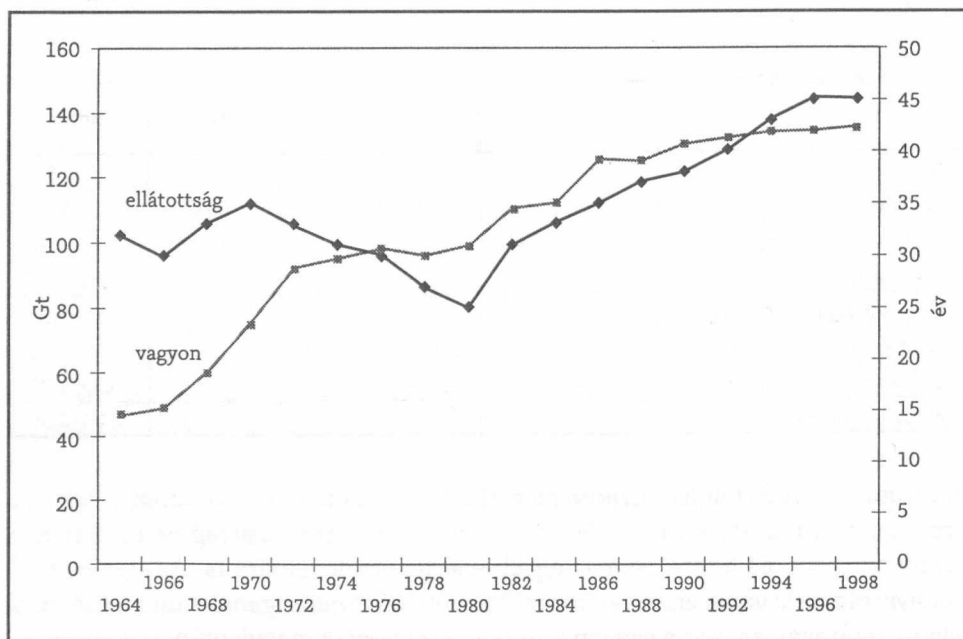
Energiahordozó	Vagyon		Energiaérték, 10 ⁵ EJ	
	műrevaló	földtani	műrevaló	földtani
Kőolaj	135 Gt	280Gt	0,057	0,118
Földgáz	124 Tm ³	300–600 Tm ³	0,047	0,11–0,22
Szén	990–2 000 Gt	4,5–5,5 Tt	0,2–0,4	1,42–1,63
Összesen			0,3–0,5	1,65–1,97
Nem konvencionális olaj		500–2 500Gt		0,2–0,97
Nem konvencionális gáz		500–1 000 Tm ³		0,19–0,35
Összes nem konvencionális				0,39–1,33
Fosszilis vagyon			0,3–0,50	2,04–3,30

kihozatali arányon felüli hányad végleg a föld mélyében marad. A kőolaj világpiaci ára általános etalonná vált, ahhoz igazodik a többi tüzelőanyag és motorhajtó üzemanyag ára, és áttételesen az egyéb energiahordozók ára is. Az árszínvonal befolyásolja az ásványi energiahordozó vagyon műrevalóságának minősítését is, a jelentősebb ármozgások a vagyon átminősítését vonják maguk után.

A világ jelenlegi műrevaló kőolaj vagyona 140 Gt, a számításba vehető vég-ső vagyont a jelenlegi ismeretek alapján 300–400 Gt-ra becsülik. A 32. ábra szemlélteti, hogy a világ műrevaló kőolajvagyona nemcsak nőtt, hanem a várható élettartama is emelkedett. Az utóbbi két évtizedben a feltárt vagyon háromszor gyorsabban nőtt, mint a kitermelés, ennek következtében az ellátottság 45 évre emelkedett a sok évtizeden keresztül érvényesülő 30 év körüli értékről. A viszonyokat alapvetően megváltoztatta a tenger alatti termelés kibontakozása, ami már a felhasználás harmadát fedezi. A földtani kutatás és a termelési technológia fejlődése alapján már a több ezer méter mélységű tenger alatti vagyon is műrevalóvá vált. Ugyancsak az ellátottság növekedését mozdította elő, hogy az 1970-es évek kőolajkrízise ösztönözte a kőolajkutatást a politikailag és gazdaságilag stabil régiókban, melyek államai nem tagjai az OPEC-nek, azaz a kőolajexportáló országok szervezetének.

A kőolajellátás nagy gondja, hogy a vagyon nagyon egyenlőtlenül oszlik el a világon (33. ábra), a műrevaló készlet kétharmada a Közel-Keleten található, és ez a térség gazdasági, társadalmi és politikai szempontból sem stabil. Az 1 Gt-t meghaladó olajvagyonnal rendelkező országokat a 16. táblázat mutatja be. A világ kőolajtermelése jelenleg kerekén 3,4 Gt/év, a legnagyobb termelők: Szaúd-Arábia, Egyesült Államok, Oroszország, Irán, Mexikó, Venezuela, Norvégia, Kína, Arab Emirátusok, Egyesült Királyság. Az egyenlőtlen eloszlás következménye, hogy a világ termelésének mintegy felét exportálják. A legjelentősebb

A világ műrevaló kőolajvagyonának és ellátottságának alakulása



exportőrök: Szaúd-Arábia, Irán, Irak, Kuvait, Egyesült Arab Emírátsok, Venezuela. Az exportnak több mint 50%-a OPEC-országokból származik. Az utóbbi évtizedben jelentősen nőtt az export e szervezeten kívüli térségekből, így Mexikóból, Brazíliából, Kínából és az Északi-tenger alatti norvég termelésből.

A gyarmatbirodalmak megszűntéig a nagy olajtársaságok és a nagyhatalmak kíméletlen, nyílt harcot folytattak az olajforrások birtoklásáért. Ezt követően a módszerek finomodtak, de az olajforrások feletti befolyás megszerzése az utóbbi időben is számos nemzetközi konfliktust, sőt helyi háborúkat robbantott ki. Különösen megrázta a világot az „olajfegyver” bevetése az arab OPEC-országok részéről az 1973. évi negyedik közel-keleti háborúban. Ez egyrészt a kőolaj világpiaci árának többszörösére emelését, másrészt egyes országok felé olajembargó bevezetését jelentette. E lépések nemcsak súlyos energiaellátási zavarokat okoztak a legtöbb országban, hanem katasztrofális gazdasági következményekkel is jártak.

Az 1970-es évek fejleményei erőteljes kutatás-fejlesztési programokat élesztettek a kőolaj helyettesítésére, melyek eredményei számos lehetőséget kínálnak a kőolajtermékek kiváltására, de a jelenlegi olajárak mellett még nem versenyképesek. A konvencionális olajtermelés pótlására számításba jöhetnek a kőzetekhez erősebben kötődő, nem konvencionális kőolaj-előfordulások (pl. olajpala, bitumenes homok). A nem konvencionális olajvagyonról az adatok

Az 1 Gt-nál nagyobb olajvagyonnal rendelkező országok

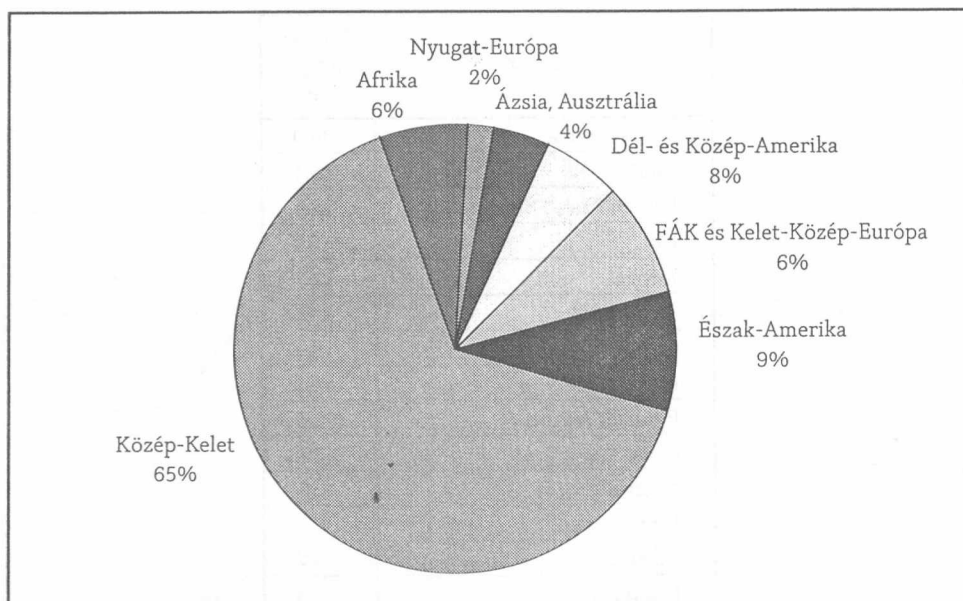
Ország	Műrevaló olajvagyon, Gt
Szaúd-Arábia*	36,0
Irak*	15,1
Egyesült Arab Emírátságok*	12,6
Irán*	12,3
Kuvait*	13,3
Venezuela*	10,5
Oroszország	6,7
Mexikó	4,1
Egyesült Államok	3,5
Líbia*	3,9
Nigéria*	3,1
Kína	3,3
Algéria*	1,2
Norvégia	1,4
Kazahsztán	1,1
Aszerbajdzsán	1,0
Brazília	1,0

* OPEC-tagországok

hézagosak, a becslések függenek a kőzetek olajkoncentrációjától. A 0,1–0,4 l/kg olajtartalmú olajpalából kivonható olajvagyon a konvencionális vagyon nagyságrendjében levőnek tekintik, a 0,04–0,1 l/kg koncentrációtartományban levőt viszont sokkal többnek. Az olajtartalmú (olajos, kátrányos, bitumenes, aszfaltos) homokokból kinyerhető vagyont még nagyobbra becsülik. A kőzetekből termikus eljárással vonható ki a nagy viszkozitású, nem konvencionális olaj, melynek mennyiségét 500 és 2 500 Gt közé becsülik. Egyes nagyon nehéz olajok kitermelésének elősegítésére jelenleg is alkalmaznak termikus eljárásokat.

Több eljárást fejlesztettek ki cseppfolyós szénhidrogének előállítására szénből, ezekkel a 2. világháború idején üzemszerűen is gyártottak motorhajtó üzemanyagokat Németországban és Dél-Afrikában. Az utóbbi országban jelenleg is alkalmazzák a technológiát. Szükség esetén a hatalmas szénvagyon is a kőolaj-helyettesítés szolgálatába állítható. További lehetőség a biomasszából vegyipari eljárásokkal motorhajtó alkoholok (metanol, etanol), illetve gázolajat helyettesítő szerves olajok (biodízel) előállítása. Ilyen célra a hagyományos mezőgazdasági művelésből kivont területeken gyorsan növekvő, szén-

A világ műrevaló kőolajvagyonának megoszlása

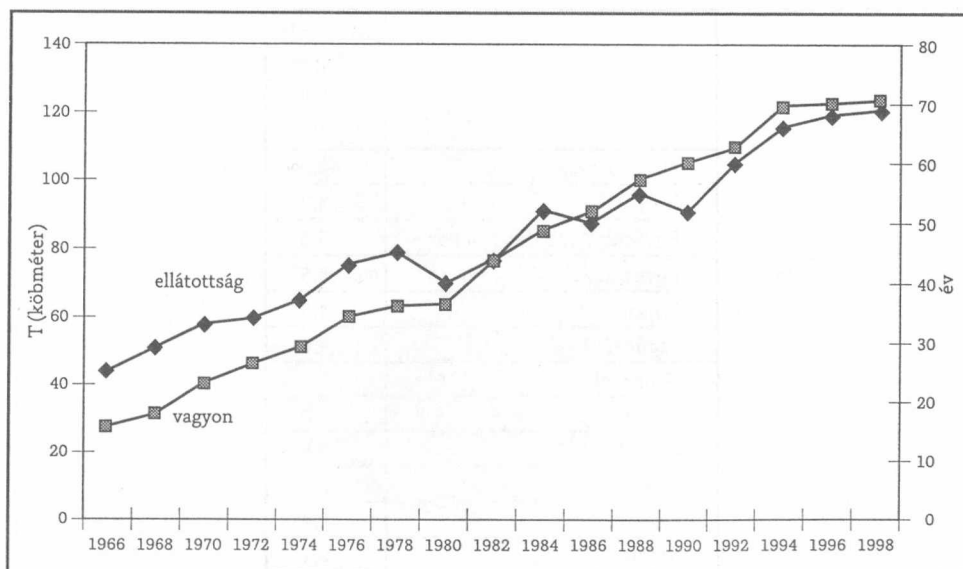


hidrátban gazdag fajokból energiaültetvényeket is javaslatba hoznak, amit Brazíliában nagyléptékben meg is valósítottak. Mindezek alátámasztják, hogy a cseppfolyós szénhidrogén-ellátás ellehetetlenülésétől hosszabb távon sem kell tartani, a kőolaj pótlása, illetve helyettesítése megoldható, de természetesen a jelenleginél lényegesen magasabb árszínvonalon.

Magyarországon jó minőségű kőolaj található, de csak szerény mennyiségben, a műrevaló mennyiség 18 Mt körül mozog. A geológusok további jelentős kőolaj-előfordulások felfedezésében nem reménykednek, mivel az országot már alaposan megkutatták. Ezért a racionális rezervoárgazdálkodás érdekében a kőolaj-kitermelés tendenciája csökkenő, a századfordulót követően 1 Mt/év alá mérséklődik, ami a szükségletek 10%-át is alig fedezi.

A földgáz használata világszerte gyorsan bővül, részaránya a világ energia-mérlegében utoléri a kőolajét. Legnagyobbbrészt tüzelőanyagként használják, megkezdődött az alkalmazása motorhajtásra és jelentős a vegyipari alapanyagként történő hasznosítása is. A földgáz nagyon magas kihozattalal (~90%) lehet kitermelni, de egyes előfordulásai jelentős mennyiségben tartalmaznak éghetetlen (inert) alkotókat, pl. CO_2 -t, N_2 -t, nemesgázokat. Az utóbbi években a világ földgázvagyonja is gyorsabban nőtt, mint a kitermelés, amiben jelentős szerepe van a tenger alatti előfordulások hozzáférhetővé válásának. Ennek tudható be, hogy a műrevaló vagyonból a korábbi 30-40 éves ellátottság az 1990-es években megközelítette a 70 évet (33. ábra). A világtermelés

A világ műrevaló földgázvagyonának és ellátottságának alakulása



1999-ben $2,5 \text{ Tm}^3/\text{év}$ volt, a legnagyobb termelők: Egyesült Államok, Oroszország, Kanada, Egyesült Királyság, Indonézia, Algéria, Hollandia, Üzbegisztán, Szaúd-Arábia, Irán.

A világ ismert műrevaló földgázvagyona 147 Tm^3 , a földtani vagyont jelenleg $300\text{--}600 \text{ Tm}^3$ -re becsülik. Hasonló mértékűre, $500\text{--}1\,000 \text{ Tm}^3$ -re teszik a nem konvencionális előfordulásokat, a nyomás alatti földtani zónákban, kőzetekhez (homokkő, Devon kori palák) kötődve, valamint szénlencsékben található metánt. Nagyságrendileg is többre – mintegy 21 Pm^3 -re – becsülik a tengervízben levő gázhidrátok (jégkristály szerkezetbe ágyazott metán klatrátok) mennyiségét. A helyettesítés legfontosabb lehetőségét a szénből nyert gázok jelentik; éghető, közepes fűtőértékű ($14\text{--}21 \text{ MJ/m}^3$) gázokat – melléktermékként – a szénlepárlás is szolgáltat (kamragáz, svélgáz, városi gáz), de gazdasági okokból ezek háttérbe szorultak. Nagyszámú eljárást fejlesztettek ki a szén elgázosítására, ezek egy része kifejezetten a földgáz helyettesítését célozza metán előállításával (SNG – Syntetic Natural Gas, szintetikus földgáz), a jelenlegi árak mellett azonban ez nem versenyképes. A versenyképesség határán van viszont az alacsony fűtőértékű gázfejlesztés (gyenge gáz, $10\text{--}12 \text{ MJ/m}^3$ fűtőértékkel), aminek erőművi felhasználása gáz-gőz kombinált ciklussal összeépítve megkezdődött. A földgázforrások esetleges kimerülését a szénbázisú háttér megfelelően ellensúlyozni tudja. Kisebb mennyiségben szerves anyagok bomlásából, pl. városi személerakodókban is fejlődik metán. Egy további lehetőség a földgáz helyettesítésére a hidrogéngazdaság kialakítása, aminek forrása és égéstermé-

Az 1 Tm³-t meghaladó földgázvagyonok

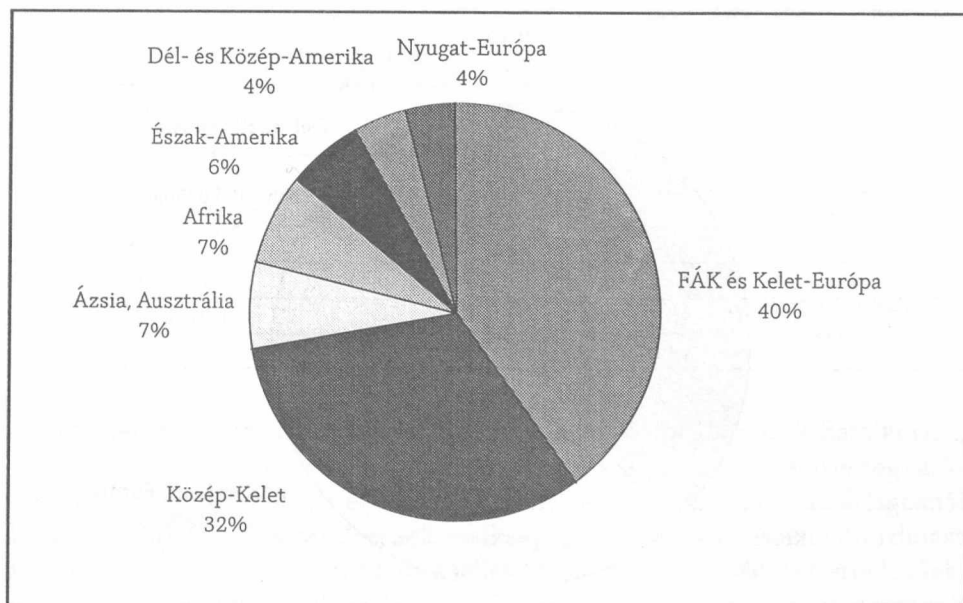
Ország	Műrevaló földgáz- vagyon, Tm ³
Oroszország	42,0
Irán	13,8
Egyesült Arab Emírátságok	5,8
Egyesült Államok	5,6
Katar	4,5
Szaúd-Arábia	4,0
Venezuela	3,5
Algéria	3,0
Kanada	2,8
Norvégia	2,8
Nigéria	2,4
Mexikó	2,1
Indonézia	2,0
Hollandia	1,8
Malajzia	1,5
Ausztrália	1,2
Kuvait	1,0

ke egyaránt víz. Sokirányú K+F-tevékenység folyik az alkalmazási feltételek megteremtésére.

A földgáz régiók szerinti eloszlása valamivel egyenletesebb, mint a kőolajé, a Közel-Keletét is megelőzi Oroszország vagyona (34. ábra). Az 1 Tm³-t meghaladó műrevaló vagyonnal rendelkező országok a 17. táblázatban láthatók, az előfordulásoknak mintegy harmada kőolajjal társulva található.

A gázgazdálkodás sokkal kötöttebb, mint a többi tüzelőanyagé, mivel feltétele a szállítási infrastruktúra, ami csak lassan módosítható. A megvalósítható technikai lehetőségek ($\Phi \leq 1400$ mm csőátmérő, $p \leq 80$ bar nyomás) 3 000 km körül korlátozzák a szárazföldi csővezetékes szállítás határát, a tenger alatti lehetőségek sokkal kisebbek. Nem ritka, hogy szállítási infrastruktúra híján a fogyasztóktól távol fekvő szénhidrogénmezőkön elfáklyázzák a kőolajjal együtt felszínre kerülő földgázt, vagy visszanyomják a kőolaj-kihozatal növelésére. Jelentős fejlemény a tengereken nagy távolságra történő továbbítás lehetőségét megteremtő cseppfolyósított földgáz (LNG – Liquefied Natural Gas, cseppfolyósított földgáz) szállítási technológia kifejlesztése, amit egyre nagyobb mértékben alkalmaznak. A szállítási kötöttségek miatt az

A világ műrevaló földgázvagyonának regionális megoszlása

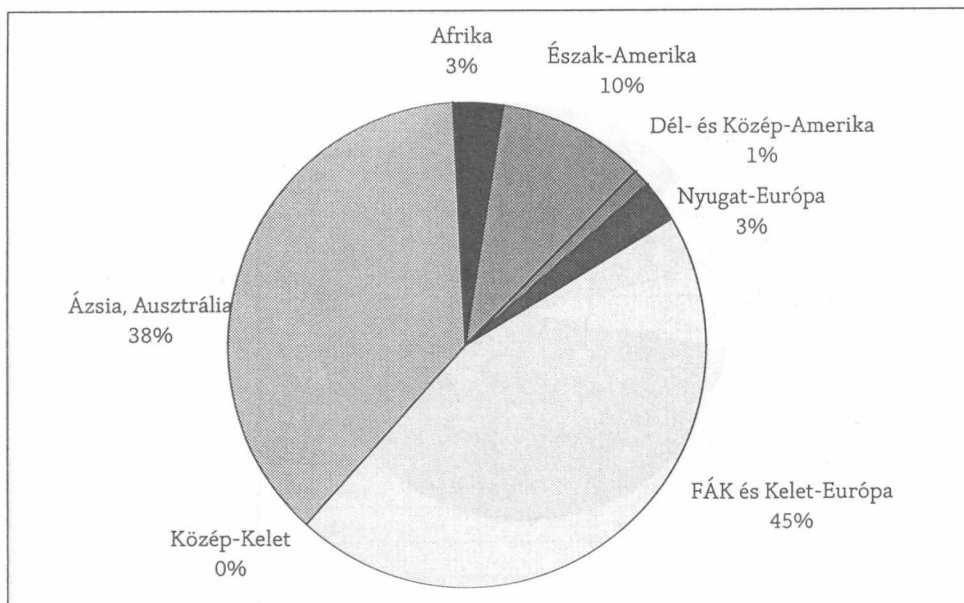


export szerepe kisebb, mint az olajnál, a világtermelés ötödét bonyolítják a külkereskedelmen keresztül. A legjelentősebb exportőrök: Oroszország és Algéria, regionálisan Hollandia és Norvégia, illetve Ausztrália, Indonézia, Malajzia, Katar, Brunei és Abu-Dhabi.

A magyar szénhidrogénvagyon nagyobbik része földgáz. Az úrfelvételek szerint nagy mélységben, ahol a geotermikus anomália miatt kialakuló magasabb hőmérséklet nem kedvez a kőolajképződésnek, nem teljesen kilátástalan további földgáz-előfordulások fellelése. A jelenleg nyilvántartott vagyon 94 Gm^3 , de ennek harmada 30 MJ/m^3 -nél alacsonyabb fűtőértékű (20%-é 18 MJ/m^3 -nél is kisebb). A hazai termelés jelenlegi szintje ($\sim 4 \text{ Gm}^3$) az igények 40%-át fedezi, de a termelés tendenciája csökkenő.

A világ hatalmas szénvagyona sok száz évre fedezi az igényeket, az ismert feketeszénvagyon 510 Gt , a barnaszén és lignit mennyisége 475 Gt , a becsült járulékos vagyon pedig legalább $\sim 5 \text{ Tt}$. A vagyonbecslés feketeszénnél az 1200 m -nél nem mélyebben fekvő és 30 cm -nél vastagabb rétegekre terjed ki, barnaszénél és lignitnél 500 m -es mélységig veszik figyelembe az előfordulásokat. Hőértékben számolva a vagyon 83%-át a feketeszén teszi ki. A szénvagyon regionális megoszlását szemlélteti a 35. ábra, ami érzékelhetően egyenletesebb, mint a szénhidrogéneké. A régiókon belül a termelés és felhasználás többnyire kiegyenlített, az energetikai szének 60%-át a bányák 50 km -es körzetén belül tüzelik el az erőművek. A munkahelyek biztonsága és a fejtőgépek hozzáférési

A világ műrevaló szénvagyonának megoszlása



lehetősége korlátozza technikailag a szén kitermelhetőségét, a művelési technológiától függően a kihozatal aránya 0,5 körül mozog. A széntermelés jelenleg feketeszenből 3,6 Gt-t, barnaszénből és lignitből 0,9 Gt, mindkettő lassan nő, legfőbb fogyasztók az erőművek, kokszolható szenekekből jelentős a vaskohászat felhasználása. A legtöbb feketeszenet Kína, az USA, India, Ausztrália, Dél-Afrika, Oroszország, Lengyelország, Németország, Ukrajna és Kazahsztán termeli, a legtöbb barnaszén pedig Németország, a FÁK, az USA, Lengyelország, Görögország, Csehország, Törökország és Ausztrália. A legtöbb szénrel rendelkező országokat a 18. táblázatban tüntettük fel. Termelésük kerekén 10%-át értékesítik a külkereskedelmen keresztül. A legfőbb exportőrök: Ausztrália, Amerikai Egyesült Államok, Dél-Afrika, Kanada, Lengyelország, Oroszország, Kína, Kolumbia, Indonézia. A legfontosabb importőrök: Nyugat-Európa, Japán, Dél-Korea, ezeken a területeken a szénimport mértéke nő. A nagy vagyon ellenére a szén pozíciója a fejlett világban csökken, környezetszennyező jellege, nagy munkaerő-szükséglete, szállítási igényessége és a szénhidrogénekénél nehezebb kezelhetősége miatt. Néhány nagy fejlődő országban (többek között Kínában és Indiában) viszont a széntermelést lehet a legkönnyebben és legolcsóbban növelni, ezért a szénfelhasználás nagyarányú növekedésével számolnak, ami az üvegházhatás visszaszorításában komoly gondokat fog okozni.

A magyar szénvagyon jelentős, feketeszenből 226 Mt, barnaszénből 263 Mt és lignitből 2693 Mt. A földtani vagyon ezek összegének háromszorosa, és

A legnagyobb szénkészletek

Ország	Műrevaló vagyon, Gt	Reménybeli készlet, Gt
Oroszország	157	5 200
Kína	114	1 330
Egyesült Államok	246	1 140
Ausztrália	90	710
Németország	67	186
India	74	114
Dél-Afrika	55	?
Lengyelország	14	121

a kitermelhető is legalább két és félszeres. Szénelőfordulásaink fiatakoriak, ezért fűtőértékük alacsony, kedvezőtlen alkotóik (kén, hamu, nedvesség) aránya magas, így használati értékük alacsony és eltüzelésükhöz az átlagosnál költségesebb tüzelőberendezések szükségesek. A legtöbb szénelőfordulást kedvezőtlen geológiai körülmények jellemzik, a szénlencsék kis kiterjedésűek, vékonyak, viszonylag mélyen fekszenek, a művelést nehezíti, hogy a rétegek zavartak, gyakran töredezettek, a bányákat elemi veszélyek terhelik. A kedvezőtlen földtani körülmények és az alacsony fűtőérték miatt nagy a hőértékre vetített fajlagos munkaerő-szükséglet, és magasak a termelési költségek. A magyar mélyműveléses szénbányászat súlyos válságban van, mivel a piaci verseny élesedése miatt ártámogatás nélkül elkerülhetetlen a fekete- és barnaszén bányászatának visszafejlesztése, egyedül a külfejtéses lignittermelés ígér versenyképességet.

A nukleáris energetika jelenleg alapvetően az urán hasznosításán alapul. Az urán meglehetősen elterjedt elem a földkéregben, megtalálható mintegy 150 ásványban és sokféle kőzetben, előfordulása negyvenszer gyakoribb az ezüsténél. A természetben található uránizotópok közül egyedül a 235-ös tömegszámú (^{235}U) hasadóképes, amelynek koncentrációja a természetes urán-előfordulásokban 0,7%. A jelenlegi atomreaktorok legnagyobb részének a működése ennek a ^{235}U izotópnak a hasznosítására alapul. A legáltalánosabban alkalmazott „termikus” reaktorokban az önfenntartó láncreakcióhoz kellő számú lassú – más néven termikus – neutronra van szükség. Ennek biztosítására az egyik lehetőség nagymértékben lassító – moderátor – anyagok (grafit, nehézvíz) alkalmazása. Az ilyen konstrukciókban természetes izotópból álló fűtőelemek is alkalmazhatók, de a hatékonyságnövelés érdekében kezdenek áttérni az enyhe dúsításra. A másik lehetőség a ^{235}U koncentrációjának növelése izotópdúsítással, a több neutron között nagyobb a lassúak előfordulási valószínűsége. Az ilyen megoldásnál természetes víz is alkalmas moderálásra.

A világ nukleárisenergia-vagyona

Felhasználás	Vagyon		Energiaérték, 10^5 EJ	
	műrevaló	földtani	műrevaló	földtani
Urán, <80 USD/kg, LWR-ben	2,3 Mt		0,02	
Urán, <130 USD/kg, LWR-ben		19 Mt		0,09
Urán, <200 USD/kg, LWR+BR-ben		20Mt		7
Tórium HTR-ben		20Mt		14
Hasadóanyagok összesen			0,02	21,9
(Földkéreg 1 km-es héja		300 Mt 1%-a		1,2)
(Tengervíz uránsói		2000 Mt 1%-a		7,5)
Deutérium tengervízben		40 Gt		> 10^6 (D-D reakció)
Lítiumércsek		10 Mt		500 (D-T reakció)
Fúzió anyagai				> 10^6

A többi részt kitevő 238-es tömegszámú plutónium (^{238}U) tenyészanyag, aminek kis részéből a termikus reaktorban is hasadóképes 239-es tömegszámú plutónium (^{239}Pu) keletkezik, ami szintén hasznosítható energiafejlesztésre. Ugyancsak tenyészanyag a 232-es tömegszámú tórium (^{232}Th) is, amiből hasadóképes ^{233}U -t lehet előállítani. A főleg gyors neutronokat hasznosító szaporító reaktorok rendeltetése a tenyészanyagokból nagy mennyiségű hasznosítható hasadóanyag előállítása, főleg energiatermelésre. Újabb javaslat a szaporítóreaktorok használata transzmutációra, hogy a hosszú felezési idejű izotópokat besugározva rövidebb felezési idejű, vagy stabil izotópokká alakítsák át.

Az uránérceket hagyományos bányászati módszerekkel, néha más ásványok bányászatának melléktermékeként termelik ki, a vegyületeket az ércből kilúgozással és néha baktériumokkal kivonva nyerik ki. A világ hasadóanyag-vagyonának becslése meglehetősen bizonytalan. Egyrészt az adatokat hosszú ideig katonai titokként kezelték. Másrészt gazdasági kérdés, hogy milyen kis urán-koncentrációig tartják érdemesnek az ércek kitermelését, egyes bányákban még a 0,1%-nál soványabb ércek termelése is gazdaságos. A hasadóanyag-vagyont a fémurán kitermelési költsége alapján <40, <80, <130 és <260 USD/kg osztályokba sorolják, jelenleg a piac az első két kategóriát tartja kiaknázásra érdemesnek (gyakran U_3O_8 koncentrátumra vetítik a költséghatárokat, ami a fémuránra vonatkozó értékek 2,6-ed része). A világ műrevaló konvencionális uránvagyon (RAR – Reasonably Assured Resources, megbízhatóan biztos vagyon) a fémuránra vetített <80 USD/kg kitermelési költségű kategóriában 2,3 Mt, a 80–130 USD/kg kategóriában a becsült vagyon további

2 Mt. A 34. ábrában látható, hogy e vagyon megoszlása a régiók között egyenletesebb, mint az ásványi tüzelőanyagoké. A 19. táblázat hozzávetőleges képet szolgáltat a hasadóanyag-vagyonról, a két zárójeles sor csupán az elvi lehetőségekre kíván utalni, ugyanez a szerepe a fúzió anyagaira vonatkozó adatoknak is.

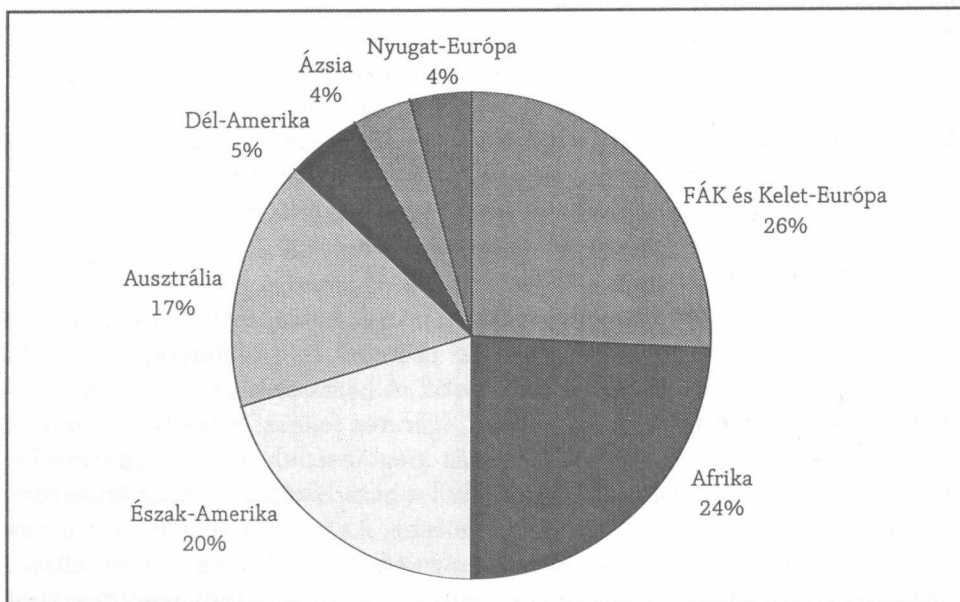
A műrevaló vagyon legalább 2050-ig elegendő az atomerőművi szükségletek kielégítésére. Természetesen uránércből is van becsült (EAR – Estimated Additional Resources, becsült járulékos vagyon) és reménybeli (SR – Speculative Resources, feltételezett vagyon) vagyon, ezek is több Mt-t tesznek ki. A <130 USD/kg költségű kategóriában összesen 19 Mt-t tételeznek fel, ami még egy erőteljes atomerőmű-építési program igényeit is fedezné 200-250 évre.

Az ellátás biztonságának növelésére számos lehetőség áll rendelkezésre. Mód van a jelenlegi uránvagyon kihasználásának hatékonyabbá tételére is, a ^{235}U izotóp nagyobb arányban nyerhető ki az ércből, ha a dúsítással az elszegényítést a jelenlegi 0,25–0,3% alá csökkentik. A hasznosítás fokozható a fűtőelemek nagyobb mértékű „kiégetésével”, ígéretes fejlesztés folyik a termikus reaktorok jelenlegi 40 MWnap/kg körüli kiégetésének 50%-os növelésére. Újrafeldolgozással a kiégett fűtőelemekből a hasadóképes alkotók kinyerhetők és visszavezethetők az energiatermelésbe. Az uránt a jelenlegi termikus reaktortípusok nagyon rossz, 0,5–1 százalékos hatásfokkal hasznosítják. A szaporító reaktorok a láncreakció mellett a tenyészanyagok nagy részéből hasadóanyagokat állítanak elő, ezzel 60-70%-ra növelve a hasznosítás mértékét és egyúttal ilyen arányban hosszabbítva meg a vagyon élettartamát. Külön kérdés, hogy a leszerelt atomfegyverekből kinyert plutónium, valamint erősen dúsított urán hasadóanyag (HEU – Highly Enriched Uranium) is nagy készletet reprezentál, amiből hígítva ugyancsak erőművi fűtőelemeket lehet gyártani. Uránból is vannak nem konvencionális készletek (gránitban, monacit homokban, foszfátban, szénben, lignitben, fekete palában, tengervízben), melyekben a hasadóanyag-koncentráció alacsony és ezért a kiaknázás költsége – még melléktermékként is – magas. A számított nem konvencionális vagyon nagyságrendekkel haladja meg a konvencionálist, a becslések a <200 USD/kg kategóriában a foszfátokban 22 Mt-t, a tengervíz uránsóiban 2 000 Mt-t uránvagyon tételnek fel. Tovább bővítik a hasadóanyag-vagyon az uránércnél legalább háromszor nagyobb mennyiségben előforduló tóriumérc, de ennek mennyiségére nincsenek mértékadó adatok.

Az urán világtermelése jelenleg 35 kt uránoxid (U_3O_8) évenként, a legnagyobb termelők és exportőrök: Kanada, Ausztrália, Nigéria, Oroszország, Kazahsztán, Üzbegisztán, Namíbia, Dél-Afrika, USA, Franciaország és Ukrajna. A 130 USD/kg-nál olcsóbb uránvagyonról mutat be adatokat a 20. táblázat.

Az egy-két kilotonnányi műrevaló magyar uránvagyon a sovány ércek közé tartozik (a megkutatott ásványvagyon 27 Mt, amiben a becsült fémurán mennyisége 31 kt), koncentrációja a bányászkodás során fokozatosan csökkent, az utóbbi időben már 0,1% alá, azt is egyre mélyebbről kellett kitermelni. Mind-

A világ műrevaló uránvagyonának megoszlása



ezek következtében a termelés költsége a világpiaci ár többszörösére emelkedett, ezért a bányát 1997-ben bezárták.

A megújuló energiák feltételezhető elméleti potenciáljának, valamint a reálisan kiaknázzható mértékének becslését nagyon nagy bizonytalanság terheli. A legnagyobb potenciált a napsugárzás képviseli, a hasznosítás szempontjából elesik a Föld felszínének tengerek által borított 71%-a, a legtöbb reményt a szárazföldekre jutó 22 TW-nyi napenergia közvetlen hasznosításához fűzik. A jelenlegi technikai lehetőségek ennek csupán kismértékű kiaknázására adnak módot, napos időszakban kiegészítő jelleggel helyi igények kielégítésére. A nagyléptékű kiaknázás módjának kifejlesztése – pl. naperművekkel – még várat magára. A kontinensek területének egy részét gyakorlati okokból ki kell zárni (a sarkkörön túli régiókat, a magas hegyeket, a nehezen megközelíthető térségeket), a felszín jelentős hányada más célra hasznosul (erdőterületek, mezőgazdasági művelés, ásványbányászat, szállítási és más infrastruktúra, ipartelek stb.) és a terület túl nagy részének leárnnyékolásából származó ökológiai károkat is el kell kerülni. Mindezek tekintetbevételével, ha az ökológiai és gazdasági korlátokat is figyelembe vesszük, nem túl pesszimiztikus feltételezés a 22 PW egy ezrelékének energetikai hasznosíthatósága, ami 22 TW (~700 EJ/a). A potenciált leértékeli, hogy a napsugárzás átalakítását a fogyasztók igényelte energiatípusba többnyire alacsony hatásfok jellemzi, így azonos szolgáltatáshoz sokkal több napenergia szükséges, mint hagyományos primer energia.

A legjelentősebb uránvagyonok

Ország	Megbízhatóan biztos vagyon (kt)	Becsült járulékos vagyon I. (kt)	Becsült járulékos vagyon II. (kt)	Feltételezett vagyon (kt)
Ausztrália	710	194		
Kazahsztán	598	259	310	500
Kanada	381	73	150	700
USA	366		1 273	1 339
Dél-Afrika	258	75		
Namíbia	191	107		
Brazília	162	100	120	500
Nigéria	87	6		
Ukrajna	81	50		231
Mongólia	62	21		1 307
Oroszország	5 000*			
Kína	2 000*			

* becsült érték

A legmegbízhatóbb képünk a vízfolyások potenciáljáról van. A hidrológusok szerint a világ szárazföldi vízfolyásainak potenciálja 300 EJ/a. Műszaki körülmények (kis esésmagasság, csekély hozam, szélsőséges vízjárás, hidraulikai problémák, sűrűlódás, veszteségek) miatt ennek csupán fele, mintegy 150 EJ/a $\approx$ 5 TW aknázható ki. A reálisnak tartott 5 TW-nak kereken negyedét tartják gazdaságosnak (40 EJ/a $\approx$ 1,2 TW). A nem hasznosított vízfolyások energiáját a sűrűlódás emészti fel, a hasznosítottból különféle átalakítások után végső fokon ugyancsak hő fejlődik. A fejlett országok a vízerőművek építésének lehetőségeit többnyire már kiaknázták, de óriási lehetőségek vannak még Ázsiában és Dél-Amerikában, ezek jó része azonban távol van a fogyasztói súlypontoktól. A helyi erőforrások vonzerejének növekedése lökést adott a törpe vízerőművek létesítésének is, ami némileg növeli a kiaknázhatónak ítélt mértéket. Ugyanakkor felerősödtek a környezetvédelmi aggályok, visszafogva a vízerőmű-építési szándékokat.

A tengeri energiák hasznosítása egyelőre csak elvi lehetőség, csupán néhány, az árapályt hasznosító erőmű valósult meg. Az árapályt ténylegesen csak olyan öblökben és folyótorkolatokban lehet kiaknázni, ahol nagy az apály és dagály szintkülönbsége, az ilyen – meglehetősen költségesen kiépíthető – lehetőségek összesítése alig 64 GW-ot tesz ki. A tengeri áramlások és hőfokkülönbségek teljesítményének összesített mértéke (1-2 EJ/a) egy nagyságrenddel kisebb, mint a szárazföldi vízfolyásoké, mert az áramlási sebesség és a hőmérsékletkülönbség kicsi. A parti övezetekben folynak kísérletek a hullámzás energiájának kiaknázására, a lehetőségeket mintegy 0,5-1,5 TW-ra becsülik.

A szelek gyakorlati kiaknázására csak a légkör legsalsó, a troposzféra kiterjedésének kerekén 1%-át jelentő 100-200 m-es réteg jöhet számításba. Az alsó rétegre eső 1%-os hányadra vonatkozó becslések 15 TW körül mozognak, aminek 20% körüli aránya jut a szárazföldekre (~3 TW). A szélenergia gyakorlati kiaknázására csak a viszonylag állandó széljárású térségek jöhetnek számításba, ahol az átlagos szélesebesség a gazdaságosság küszöbértékét (3-4 m/s) meghaladja, de nem lépi túl a biztonságosan uralható mértéket (15-20 m/s). Az így behatárolt potenciált 1 TW-ra (31,5 EJ/a) becsülik.

Ha feltételezzük, hogy az erdők éves szaporulatának 20%-át (200 EJ) és a mezőgazdasági termékek felét kitevő hulladékokat (30 EJ) energetikai célra hasznosítják, a biomassza energetikai célú hasznosításának elvi határa 230 EJ/a-ra adódik, ami mögött a gyakorlati lehetőség legalább egy nagyságrenddel marad el. A világ leghátrányosabb helyzetű térségeinek fő tüzelőanyaga a biomassza, amit közvetlenül tüzelnek el, főleg tűzhelyekben. A hasznosításnak ez a módja nem hatékony, és zárt térben az égéstermékek súlyosan károsítják az egészséget. A fejlett országokban vagy korszerű tüzelőberendezésekben égetik el a biomasszát kellő előkészítés után, vagy kémiai technológiák alapanyagaként hasznosítják. Különösen vonzó a biomassza energetikai szerepe, ha hulladékhasznosítással párosul, vagy nem művelt mezőgazdasági területek kiaknázására alapul.

A geotermikus energiának csak nagyon kis hányada hasznosítható. A kéreg felső 3,5 km-es héjának hőtartalma a geofizikusok szerint 10^{22} – 10^{23} joule. A hővezetéssel felszínre kerülő energiának a szárazföldekre jutó hányada mintegy 9 TW, de ezt a kis gradiens miatt nemigen lehet megcsapolni. A hőhordozókban konvektíven feljutó energia (6 GW) pedig csak elenyésző hányadot képvisel, azonban ennek is csak nagyon kis része hasznosítható, mert a felszínre jutó hőhordozók hőmérséklete többnyire alacsony, ami korlátozza a felhasználás körét és a szállíthatóságot, így csak lokális hasznosításra van mód. További probléma az oldott ásványi anyagok környezetkárosítása. Az irodalomban a potenciálra található becslések szórtnak, felső határuk 5–10 EJ/a.

A 21. táblázat a megújuló energiahasznosítás elvi lehetőségeit foglalja össze. A gyakorlatban megvalósítható hasznosítás ennél lényegesen kisebb mértékű.

A jövő kilátásai

A 21. század nagy kérdése, hogyan lehet a hatalmas, 10^{23} J nagyságrendű kumulált energiaszükségletet kielégíteni. Sokan a megújuló energiákban látják a jövő kulcsát, ami vonzó alternatíva, hiszen nem merítene ki természeti erőforrásokat, és viszonylag kevésbé szennyezik a környezetet. Számos nemzetközi szervezet és az államok nagy része is ösztönzi a megújuló források

Megújuló energiák hasznosítási lehetőségei

Energiafajta	Elméleti határ	Energiaérték, 10^{21} J
Napsugárzás szárazföldön	22 TW	0,7
Szárazföldi vízfolyások	5 TW	0,15
Tengeri energiák	2 EJ/a	0,002
Szélenergia	1TW	0,03
Biomassza	230 EJ/a	0,23
Geotermikus energia	5–10 EJ/a	0,005–0,01
Összesen		1,117–1,122

hasznosítását, pl. az EU programja 2010-re jelenlegi 6%-os arányukat 12%-ra kívánja növelni. A sokirányú támogatás (pl. adókedvezmény, fejlesztés támogatása, értékesítési preferencia stb.) ellenére a megújulók térhódítása a tervezettnél lényegesen lassabb. Az IEA becslése szerint a megújulók részaránya a világ primerenergia-szükségletében 50 év múlva is csak 30-40%-ot fog kiteni a jelenlegi 18%-kal szemben, ebben legnagyobbbrészt a vízenergia és a biomassza hasznosítása játszik szerepet, és kismértékben a szél is besegít. Ugyanakkor a legszegényebb térségekben a gazdasági fejlődés együtt jár az áttéréssel a biomassza-tüzelésről korszerűbb energiahordozók használatára.

A megújuló energiahasznosítás lassú terjedését az magyarázza, hogy egyelőre gazdaságilag csak ritkán versenyképesek. A gazdasági hátrány egyik oka a megújuló energiafajták diffúz jellegéből következő kis teljesítmény-, illetve energiasűrűség. Ennek következtében fajlagosan nagyméretűek a berendezések és ezzel a létesítési költségek is. A napsugárzást és a szelet nagy felületről kell összegyűjteni, a geotermikus hőhordozóból nagy mennyiségre van szükség, a vízenergia hasznosításhoz vagy az áramlásnál vagy a tárolásnál kell a nagy mennyiséget biztosítani stb. A 22. táblázat arányai érzékeltetik, milyen nagy különbségek vannak a hagyományos és a megújuló energiákat hasznosító berendezések léptékei között. A létesítési költségek csökkentésében sokat várnak a technológiák fejlesztésétől, a nagy darabszámban értékesíthető konstrukciónál pedig a tömeggyártástól. Ezen törekvéseket segítő kutató-fejlesztő tevékenység a jövő érdekében erős támogatást érdemel.

A versenyképességet tovább csökkenti a megújuló források időszakos rendelkezésre állása. A napsugárzásra nemcsak éjszaka nem számíthatunk, hanem felfogható mértéke a nap járásának megfelelően a napkelte és napnyugta közötti időszakban is állandóan változik, lényeges az évszakok szerinti szezonális változás, valamint az időjárás befolyása. A felhők vagy a köd – különösen télen – hosszú időre kirekeszthetik a közvetlen sugárzást. Kevés helyen lehet állandó széljárásra számítani, nem csupán a szélcsend és a túlságosan

erős szél okoz gondot, hanem a szélesebbes szeszélyes ingadozása is. A folyók vízjárását elsősorban a vízgyűjtő terület csapadékviszonyai határozzák meg, de az időjárás más elemei is szerepet kapnak (jégzajlás, árvíz, aszály). A megújulókat bizonytalan rendelkezésre állásának ellensúlyozására vagy tárolni kell az energiát, vagy más energiahordozóra támaszkodó, tartalék energiaforrással kell biztosítani az energiaellátás folytonosságát. Mindkét megoldás többletköltséget jelent; a víztározóktól eltekintve az energiátárolás nagy mennyiségben műszakilag is megoldatlan. Javítja a helyzetet, ha a folyamatos energiaellátás nem követelmény (pl. időszakos a használat, olcsó a tárolás), vagy ha kis áramforrás csatlakozik erős villamosenergia-rendszerhez. Ilyenkor a gazdaságosság feltétele egyszerűsíthető arra, hogy a tüzelőanyag-megtakarítás ellentételezze a többletberuházás terheit (ami elég magas tüzelőanyag-költségek mellett teljesülni szokott).

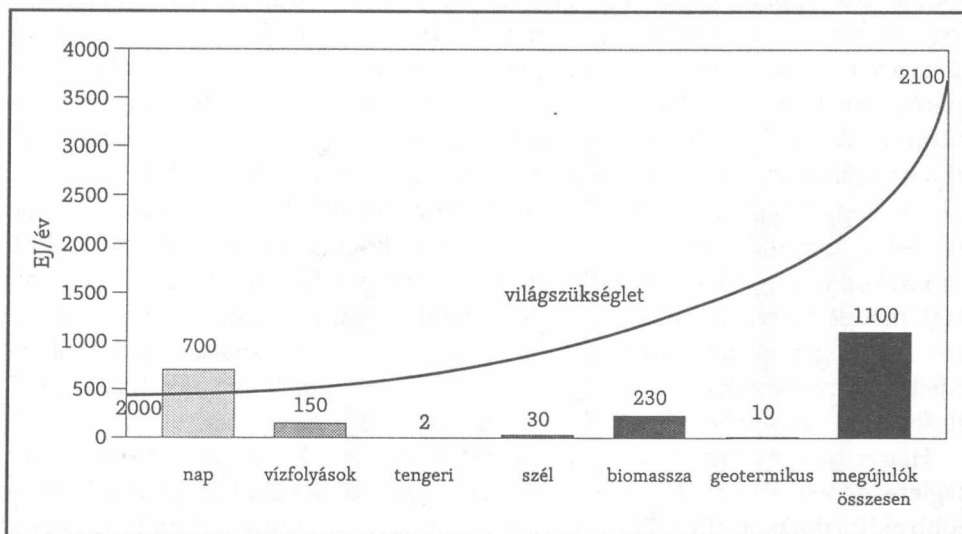
A 37. ábra a megújuló energiaforrások lehetséges szerepét szemlélteti. A folytonos görbe a 21. század évenkénti energiaszükségletének alakulását jelzi, egy mérsékelt növekedési ütem feltételezésével. A hasábok az egyes energiafajtákból évente reálisan alatt kinyerhető energiamennyiségek, figyelembe véve, hogy a természeti folyamatok egyensúlyának megbontása nélkül csak bizonyos hányadukat lehet elvonni energetikai célokra. A kép elkedvetle-

22. táblázat

Teljesítmény- és energiasűrűségek

Energiaforrás	Teljesítménysűrűség, kW/m ²	Energiasűrűség, MJ/kg
Napsugárzás átlaga Európában	0,16	
Szél, 10 m/s	0,6	
5 m/s	0,07	
Geotermikus hőáram	5·10 ⁻⁵	
hőhordozó, termálvíz		0,2
gőz		3,8
Gőzkazán fűtőfelülete	10 ³ –10 ⁴	
Víz, 10 m esés magasság		1·10 ⁻⁴
100 m esés magasság		1·10 ⁻³
Szén, egyezményes fűtőérték		29,3
Olajtermék, egyezményes fűtőérték		42,0
Földgáz, átlagérték		36
Tűzifa, átlagérték		12
235-ös U izotóp		8·10 ⁷
Természetes uránérc, mai technikával		5·10 ⁵
Fűzés (D, T)		4·10 ⁸

A világ ellátottsága megújuló energiákból



nító, minél messzebbre tekintünk előre – még valamennyi lehetőség együttesen is –, annál kevésbé lenne képes a szükséglet kielégítésére.

Ha a megújuló energiaforrások a 21. század energiaszükségletének teljes körű kielégítésére nem is képesek, fontos szerepük lesz a fosszilis tüzelőanyagok háttérbe szorításában és a környezetszennyezés csökkentésében. A legjelentősebb szerepet a napenergia hasznosítása nyerhet, de jelenleg főleg helyi igények kielégítésére alkalmazzák, gyakran kiegészítő jelleggel. A nagyarányú kiaknázás feltétele a nagyléptékű naperőművek technológiájának kifejlesztése. Az is sokat számítana, ha a félvezető technika többszörösére tudná növelni a napelemek jelenlegi 10% körüli hatásfokát. A potenciálnövelés további lehetőségei ma még futurisztikusak, vagy a tengerek felszínét kellene igénybe venni berendezések telepítésére, vagy a nagyobb fluxushoz kellene hozzáférni a világűrben, ahol sem a napszak, sem a felhősödés nem zavarja a sugárzást. A biomassza-hasznosítás potenciálja jóval kisebb, mint a napsugárzásé. A vízenergia főleg erőműépítésre jöhet számításba, de a még létesíthető kapacitás nem sokkal több, mint a jelenleg működő erőművek összesített teljesítménye. A többi lehetőség (szél, tengeri energiák, geotermia) potenciálja alapvető szerephez kevés.

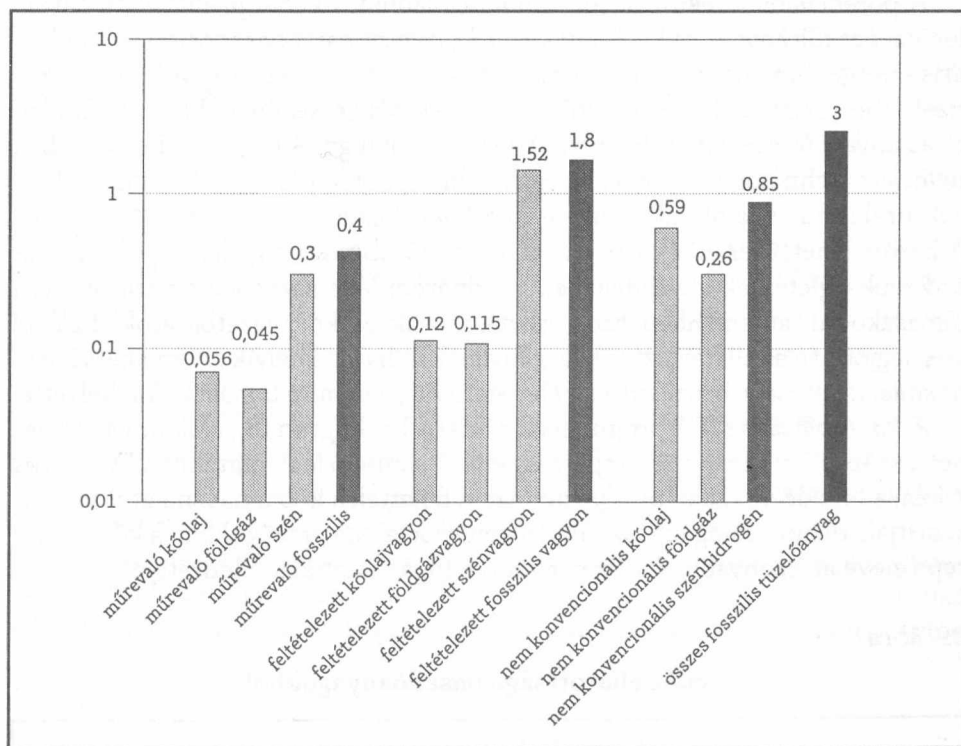
A fosszilis ásványi energiahordozók helyzetét áttekintő 38. ábra hasábjai az energiavagyon és a 21. század kumulált energiaszükségletének arányát jelzik. Látható, hogy a műrevaló vagyon – a nagy szénelfordulások ellenére – távolról sem elegendő a 21. század kumulált szükségletének fedezésére, de a feltételezett vagyon – különösen, ha a nem konvencionális szénhidrogén-előfordulásokat is figyelembe vesszük – elvileg ki tudná elégíteni azt. Javítja a képet, hogy a földtani

kutatások állandóan új lelőhelyeket tárnak fel (manapság a vagyon gyorsabban nő a kitermelésnél), amit viszont ellensúlyoz, hogy a készletek jelentős részének kiaknázására politikai, gazdasági, műszaki és környezetvédelmi okokból nem is fog sor kerülni. E tüzelőanyagok mértéktartó felhasználására lenne szükség, mert azok – különösen a szénhidrogének – nagyon értékes vegyipari alapanyagok és csak drágán pótolható üzemanyagok, ezért eltüzelésük hőfejlesztésre nagy pazarlás. A geológusok jelentős hányada szerint közeledünk egy kiaknázható végső vagyonhoz, aminek mértéke a földtani vagyon nagyságrendjében van. Nem biztos, hogy a hagyományos kőolaj- és földgázvagyon kitart a század végéig, de kérdéses, hogy milyen mértékben fognak a nem konvencionális előfordulásokra támaszkodni, melyek kiaknázása nemcsak költséges, hanem hatalmas mennyiségű meddő visszamaradásával jár. A földtani vagyonban meghatározó szerepe van a bőséges szénelőfordulásoknak, nagyarányú felhasználásához azonban kifejlesztésre várnak környezetkímélő és hatékony új technológiák (tisztá szén, elgázosítás, cseppfolyósítás, CO_2 -visszatartás).

Hagyományos tüzelőanyagokkal tehát ellátható a 21. század energiaszükséglete, de ezt két körülmény nehezíti. Az egyik abból fakad, hogy a legkedvezőbb előfordulások kimerülése miatt fokozatosan kedvezőtlenebb adottságú és minőségű tüzelőanyagok kitermelésére kell áttérni (sarki és trópusi övezetekből, tenger alól, nagy mélységből stb.), ami a költségek növelését vonja maga után. A drágulás a megújuló és a nukleáris energia kilátásait javítja. Még súlyosabb gond a tüzelőanyagok hasznosításával együtt járó jelentős környezetszennyezés, elsősorban a légszennyező égéstermékek és a szénből a szilárd hulladékok is. A légszennyezők kibocsátásának visszafogására jó néhány eljárás alkalmazható, számottevő többletköltség árán. Jelenleg a legnagyobb aggodalmat az üvegházhatás növekedése okozza, amiben a főszerepet a szén-dioxid játssza. Bár vannak elképzelések a leválasztott szén-dioxid visszatartására vagy hasznosítására is, de ezek még távol vannak a gyakorlati alkalmazhatóságtól és a gazdasági rentabilitástól. Már érvényesül nyomás az ásványi tüzelőanyag hasznosításának korlátozására (Kyotói jegyzőkönyv, szén-dioxid-adó), ami fel fog erősödni, ha az üvegházhatás következményeivel kapcsolatos félelmek beigazolódnak. Komoly probléma, hogy a fejlődő országok aligha vállalják a környezetszennyezés csökkentésével kapcsolatos többletterheket, amikor a kialakult nyomasztó helyzetet nem is ők idézték elő. Ugyanakkor a következő évtizedekben a világ energiafelhasználásában a növekedés legnagyobb hányada ezekben az országokban fog bekövetkezni, jelentős mértékben szénbázison. Tudományos áttörés a tüzelés terén sem lehetetlen, pl. hidrogén betáplálású, félvezető, tüzelőanyag-cellára alapuló decentralizált ellátás az erőművek és villamos hálózatok felváltására.

A nukleáris energiahordozók potenciáljáról a 39. ábra ad képet, szintén az energiavagyon és a kumulált szükséglet hányadosát mutatva (LWR – Light Water Reactor, könnyűvízes reaktor, BR – Breeder Reactor, szaporítóreaktor). Látható,

A világ ellátottsága fosszilis ásványi energiahordozókból



hogy a jelenlegi könnyűvízes reaktorokkal a nukleáris energetika sem ígér tartós megoldást, még a nagyon drága uránvagyon termelésbe vételével sem. A szaporítóreaktorok bevezetése alapvetően megjavítaná a helyzetet, mivel az uránciklus kihasználását mintegy hetvenszeresére növelnék, de fejlesztésük gazdasági és politikai okokból megrekedt. Növelheti az energiabázist az uránvagyon többszörösére rúgó tóriumércsek hasznosítása is. A fenntartható fejlődés szempontjából a nukleáris változatnak előnye, hogy a hasadóanyag-érceknek az energetikán kívül nincs más számottevő polgári felhasználási területe. A nukleáris energiát jelenleg csak kevés országban tekintik vonzónak, részesedés a világ energiamérlegében csökkenőben van. A helyzet megváltoztatásának egyik feltétele a technológiák társadalmi elfogadtatása, a másik az atomerőművek versenyképessége, mindenekelőtt a létesítési költségek lényeges csökkentésével.

A tudomány jelenlegi állását figyelembe véve az atomenergetika nagy ígérete, a fúzió a 21. század első felében aligha jut tényleges energetikai szerephez. A jelenlegi kutatások középpontjában álló deutérium-trícium (D-T) reakcióhoz a tríciumot a lítiumérczekből tervezik előállítani, ezen ércek becsült vagyona (~10 Mt) fedezné jó néhány évszázad szükségletét. A bonyolultabb feltételeket megköve-

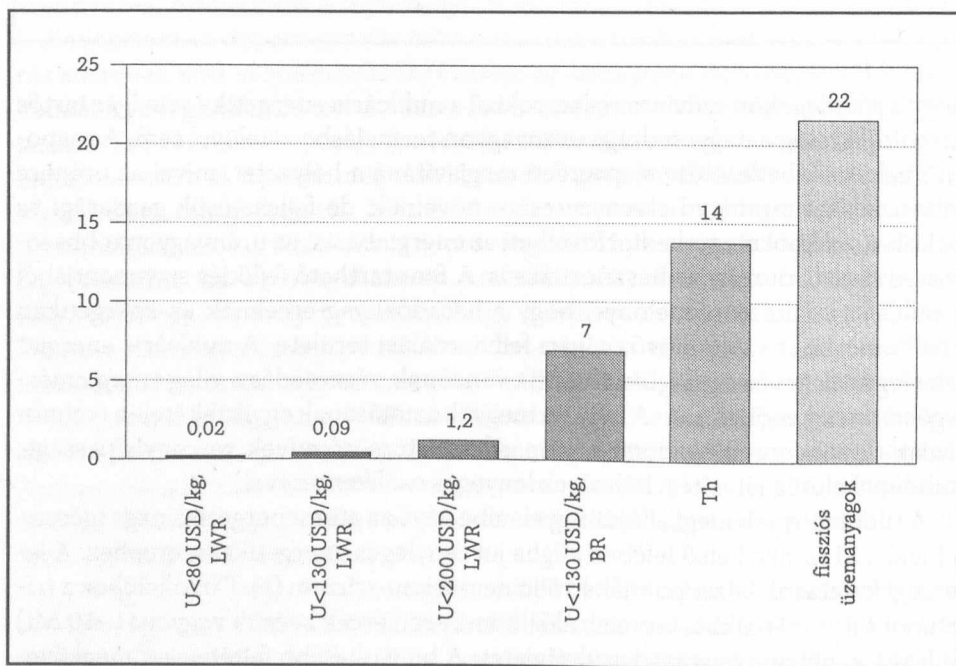
telő deutérium-deutérium (D-D) reakció sikere pedig beláthatatlan perspektívát nyitna meg, a tengervízet használva a deutérium forrásaként (~40 Gt).

A potenciálok áttekintése alapján a távolabbi jövő energiaellátására három lehetséges főirányt lehet kijelölni: a szén környezetbarát hasznosítását, a nukleáris energia biztonságos alkalmazását és a megújuló gazdaságos kiaknázását. Ezek lehetősége a kutató-fejlesztő munka eredményességén múlik, aminek sikerre az anyagi és szellemi ráfordítások mértékétől függ. A megoldáshoz azonban nemcsak technológiára van szükség, hanem a politikai és társadalmi konfliktusok uralására is, ami valószínűleg nehezebb feladat a műszaki fejlesztésnél. A három lehetséges utat közösen bemutató 40. ábra azt sugallja, hogy a 21. század szükségleteinek kielégítéséhez mindhárom lehetséges változatra célszerű támaszkodni, amennyiben azok gazdaságosak és környezetbarátok. Ez felel meg legjobban az ellátásbiztonság igényének is, ha valamelyik energiatípus hasznosítási lehetősége beszűkül, vagy lehetetlenül, van mire támaszkodni helyette.

A 23. táblázat az IEA prognózisát mutatja be, hogyan fog alakulni az átmenet a századforduló körül, a fejlettség eltérő szintjén levő régiókban. A szén és kőolaj a fejlődő világban őrzi pozícióját; a fejlettek a kőolajhasználatot visszaszorítják, de nő a földgázhasználat; a volt szocialista országokban a kőolaj szerepe eleve alacsonyabb, amit a nagyobb földgázhasználat ellentételez.

39. ábra

A világ ellátottsága hasadóanyagokból



A magyar lehetőségek

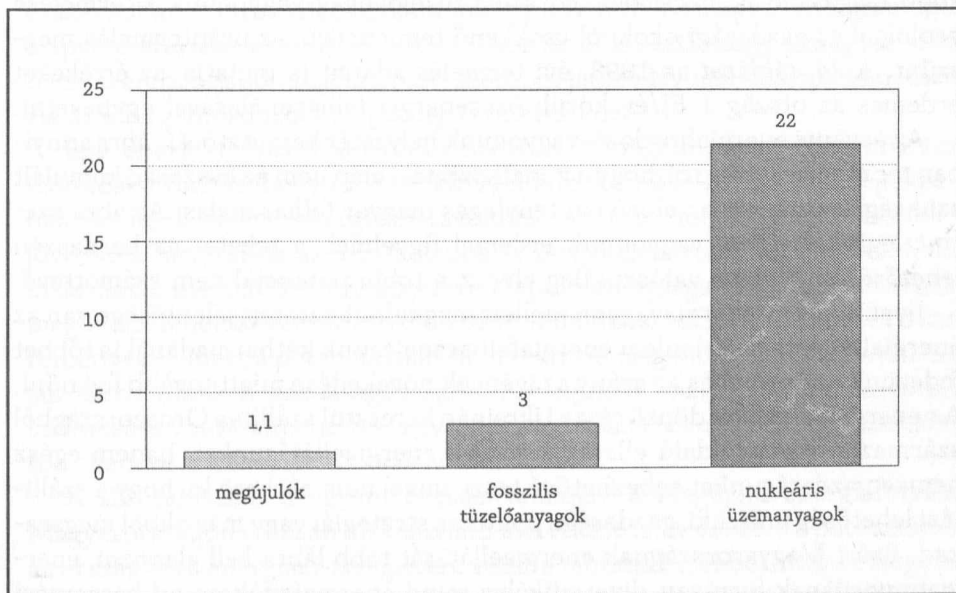
A világ globális egyensúlya egyes országok energiabőségének és más országok energiahiányának eredője, mivel a természet igazságtalanul osztotta el a vagyont a földrajzi térségek között. Magyarország az utóbbiak közé tartozik, amit az ország energetikai potenciálját számba vevő 24. táblázat is alátámaszt. A táblázat adatai a fosszilis tüzelőanyagoknál a műrevaló vagyon publikált értékei, uránnál a jelenlegi termikus reaktorokban a 120 USD/t-nál olcsóbban kitermelhető ércből nyerhető energia.

A 3 km-es mélységen belül fellelhető $2,5 \cdot 10^3 \text{ km}^3$ -nyi hévizeink hőtartalmát 500 EJ-ra becsülik, de termálvizeink alacsony, átlagosan 68°C hőmérséklete a kiaknázhathatóságot erősen korlátozza. A táblázatban ezen elméleti érték tört részét figyelembe vevő geotermikus energiapotenciál is optimista becslésnek tekinthető, különösen a jelenlegi hasznosítással összehasonlítva. Ásványi eredetű energiavagyonunk csekélyisége érzékelhető, ha az egy főre eső értékeket összevetjük a fejenkénti 0,1 TJ/év fajlagos összenergiafelhasználásunkkal.

Az ásványi energiahordozóknál az energiavagyon kimerülésének hozzávetőleges idejét is mutatja a 24. táblázat a kitermelés jelenlegi szerény szintjén. Látható, hogy a szén kivételével a fosszilis energiahordozó-vagyon gyorsan kimerül, de olyan kételyek is felmerülnek, hogy szénvagyonunk a mai értékítélet szerint nem lényegesen kisebb-e a táblázatban feltüntetett érté-

40. ábra

A világ eredő ellátottsága



Az energiaszerkezet regionális alakulása

Energiahordozó	Energiahordozók aránya, %											
	OECD-országok			volt európai szocialista országok*			fejlődő világ			összesen		
	1991	2000	2010	1991	2000	2010	1991	2000	2010	1991	2000	2010
Szén	24,7	24,1	24,5	25,4	22,6	20,6	40,4	38,8	37,6	29,9	28,7	29,4
Kőolaj	41,6	41,0	38,2	29,6	26,5	28,9	41,6	40,7	39,1	39,2	38,6	36,8
Földgáz	20,0	20,5	23,3	39,1	43,2	42,6	12,8	14,4	16,7	22,0	22,2	23,5
Nukleáris	10,8	10,6	9,8	4,3	5,7	5,9	1,6	1,7	1,9	7,0	7,0	6,5
Víz	2,4	2,5	2,4	1,6	2,0	2,0	3,1	3,5	3,7	2,4	2,4	2,9
Alternatív	0,5	1,3	1,8	0,0	0,0	0,0	0,5	0,9	1,0	0,4	0,4	1,2

* az összehasonlíthatóság érdekében Csehország, Lengyelország és Magyarország nem az OECD-nél van figyelembe véve

keknél. Geológusaink szerint az ország területének nagy részét már alaposan megkutatták, így valószínűtlen, hogy jelentős jó minőségű, műrevaló szén-vagyonra bukkanjanak, és az is valószínűtlen, hogy 1-2 km mélységen belül újabb nagy szénhidrogén-előfordulásokat találjanak. Az ürfelvételek alapján a több km mélységben esetleg fellelhető földgáz sem lenne olcsó, mivel a termelési költség a mélységgel gyorsan nő, amit fokoz a Pannon-medencében uralkodó magasabb hőmérséklet. Fosszilis tüzelőanyag-vagyonunk kitermelése geológiai és gazdasági okokból csökkenő tendenciájú, az urántermelés megszűnt. A 24. táblázat az 1998. évi termelés adatait is mutatja, az értékeket érdemes az ország 1 EJ/év körüli összenergia-felhasználásával egybevetni.

Az ásványi energiahordozó-vagyonunk helyzetét bemutató 41. ábra annyiban tér el a korábbiaktól, hogy a vonatkoztatási alap nem az évszázad kumulált szükséglete, hanem az előző évi tényleges magyar felhasználás. Az ábra szerint leginkább lignitvagyonunk érdemel figyelmet, a fekete- és barnaszén lehetőségek jó része valószínűleg elvesz, a többi potenciál nem számottevő.

Ilyen szerény energiavagyon mellett megkülönböztetett jelentősége van az energiainportnak. Jelenlegi energiafelhasználásunk kétharmadánál is többet fedezünk importból és az arány az igények növekedése miatt tovább fog nőni. Az energiabehozatal döntő része Ukrajnán keresztül szállítva Oroszországból származik. Az egyoldalú ellátás nemcsak energiaellátásunkat, hanem egész nemzetgazdaságunkat sebezhetővé teszi, mivel nem zárható ki, hogy a szállítási lehetőség műszaki, gazdasági, politikai, stratégiai vagy más okból megszakad. Ezért Magyarországnak energiaellátását több lábra kell alapozni, energiainportjának forrásait diverzifikálva mind energiafajták, mind beszerzési

A magyar energetikai potenciál

Energiafajta	Vagyon			Termelés/év		Ellátottság, év
	menyiség	hőérték, PJ	TJ/fő	menyiség	hőérték, PJ	
Nem megújulók						
fekete- és barnaszén	480 Mt	8 100	0,8	7,0 Mt	75,2	67
lignit	2 200 Mt	15 000	1,5	7,6 Mt	52,3	400
kőolaj	19 Mt	790	0,07	1,3 Mt	51,6	13
földgáz	90 Gm ³	2 800	0,26	3,9 Gm ³	130,1	18
uránérc	3,4 Mt	5 000	0,5	20 t	50	megszűnt*
geotermikus energia	50 km ³	60 000	6,0	0,5 Mm ³	3,5	nem becsülhető
Megújulók		PJ/a	GJ/a, fő			
vízenergia		16	1,6	178 GWh	1,78	–
biomassza		100	10	1,1 Mt	14	–
nap- és szélenergia		10	1,0	–	–	–

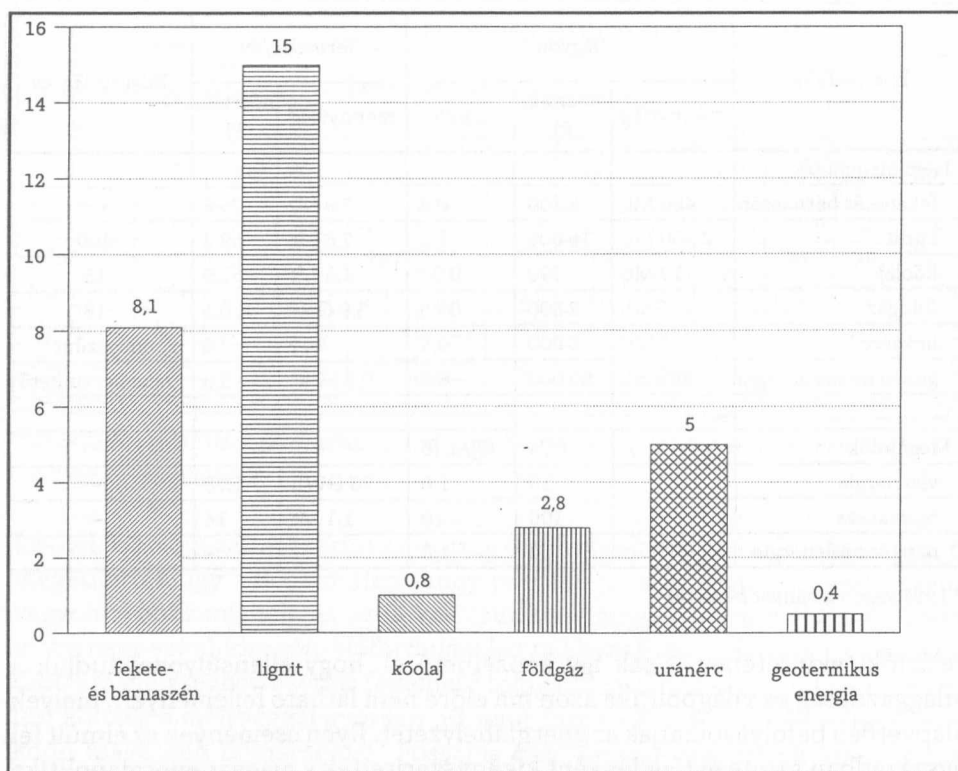
* 1997 végén a bányát bezárták

relációk tekintetében. Csak így képzelhető el, hogy ellensúlyozni tudjuk a világgazdaság és világpolitika azon ma előre nem látható fejleményeit, melyek alapvetően befolyásolhatják az energiahelyzetet. Ilyen események az elmúlt fél évszázadban szinte évtizedenként kikényszerítették a magyar energiapolitika alapvető átértékelését. A 32., 34–35. ábrákból kitűnik, hogy a magyar viszonyok szempontjából meghatározó szerepet játszó Nyugat-Európa nem tartozik az energiahordozókban gazdag területek közé.

Egy energiaforrásokban olyan szegény országban, mint Magyarország, különösen fontos, hogy időben felfigyeljünk a kínálkozó új lehetőségekre és hasznosítsuk azokat energiaellátásunkra. Az új megoldások realitásának és jövőjének megítélése azonban alapos és tárgyilagos elemzést igényel. Sokan kizárólag a megújuló energiafajtákra alapuló energiagazdálkodásban látják a megoldás lehetőségét. Mások viszont illúzióknak tekintik az ehhez fűzött reményeket, mert a potenciálokat nem tekintik elegendőnek és nehezen tartják elérhetőnek a gazdaságosságot. A megújuló energiafajták fokozottabb kiaknázása vonzó alternatíva, a gyors térhódításukra vonatkozó gyakori jóslatok ellenére hasznosításuk csak lassan bővül.

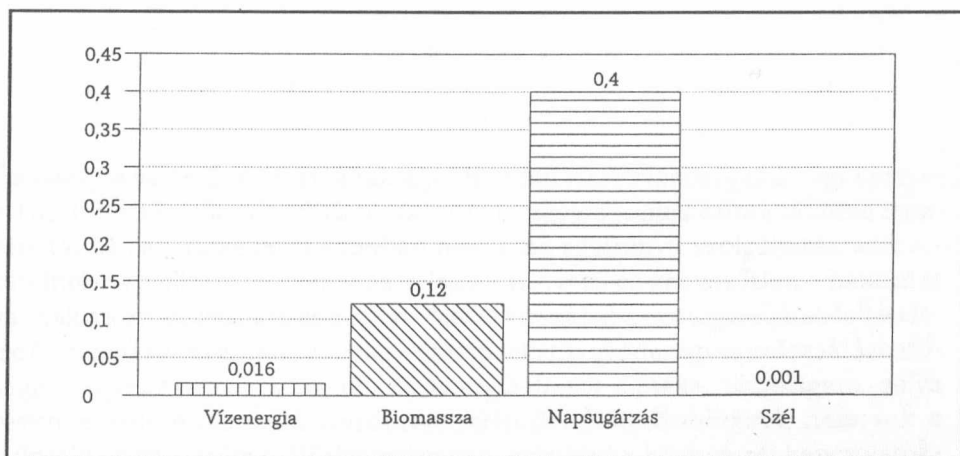
A 22. táblázatban egyéni becslés található a megújuló energiaforrások Magyarországon reálisan kiaknázható mértékére is. A 42. ábra e potenciálokat az ország éves energiaszükségletére vetítve mutatja be, ebből kitűnik, hogy sajnos a megújuló forrásokhoz sem lehet nagy reményeket fűzni. A területek ará-

A magyar ásványi energiavagyon



nyának megfelelően Magyarországra eső napsugárzás hasznosítható potenciálja ugyan az éves energiafelhasználás 40%-a körül mozog, de azt a szezonális megoszlás és az időjárás alakulása nagyságrendekkel leértékeli. A megújuló források közül jelenleg a biomasszától várható a legjelentősebb hozzájárulás. A teljes magyar mezőgazdasági biomassza-produkció szervesanyag tartalma 800-900 PJ/év energiaértéket reprezentál, ennek a fele melléktermék, aminek 20-30%-a hasznosítható energetikai célra, ha sikerül megszervezni begyűjtését. Ehhez járul a tűzifahasznosítás, az 1,6 Mha-nyi erdőterületünkéből évente 2-2,5 Mt faanyag termelhető ki, ennek energiaértéke 10-15 PJ/év. Mindezt összesítve mintegy 100 PJ/év-re tehető a biomasszából kinyerhető energia. Ennél nagyobb értéket csak akkor lehet remélni, ha a növényekből előállított motorhajtó anyagok versenyképessé válnak, aminek feltétele vagy a jelenleginél jóval magasabb olajár, vagy a termék dotálása (amire példa a biodízel). Ma a biomassza eltüzelése a jellemző felhasználás, egyes fajtáit közvetlenül, másokat gazdaságosan csak a fajtérfogatot csökkentő előkészítés, esetleg szárítás után égetik el. A nem jelentős vízerő-potenciál a magyar folyószakaszokon mintegy

Megújuló potenciálok Magyarországon



16 PJ/év, de ennek kiaknázását politikai okok akadályozzák (mivel a potenciál több mint 80%-át a Bős–Nagymaros vízlépcsőrendszer által kihasználni tervezett Dunakiliti és Nagymaros közötti Duna-szakasz reprezentálja, ahol a közvélemény erőműépítést ellenző nyomása nagyon erős).

Irodalom

- Boyle, G. et al.: *Renewable Energy*. Oxford University Press, 1996.
- Czelnai Rudolf: *Bevezetés a meteorológiába*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1996.
- King Hubbert, M.: The energy resources of the Earth. *Sci. Am.*, 225, 61 (1971)
- Magyarország ásványi nyersanyagvagya*. Magyar Geológiai Szolgálat, Budapest, 1996.
- New Renewable Energy Resources*. World Energy Council, London, 1994.
- Rogner, H. H.: Sustainable Energy Development. *Sci. Forum* 43rd Gen. Conf. IAEA. IAEA, Vienna, 1999.
- Sorensen, Bent: *Renewable Energy*. Academic Press, London, 1979.
- Statistical Review of World Energy*. BP AMOCO, London, 1999.
- Survey of Energy Resources*. World Energy Conference, London, 1990.
- United Nations International Framework Classification for Reserves/Resources – Solid Fuels and Mineral Commodities. United Nations Economic Commission for Europe, New York, 1997
- Uranium Production, Resources and Demand*. OECD, Paris, 1996.
- Vajda György: *Energia és társadalom*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1975.
- World Energy Outlook*. International Energy Agency, OECD, Paris, 1995.

Kölcsönhatások

Az energia valamilyen formában eljut minden háztartásba, gazdasági szervezetbe, intézménybe, átszövi a társadalmi és egyéni létnek szinte minden mozzanatát. Az energiaellátás azonban nem csak egyirányú szolgáltatás, szervezeteinek és technológiáinak más jellegű – kedvező és kedvezőtlen – hatásai is vannak a környezetükre, és a környezet is visszahat az energiaellátás feltételeire és mozgásterére, megszabva az energiaellátás gazdasági és műszaki lehetőségeit, fejlesztésének irányait. Az energiaellátás léptéke, hatósugara, súlya révén e kölcsönhatások hordereje jelentős. Kölcsönhatások nemcsak a műszaki és gazdasági reálfolyamatokban, valamint a környezeti kapcsolatokban érvényesülnek, hanem gyakran társadalmi kihatásuk is van.

Befolyás az életvitelre

Életünk szinte minden mozzanata energiafelhasználással jár együtt. Az, hogy rendelkezésre állnak-e az életvitelhez szükséges különféle energiahordozók, továbbá az ellátás minősége és költsége közvetlenül befolyásolja mindenki életmódját. A legközvetlenebbül természetesen a saját helyzetünket és életünket érintő hatásokat érzékeljük. A kellemes élet- és munkakörülményekhez az éghajlattól és időjárástól függően fűtésre, világításra, esetleg klimatizációra van szükség. Áttekinteni is nehéz az energiaigényes műveleteket, mint például ételkészítés (főzés, sütés, ételek tartósítása és tárolása, műveletek gépesítése stb.), tisztálkodás (vízmelegítés, testápolás), lakáskarbantartás (takarítás, mosogatás, karbantartás), ruhakarbantartás (mosás, vasalás, szárítás), gyógyászati eszközök, számítógép-használat, a szabadidőben használt berendezések (tv, rádió, kép- és hangrögzítő, illetve -lejátszó eszközök, barkács- és kertészeti gépek) stb., stb. A paletta évről évre új lehetőségekkel bővül, a magyar háztartások gépesítettségének színvonalát érzékelteti a 25. táblázat. Sok időt töltünk közlekedéssel, aminek ma már nemcsak a villamos, hanem az interkontinentális repülőgép is magától értetődő eszköze. A munkahelyek gépei és eszközei tehermentesítenek a nehéz fizikai és a megterhelő mechanikus szellemi tevékenység alól. Hasonló szerepet tölt be a munkahelyeket és a kereskedelmet kiszolgáló szállítás és anyagmozgatás.

Nehéz túlbecsülni az energiaellátás hozzájárulását az emberek életminőségének jobbá tételéhez. Egészségesebb táplálkozás, kulturáltabb lakásviszo-

A magyar háztartások gépesítettségének színvonala 1999-ben

Eszköz	Ellátottság, %
Televízió	116
színes televízió	90
Rádió	102
Rádiós magnó	60
Porszívó	92
Képmagnó	48
Mosógép	93
automata mosógép	60
Szárítógép	2
Hűtőgép	96
Fagyasztó	60
Mikrohullámú sütő	40
Mosogatógép	3
Villamos tűzhely	9
Gáztűzhely	90
Személygépkocsi	47
Számítógép	12

nyok, kedvezőbb munkakörülmények, több lehetőség a szükségletek kielégítésére, a fizikai munka megkönnyítése, nagyobb mobilitás és még hosszan lehetne sorolni az energetika szerepét az egészségesebb és kellemesebb életkörülmények megteremtésében. Energiaellátás híján megbénulna a gazdasági élet, működésképtelenné válnának a társadalmi intézmények, ellehetetlenülne a közigazgatás és az ország védelme. Energiaráfordítás nélkül nehéz elképzelni a környezet célszerű átalakítását, hogy a Föld lakhatóbbá váljék, és ki lehessen elégíteni gyorsan növekvő lakosságának szükségleteit. A tudomány korszakalkotó vívmányainak érvényesüléséhez is energia kell, hajtóművek nélkül nem létezne az űrhajózás, áramellátás nélkül számítógépek és informatika.

A modern ember nemcsak ki-be kapcsolgatja eszközeit, hanem nagyjából tisztában van azok energiaellátásának módjával is. Személyes tapasztalataink vannak a villany- és gázellátásról, a fűtés körülményeiről, gépkocsink üzemeltetéséről, közvetettek az ismereteink a különféle infrastrukturális szolgáltatások – közlekedés, vízellátás, információszolgáltatás stb. – energiaellátási feltételeiről, és munkavégzésünk energetikai követelményeiről. Az energiaellátás sok ember számára munkalehetőséget jelent, és a munkakörök jó része az önmegvalósításra is lehetőséget biztosít. A teendők bonyolultsága ugyanis

nemcsak az értelmiségi beosztásokban, hanem gyakran az operatív szerepekben is kreatív, problémamegoldó jellegű tevékenységet kíván.

Magától értetődőnek tartjuk, hogy energiára mindig számíthatunk, csak akkor ébredünk rá ennek a jelentőségére, amikor a folyamatosság megszakad. Már rövidebb idejű zavarok is sokkolólag hatnak, amikor a lakás sötétbe borul, leáll a fűtés, nem működik a tv, elakad a közlekedés stb. A mostoha viszonyok miatt az életkörülmények barátságtalanná válnak, egy nagyobb kiterjedésű és hosszabb idejű energiaellátási zavar pedig már komoly gazdasági és társadalmi problémákat okoz. Jó néhány példa van arra, hogy fejlett országokban a villamosenergia-rendszer összeomlásának kihatása felért egy komolyabb természeti katasztrófával. Az ellátás zavara nem csupán a termelést és a személyes szükségletek kielégítését érinti, hanem megbéníthatja a közlekedést, a forgalomirányítást, az egészségi ellátást, befolyásolhatja a közbiztonságot stb. A 30 millió amerikai életvitelét két napig ellehetetlenítő „nagy északkeleti áramkimaradás” (Great Northeast Blackout, 1965) idején még a nukleáris csapásmérő légierőt is riadóztatták. Az ellátás zavarai okozta „kellemetlenségek” jelentőségét a feledés hamar elhomályosítja.

Érzékenyen érinti az embereket az energiaköltségek növekedése is, szinte társadalmi igazságtalanságnak érzik, ha a szolgáltatások drágulnak az energiaárak emelkedése miatt. A magas energiaárak az alacsony jövedelmű háztartások egyensúlyát fel is boríthatják, egyesek képtelenné válnak a fűtés-, gáz-, villanyszámlák kifizetésére. Ezért az energiaárak nemritkán politikai kérdéssé válnak, kiváltva a kormány nem mindig szakszerű beavatkozását. A leggyakoribb hiba, hogy a szociálpolitikai teendőket a gazdaság működésének módosításával kívánják helyettesíteni, például állami dotációval vagy keresztfinanszírozás kikényszerítésével. Az elmúlt években ilyen lépések többször okoztak súlyos zavarokat nemcsak az energiaellátásban szerepet játszó vállalataink tevékenységében, hanem a nemzetgazdaság egészében. Az ilyen kényszereket a gazdaság tartósan nem viseli el, a vállalatoknál jelentős veszteség, vagyonfelélés, a részvények értékvesztése (beleértve az állami tulajdont is) a következmény, a makrogazdaság szintjén pedig az energiapolitika torzulása, ha az árak hamisan orientálják a fogyasztókat (pl. gázár). A mesterségesen alacsonyan tartott ár az energiatakarékosság ellen hat. A költségvetési támogatás pedig társadalmi igazságtalanság, mert a terheket nem a fogyasztók viselik, hanem az állampolgárok, akiknek jelentős hányada az adott energiafajtának nem is fogyasztója.

Nem múló jellegűek a félelmek az életünket, testi épségünket, egészségünket veszélyeztető kísérőjelenségek miatt (erről bővebben az *Egészségkárosodás* c. fejezetben). Sajnos a természet semmit sem ad ingyen, az energiaellátás előnyei szükségszerűen együtt járnak az életkörülményeket kedvezőtlenül befolyásoló hatásokkal is. Ha azonban mérlegre tesszük az energiaellátás hasznát és nemkívánatos következményeit, a pozitívumok nagyságrendekkel

26. táblázat

A következmények fontosabb típusai

Következmények típusa	Következmények jellege	Példák a lehetséges kimenetekre	Példák a kiváltó hatásokra
Egészségi ártalom	szervezet károsodása	életvesztés, rokkantság, életidő csökkenése, tartós egészségromlás, személyiségzavar, utódok károsodása, regenerálódó betegség	baleset, munkahelyi ártalom, környezetszennyezés, stressz
Életkörülmények romlása	létfeltételek romlása	egészségi állapot romlása, ellenálló képesség csökkenése, rossz közérzet, csökkent munkaképesség, devianciák	egészségtelen táplálék és ivóvíz, rossz lakáskörülmények, kedvezőtlen munkakörülmények, leromlott infrastruktúra, hiányos higiénia, frusztráló környezet
	tevékenység korlátozása	anyagi kár, életszínvonal-csökkenés, munkanélküliség	területhasználat, élelmiszer-fogyasztás, ivóvízhasználat korlátozása; tevékenységek tilalma, forgalomkorlátozás, munkalehetőségek csökkenése
	áttelepülés	életforma módosulása, egyéni és társadalmi terhek	átmeneti vagy tartós kitelepítés, elvándorlás
Természeti környezet károsodása	erőforrások túlterhelése	erőforrások kimerítése, talaj termőerejének csökkenése biomassza-képződés visszaesése, tápláléklánc zavarai, tájrombolás, nyersanyagok drágulása	túlhajtott területfelhasználás és nyersanyag-kitermelés, légszennyezés, vízbázisok túlterhelése, talajkárosítás, hulladékelhelyezés, deforesztáció, elszívtagosodás, karsztosodás
	meteorológiai változások	időjárás, mikroklima, globális klíma módosulása, növényzet átalakulása, változások a hidroszférában, egészségi konzekvenciák, csökkent mezőgazdasági produkció	légszennyezés, hőszennyezés, savas eső, ózonlyuk, áramlatok módosulása, inszoláció változása
	biológiai degradáció	állat- és növényfajok kipusztulása, genetikus degradáció, emberi létfeltételek romlása	környezetszennyezés, túlzott vegyszerhasználat, természetes egyensúlyok felbomlása, értékes fajok kipusztítása

26. táblázat folytatása

Következmények típusa	Következmények jellege	Példák a lehetséges kimenetekre	Példák kiváltó hatásokra
Anyagi értékek eróziója	közvetlen anyagi károk	berendezések, létesítmények sérülése, tönkremenetele, ingatlanok értékvesztése, infrastruktúra leromlása, termékek minőségromlása, elmaradt haszon, kármentesítés, kártérítés, keresetkiesés, védekezés vagy gyógyítás költsége	tűz, robbanás, baleset, korrózió, erózió, anyagkifáradás, környezetszennyezés
	közvetett anyagi károk	forgalomcsökkenés, vállalatok elsorvadása, munkanélküliség, elszegényedés, nemzeti jövedelem kiesése, fizetési mérleghiány, eladósodás, exportképesség visszaesése	gazdasági tevékenység korlátozódása, gazdasági potenciál csökkenése, piac beszűkülése, beruházások visszaesése, munkalehetőség csökkenése, áttételek más vállalatokra, ágazatokra, településekre
	hibás döntések	ellátási zavar, gazdasági torzulás, nemzeti jövedelem kiesése, hiány a külkereskedelmi és fizetési mérlegben, elégedetlenség, politikai feszültség	rossz helyzetmegítélés, kényszerhelyzet, parciális érdekérvényesítés, érdekképviselők pressziója
Társadalmi károk	rossz közhangulat	félelem, rossz közérzet, bizalmatlanság, politikai feszültség, konfrontációk	rossz döntések, veszélyhelyzet, feloldatlan konfliktusok
	közösségek degradációja	elidegenedés, romló munkakultúra, devianciák, pauperizáció, agresszivitás térhódítása, közösségek szétesése, elvándorlás	gazdasági leszakadás, környezet pusztulása, leépülés, vonzerővesztés

haladják meg a negatívumokat. A mérlegelésnél azt is figyelembe kell venni, hogy minden emberi tevékenység elkerülhetetlenül veszélyekkel jár együtt. Otthonunkban, munkahelyünkön, közlekedés közben, szabadidőnk eltöltésénél, szükségleteink kielégítésénél veszélyek vesznek körül, balesetet szenvedhetünk, egészségkárosító anyagok kerülhetnek szervezetünkbe, kellemetlen ingerek érhetnek, veszélyessé válhatnak az életkörülményeink stb.

Az energiaellátás miatt szükséges technológiák és berendezések legnagyobb része potenciális veszélyforrás. Veszélyforrások lehetnek a különböző anyagok, mégpedig fizikai tulajdonságaik révén (robbanóképes, éghető, sugárzó stb.), kémiai viselkedésük következtében (marók, korrozívak, fotooxidánsok stb.), biológiai hatásukkal (mérgezők, ingeranyagok, rákkeltők stb.). Veszélyesek lehetnek a berendezések és technológiák a tárolt energia (pl. tüzelőberendezések, nagynyomású tartályok, atomreaktorok, áramforrások, forgó tömegek) miatt, vagy más hatások révén (szélsőséges állapotjellemzők, sugárzások, emissziók, zaj stb., stb.). Veszélyt képviselhetnek gazdasági vagy társadalmi folyamatok is, sőt maga az ember is lehet veszélyforrás figyelmetlen, tudatlan, felelőtlen magatartásával, nemritkán saját magára is.

Munkahelyi balesetek és foglalkozási betegségek csak az energiaipari vállalatok dolgozóit veszélyeztetik, de a gázrobbanások, vagy a villamos áramütések legtöbb áldozata már a lakosság laikus köréből kerül ki. A technológiák üzemzavarai csak kivételesen – főleg a nagyon ritkán előforduló katasztrófáknál – veszélyeztetik a lakosságot. A vasúti és közúti közlekedésben bonyolódó áruforgalom jelentős hányadát kitevő energiahordozók szállításából származó balesetek áldozatai viszont főleg kívülállók. Fokozott nyugtalanságot váltanak ki az energetika környezetszennyezésének lehetséges egészségi ártalmai, mivel azok a lakosság széles rétegeit érinthetik. Vannak lélektani hatások is, például nehezen tudjuk kivonni magunkat az energetika neuralgikus kérdései körül kialakult közhangulat és az ebből származó társadalmi viták frusztráló hatása alól. Ilyen viták elsősorban veszélyes, vagy annak tartott létesítmények telepítése vagy üzemeltetése körül bontakoznak ki, de nemritkán gazdasági érdekek húzódnak meg a háttérben.

A veszélyek csökkentése állandó törekvés, de azt teljesen nem lehet megszüntetni, veszélytelen technológiák nem léteznek. Ezt még egy tevékenység beszüntetése sem biztosítja, mivel ilyenkor az energiahány miatt elmaradt szolgáltatások következményeivel kell szembesülni. Előfordulhat, hogy egy kockázat kiküszöbölése nagyobb veszélyt von maga után, például a betiltott atomerőműveket hagyományos erőművekkel kell helyettesíteni, ami növeli az emissziókat, az üvegházhatást, a hulladékproblémákat stb.

A személyes közérzetet jelentősen befolyásolja a bennünket körülvevő „épített” környezet állapota is. Az épített környezetet a lakóépületek, a közösségi és vállalati létesítmények, a kereskedelem, az infrastrukturális rendszerek (közlekedés, hírközlés, kommunális szolgáltatások stb.) berendezései

alkotják, számos létesítményre éppen az energiaellátás érdekében van szükség. Az épített környezet létrehozásához és működtetéséhez energia kell, a szolgáltatások színvonala (pl. a közvilágítás, a levegőminőség, a gépesítettség mértéke, a forgalomirányítás, a tisztaság, áttételesen a közbiztonság stb.) nem jelentéktelen mértékben energetikai kérdés is. Az energetika különféle környezeti hatásai – elsősorban korrózió és erózió révén – pedig károsíthatják az épített környezetet, ami gyors leromláshoz vezethet, ha elhanyagolják a karbantartást.

A 26. táblázat a valós veszélyek következményeinek fontosabb típusait tekinti át; az első két csoport (egészségi ártalmak, emberi életkörülmények romlása) az embereket érintő kihatásokat, a következő három csoport (természeti környezet károsodása, anyagi értékek eróziója, társadalmi károk) az ember környezetének károsodását fogja át. A tudomány és technika fejlődése újabb veszélyforrások felismerését eredményezi, például az üvegházhatás antropogén eredetű növekedése, a savas esők, az ózonlyuk az utóbbi egy-két évtizedben került a figyelem előterébe. A következmények egy része tőlünk távol vagy időben jelentős késéssel érvényesül, ezeket közvetlenül nem érzékeljük, az áttételes folyamatok pedig a szakemberek számára sem könnyen követhetőek. Még saját egészségünk károsodásáról sem mindig szerzünk időben tudomást. Az áttekintést nehezíti, hogy egy-egy veszélytípusnak sokféle következménye lehet. Így például a kén-dioxid-légszennyezés légzőszervi ártalmakat okoz, korrodálja a szabadban lévő létesítményeket, savas esőket idéz elő, savanyítja a termőtalajt, kedvezőtlen a növények fejlődésére, zavarja a levegőtisztaságra kényes technológiákat, a szennyezett levegő csökkenti a térség gazdasági vonzerejét, rontja az emberek közérzetét és mindezek révén jelentős anyagi kárt is okoz a társadalomnak.

Kölcsönhatás a természettel

A környezettel kapcsolatos vizsgálatok – érthető módon – főleg az emberi lét életterére, a bioszférára irányulnak. A bioszférát nagyon sok egymással is kölcsönhatásban lévő összetevő alkotja, a légkör, a hidroszféra, a talaj, a növény- és állatvilág, a táj, befolyásolja az időjárás, érvényesülnek Földön kívülről érkező hatások (kozmikus- és napsugárzás, gravitáció) stb. A bioszféra emberi beavatkozás nélkül is folytonos átalakulásban van, változik a természetföldrajzi környezet és módosul az élővilág. Az egyensúlyt megbontó hatások legnagyobb része természetes eredetű. A leglátványosabb hatása a természeti katasztrófáknak (földrengés, árvíz, szélvihar stb.) van, ezek következményeiből azonban a természet meglepően gyorsan regenerálódik. Vannak kevésbé látványos, de folyamatos hatások (tektonikus lemezek mozgása, hegyképző erők, szél és vízfolyások erózió hatása) és érvényesülnek változékony erők, mindenekelőtt az

időjárás szélsőséges hőmérséklet- és csapadékvizonyai. Jelentősek az élővilág kölcsönhatásai is, betegségek, a tápláléklánc módosulása, az élőhelyek átalakulása fajok kipusztulását vagy elterjedését, mutációk kilakulását idézhetik elő. A bioszféra állandó változásai közepette nehezen értelmezhető az időnként felmerülő igény az „eredeti” állapot megőrzésére. (Vonzó lenne-e ma a Kárpát-medence honfoglalás idején érvényesülő képe, amikor területünk negyede mocsaras, lápos ártér, másutt futóhomok, vagy járhatatlan erdős rengeteg volt.) Nem mindig könnyű elhatárolni, hol ér véget a természeti erők hatása és hol kezdődik az ember szerepe. A természetes folyamatokra irányuló emberi tevékenység célja többnyire a Föld lakhatóbbá tétele, de ez gyakran – sajnos növekvő mértékben – együtt jár a bioszférát károsító kedvezőtlen hatásokkal is, melyekben jelentős az energetika szerepe. Ahogy nőtt az energetikai berendezések teljesítménye, úgy nőtt a zavarok mértéke és hatósugara, a lokális hatások regionálissá fejlődtek (pl. savas eső, agglomerációk melegedése), sőt megjelentek a bolygónk egészét érintő globális következmények (pl. üvegházhatás, radioaktív nemesgáz felhalmozódása) is.

Társadalmi nyugtalanságot környezeti ártalmak miatt leginkább energetikai tevékenységek váltanak ki. Az előidézett következmények dimenziója, veszélyessége, hatásterülete miatt ezek váltak a környezetvédelem legneuralgikusabb kérdéseivé. A környezetszennyező kibocsátások csökkentését szolgáló legtöbb nemzetközi egyezmény teljesítésének is az a kulcsa, hogy mérsékeljék az energetikai eredetű emissziókat. Mindezek miatt az energetika fejlesztésének meghatározó feltételévé vált a környezetvédelem. Ma már magától értetődő, hogy az energetikai kérdések megítélésének elengedhetetlen eleme a környezeti hatások vizsgálata, a létesítési engedélyeknek feltétele, hogy hatástanulmányokkal igazolják az elfogadhatóságot. A 21. század energiapolitikájának meghatározó tényezője lesz az üvegházhatás korlátozása.

A 20. század vége felé általánosan elfogadott célkitűzéssé vált a „fenntartható fejlődés”, vagyis a jelenlegi nemzedék indokolt szükségleteinek kielégítése olyan módon, hogy az ne korlátozza a későbbi generációk lehetőségeit. Már az eredeti ENSZ-okmány kidolgozásánál is nyilvánvalóvá vált, hogy ennek egyik kulcskérdése az energiaellátás, mivel az emberiség energiaszükségletének kielégítéséhez egyrészt a természeti erőforrások nagyarányú kiaknázására van szükség, másrészt a technológiák kibocsátásai jelentősen terhelik a környezetet.

A természeti erőforrások felhasználásában a legnagyobb tétel a szükséges primer energiahordozók – mindenekelőtt az ásványi tüzelőanyagok évente sok Gt-ra rúgó mennyiségének – folyamatos és nagymértékű kiaknázása. A földkéregben található ásványok, ércek, és különösen a fosszilis tüzelőanyagok készleteinek kimerüléséről heves viták zajlanak. A Római Klub a növekedés határaitól készített jelentésében a véges nyersanyagkincsben jelölte meg a fejlődés közeljövőben érvényesülő korlátját. A zöldmozgalmak is

gyakran hangoztatják az ásványvagyon – főleg a szénhidrogének – gyors elapadásának veszélyét. A jóslatok nem váltak be – a földtani kutatások újabb, jelentős előfordulásokat tártak fel, a vagyon még a legkritikusabbnak tartott olaj- és földgázkincsben is gyorsabban nőtt a kitermelésnél, és a geológusok rendkívül nagy, fel nem tárt potenciális készleteket tétéleznek fel. A Föld ásványi tüzelőanyag-potenciáljának számbavétele (lásd az előző fejezetet) sok évtizedre valószínűsíti az igények kielégíthetőségét.

Mivel az energiahordozókat ma hasznosító embereket morális felelősség terheli az utánunk jövő generációkkal szemben, fel kell tenni a kérdést mennyire szabad kiaknáznunk a Föld véges erőforrásait, van-e jogunk korlátozni utódaink lehetőségeit, behatárolni cselekvésük mozgásterét? A fundamentalista nézetek szerint a Földet változatlan formában kell továbbadnunk az utódoknak, csupán a természetes folyamatok hozama – „kamata” – felett van szabad rendelkezési jogunk, így az energetikában csak megújuló energiaforrásokat lenne szabad hasznosítani, kimerülőket nem. Ez az elképzelés nyilván irreális, egyrészt nincs „változatlan forma”, hiszen állandóan érvényesül a természet erőinek módosító hatása és az emberi jelenlét hatása arra csak szuperponálódik, másrészt ilyen alapon a civilizáció nem lenne fenntartható. Az „utánunk a vízözön” szemléletű ellentétes szélsőséget sem lehet osztani, hiszen saját utódaink létfeltételeiről van szó. A középutat egy pragmatikus megközelítés jelentheti, amely mértéktartó és visszafogott gazdálkodást ajánl, az erőforrások egy részének megőrzésével az utókor számára. Így a jelenlegi energiaigényeket csak bizonyos mértékig elégítenénk ki az utódok számlájára, feltételezve, hogy az emberi leleményesség nem vész ki, az utódok sem lesznek butábbak nálunk és megtalálják a helyettesítés megoldását. A készletek kímélése vagy kimerítése azonban nem szándékokon múlik, hanem gazdasági érdekeken. Ezek híján a racionális gazdálkodásra intő megfontolások, mint jámbor óhajok, nem befolyásolják a piaczgazdaság mechanizmusait. Egy erőforrás kímélésének az a feltétele, hogy helyettesítésére álljon rendelkezésre tartósan versenyképes más megoldás.

A racionális gazdálkodás igénye a világ kőolaj- és a földgázvagyonával kapcsolatban a legindokoltabb. Ennek egyik oka, hogy ugyan a világ szénhidrogénvagyonának kimerülése nem közeli veszély, a készletek véges volta nem vitatható, a viszonylag olcsó kőolaj és földgáz korszaka aligha terjed túl a 21. század első felén. A másik ok, hogy a szénhidrogének értékes és nehezen pótolható vegyipari alapanyagok, valamint csak drágán helyettesíthető motorhajtó üzemanyagok, ezért eltüzelésük hőfejlesztésre kimondottan pazarlás. Mindezek ellenére a szénhidrogének kitermelését kizárólag az értékesítési lehetőségek szabják meg. Biztató fejlemény, hogy az árviszonyok hatására erősen visszaszorult a kőolajtermékek erőművi felhasználása, nyugtalanító viszont a földgázfelhasználás robbanásszerű bővülése.

A világ tekintélyes szénvagyonának helyzete egyelőre nem indokol különösebb önmérsékletet a kitermelésben, viszont a szén-dioxid-kibocsátás mér-

séklésének igénye erős nyomást jelent a felhasználás visszafogására. A nyomott árak miatt jó néhány szénbányát bezártak. Az urántermelés korlátozásának igényét sem a készletek kímélése motiválja, hanem az atomenergia-ellenesség. A fenntartható fejlődés szempontjából javítja az urán megítélését, hogy az energiatermelésen kívül nincs más polgári alkalmazási területe, a katonai felhasználás jelentősége pedig erősen csökkent az utóbbi időben. A tóriumra is jelentéktelen az energetikán kívüli igény, csupán kis mennyiségben használják az elektronikában és a vegyiparban. A kereslet visszaesése mérsékli az urántermelést.

Sajnos Magyarországot nem jellemzi az energiavagyon bősége. Miután Magyarország energiaellátása nagyrészt importon múlik, a hazai energiaforrázók-vagyon helyzete viszonylag kevésbé befolyásolja az energiapolitikát. Nagy figyelemmel kell viszont követnünk a nemzetközi fejleményeket, hogy időben reagáljunk a beszerzési feltételek lényeges változásaira. A hazai széntermelésnek a munkahelymegőrzés és az ellátásbiztonság szempontjából van a legnagyobb jelentősége. Szénvagyonunk ugyan nagy, de gyenge minősége és költséges kitermelése miatt értéke fokozatosan lemorzsolódott, amit különösen felgyorsított áttérésünk a piacgazdaságra. Ennek következtében a hazai szén erőművön kívüli felhasználása nagyon visszaszorult, a lakossági barnaszén-felhasználás összezsugorodott, a kokszyártást a pécsi feketeszenből beszüntették, hasonló sorsra jutott a brikettálás is. Versenyképességet csak külfejtéssel kitermelhető lignitvagyonunk ígér, melynek erőművi hasznosítása növelné a villamosenergia-ellátás biztonságát. Valószínű, hogy az erőművi célra ki nem aknázott szénvagyonunk végleg a föld mélyében marad. Ma még nem ítéltető meg, hogy a széntekológiában be fog-e következni a hasznosítást alapvetően módosító új megoldás (pl. elgázosítás, cseppfolyósítás, föld alatti elgázosítás) gazdasági áttörése. E gyakran megjósolt fejlemények még váratnak magukra, de szeneink tulajdonságai és a geológiai adottságok figyelembevételével valószínűtlen, hogy egy alapvetően új technológia a magyar szénelőfordulások versenyképtelenségét ellensúlyozná. Ugyancsak versenyképtelenné vált uránvagyonunk is a magas költségek és az érc gyenge minősége miatt. Urán-előfordulásaink felértékelődése hosszú távon is valószínűtlen, külföldön is sok, ennél jobb uránbányát zártak be. Kivételesen nagy geotermikus energiavagyonunk kihasználását a termálvizek alacsony hőmérséklete és magas ásványianyag-tartalma korlátozza, a rezervoárgazdálkodással pedig figyelemmel kell lenni az energetikán kívüli hasznosítás (vízellátás, balneológia, bányászat) kölcsönhatásaira.

A szénhidrogének tekintetében a reális értékelést nehezíti, hogy jelenleg olcsón lehet szénhidrogéneket importálni, és a növekvő igényeket importból fedezni lehet. A nagymértékű szénhidrogén-szükséglet egyúttal az olcsó hazai források maximális kitermelésére is ösztönöz, gyorsítva a vagyon lemulását. Szerény, de jó minőségű szénhidrogénvagyonunkat a világpiaci árak emelkedé-

se felértékeli. A másodlagos és harmadlagos termelési módszerek beszüntetése a nyomott olajárak időszakában nem minősíthető előrelátó döntésnek. Érdemes a tüzelőanyagként hasznosított nehéz kőolajfrakciókból nagyobb használati értékű fehérárut kinyerni, a kőolaj-feldolgozás mélységének növelésével. Ezért szénhidrogén-erőműveinkből idővel ki fog szorulni a gudrontüzelés, és azt földgázzal fogják helyettesíteni. Földgázunk eltüzelése sem racionális megoldás hőfejlesztésre, mivel abból értékes vegyipari alapanyagok és motorhajtó üzemanyagok nyerhetők. Az energiapolitika kulcskérdése a földgázárak alakulása a jövőben, meddig lesz például kifizetődő a földgáz eltüzelése erőművekben. Mindezek figyelembevételével hazai szénhidrogénvagyonunk kiaknázásában az energetikának visszafogott magatartást célszerű követni.

A primer energiahordozókon túlmenően nem jelentéktelen feladat az energetika sokféle létesítményének és berendezésének létrehozásához és működtetéséhez szükséges más anyagok kinyerése sem a természeti környezetből. Fontos a folyamatos ellátás például mészkőből a füstgáz kénmentesítéséhez, vegyszerekből a vízkezeléshez, segédanyagokból a nukleáris üzemanyagciklus kémiai átalakításaihoz stb., de az energetika igényei csak kis hányadát teszik ki a gazdaság összesített szükségleteinek. Magyarország földtani készletei csak a nemfémek ásványokból jelentősek, kitermelésüknek csak környezetvédelmi korlátai vannak. Ezekből az építkezések nyersanyagszükséglete (mészkő, agyagásványok, kő stb.) biztonságosan kielégíthető, annak ellenére, hogy egyes energetikai létesítmények – főleg az erőművek – az ország legnagyobb beruházásai, nagy anyagigénnyel. A szerkezeti anyagokhoz szükséges fémek biztosítása nem ásványvagyon gazdálkodási, hanem külkereskedelmi feladat.

A fejlett országokban a tüzelőberendezések által a levegőből kivont oxigén mennyisége összemérhető a növényzet kibocsátásával. Sok energetikai technológiai folyamathoz van szükség vízre, egy részükhöz nagy mennyiségben. A legtöbb vizet hűtésre használják, a frissvízhűtésű hőerőművek veszik igénybe országunk ipari vízfogyasztásának 60-70 százalékát. Az energetikában sok más funkcióra is használnak vizet, például a szénelgázosításnál és a hidrokrakkolásnál kémiai reagens, a víztisztítás során oldószer, a hidraulikus szállításnál, a szénosztályozó mosásnál és flotálásnál hordozóanyag, a hidraulikus fejtésnél munkaeszköz, a hőerőgépekben munkaközeg, a hőszolgáltatásban hőhordozó, atomreaktorokban moderátor stb. Vízigényesek a kőolaj-finomítók is: 1 t kőolaj feldolgozásához átlagosan 10-20 t víz szükséges. Neheezül és drágul a szükséges mennyiségű és minőségű víz biztosítása, ezért gyorsan terjednek a környezet védelmét és a víz újrahhasznosítását szolgáló vízkezelési eljárások. A növekvő költségek (vízhasználati díj, vízdíj, szennyvízbírság) takarékosabb vízgazdálkodásra szorítják az energetika szereplőit.

A vízelőfordulások természetes egyensúlya felborul, ha a vízkivétel mértéke meghaladja a természetes utánpótlását. A víznyerő helyek hozama csök-

kenhet, vagy el is apadhat, a talajvíz szintjének változása módosíthatja a talaj szerkezetét, kedvezőtlenül érintheti a növényzet tápanyagellátását és fajok szerinti összetételét. Bonyolult változásokat okoz a felszíni vízfolyások jellegét megváltoztató vízépités (folyószabályozás, duzzasztás, tározó kialakítása stb.), műtárgyai nem csak az áramlási viszonyokat módosítják, hanem visszahatnak a víz és a környezet élővilágára, a környező klímára és az emberi használhatóság jellegére is. A nagyon nagy tömegű gátak és tározótavak súlya elmozdulásokat idézhet elő az alattuk fekvő kőzetekben, esetleg kisebb földmozgásokat is kipattintva. Az áramlási sebesség csökkenése a hordalék kiüledését, növekedése medereróziót okozhat, a víz tulajdonságainak (anyagi összetétel, hőmérséklet, sebesség) változása módosíthatja az élővilág jellegét stb. A környezetvédelem sikeresen szorítja vissza az élővizekbe kémiai szennyezők kibocsátását a szennyvizekben, és korlátozza a nagy mennyiségű hűtővíz okozta felmelegedést. Új probléma a víz globális körfolyamatának megzavarása az üvegházhatással, ami a számítások szerint módosítani fogja a csapadék területi eloszlását és mennyiségét.

A megváltozott hidrológiai és hidrobiológiai körülmények stabilizálódása hosszú időbe telik, meggyőző erejű helyzetképet csak ezt követően lehet kialakítani. Ez nagymértékben nehezíti a vízviszonyokat érintő beavatkozások környezetvédelmet kielégítő tervezését, ami erősen visszavetette a vízerőmű-építési elképzeléseket. A bős–nagymarosi vízlépcsőrendszerrel kapcsolatban évtizedekig tartó szenvedélyes társadalmi vita egyik oka a lehetséges következmények bizonytalansága, például mekkora vízhozam biztosítja az Öreg-Dunában az ökológiai egyensúlyt, milyen feltételeket kell biztosítani a Szigetköz talajvízháztartásának szabályozásához, mik a korlátai a bősi erőmű szabályozásának, vannak-e káros következményei a nagymarosi duzzasztásnak. A vitákat motiválták érzelmi kérdések is, megőrizhető-e a tájkép szépsége, a létesítés nem jelenti-e a rendszerváltás eszméjének feladását, mivel az 1980-as évek végén egybemosódott a mű és a politikai rendszer ellenzése. Mindez együttvéve a kérdést szinte megoldhatatlan politikai üggyé deformálta, háttérbe szorítva a reális szakmai elemzést. Ebből hatalmas külpolitikai, belpolitikai, gazdasági és ökológiai káraink származtak, viszont döntéseink semmiféle haszonnal nem jártak. Az eddig veszendőbe ment kiadásokból minden munkanélkülinek munkahelyet lehetett volna létrehozni Magyarországon.

Az energetika sohasem játszott kezdeményező szerepet a bős–nagymarosi vízlépcsőrendszer létesítésében, mert megépítése kizárólag energetikai célból nem gazdaságos. A közvélekedéssel ellentétben a létesítés nem energetikai, hanem folyószabályozási érdek, mivel a folyó vízszintje süllyed a medererózió következtében. Ezzel együtt csökken a talajvíz szintje, rontva a környezet növényzetének tápanyagellátását és csökkentve az ivóvízbázist, a folyómederből mindjobban kiemelkedő – nem erodeálódó – sziklahátak pedig a hajózási feltételeket rontják. A problémák végleges megoldását jelentő duzzasztás

előbb-utóbb elkerülhetetlen lesz. Nagy pazarlás lenne a más okból megépített gátaknál lemondani a szintkülönbség hasznosításáról a villamos energia olcsó és környezetbarát termelésére.

A felszín alatti vizekből a legnagyobb mennyiséget a bányászat emeli ki. Mélyműveléses szénbányáinkból 1 t szén kitermelésével átlagosan 3,8 m³ víz kiemelése párosul, az egyes bányáknál a tényleges mérték erősen függ a bányatérsg alakulásától, a hidrogeológiai adottságoktól és a termelés volumenétől. A külfejtések, valamint az uránbányászat fajlagos vízkiemelése szerényebb. Javítja a megítélést, hogy a bányákból kiemelt víz mintegy 12%-át ivóvízellátásra, és technológiai célokra is hasznosítják, a többi azonban felhasználatlanul elfolyik. Különösen sok vizet kell kiemelni a művelés lehetőségének biztosításához a rétegvíz szintje alatti szénbányákból. A Dunántúl karsztvízszintje alatti eocénbányák nem mindegyikénél sikerült a vízmentesítést biztosítani, ezért néhány bányát (Mány egy részét és Nagygyézházát) véglegesen elárasztotta a víz. A túlhajtott szén- (és bauxit-) bányászat hatására az 1980-as években a kiterjedt dunántúli karsztvízrendszer egyensúlya megbomlott, a víz szintje lesüllyedt és módosultak a vízmozgások a talajban. A vízrendszer megszívása nyomán nemcsak számos forrás és kút apadt el, hanem a kapcsolódó hévízforrások hozama és hőmérséklete is csökkent (pl. Budapesten és Hévízen). A károsodás megállítása radikális intézkedéseket követelt, korlátozták a termelés mértékét, egyes bányákat be is zártak. Az olajkitermelés só- és olajtartalmú rétegvíz kiemelésével jár, amit egyes kőolajmezőkön visszasajtolnak a rezervoárba a felhajtó erő növelésére, így fokozva a kőolajkihozatait (másodlagos kitermelés).

Az utóbbi időkben kezdjük felismerni, hogy milyen pazarlóan bánunk az egyik nagyon is véges erőforrásunkkal, a földterülettel. A természetes állapotú erdőségek, zöldövezetek, mezőgazdasági művelés alatt álló területek évről évre zsugorodnak, viszont nő a „lebetonozott” területek mértéke, építmények, utak, közművek, közlekedési útvonalak, nyomvonalas létesítmények stb. céljára, és terjed a természetes talajviszonyok felszámolása a nyersanyag-kitermelés, hulladékelhelyezés, tereprendezés stb. érdekében. Különösen kritikus ez a kérdés egy olyan sűrűn betelepült országban, mint Magyarország.

A területfoglalásban jelentős az energetika szerepe. A létesítmények telepítése, valamint a nagy terület megbolygatásával járó vezetéképítés óhatatlanul élőhelyek felszámolásával jár, ami az eredeti növény- és állatvilág kiszorítását jelenti a térségből. Ez a hatás jóval túlnyúlik a ténylegesen elfoglalt területen, az anyagmozgatás forgalma, a létesítéssel együtt járó zajok, fények, szagok sokkal nagyobb térségben zavarják meg a természetes állapotot. Nő is a társadalmi ellenállás a zöldmezős energetikai beruházásokkal szemben, különösen ha a környezetszennyezés gyanúja is felmerül. A területhasználati jog megszerzésének nehézségei miatt jelentősen felértékelődött a régi erőművek telephelye az új létesítmények elhelyezésére. Lassan megoldhatatlanná

válík új nyomvonalak kijelölése a számottevő biztonsági sávot igénylő, és a terület használhatóságát korlátozó nagyfeszültségű villamos szabadvezetékek számára (a problémát többszörös rendszerek létesítésével, a feszültségszint növelésével, konstrukciós módosításokkal enyhítik). Földgázvezetékek fektetésének megakadályozására is akadnak már példák.

A helyfoglalást nemcsak az jellemzi, hogy a létesítmény mekkora területet von el az ökoszisztémától, hanem az is, hogy az elvonás mennyi ideig érvényesül. Az energiaipari létesítmények által elfoglalt területek rehabilitációja a sok évtizedes tevékenység felhagyása után többnyire hosszú időbe telik (nem mindig sikerül a működés előtti állapot tökéletes rekonstrukciója, a visontai külfejtés helyén aligha lehet egyhamar az abasári rizlinggel egyenértékű bort produkálni). Különösen hosszú idő alatt rehabilitálhatók a külfejtések és meddőhányók, valamint nagyon hosszú elszigetelési időt követelnek a radioaktív hulladéktárolók. A területfelhasználás gazdasági megítélése zöldmezős létesítésnél a kisajátított földterület mezőgazdasági hozamának értékétől függ, valamint attól, hogy a használat okozta változás mennyire visszafordítható. A környezetvédelem érdekében mind több jogszabályunk követeli meg a használat befejezése után a terület helyreállítását. A bányászkodás nyomainak eltüntetéséhez, a meddőhányókon és a megbolygatott területeken a növényzet rekultiválásához, a megszüntetett iparművek területének zöldmezős rehabilitációjához a szükséges anyagi fedezet megteremtését a vállalatok költségei között kell előíranyozni. A nukleáris létesítmények esetében a radioaktív hulladékok elhelyezését és a létesítmények lebontását erre a célra létrehozott pénzalapból finanszírozzák, amit az üzemeltetők befizetéseiből töltenek fel.

Az ásványi energiahordozók kitermelésénél fajlagosan a legnagyobb területet a külfejtéses szénbányászat igényli. A leművelhető lignitvagyont lefedő visontai és bükkábrányi bányatelkek összesített területe 45-50 km², aminek kereken harmada az éppen ténylegesen művelt bányagödör, valamint a lefejtett humuszcéteg és a kitermelt meddő rétegek tárolásához szükséges hányó alapterülete. A tárolt földtömegeket a külfejtés leművelt térségébe idővel visszahelyezik, és a területet a feltöltés és a deponált humuszcéteg visszahelyezése után rehabilitálják. A talaj természetes egyensúlyának megbomlása következtében a külfejtések rekultiválása egymást váltó fokozatosan növekvő értékű növénykultúrák telepítésével történő sok évtizedes folyamat. A csapadék és a talajvíz gyakran a kibányászott tüzelőanyag mennyiségének megfelelő térfogatú tavat is kialakít.

A mélybányák (szén, urán) felszíni létesítményei is nagy területet foglalnak el, amibe az üzemi épületeken kívül a szállítási infrastruktúra, a meddőhányók, az előkészítés és dúsítás létesítményeinek területe is beletartozik. Viszont nemcsak e létesítmények tényleges helyfoglalását kell vizsgálni, hanem a bányatérség feletti területen a bányakárral érintett térségét is. A felszín alatti bányaművelésnél igyekeznek elkerülni a felszín károsodását, a talajsint

Villamosenergia-fejlesztés fajlagos területigénye

Energiaforrás	Területigény, m ² /kW
Hőerőmű	1–4*
Vízenergia	10–30
Termikus naperőmű, napelem	20–60
Szélerőmű telep	50–150
Energiaültetvény	4000–6000

* bányával

besüppedését vagy beomlását, de az alábányászott terület nem mindig tökéletesen stabil, a talajsüllyedést időnként épületkárok és csővezetékek törései is jelzik. Közvetett következmények is elfordulnak, amikor a talajmozgás repedéseket alakít ki a vízágyakban, és az elszívárgó víz alámosza a felszíni létesítmények alatt a talajt. Viszonylag kis területfoglalás jellemzi a fluid energiahordozók kitermelését, de az intenzív kiemelés lazíthatja a mélyebb rétegek homogenitását, ami néha a felszínen is érzékelhető talajsüllyedést okoz.

A megújuló energiákat kis teljesítménysűrűségük miatt nagy felületen kell összegyűjteni, ezért a berendezések fajlagos területfoglalása nagy. Kis teljesítményű berendezések elhelyezhetők más célra nem hasznosítható felületeken, például háztetőkön, nagy teljesítményhez viszont nagy szabad terület szükséges. Ennek érzékeltetésére a 27. táblázat átlagos értékeket mutat be a létesítmények fajlagos területigényére. Hazai körülmények között célszerű gondolat a mezőgazdaságilag nem hasznosuló területeken olajos növényeket termelni üzemanyag céljára (biodízel).

A hagyományos erőművek közül a szén-erőművek a leginkább helyigényesek, melyeknek széntere és zagytere, esetenként hűtőtava több km²-nyi területet foglal le GW-onként. A szénhidrogén-erőművek területfoglalása viszonylag kisebb, mivel nem szükségesek hulladéklerakók, és a tüzelőanyag-tárolás is kevés helyet igényel, ugyanakkor a kőolaj-finomítók nagy kiterjedésű telephelyeken terülnek szét. A nukleáris fűtőelemciklus (ércdúsítás, konverzió, izotóp dúsítás, fűtőelemgyártás, esetleg újrafeldolgozás) sok létesítményt foglal magába, és a területigényt növeli a szükséges védőövezet is. A radioaktív hulladék-tárolók tényleges helyfoglalása nem nagy, de feladatukat hosszú ideig kell betölteniük. A kis aktivitású hulladékokat néhány száz évig kell a környezettől elzártan és felügyelet alatt tartani. A nagy aktivitású hulladékoknál az elszigetelés időigénye nagyon hosszú, mértéke ma még meg sem határozható, mivel az jelentősen függ az üzemanyagciklus lezárásának módjától és a végső elhelyezés tényleges technológiájától. Radioaktív hulladék keletkezik az atomerőmű nukleáris részének lebontásakor is, ennek megkezdése előtt több évtizedes pihen-

tetési időt irányoznak elő, mialatt a sugárzás szintje nagymértékben csökken, és a lebontás olcsóbbá és veszélytelenebbé válik. Az energiaszállítás létesítményei is sok területet foglalnak el, a villamos szabadvezetékek a védőtávolság figyelembevételével az ország területének egy-másfél százalékát fedik le, a szénhidrogén-szállító csővezetékek helyigénye is tetemes.

A területet érintő hatás a tájrombolás is, amibe nemcsak a terület fizikai vagy biológiai jellegének megváltoztatása tartozik, hanem a táj természetes képének tönkretétele is. Sokfelé találhatók a felszínt elcsúfító külfejtések és kőfejtések, a táj képébe nem illő építmények és vonalas létesítmények, hulladéklerakó helyek, elhagyott üzemépületek és technológiai berendezések maradványai. Ez nem csupán esztétikai kérdés, hanem gazdasági és társadalmi probléma is. A harmonikus képi benyomás befolyásolja az ott élők közérzetét, szerepe van a térség megtartó erejében, hozzájárul a terület vonzerejéhez mind lakónegyedek, mind vállalatok telepítésénél. A térség gazdasági vonzerejének csökkenése, a beruházási hajlandóság visszaesése elindíthatja a település leépülését is. A rossz benyomást keltő térség rekreációs potenciálja is csökken, romlik a kapcsolódás és üdülés lehetősége, visszaesik a turizmus. A nagymarosi vízerőmű elleni társadalmi felzúdulás egyik mozgatórugója a Dunakanyar eredeti képének megőrzésére irányuló igény volt. A következmények gyakran a környezetben lévő ingatlanok értékcsökkenését is előidézik.

A legnagyobb mértékű tájrombolást a külfejtések okozzák. A hatalmas kiterjedésű kifejtett mátra- és bükkaljai térség riasztó látványú, súlyos seb a tájon, a felhalmozott deponáliák és a technológia gépmonstrumai sem keltenek kellemes benyomást. Szeles időben a bányától távol is érzékelhető a külfejtéssel együtt járó porzás hatása. A szállító rendszerek, vasszerkezetek, meddőhányók a mélybányák környezetére is rányomják bélyegüket. A lignit- és szénerőművek tájromboló hatásához hozzátartozik, hogy környezetükben a növényzetet, az építményeket és egyéb létesítményeket gyakran a széntérről, a zagytérről vagy a füstgázból származó por lepi be, ami kémiai és biológiai hatásán túl látványával is megkeseríti az emberek közérzetét. Különösen nyomasztó látvány a felhagyott bányák ottfejtett maradványa, lepusztult építmények, rendezetlen felszíni utak és tárolóterek, ócskavasként rozsdásodó vasszerkezetek, céltalan kötélpályák, hasznavehetetlen berendezések. A jogszabályok által megkívánt területrendezésre nincs mindig pénz, gyakran már megszűnt a vállalat, a tulajdonos és felelős azonosítása is nehézségekbe ütközik. A bányászati tevékenység maradandó nyomai a meddőhányók is. Kénmentesítés esetén a domborzatot elcsúfító kőfejtések is a szénbázisú energiatermelés számláját terhelik. A kőolaj-kitermelést jellemző bologató kútállványok képe sem esztétikus, de a rezervoár leművelése után a kutak és csővezetékek könnyen eltávolíthatók. A kőolaj-finomítók magas tartályai, a csővezetékek kusza hálózata éjszakai kivilágításban még színes látványnak is

felfogható, de nappal megoszlanak a vélemények, hogy azt inkább a modern világ szimbólumának kell tekinteni vagy lehangoló fémentelepnek. Az uránbányának a szénbányákhoz hasonló tájromboló hatásai vannak, sokéves program készült a mecseki uránbányászat környezetében a meddőhányók, ülepítő medencék, perkolációs halmok rehabilitációjára. Egyes országokban (pl. Dániában) a szélerőművek látványával sincsenek kibékülve.

Egy új ipari létesítmény építése szükségszerűen megváltoztatja a térség jellegét, de a tervezők kellő körültekintéssel lényegesen javítani tudják a képi hatást. A zavaró hatású létesítmények növényzettel takarhatók, az erősen kiemelkedő kontúrok beilleszthetők a domborzatba, színezéssel tompíthatók az éles különbségek stb. A felszíni építmények beillesztése a tájba az építésszek tudatos tevékenységévé vált, amit a legsikeresebben a geometriai testekbe foglalt építményekből álló atomerőműveknél valósítanak meg. A lignit- és szén-erőműveknél ez nehezebb feladat, mivel a magas kémények, a nagy kiterjedésű széntér, a zagytér, a különféle anyagszállító rendszerek létesítményei (oszlopok, kötélpályák, csővezetékek, szállítószalagok) nagyon elütnek a környezettől. A szénhidrogén-erőművek képét is terhelik a magas kémények, a nagy tárolótartályok és csővezetékek takarása sem mindig sikeres. A képi hatást nemcsak a felszíni létesítmények alakítják, hanem az erőművekből kilépő füst- és ködzászlók is.

Tulajdonképp az is a természeti erőforrások terhelését jelenti, hogy az energiahordozók kitermelésével, átalakításával, szállításával és a fogyasztóknál történő felhasználásával együtt járó anyag- és energiakibocsátások szennyezik a környezetet, módosítják a légkör, a vízrendszerek és a talaj állapotát (erről bővebben lásd a következő fejezetet). A természet erőforrásainak túlzott igénybevétele, a környező közegek állapotának megzavarása, a tájrombolás és a környezetszennyezés károsítja a növény- és állatvilág életfeltételeit, reprodukáló és regenerálódó képességét. A természeti környezetben okozott változások visszahatnak az emberi életkörülményekre is.

Gazdasági hatások

Az energetika és a gazdaság többi ága között sokféle kölcsönhatás érvényesül. Az energiaellátás a gazdaság működésének nélkülözhetetlen feltétele, az energetika működésének és fejlődésének lehetőségeit pedig a gazdaság állapota, követelményei és kilátásai szabják meg. Az energiaáraknak meghatározó szerepe van a termékek és szolgáltatások költségére, mindent átszövő hatásukkal befolyásolják a gazdasági folyamatok költségviszonyait és hatékonyságát, valamint az életszínvonalat. Az energiaellátás számottevő szerepet játszik az ország makrogazdasági viszonyainak (külkereskedelmi mérleg, fizetési mérleg, költségvetési kapcsolatok stb.) alakításában is. A gazdasági folyamatok általá-

nos jellegzetességei természetesen az energetikára is érvényesek, az ellátásban szerepet játszó vállalatok céljai sem térnek el más gazdálkodó szervezetekétől, a forgalom növelése, minél alacsonyabb költségszint biztosítása, minél nagyobb hatékonyság és haszon elérése, a vállalat jó hírének és hitelképességének erősítése. E gazdasági érdekeket azonban csak azon mozgástéren belül lehet érvényesíteni, amit egyrészt az állam gazdaságpolitikája, másrészt az energiaellátással kapcsolatos társadalmi igények jelölnek ki.

A gazdaság visszaesése vagy élénkülése az energiaszükségletek mértékében is tükröződik. Magának az energetikának is van gazdaságélénkítő hatása, beruházások, megrendelések, munkaalkalmak, jövedelemtermelő képesség stb. formájában, sok vállalat az energetikai megrendelésekből él. Az energetika megrendeléseivel gyakorolja a legnagyobb befolyást az iparra. E megrendelések a tevékenységek széles spektrumát ölelik fel, eszközök és berendezések szállítására, energetikai létesítmények megvalósítására, tervezésre, karbantartásra, egyéb szolgáltatásokra stb.

Az energetikai technológiákhoz sokféle technikai eszközre és anyagra van szükség, az ezeket szolgáltató vállalatok működése nagymértékben függ az energetikai létesítmények és az energiafogyasztók igényeitől. Ugyanakkor az energiaellátás műszaki színvonalát és hatékonyságát a beszállító ipari háttér lehetőségei szabják meg. Az igényelt gyártmányok jelentős részénél (pl. az energiaszállító hálózatok elemei és berendezései, a fogyasztói készülékek, a hajtások, mérő- és irányítástechnikai eszközök) a nagy darabszám iránti kereslet teszi vonzóvá a piacot, a nagyléptékű beruházásoknál (bányák, átalakító művek, magisztrális szállító hálózatok stb.) pedig a munkák nagy értéke. Az utóbbiak sok iparvállalatnak adnak munkát, különösen jelentős az építőipar, építőanyag-gyártás, gépipar, vas- és acélgyártás, műszeripar, informatika vállalatainak foglalkoztatása, melyekhez nagyszámú beszállító is kapcsolódik.

A beruházások sok munkaerőt foglalkoztatnak, a környéken megnő a foglalkoztatottság, fellendül a kereskedelem, javul az infrastrukturális ellátottság. A részvétel e beruházásokban nemcsak egyszeri ügylet, a későbbiekben a karbantartás, az alkatrészpótlás, a felújítás tartós piaci kapcsolatot jelent, és kedvező tapasztalatok esetében újabb létesítmények megrendeléséhez egyengeti az utat. Ez nemcsak bevételt és kapacitáskihasználást jelent a vállalatoknak, hanem rangos referenciát is más hazai és külföldi megrendelők felé. A megrendelések elmaradása nyomán viszont kihasználatlan gyártó-, illetve kivitelező kapacitások keletkeznek, a vállalatok a külföldi piacokról is kiszorulnak, mert elvész a hazai referencia lehetősége, a gazdasági nehézségek súlyosabb esetekben tevékenységek leépítésére, értékes termelőerők pusztulására vezetnek.

Az energetikai gépgyártást, mint húzóágazatot a legfejlettebb országokban is ösztöngzik. A szektor színvonala országos jelentőséggel bír, fejlődése az iparpolitika lényeges eleme, mivel termékei a műszaki élvonalba tartoznak, azok előállításuk sok más vállalat tevékenységét és műszaki színvonalát is befo-

lyásolja. A magyar iparpolitika magatartása az energetikai gépgyártással kapcsolatban meglehetősen változékony volt a múltban. Időnként központi fejlesztési programokkal és nagy állami beruházásokkal alátámasztott protekcionizmus érvényesült, más időszakokban teljesen nyitott versenynek tették ki a hazai vállalatokat. A magyar gépipar termelési bázisa korábban is csak az igények egy részének kielégítésére volt alkalmas, ez a lehetőség a megrendelések visszaesése következtében tovább szűkült. Ugyanakkor az energetikai gépgyártó vállalatok többségének hazai lehetőségeit behatárolja, hogy a magyar piac kicsi és a rendelések időben egyenetlenül jelentkeznek, ezért gazdaságos tevékenység csak számottevő export mellett alakulhat ki.

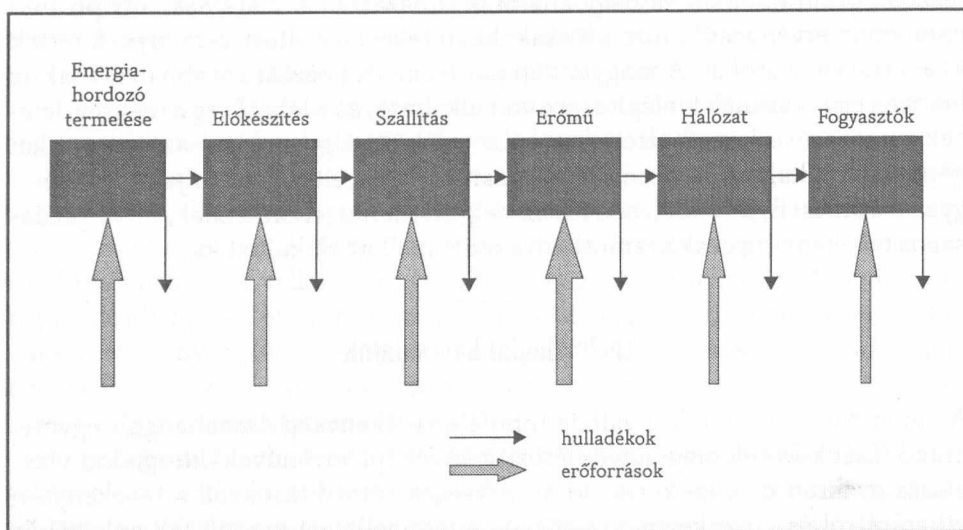
Technológiai kapcsolatok

Az energiaellátás minden válfaja többféle tevékenység összehangolt együttműködését követeli meg. Egyes létesítmények (pl. erőművek) kiragadott vizsgálata gyakran csonka képet ad a szükséges ráfordításokról, a tevékenység kihatásairól és következményeiről. Az energiaellátási módok feltételeiről és hatásairól eligazító erejű képet csak mindazon tevékenységek együttes figyelembevételével lehet nyerni, melyekre az igények kielégítéséhez szükség van. Az energiaellátás technológiai vertikumának elvi sémája, példaképp a vezetékes villamosenergia-ellátásra, a 43. ábrán látható. Az ilyen vertikumok összehasonlításával lehet meghatározni, hogy melyik lehetséges ellátási változathoz szükséges a legkevesebb erőforrás, vagy melyik okozza a legkevesebb nemkívánatos következményt. A változatok összehasonlítása csökkenti az elhatározások bizonytalanságát, elősegítve a tisztánlátást és a követelményeket leginkább kielégítő optimális megoldás kiválasztását. Ennek során egymással kölcsönhatásban levő műszaki, gazdasági, ökológia, társadalmi, stratégiai és politikai követelményeket kell kielégíteni, nemritkán nemzetközi kölcsönhatások figyelembevételével.

A vertikumok térben és időben teljes terjedelemben történő – „bölcstől a koporsóig” terjedő – vizsgálata adat- és munkaigényes, de környezeti hatástanulmányokhoz és energiapolitikai döntések megalapozásához terjedőben van. Az Európai Unió például többéves nemzetközi összefogással (ExternE projekt) ilyen felfogásban hasonlította össze az energiaellátási módokat terhelő külső költségek szerepét. Hasonló szemléletű vizsgálatok az USA-ban és más országokban is folynak.

A 43. ábra a primer energiahordozók kitermelésétől a fogyasztóberendezésekig terjedő teljes vertikumra az erőforrásigényeket is feltünteti. Az energiaellátáshoz sokféle emberi, természeti, gazdasági és társadalmi erőforrás hasznosítására van szükség, egyrészt a vertikum technológiai létesítményeinek létrehozásához, másrészt azok folyamatos működtetéséhez.

A villamosenergia-ellátás folyamatábrája



A szükséges erőforrások mértékéről nem mindig állnak rendelkezésre adatok, ilyenkor az ágazati kapcsolatok mérlegéből (ÁKM) lehet hozzávetőleges értékeket nyerni, például mennyi szállítási munkát szolgáltat a vasút a szénbányászatnak, mekkora a gépipar hozzájárulása az erőműépítéshez stb. Nagyon részletes vizsgálatoknál azt is figyelembe lehet venni, hogy az erőforrásokat biztosító létesítmények és tevékenységek ugyancsak erőforrás-igényesek, de e másodlagos erőforrások mértéke többnyire már elhanyagolható az elsődlegesek mellett.

A vertikum első fázisa a primer energiahordozó kitermelése, ami jelenthet szénbányászatot, szénhidrogén-kitermelést, uránérc-bányászatot, vagy megújuló energiák kiaknázását. Az előkészítési fázis szén esetében osztályozást, aprítást, őrlést (esetleg szárítást) jelent; szénhidrogének esetében a szállítást nehezítő nemkívánatos alkotók leválasztását, továbbá a kőolajtermékek előállítására szolgáló lepárlást és destruktív eljárásokat; hasadóanyagnál a fűtőelem-előállítási fázisokat (ércdúsítás, konverzió UF_6 -ra, dúsítás ^{235}U izotópban, fűtőelemgyártás, és tulajdonképp idesorolható a kiégett fűtőelemek újrafeldolgozása is). A megújuló energiáknál főleg összegyűjtési és koncentrálni feladatokat kell ellátni, a vízfolyamok duzzasztását és tározását, a napsugárzás összegyűjtését és fókuszálását, a biomassza begyűjtését stb. A tüzelőanyagok szállítása történhet közlekedési eszközökkel (vasút, hajó, közúti jármű), vagy speciális szállítórendszerekkel (csővezeték, szállítószalag, kötélpálya).

A hőerőművekben a tüzelőanyagok égéshőjét, a geotermikus energiát, illetve a nukleáris láncreakció hőjét hőkörfolyamat segítségével alakítják át

mechanikai munkává, amiből az indukció révén fejlesztenek villamos energiát. Hasonló utat gondolnak el egyes megújuló energiaforrásokra (pl. termikus naperőmű, OTEC – Ocean Thermal Energy Conversion, energiaátalakítás tengeri hőmérsékletkülönbséggel), de más átalakítási eljárásokat is fejlesztenek (pl. tüzelőanyag-cellákat, MHD-generátort, tengeri hullámzás hasznosítását). Közvetlenül mechanikai munkából állítanak elő villamos energiát a víz-erőművek és a szélerőművek. Kis teljesítményű áramforrásokat közvetlen átalakításokkal is készítenek (napelemek, kémiai és radioaktív áramforrások, hőelemek stb.).

A villamos energia szállítását és elosztását biztosító hálózat alakulása az erőművek és a fogyasztói központok elhelyezkedésétől függ. A szénerőműveket többnyire a bányák közelébe, az olajerőműveket a finomítók mellé telepítik, a földgázhálózat nyomvonala is befolyásolja a telepítés lehetőségét. Magyarországot sűrűn behálózzák a villamos távvezetékek, a hálózat alakulását az erőművek telephelyének megválasztása csak kismértékben befolyásolja. A vízenenergia kivételével a megújuló forrásokat a fogyasztók közelében hasznosítják, mivel a távolsági szállítás nem gazdaságos, a hálózat ilyenkor tartalékelőállítását biztosít.

A 43. ábra azt is jelzi, hogy a technológiai folyamatoknak többnyire vannak hulladékai is. Azok kezelése, elhelyezése, ártalmatlanítása, valamint az egyéb nemkívánatos khatások ellensúlyozása esetenként bonyolult és igényes feladat, ami szintén igényel erőforrásokat. Különösen vonatkozik ez az ártalmas (környezetkárosító, veszélyes, mérgező, radioaktív) anyagokra. A létesítmények megszüntetése is hulladékokkal jár, ami esetenként (pl. bányák felszámolása, atomerőművek leszerelése) bonyolult folyamat.

A villamos energetikától eltérő energiaellátási módoknál (pl. földgázrendszer, hőszolgáltatás, üzemanyag-ellátás) hasonló sémákat lehet alkalmazni. Elmarad a sémából az átalakító mű, ha a fogyasztók magát a primer energiát (pl. szén, földgáz) hasznosítják. Többnyire azonban szekunder energiafordozókat (pl. villamos energiát, benzint, hőfordozót) igényelnek, ilyenkor az átalakító mű szerepét erőmű, kőolajfinomító, fűtőmű és hasonló létesítmények töltik be. Az elosztás történhet vezetékhálózatokon (villany, gáz, távhő), vagy szokványos kereskedelmi üzlethálózat segítségével (üzemanyagtöltő állomások, tüzelőanyag telepek, PB-cseretelepek stb.).

Az energetika szigorú minőségi követelményeivel jelentős hajtóerőt gyakorol a műszaki fejlesztésre. Az igények kielégítése érdekében a hazai gyártó vállalatok az embargó időszakában is törekedtek szakmai kapcsolataik megőrzésére a fejlett nyugati vállalatokkal. Versenyképességük kulcskérdése volt élenjáró licencek biztosítása és korszerű technológiák megszerzése. Energetikai nagyvállalataink ösztönözték ezek adaptálását, e mellett célratörő politikával anyagi és szellemi támogatást is nyújtottak a korszerű hazai konstrukciók és technológiák kifejlesztéséhez, valamint lehetőséget teremtettek az új meg-

oldások kipróbálásához is. Erre a háttérre alapozva energetikai gépgyártásunk számos terméke nem sokkal maradt el a világszínvonaltól, sőt születtek nemzetközi viszonylatban élenjáró magyar gyártmányok is, például turbógenerátorok, 400 és 750 kV-os transzformátorok, 400 kV-os gáztöltésű tokozott kapcsolóberendezések, villamoshálózat-védelmek, tüzelőberendezések. Érdemes külön kiemelni az atomerőmű-építés minőségi követelményeinek húzó hatását, ami számos élenjáró technológia meghonosítását eredményezte még az építőipar és a vegyipar területén is, nem beszélve a gépipari kihatásokról (rozsdamentes edényzet és armatúra, vízkezelés, irányítástechnika, robottechnika stb.).

Korábban az energetikai gépgyártás területén számos magyar vállalat erősödött meg a hazai lehetőségek révén. Ezek a magyar ipar vezető tényezőivé váltak, tekintélyüket jelentős exporttevékenységgel is alátámasztották, gyakran erős nemzetközi konkurenciával versenyezve. Húzó hatásuk számos kisebb beszállító vállalatra is kiterjedt. Nem véletlen, hogy a privatizáció kezdetén a külföldi tőke figyelme elsősorban e vállalatok felé irányult, és legtöbbjük élenjáró multinacionális vállalatok részévé vált. Ekkorra azonban lehetőségeik már erősen lecsökkentek: a recesszió, a piac beszűkülése, a pénzügyi nehézségek, a hatékonyságnövelés kényszere és a szervezeti átalakulások következtében a vállalatok összezsugorodtak, gazdasági erejük megrendült, jelentős kapacitások épültek le, és értékes szakemberek távoztak el. Félő, hogy e vállalatok egy része csupán a külföldi anyavállalat lerakatává válik, ami a hazai fejlesztés és az önálló konstrukciók megszűnését jelenti. A külföldi tulajdonlás ellenére a makrogazdaság szintjén viszont előny, hogy e vállalatok a magyar nemzeti jövedelmet gyarapítják, a magyar exportképességet és külkereskedelmi mérleget javítják.

A recesszió a műszaki fejlesztésben is megtorpanást okozott. Anyagi erőforrások híján a szellemi műhelyek leépültek mind a gyárakban, mind az ipari kutatóintézményekben. Ez a folyamat megfordíthatatlannak tűnik, a privatizáció következtében a műszaki színvonalat a külföldi vállalatok szabják meg, hazai fejlesztésre egy új fellendülés időszakában is kevés igény lesz, a magyarországi leányvállalatok csekély önállóságra számíthatnak. Ennek kedvező ellentétele viszont a korszerű technológiák és konstrukciók beáramlása az országba. A külföldi megoldások honosításában, a részegységek beszállításában, a speciális hazai feladatok teljesítésében remélhetőleg azért marad tér a magyar vállalatok számára is. A külföldi tulajdonlás megszüntette a preferenciák indokoltságát, a piaci módszerek pedig a lehetőségét. Az energiaipar feladta korábbi patronáló szerepét, erőforrásait közvetlenül saját érdekeinek érvényesítésére hasznosítja, és miután a piaci korlátok leomlottak, beszerzésénél a piaci versenyre támaszkodik. A hazai gyártóiparnak csak némi előnyt biztosít a vámmentesség, az azonos nyelv, a gyors és egyszerű kapcsolattartás, a könnyű elérhetőség a berendezések javításához vagy karbantartásához.

Nem lebecsülendő az a katalizáló hatás, amit az energetika új fejleményei más tudományokra és iparágakra gyakorolnak. Számos új tudományos diszciplína első hazai alkalmazására is az energetika területén került sor, említendő a törésmechanika, a véges elemek alkalmazása a szilárdsági számításokban, a bonyolult rendszerek modellezése, a számítógépes tervezés és folyamatirányítás, vagy a robotokkal végzett karbantartás. A nukleáris problémák nagy lendületet adtak a matematikai modellezés, az anyagtudomány, az áramlás-technika, a kockázatszámítás, a minőségbiztosítás fejlődésének, a paksi atomerőmű földrengésviszonyainak tisztázása, valamint a telephelykeresés a radioaktív hulladékok elhelyezésére a földtudományok képviselőinek nyitott páratlan kutatási lehetőségeket. Nemegyszer szembesültek a szociológia, a jogtudomány, a közgazdaság hazai szakemberei is az energetika megoldandó újszerű problémáival. Gyakori a kisugárzás más iparokra is, az atomenergetikai ismeretek talaján bontakozott ki a nukleáris medicina, a radioizotópok sokrétű alkalmazása, a besugárzásos élelmiszer-ipari és műanyagipari technológiák stb. A gyenge minőségű hazai szenek égése terén szerzett, és más szakmákban is hasznosuló ismeretek világszerte tekintélyt szereztek a magyar kutatóknak. Az energetika műszaki követelményeinek kielégítésére kifejlesztett igényes anyagok és technológiák sok vállalatot alkalmassá tettek más jellegű megrendelések kielégítésére, ami gyakran játszott szerepet a vállalat fennmaradásában a piacgazdaság körülményei között.

Nem jelentéktelenek a társadalmi intézményrendszerrel kialakuló kölcsönhatások sem. Az energiaszektor sok embert foglalkoztat, szerepe van a régiók fejlesztésében, a nagylétesítményeket környező települések anyagi és szellemi fejlődésének előmozdításában és a közösségi szükségletek támogatásában. Az energiaellátáson túlmenően más társadalmi követelményeket is ki kell elégíteni, például ellátásbiztonság, környezetvédelem, élet- és vagyónbiztonság. Jelentős érdekek ütközése sem ritka az energiaellátás kérdéseiben, amiben érintve lehetnek politikai, közigazgatási, gazdasági, regionális, szakmai, érdekvédelmi stb. szervezetek és intézmények. Energetikai létesítmények időnként társadalmi nyugtalanságot váltanak ki, a viták néha politikai és társadalmi konfliktusokra vezetnek. A feszültségek enyhítését célozza a társadalom érintett részének részvételi lehetősége a döntésekben, amire egyre gyakrabban kerül sor. A médiák is előszeretettel foglalkoznak energetikai ügyekkel, főleg a veszélyt sejtető hatásokkal.

Hatások terjedése

A létesítményekből kibocsátott szennyező anyagok terjedni tudnak a térben, veszélyeztetve az érintett környezetben élők egészségét és magát a környezetet is. A hatások térbeli határait a terjedési viszonyok szabják meg, azt csak

egyedileg lehet kijelölni, hogy mit lehet lokális problémaként kezelni, és mikor kell nagyobb távolságban – regionálisan vagy esetleg még messzebb kitekintve – elemezni a fejleményeket. Az országhatárok nem jelentenek korlátozat, a légáramlatok több ezer km távolságra is elszállítanak szennyező anyagokat. Részben az országhatárokat átszelő terjedés miatt, részben a kis dózisok hatásának súlyosbodó megítélése miatt az új létesítmények környezeti hatástanulmányait kezdi egészen nagy távolságra kiterjeszteni. Ebbe az irányba terelnek a különféle nemzetközi egyezmények és a szomszédos országok igénye is. A szomszédos országok egyeztetési kötelezettségét rendezi veszélyes létesítmények megvalósítása előtt az espooi egyezmény.

Gyakorlati okokból lokális, regionális és globális következményeket szokás megkülönböztetni, a lokális hatások hatósugara 50-100 km, a regionálisak mintegy 1000-2000 km-ig terjednek (a lépték Európában kisebb, Amerikában nagyobb), ami azon túl van, az globális. Csernobil hatása egész Európában észlelhető volt. A savas esők, az ózonlyuk regionális, az üvegházhatás globális jelenség. Egy forrásból többféle hatás is származhat, például egy erőmű esetében a szén-dioxid-kibocsátás okozta üvegházhatás globális, a szulfát és nitrát emisszióból kialakuló savas eső regionális, az ülepedő por lokális hatás.

A szennyező anyagok terjedhetnek a légkörben, a vízrendszerekben, a talajban, élő szervezetekben, a táplálékláncban és a közlekedési eszközök révén is. Számítási eljárásokkal rendelkezünk anyagok terjedésére a környező természetes közegekben. A közlekedésben szokásos szállítási módok természetesen csak egyedileg vizsgálhatók, szerephez juthat a nemzetközi kereskedelem (pl. hulladékok exportja fejletlen országokba), vagy a csempészet (az utóbbi időben a hasadó anyagok esetében), sőt a környezetszennyező technológiák áttelepítése is. A veszélyes anyagok nemritkán többféle közegen keresztül terjednek a térben, amit a közegek közötti átmeneteket figyelembe vevő hatásláncok segítségével lehet követni. Például a légkörbe kibocsátott szennyező anyag kiülepedik a talajra, ahonnan a növényzet szívja fel, bekerül a legelésző állatok szervezetébe és onnan az emberi táplálékba. A radioaktivitás környezeti hatásának vizsgálatánál egy tipikus hatáslánc:

radionuklid → talaj → fű → tehén → tej → gyermek

Az anyagtranszport vizsgálatának nagy múltja és kiterjedt irodalma van, a terjedést leíró modelleket ma is állandóan tökéletesítik. Ezek célja, hogy az anyagok emissziójának ismeretében feltárja az érintett térség egyes pontjaiban a koncentrációkat (immissziók) és a hatásokat. A terjedési modellek többnyire anyag-, energia-, impulzusmegmaradási egyenleten alapulnak. Természetesen a terjedés modellezésénél sok közelítéssel, elhanyagolással kell élni, nem lehet részleteiben követni a topográfiai viszonyokat, és a kezelhetőség érdekében a kisebb jelentőségű folyamatokat többnyire figyelmen kívül hagy-

ják. Ezért a számított eredményeket csak közelítő értékeknek lehet tekinteni. A modellek felépítésére bizonyos fokig visszahat a vizsgálni kívánt receptor (légtér, hidroszféra, talaj, ember, állatok, növényzet, ökoszisztéma, anyagi javak stb.) jellege is. A modellek segítségével jó közelítő képet lehet nyerni az emisszió és a vizsgált pontokon érvényesülő immisszió között.

Bonyolultabb kérdés az immisszió és a hatások, illetve következmények között kapcsolatot teremtő hatásfüggvények meghatározása. Egyrészt az összefüggés többnyire nem lineáris, és egyes hatásoknál csak egy küszöbértéken felül alakulnak ki következmények, más hatásoknál nem érvényesül ilyen küszöbérték. Másrészt a következmények gyakran kumulatívok és nem mindig ismert a dózist meghatározó mértékadó időtartam. A nehézségeket úgy szokták áthidalni, hogy a következmények empirikus adatait az immisszió értékeihez rendelik hozzá. Ennek korrelációja gyakran gyenge, a következmények mértékéről közölt összefüggések inkább a veszélyesség jelzésére szolgálnak és nem annak tényleges számszerűsítésére.

A vizsgálatok rendeltetésétől függően többféle megközelítés lehetséges. Ha a cél egy létesítmény veszélyességének megítélése, akkor a lehetséges állapotok és terjedési körülmények valószínűségének figyelembevételével lehet a legkedvezőtlenebb következményeket megbecsülni. Az atomerőművek súlyos baleseteit elemző nagy tanulmányok ilyen jellegű vizsgálatai óriási adattömeg felhasználásával készültek – a német kockázati elemzés 828 ezer esetet számított ki a meteorológiai viszonyokat és az emisszió jellegét tükröző változatok figyelembevételével. Ha viszont tényleges folyamatok követése a feladat, akkor a lehetséges változatokra felkészített modellbe az aktuális paramétereket betáplálva meghatározhatóak a konkrét viszonyok, a védekezéshez szükséges intézkedések vagy a várható károk. A csernobili katasztrófa időszakában a Meteorológiai Világszervezet (WMO) koordinálásával folyamatosan elemezték a csóva várható útját és az ebből fakadó teendőket az európai országokban. Természetesen ehhez az aktuális paraméterek kiterjedt mérésére volt szükség.

A legtöbb elemzés a pontszerű forrásból a légkörbe kilépő emisszió terjedésére vonatkozik. Ha a kilépő anyag hőmérséklete magasabb a környezeti-nél, a felhajtó erő és a hőmérsékletviszonyok szabják meg a terjedés első szakaszát. Fontos szerepe van a légkör stabilitásának, ami a napsugárzástól, a szélsébségtől, valamint az egymás feletti légrétegek sűrűségétől és hőmérsékletétől függ. A légkör hőmérsékletének magasság szerinti változásától függően a negatív és erősen pozitív hőfokgradiens figyelembevételével többnyire hat stabilitási osztályt különböztetnek meg az erősen labilis és a nagyon stabil légköri állapotok között. A rétegződésnek kellemetlen esete a meteorológiai inverzió, amikor a léghőmérséklet a szokásossal ellentett módon felfelé nő és a kibocsátott anyag leszorul a talajközelségbe. A kibocsátott anyag és a befogadó közeg közötti hőmérsékletkülönbség kiegyenlítődése után a továbbterjedést a diffúzió és a széljárás szabja meg – minél erőteljesebb a légmozgás, annál meg-

határozóbb a szerepe és ilyenkor a szélirányra merőleges irányban a terjedés korlátozott. Szélcsendes időben a diffúzió a szennyező anyagokat elkeveri a levegőben, majd azok sűrűségük szerint rendeződnek. A levegőnél könnyebb anyagok – például a hidrogén – a magasabb légrétegekbe emelkednek, a nehezebbek – mint a szén-dioxid, metán – inkább a talajszint felé rendeződnek. A pontszerű forrásokból kilépő anyagáramokra többféle megnevezés használatos: például füstzászló, radioaktív csóva, anyagfelhő. Ezek csupán a terjedés formációját jelzik, nem informálnak a veszélyes anyagok koncentrációjáról. A füstzászló lehet ártalmatlan vízköd, a radioaktív csóvából származó sugárzás lehet teljesen veszélytelen, ha a radionuklid-koncentráció kicsi.

A legtöbb modell a terjedést a légtérben a Gauss-féle csóva egyenletéből kiindulva tárgyalja, ami a trajektóriák mentén számítja a koncentráció alakulását. Ez az emisszió egyenes vonalú terjedését tételezi fel a szél irányában, miközben erre merőleges irányokban a diffúzió hatására az emisszió helyétől távolodva folyamatosan szélesedik a csóva, és a szélirányra merőleges koncentrációra normális (Gauss) eloszlást vesz figyelembe. A c immisszió a talajszint felett h magasságban történő e pontszerű kibocsátás esetében, az x irányú v szélesség figyelembevételével, de a csillapítások elhanyagolásával az alábbi egyenlettel írható le:

$$10. \text{ képlet} \quad c(x, y, z) = \frac{e}{2\pi v \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$$

Füstgáznál h az effektív kéménymagasság, ami egyrészt a kémény geometriai magasságától, másrészt a kilépés sebességétől, illetve a felhajtóerőt megszabó hőtartalomtól függ. A σ_y , illetve σ_z az y , illetve z irányú diszperziós paraméter, ezek értéke az x koordináta és a légkör stabilitását jellemző s empirikus stabilitási kategória függvénye. A 10. képlet a földfelszint tökéletesen reflektáló felületnek tekinti, ami nem fedi a valóságot sem a talajszintre, sem az esetleges inverziós felületre. Az ilyen eltéréseket empirikus korrekciókkal lehet figyelembe venni.

A Gauss-modell továbbfejlesztett változataival mód van az időjárás paramétereinek (inszoláció, légnedvesség, széljárás stb.), valamint a domborzat és a felszín jellegének figyelembevételére is. A Gauss-modell mintegy 50-100 km-es távolságig alkalmazható, nagyobb távolságra Euler vagy Lagrange eljárását alkalmazzák, az első helyhez rögzített, a második a légárammal mozgó koordinátarendszerben a térfogategységben lejátszódó tömegáramokból és impulzusváltozásokból vezette le a terjedés alakulását. A nagy térségekben hosszú idő alatt kialakuló átlagos viszonyokat diszperziós modellel szokták leírni. Számos modellt fejlesztettek ki a terjedés során lejátszódó folyamatok (halmazállapot-változások, kémiai reakciók, radioaktív bomlás, aggregáció,

kiülepedés stb.) követésére, különös figyelmet szentelve a másodlagos szennyezők (szulfátok, nitrátok, savas eső, ózon) keletkezésére. Ilyen feladatokra a leggyakrabban a Harwell Trajectory Modelt alkalmazzák.

Bonyolult feladat a terjedés szimulálása a vizekben. Ennek egyik oka, hogy a vízrendszerek (felszíni vizek, talajvíz, rétegvizek, víznyerő kutak, csapadék) kapcsolatai és a folyók áramlási viszonyai nem általánosíthatók, hanem csak egyedileg kezelhetők a konkrét topográfiai és geológiai viszonyok ismeretében. Mérésekre alapuló félempirikus összefüggésekkel követhetők a vízben lejátszódó fizikai és kémiai folyamatok (keveredés, oldódás, disszociáció, rétegződés, ülepedés, kolmatáció, szuszpenzió, hidrolízis, hidratáció, reakciók stb.). Élővizekben biológiai kölcsönhatások is bekövetkeznek, melyekről még hézagosa az ismereteink, az azokban szerepet játszó populációk vízrendszerenként eltérőek. Lejátszódnak mikrobiológiai folyamatok – többek között az öntisztulás, jelentős hatása lehet a növények és állatok anyagcseréjének, amit példáz az eutrofizáció. Mindezek következtében a hidrológiai és hidrobiológiai modellek többsége meghatározott folyók vagy tavak viszonyainak követésére szolgálnak, és leginkább félempirikus jellegűek. A legtöbb modell az olyan víztesteket, melyekben a víz tulajdonságai (sebesség, ülepedés, transzfertényező) és az emberi használat módja (ivóvíz, öntözés, halfogyasztás, üdülés) nagyjából homogének, elkülöníthető rekeszekkel helyettesíti. Egyrészt a rekeszeken belüli kölcsönhatásokat követik, másrészt a komponensek rekeszek közötti tömegforgalmát veszik figyelembe.

Rekeszekből álló sémával követik a transzportot a talajban is. A talaj felszínén az anyagtovábbítást egyrészt a kisméretű porló anyagot magával ragadó szél, másrészt az anyagokat oldva, szuszpendálva vagy sodorva szállító vízáramok bonyolítják, a párolgás és a táplálékul szolgáló növényzet szerepe másodlagos. A felületről többféle transzport mechanizmus (diffúzió, migráció, vízáram) szállítja az anyagokat a talaj belsejébe. A talaj belsejében az anyagmozgás fő szállítóközege a víz és az abban oldott anyagok áramlása vagy szivárgása, amit a vízátnemeresztő rétegek határolnak be. Néha figyelembe kell venni a migrációt is a szilárd fázisokban, ami korlátozott és lassú folyamat, függ a talajréteg, illetve a közet anyagától és szerkezetétől, valamint a terjedő anyag jellegétől. Szerephez jutnak olyan fizikai, kémiai és mikrobiológiai folyamatok is, melyek egyes anyagokat megkötnek. Befolyásolja a terjedést a részecskék hajlama villamos feltöltődésre, a fémek pozitív, a szulfátok, nitrátok, cianidok negatív iont alkotnak, a szerves vegyületek többsége, így az olajtermékek, oldószerek, alkoholok, detergenssek nem rendelkeznek villamos töltéssel. A talajalkotók többsége – különösen az agyagban – negatív ion képzésére hajlamos, ezért a telítődés határán belül megkötik a nehézfém kationokat (többek között a radionuklidok egy részét), de nem kötik le az anionokat (pl. a nitrátot).

A tápláléklánc modellezéséhez ismerni kell egyrészt a lánc egyes elemeiben a szennyezés koncentrációjának pillanatnyi értékét (biokoncentráció) és telí-

tési értékét (bioakkumuláció), másrészt az elemek közötti átvitel módját és mértékét, a kapcsolat többnyire nem lineáris. A modellek részben a stacioner állapotok leírására (kváziegyensúly), részben az időbeli folyamatok követésére szolgálnak, mindkét modelltípus sok kísérleti adatra támaszkodik. Az anyagcsere révén felvett szennyezések koncentrációja a fajspecifikus biokoncentrációs tényezők segítségével számíthatók. E tényezők azonban már nem vezethetők le transzport egyenletekből, mivel az átvitel során bonyolult biokémiai folyamatok zajlanak, a kapcsolatok nem lineárisak és telítődés is érvényesül. A radioaktivitás dózisainak meghatározásánál külön gond, hogy az egyes szövetekben, illetve szervekben kialakuló aktivitás izotópspecifikus.

A modellezés kritikus kérdése az adatok rendelkezésre állása. Ezért több nemzetközi szervezet (EU, NAÜ, UNEP, IIASA) valamint nemzeti intézmény (Argonne NL, Scherer Institut, FZ Karlsruhe, Öko Institut) nagy adatbázisokat hozott létre.

Irodalom

- Bayer, A. et al.: The german risk study. *Nucl. Technology*, 59, 20 (1982).
- Convention on Environmental Impact Assessment in a Transboundary Context. Espoo, 1991.
- European Commission, DG XII. Science, Research and Development. *ExternE, Externalities of Energy*. Office for Publ. of the EC, Brussels, 1995, 1998.
- Hirschberg, S. et al.: *Comprehensive Assessment of Energy Systems*. Invited Paper, Jahrestagung Kerntechnik, Stuttgart, 1994.
- IAEA. Health and Environmental Impacts of Electricity Generation Systems. *Techn. Rep. Series*, No. 394. IAEA, Vienna, 1999.
- Meadows, D. H. et al.: *The Limits to Growth*. University Books, New York, 1972.
- Niemann, B. L.: *A review of major long-range transport air quality simulation models*. Proc. Symp. on Health Impact of Energy, IAEA, SM-254/62, Vienna, 1982.
- Oak Ridge National Laboratory: *External Costs and Benefits of Fuel Cycle*. Oak Ridge, 1994.
- Rasmussen, N. C. et al.: Reactor Safety Study: An Assessment of Accident Risk in US Commercial Nuclear Power Plant. WASH-1400, NRC, Washington, 1975.
- UNCED. *Report of the UN Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro*. United Nations, New York, 1993.
- Vajda Gy.: *Kockázat és biztonság*. Akadémiai Kiadó, Bp., 1998.

Környezeti hatások

Az ipari tevékenységek közül a környezet legnagyobb mértékű terhelését az energiaellátás okozza. A technikai eredetű környezetszennyezés kezdetben csak lokális jellegű volt. Füst, por, korom, pernye, bűz, lárma, szemet gyötörték szinte sorscsapásszerűen az ipartelepülések lakosságát. A termelőtevékenység dimenziójának bővülésével arányosan nőtt a szennyezés mértéke és hatósugara, a hatás esetenként már regionális léptékűvé vált. A biológiai élet kipusztulása folyókban és tavakban, savas esők, a mikroklíma módosulása és hasonló katasztrofális jelenségek döbrentették rá az 1970-es években az emberiséget a veszély mértékére. A hatások gyakran az országhatárokat is átlépték, sőt egyes folyamatok a Föld természetes egyensúlyi viszonyait megzavaró következményekhez vezettek. Az „ózonlyuk” már kontinensnyi területeket érint, az „üvegházhatás” pedig az egész Föld globális klímaviszonyait befolyásolhatja. A természet az eredeti egyensúly helyreállítására törekszik, de sajnos a terhelés sok vonatkozásban már meghaladja a természet regenerálódó képességét. Az energetika környezetszennyezésében a legjelentősebb a légtér terhelése, egyes technológiák az élővizet is károsítják és a hulladékok talajszennyezése sem jelentéktelen.

Az emberi egészséget és a természet minőségét védő környezetvédelmi előírások viszonylag újabb keletűek. A hazai gazdaságpolitikában a környezetvédelem hosszú ideig háttérbe szorult, a vállalatoknak gyakran előnyösebb volt a környezetvédelmi bírság befizetése, mint a szennyezést megszüntető beruházás megvalósítása. A magyar előírások többsége enyhébb az Európai Unió követelményeinél, azok átvétele – és főleg teljesítése – csatlakozásunk egyik legnehezebb feltétele. A gazdasági ellehetetlenülés elkerülésére késleltetjük a szigorúbb előírások hatályba léptetését, fokozatosan közelítve a nyugati határértékekhez. A szigorodó környezetvédelmi előírások és a társadalmi nyomás hatására az emissziókat nálunk is szorítják vissza, de még sok olyan létesítmény üzemel, amelyik túllépi a megengedett határértékeket. A korlátozott pénzügyi lehetőségek miatt a javulás lassú, a szennyezés miatt kirótt bírságok hatására csak fokozatosan következik be a szennyezést korlátozó be rendezések utólagos beépítése, vagy az elavult létesítmények leállítása. Ennek következtében a légszennyezés az ország több térségében, főleg a délnyugatról északkeletre húzódó tengely menti iparvidéken jelentős, és számottevő a vízszennyezés elsősorban az ipari centrumok és nagyvárosok alatti folyószakaszokon. A nagyvárosokban a légszennyezés kritikus helyzetet is előidézhet,

a jogszabályok az önkormányzatokat hatalmazzák fel a szmogriadótervek készítésére és szükség esetén a riadó elrendelésére, ami a közúti közlekedés radikális korlátozásával és az erősen szennyező üzemek leállításával jár. Előírásaink szigorítása érzékenyen érinti az energetikai létesítményeket, ezek az energiapolitika meghatározó feltételeivé váltak.

Mivel a szennyező anyagokat szállító áramlások nem tartják tiszteletben az országhatárokat, környezetszennyezésből jelentős nemzetközi „forgalom” is kialakul. Magyarország például a légáramokban több égéstermékot exportál, mint amennyit importál. A környezetvédelem nemzetközi összehangolása érdekében az ENSZ 1972-ben, az első nemzetközi környezeti konferencia ajánlására, új szakosított szervezetet hozott létre *Egyesült Nemzetek Környezeti Programja* (UNEP – United Nations Environmental Program) elnevezéssel. A felgyülemlett ismeretek talaján az ENSZ 1983-ban bizottságot alakított a környezet és a gazdasági fejlődés összefüggéseinek feltárására (World Commission on Environment and Development, illetve vezetőjének neve után Bruntland-bizottság). Jelentésükben (1987-ben) leszögezték, hogy az emberiséget krízis fenyegeti, különösen a globális hatások miatt, és javaslatokat tettek a katasztrófát megelőző intézkedésekre, a „fenntartható fejlődés” stratégiájára. A közös cselekvési készséget demonstráló fórumnak szánt Környezet és Fejlődés Konferencia (UN Conference on Environment and Development, 1992, Rio de Janeiro) a magas szintű képviselő ellenére csak nagyon szerény sikerrel járt. A nagy kihatású közös akciók fennakadtak a gazdasági érdekelleték olyan zátonyain, mint a gazdasági versenyképesség féltése, az ellentét a szegény és gazdag országok között, a huzavona az előnyök, hátrányok és pénzügyi terhek megosztása körül. A fenntartható fejlődés gondolata azonban fokozatosan áttöri az érdekhálókat és kis lépésekkel, részmegállapodásokban sikerül érvényesíteni a követelményeit.

Az energetika hulladékai

Minden energetikai technológiának vannak hulladékai, melyek többsége előbb-utóbb valamilyen módon kikerül a környezetbe. Hulladékmentes, zárt energetikai technológiákra vannak elképzelések, de térhódításuknak nincsenek jelei, így a hulladékok ellenőrzött kibocsátása vagy biztonságos tárolása jelenti a reális lehetőséget. Az energetikában sok hulladék képződik, a legjobb megoldás azok hasznosítása, hogy ne terheljék a környezetet. Ezen túlmenően az energetikai hatásfokot is javítja az éghető hulladékgázok eltüzelése, vagy a hulladékhő hasznosítása közegek melegítésére. Gazdasági hatékonyságot ígér a vegyszerek visszanyerése és újbóli felhasználása a technológián belül, vagy a tüzelőanyagok kinyerése a meddőhányókból. A nemzetgazdaság más területén történő hasznosításra példa a szénttüzelésből származó salak és pernye

alkalmazása bányatömedékelésre, útépitésre, adalékanyagként cement, beton, habarcs, téglá és cserép gyártásához, vagy a füstgáz kénmentesítésénél keletkező gipsz felhasználása építőanyagként. Néhány országban a szilárd erőművi hulladékok nagy részét hasznosítják, de sok országban a felhasználás lehetséges köre viszonylag szűk, viszont a keletkező mennyiség nagy. Korlátozza a lehetőségeket, ha a maradványokban számottevő a veszélyes alkotók (pl. egyes hazai salakokban radionuklidok és nehézfémek) aránya.

A hulladékok egy részét hígítva kibocsátják a légterbe, illetve a környező vizekbe. A kibocsátásra megszabott korlátokat a hatóságok azzal a célkitűzéssel állapítják meg, hogy az emisszió emberközelségben ne változtassa meg számottevően a természetes állapotot. Ha ez nem teljesíthető, a hulladékot vissza kell tartani, és ha a biztonság megkívánja, a környezettől elszigetelve kell tárolni. A visszatartás oka lehet a keletkező hulladék nagy mennyisége (pl. meddőhányók) vagy veszélyessége (pl. egészségre ártalmas anyagok). Az utóbbi csoportba beletartoznak a légterbe vagy vizekbe kibocsátott közegek kezelése során kivont veszélyes összetevők is. Az energetika legfontosabb kibocsátásait a 28. táblázat tekinti át. A táblázatban feltüntetett másodlagos szennyezők a transzportfolyamatok során alakulnak ki.

A környezetszennyezők hatása általában az immissziótól függ. Ennek mértéke többnyire a tér egyes pontjaiban érvényesülő koncentráció (g/m^3 , mg/m^3 stb.), kis mennyiségeknél koncentrációarányok is használatosak (pl. ppm – pars pro million, milliomod tömegarány, ppb – pars pro billion, milliárdnyi tömegarány, ppmv – pars pro million volumen, milliomod térfogatarány szerint). Bizonyos hatásoknál az immissziót más fizikai jellemzőkkel értelmezik, például a térfogategység energiatartalmával (J/m^3), teljesítményével (W/m^3), vagy radionuklidok esetében az időegység alatti bomlások számával (Bq – becquerel = 1 bomlás/mp) meghatározott fajlagos aktivitással (Bq/m^3). Felületre kiüledő szennyezők, vagy felszínen érvényesülő hatások esetében a jellemzőt nem térfogategységre, hanem felületegységre vonatkoztatják. Az emberi egészség és biztonság védelmét szolgáló szabványok gyakran rögzítenek határértékeket az immissziókra. Ilyenek a jó minőségű levegő, illetve ivóvíz kritériumait rögzítő szabványok, vagy a talajra kiüledő anyagokkal kapcsolatos irányelvek. A természet növény- és állatvilágának védelmét szolgáló ajánlások többnyire átveszik az emberi egészségvédelem érdekében kialakított határértékeket, bár a tűrőképesség azonossága nincs bizonyítva.

Az immisszió származhat több szennyezőforrás szuperpozíciójából, és nagyon lényegesen függ a kibocsátott anyagok terjedési viszonyaitól. A hatóságok a technikai létesítményeknél a kibocsátást szabályozzák és ellenőrzik. A szennyező létesítmények emissziójára megengedett határértékek többnyire meghatározott időtartam alatt kibocsátott mennyiségekre (tömeg, energia, aktivitás stb.) vonatkoznak, a mértékadó időtartamot a szennyezők jellege és mérésük módszere jelöli ki. Főleg az energetikában használatosak a kibocsá-

Az energetika jelentősebb környezeti kibocsátásai

Levegőbe	Vízbe	Talajra	Egyéb
CO ₂	oldott savak, lúgok,	meddőhányók	zaj
CO	sók, szerves anyagok	iszap, zagy	elektromágneses
SO _x	fémek	salak, pernye	sugárzások
NO _x	szuszpendált	kommunális szemét	mechanikai rezgések
N ₂ O	részecskék	radioaktív hulladékok	láthatóságot csökkentő
CH ₄	radionuklidok	vegyszerek	légszennyezők
HCl	emulziók	nehézfémek	bűz
NH ₃	olajok, zsírok	üledékek	
por, pernye, korom	hő	törmelékek, bontási	
fémek, radionuklidok	talajból, hulladékokból	anyagok	
illő szerves vegyületek (VOC)	kihordott, kilúgozott szennyezés	levegőből és vízből kiülepedő szennyezés*	
hő			
szulfátok*			
H ₂ SO ₃ *			
H ₂ SO ₄ *			
nitrátok*			
HNO ₃ *			
NH ₄ Cl*			
O ₃ *			
szmog*			
porzás*			
savas eső*			

* másodlagos szennyezők

tott füstgázban, illetve hulladékvízben mért koncentrációra, a fejlesztett energiára, sőt teljesítményre vetített határértékek is. Az előírások határértékei egyrészt az érintett terület jellegétől (védeltség megkívánt színvonala, szennyezettség eredeti mértéke), másrészt a szennyező létesítmény jellemzőitől (technológia típusa, konstrukció jellemzői) függenek. Az engedélyekben a területi és a technológiai követelmény közül a szigorúbbat tekintik mértékadónak.

A kibocsátásokra megengedett határértékeket jogszabályokban írják elő, a hatóságok ezek betartását követelhetik meg. A határértékek társadalmi kompromisszum termékei, amelyeket a tudományos ismeretek és a műszaki lehetőségek fejleményeitől függően időnként módosítanak (rendszerint szigorítanak). Az energetikát a legnagyobb mértékben a levegő tisztaságával kapcsolatos

követelmények érintik, mindenekelőtt a tüzelés füstgázában távozó nemkívánatos égéstermékekre, illetve az atomerőműből kikerülő radioaktív izotópokra érvényes előírások, valamint a belső égésű motorokra vonatkozó korlátozások.

A lakosság és a környezet veszélyeztetettségének megítélésénél nem lehet kizárólag a kibocsátásokra előírt határok betartásának ellenőrzésére hagyatkozni. Egyrészt nincs is minden szennyezőre előírás. Másrészt sok környezeti hatáznál még nem sikerült igazolni az ártalmasság és ártalmatlanság határát kijelölő küszöbérték létét, ilyenkor azt kell feltételezni, hogy bármilyen kis járulékos kibocsátás is növeli a veszélyességet. Erősíti ezt a felfogást, hogy az egyéni ellenállóképesség nagyon eltérő, és a legkevésbé ellenálló személyekre is tekintettel kell lenni. Ugyanebbe az irányba hat, hogy a különböző forrásokból származó kibocsátások hatásának szuperpozíciója miatt előfordulhat, hogy egy, az előírásoknak megfelelő emissziójú létesítmény üzembe lépése az eredő immissziót a megengedett érték fölé növeli. Az sem zárható ki, hogy üzemzavar esetén a kibocsátás túllépi a határértéket az olyan berendezésnél is, amely normális körülmények között maradéktalanul megfelel a követelményeknek.

Környezetünkben a legtöbb szennyező anyag természetes eredettel is előfordul, de egyes légszennyezők (pl. halogénezett szénhidrogének, mesterséges radioizotópok) a természetben nem találhatók meg. A természetes eredetű légszennyezés fő forrásai a vulkánkitörések, villámok, erdőtüzek, a talajról homokot, a tengerből sót, a növényekből pollent magukkal ragadó légáramlatok és az élőlények anyagcseréje. Az élővizek természetes eredetű szennyezése a talajból, illetve a vízben lejátszódó biológiai folyamatokból származik. A műszaki eredetű környezetszennyezés jelentősége azon múlik, hogyan aránylik mértéke a természetes eredetű koncentrációhoz. A 29. táblázat néhány szennyező anyagra vonatkoztatva bemutatja a világ emberi eredetű (antropogén) és természetes eredetű kibocsátásainak viszonyát, a növekedési index a természetes egyensúlyi koncentrációhoz viszonyítja az antropogén eredetű évenkénti növekményt. A táblázat első öt anyagánál az emberi tevékenység szerepe a nagyobb, ezek közül az ólom, a kadmium, a kén-dioxid és a tengeri olajszennyezésben az energetika a főszereplő. Jó néhány más anyagnál (szén-dioxid, por, nitrogén-oxidok, ammónia, szén-monoxid) az energetika szerepe összemérhető a természetes eredetű kibocsátásokkal.

A fejlett országokban sokat költenek a környezetszennyezés csökkentésére, például egy korszerű szénerőmű beruházásának harmada a környezet védelmét szolgálja. Ennek 40%-át teszi ki a füstgáz kénmentesítése, 30%-át a nitrogén-oxid kivonása, 7%-át a porleválasztás, 6%-át a zajvédelem, 5%-át a hulladékkezelés, 3%-ot a vízminőség-védelem, a fennmaradó hányadot pedig monitoringra és egyéb célokra fordítják. Atomerőművek létesítési költségeinek közel a felét indokolja a környezetvédelem. Sikeres erőfeszítéseket tesznek a gépjárművek károsanyag-kibocsátásának a mérséklésére is (pl. katalizátor, számítógépes szabályozás).

Természetes és emberi eredetű kibocsátások viszonya

Szennyező anyag	Természetes kibocsátás, kt/év	Növekedési index	Főbb források
Ólom	25	15	motorhajtóanyagok, kohászat
Olaj a tengerekben	500	10	szállítás
Kadmium	1	8	tüzelőanyagok
Kén-dioxid	50 000	1,4	tüzelés
Metán a légkörben	0,8*	1,1	mezőgazdaság
Higany	25	0,7	kohászat
Dinitrogén-oxid	10 000	0,4	mezőgazdaság
Szén-dioxid	280*	0,3	tüzelés
Szilárd részecskék	500 000	0,25	tüzelés

* ppm

A következő évtizedekben a környezetszennyezés erős növekedését várják a fejlődő országokban, ami érdeellentéteket ébreszt a fejlett és fejlődő országok között. A gazdaságilag gyorsan prosperálóktól eltekintve a fejlődő országok erőforrásai nem elegendőek a környezetvédelmi követelmények prioritásának biztosításához. Ilyen elvárások erkölcsi jogalapját is kétségbe vonják, hiszen a Föld lakosságának mintegy 20%-át kitevő fejlett országok a legfőbb környezetszennyezők, ők a felelősek a kialakult súlyos környezeti állapotokért is. Tovább élezi a viszonyokat, hogy a fejlettek saját helyzetük javítására gyakran a fejlődőkhöz telepítik át energiaigényes és szennyező iparukat. Ezért azt tartanák igazságosnak, ha a fejlett országok az üzleti érdekeket mellőző technológia transzferrel és megfelelő pénzügyi támogatással átvállalnák a szegény országok terheit a káros emissziók csökkentésére. Ez – főleg a regionális és globális következményeknél – visszahat a fejlett országok környezeti viszonyaira is.

Légszennyezés

A legtöbb technológiai eredetű szennyező anyagot a légtérbe bocsátják ki. Bár a mintegy 60 ezerféle természetes és antropogén eredetű légszennyezőből csupán néhány tucat származik energetikai berendezésekből, a kibocsátott mennyiségek alapján a legnagyobb szerepe az energetikának van. A légszennyezők nagymértékben befolyásolják a légkör állapotát és az abban lejátszódó fizikai és kémiai folyamatokat, kihatnak a csapadékképződésre, alapvető szerepük van a savas eső és a szmogok kialakulásában. Az aeroszolok csökkentik az inszolációt és a látótávolságot, kondenzációs magokat alkotnak előmozdít-

va a csapadékot és ködöt, szinergikusan erősítenek kémiai és fizikai-kémiai átalakulásokat. Egyes gáznemű égéstermékek elnyelik és szórják a beeső nap-sugárzást, mások ugyanezt teszik a felszínről kisugárzott infravörös sugárzással, fokozva az üvegházhatást. A fotooxidánsok (elsősorban NO_x és egyes szerves égéstermékek) az ózontképződés legfőbb okozói a troposzférában. A szennyező komponensek tartózkodását a légterben egyrészt az ülepedés szabja meg, amiben nemcsak a gravitáció hatása érvényesül, hanem a részecskéket a levegőből kimosó csapadéké is. Másrészt kémiai folyamatok vonnak ki komponenseket, például az OH-gyökök oxidáló és felbontó hatásukkal (mindenekelőtt a CO és CH_4 molekulákat). A tartózkodási időn múlik, hogy milyen távolságra terjednek az anyagok, az NO_x hatósugara lokális, az SO_2 , CO, O_3 terjedése regionális, a CO_2 és CH_4 -é globális. Természetesen a legnagyobb figyelem az egészségkárosító szennyezőkre irányul, de újabban fokozódik a természetkárosítást és a korróziót okozó alkotók vizsgálata is.

A légszennyezés csökkentésére 1979-ben Genfben nemzetközi megállapodás született az Európai Gazdasági Bizottság (EGB, Economic Commission for Europe) kezdeményezésére, amit később jegyzőkönyvekben konkretizáltak az egyes kibocsátás fajtákra. Ezek többsége érzékenyen érinti az energetikát, a kén-dioxid- és a szén-dioxid-emisszió előírányzott csökkentése a villamosenergia-fejlesztésben követel jelentős technológiakorszerűsítést és anyagi ráfordításokat, a nitrogén-oxid, valamint az illó szervesanyag-kibocsátás viszszafejtése elsősorban a közlekedésnek ad feladatot. Egyes országokban (F, S, DK, J) adót vetettek ki az SO_x - és NO_x -kibocsátásra, az Európai Unióban pedig bővül a karbonadót alkalmazó országok köre is.

A magyar előírások a kibocsátásokat egyrészt az érintett terület jellege szerint szabályozzák. A területi emissziós határértékek az immissziós korlátokra alapulnak, és azokból a terület védettségi osztályától, a kibocsátás talajszint feletti magasságától, valamint a körzet levegőjének szennyezettségétől függő és az illetékes hatóság által megállapított szorzókkal származtatják le. A magyar szabvány három kategóriát különböztet meg, a legkisebbek a követelmények a ritkán betelepült térségekre (védett II.), szigorúbb előírások vonatkoznak a sűrűn lakott övezetekre (védett I.), és kiemelt védelmet ír elő a természetvédelmi területekre, a gyógy- és üdülőhelyekre. Az előírások másrészt berendezésspecifikus technológiai határértékeket szabnak meg a legjellemzőbb szennyezőkre, gyakran a szennyező források műszaki paraméterei (teljesítmény, működési mód, konstrukció, életkor) szerint differenciálva. Technológiai előírások vannak többek között tüzelőberendezésekre vegyi művekre, kohókra, ipari kemencékre, belső égésű motorokra, atomerőművekre.

Az energetikai légszennyezés fő forrása a fosszilis tüzelőanyagok füstgáza, de az energiaellátás egyéb technológiai fázisainak a hozzájárulása sem jelentéktelen. A Magyarországon kibocsátott fontosabb égéstermékek 1996. évi megoszlását tüzelőanyagok és felhasználói szektorok szerint a 30. táblázat mutatja.

Égéstermékek légköri emissziójának megoszlása tömeg szerint

Égéstermék		CO ₂	CO	SO ₂	NO _x	szilárd	NMVOC*
Antropogén emisszió, Mt		68	0,48	0,71	0,18	0,16	0,1
Energetika részaránya, %		95	100	93	92	55	52
Megoszlás tüzelőanyag szerint, %	sz	33	13	75,3	20	81	73
	f	26	83	24,2	62	18,5	25
	g	41	4	0,5	18	0,5	2
Megoszlás felhasználási szektorok szerint, %	e	34	4	65	25	22	2
	h	4	0,5	1	1	1	0
	k	10	82	1	52	12	24
	i	20	1,5	16	9	13	20
	m	3	0,5	2	2	7	5
	l	23	12	13	8	40	46
	s	6	0,5	2	3	5	3

sz: szilárd, f: folyékony, g: gáznemű, e: erőművek, h: hőszolgáltatás közcélú erőművek nélkül,

k: közlekedés, i: ipar, m: mezőgazdaság, l: lakosság, s: szolgáltatás

*Non Methane Volatile Organic Compounds, metánon kívüli illékony szerves vegyületek

Az antropogén eredetű CO₂-, CO-, SO₂-, NO_x- és a táblázatban nem szereplő ólomkibocsátásnak több mint 90%-a, a szilárd szennyezés (korom, pernye, koks, nyomelemek és vegyületeik) és a NMVOC-emisszió több mint fele energetikai eredetű, a CH₄-emisszióknak mintegy negyedéért az energetika felelős. A táblázatban figyelmet érdemel, hogy néhány szennyező kibocsátásában (por, NMVOC) a lakosság tüzelőberendezései játszanak vezető szerepet.

A környezetszennyezéssel kapcsolatban megkülönböztetett figyelem irányul a gépkocsiforgalomra és az erőművekre. A gépkocsik kipufogógázából a talajszinten terülnek szét az emberek egészségét közvetlenül veszélyeztető égéstermékek (CO, NO_x, NMVOC és aeroszolok), ami különösen sűrű forgalmú térségekben (nagyvárosok, autópályák) kritikus. Az erőművek magas kéményekből koncentráltan bocsátanak ki nagy mennyiségű szennyező anyagokat, amiket a légáramlatok nagy távolságra is elszállítanak. A táblázat szerint a kén-dioxid-, az illó szénhidrogén- és a poremissziót legnagyobb mértékben a széntüzelés okozza, az NO_x- és CO-szennyezés fő forrásai a folyékony motorhajtóanyagok, a földgáz égésterméke kevésbé szennyező. A magyar erőműpark emisszióiról a tüzelőanyag-bázis függvényében a 31. táblázat tájékoztat, erőműveink okozzák az SO₂-kibocsátás kétharmadát, a CO₂-emisszió harmadát, az NO_x és a szilárd légszennyezés negyedét. Az adatok 1994-re vonatkoznak, azóta hasonló részletességű felmérés nem készült, de a megoszlások fajlagosok, és azóta alig változtak. A kibocsátások viszont megnöttek az erő-

Erőművi emissziók a légkörbe

Tüzelőanyag jellege		lignit	fekete- és barnaszén	fűtőolaj	földgáz	összesen
Tüzelőanyag-felhasználás, PJ		44,8	63,4	65,8	63,5	237,5
Emisszió, kt	CO ₂	4 834	6 839	5 150	4 113	20 936
	SO ₂	123,2	215,6	84,4	0,02	423,2
	NO _x	8,9	14,1	11,5	7,7	42,2
	por	4,0	10,6	4,5	0,006	19,1
	CO	4,5	8,9	2,1	1,4	16,9
	NM VOC	0,4	0,2	0,2	0,05	0,8
	CH ₄	0,06	0,08	0,05	0,03	0,22
	N ₂ O	0,6	0,9	0,9	0,2	0,26
Fajlagos emisszió, g/MJ	CO ₂	107,9	107,9	78,3	64,8	88,2
	SO ₂	2,7	3,4	1,3	0	1,8
	NO _x	0,2	0,2	0,2	0,1	0,18
	por	0,09	0,17	0,07	0	0,08
	CO	0,1	0,14	0,03	0,02	0,07
	NM VOC	0,008	0,003	0,003	0,0008	0,003
	CH ₄	0,001	0,001	0,001	0,0005	0,001
	N ₂ O	0,01	0,015	0,015	0,003	0,012

művek nagyobb kihasználása következtében, a közcélú erőművek 1999-ben 21,6 Mt CO₂-t, 458 kt SO₂-t, 40 kt NO_x-t és 19 kt port bocsátottak ki.

Gáznemű kibocsátások

A legtöbb energetikai eredetű szén-dioxid égéstermék formájában kerül a légkörbe, ám kis mennyiségben bányatermékekben, egyes földgáz-előfordulásokban, valamint termálvizekben is felszínre kerülhet. A CO₂-nek nincs közvetlen mérgező hatása, de mivel a levegőnél nehezebb, zárt térben a levegőt kiszorítva fulladást okoz. Az utóbbi időben a környezetvédelem előterébe került a globális felmelegedés veszélye, a legsúlyosabb aggodalmakat a CO₂ üvegházgáz szerepe váltotta ki, mivel koncentrációja a troposzférában az ipari forradalom óta közel 30%-kal nőtt. A természetes eredetű „üvegházgázok” (vízgőz, szén-dioxid, metán, nitrogén-dioxid, ózon) hatása nélkül a Föld hőmérséklete 32°C-kal hidegebb lenne. Ezt a természetes üvegházhatást növelik meg az antropogén eredetű üvegházgázok (32. táblázat), elnyelve a Föld felszínéről kisugárzott infravörös sugárzást. Ez megnöveli a levegő felmelegedését, az elnyelt többlet hő egy része a felszínre visszasugárzódik, meg-

emelve a bioszféra hőmérsékletét. A járulékos üvegházhatásnak majdnem kétharmadáért a szén-dioxid felelős, nagy koncentrációja, az atmoszférában töltött hosszú tartózkodási ideje, valamint további, elkerülhetetlen koncentrációnövekedése következtében.

A természetes eredetű kibocsátások (élőlények anyagcseréje, szerves anyagok aerob bomlása, természetes eredetű tüzek, tűzhányók kitörése stb.) karbontartalmát évente mintegy 200 Gt-ra becsülik, az antropogén emissziókat pedig ~8 Gt/év-re. A világ jelenlegi teljes antropogén kibocsátásainak főbb forrásai: kőolajtermékek égése 34,2%, széntüzelés 32,5%, földgáztüzelés 15,4%, cementipar 2,4%, erdőirtás 15,5%. A légkör szén-dioxid-tartalma egy dinamikus egyensúly eredménye, amiben szerepet játszanak a nagy tároló és elnyelő közegek. A tengerekben tárolt karbonmennyiség 40 Tt, a talajban 1,6 Tt, a légkörben 0,75 Tt és az erdőkben 0,6 Tt. A részletek a nagy rezervoárak kölcsönhatásáról (44. ábra) még tisztázatlanok. Ugyan a légkörbe kerülő antropogén eredetű szén-dioxid a teljes kibocsátásnak csupán néhány százaléka, de körülbelül ugyanekkora az elnyelés deficitje is. A kialakult természetes egyensúlyt változtatta meg az emberi tevékenység, mindenekelőtt a fosszilis tüzelőanyagok elégetésével. Az ipari forradalom óta a légkör CO_2 -tartalma térfogatarány szerint 280 ppmv-ről 360 ppmv-re nőtt, e 30%-os növekmény negyötöd részét az exponenciálisan növekvő fosszilis tüzelőanyag-felhasználás okozta, a többit egyéb ipari és mezőgazdasági tevékenységek. A 19. század közepe és a 20. század vége között a világ tüzelőberendezései hozzávetőlegesen 230 Gt karbont bocsátottak ki (96 Gt a kőolaj, 38 Gt a földgáz és 156 Gt a szén tüzeléséből), a jelenlegi éves kibocsátás 7 Gt-hoz közelít.

Az üvegházgázok melegítési potenciálját többnyire a szén-dioxid melegítési potenciáljára vetítik a 10. képlet szerint, ahol a_i az i jelű gáz hőabszorpciója

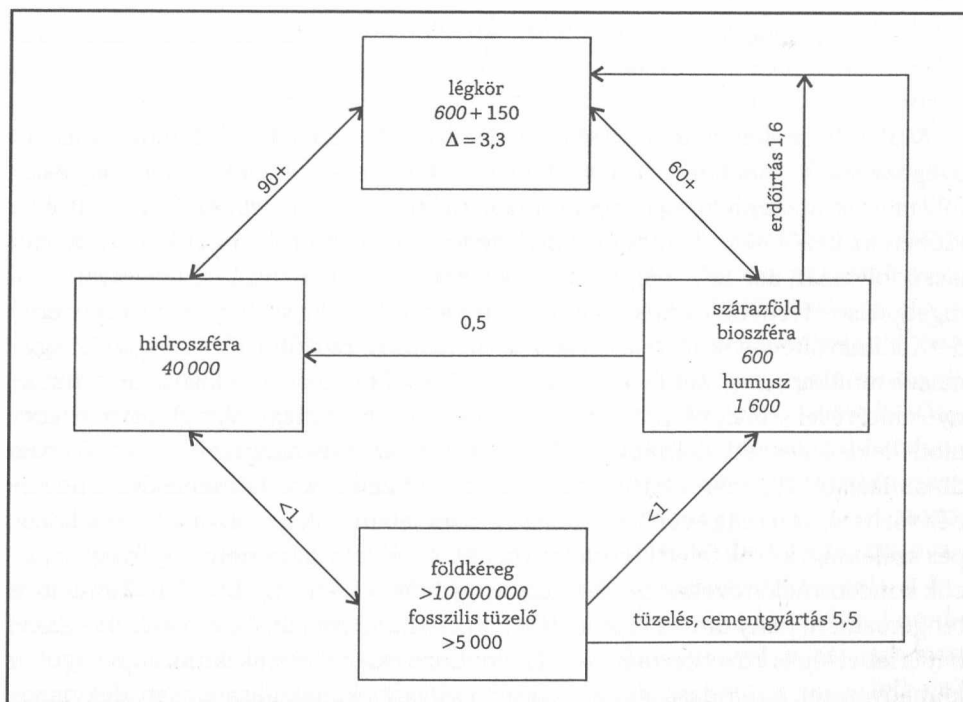
32. táblázat

Antropogén eredetű üvegházgázok szerepe

Paraméter	CO_2	CH_4	CFCl_3	CF_2Cl_2	N_2O
Koncentráció az ipari forradalom előtt, ppmv	280	0,7	0	0	$275 \cdot 10^{-3}$
Koncentráció 1990-ben, ppmv	358	1,75	$280 \cdot 10^{-6}$	$540 \cdot 10^{-6}$	$310 \cdot 10^{-3}$
Jelen növekedési ütem, %/év	0,4	0,9	*	*	0,25
Tartózkodási idő, év	50-200	12-17	65	130	120
20 éves melegítési potenciál	1	63	4500	7100	270
100 éves melegítési potenciál	1	21	1500	7300	290
100 évre kumulált hatás aránya, %	54	16	5	5	5

* a használat tilalmára vonatkozó nemzetközi megállapodás hatásáról még nincs információ

A Föld szén-dioxid-egyensúlya



a c_i koncentráció egységnyi növekedése esetén, a_{sz} és c_{sz} a szén-dioxid megfelelő értékei, T pedig a figyelembe vett idő. A P_i indikátor szolgáltatja az i jelű gáz szén-dioxidhoz viszonyított relatív melegítési potenciálját.

11. képlet

$$P_i = \frac{\int_0^T a_i c_i(t) dt}{\int_0^T a_{sz} c_{sz} dt}$$

A metán CO_2 -re vetített relatív melegítési potenciálja nagy, de kisebb koncentrációja és rövidebb tartózkodási ideje miatt kisebb a szerepe, mint a szén-dioxidé. A főleg tüzelőanyagok égéséből és műtrágyahasználatból származó nitrogén-oxidok melegítési potenciálja még nagyobb, de a kis koncentráció miatt szerepük kicsi. A freonok koncentrációja nagyon alacsony, de rendkívül nagy melegítési potenciáljuk miatt az üvegházhatás 10%-áért felelősek. Az antropogén vízgőz, ózon és egyéb, a táblázatban nem szereplő komponensek (NO_x , NMVOC, CO) kibocsátása együttesen a kumulált hatás 15%-át okozza.

A járulékos üvegházhatás okozta *GM* (globális melegedést) a 12. képlet figyelembevételével az m_i tömegű alkotókra képzett összeg szolgáltatja:

$$12. \text{ képlet} \quad GM = \sum_i P_i m_i$$

Múltbeli geológiai és csillagászati adatok korrelációt valószínűsítene az üvegházgázok koncentrációja és a Föld hőmérséklete között, a jelenleg zajló folyamatokra azonban egyértelmű bizonyítékok még nincsenek, bár az utóbbi időben az űrből végzett mérések melegedést támasztottak alá. A klímaváltozás lassú folyamat, azt sok, még nem eléggé ismert hatás befolyásolja, a folyamatot ingadozások terhelik és mérésük is bizonytalan. Mindig voltak természetes eredetű klímaváltozások is, felmelegedési és lehülési periódusok váltogatták egymást a múltban, amit befolyásolt a Nap hatása, a Föld pályamódosulásai, a tűzhányók kitörései stb. Egyértelműen melegedést prognosztizálnak a globális légköri modellekkel végzett számítások. Ezek szerint az üvegházgázok emissziójának dinamikájától függően évtizedenként néhány tized fokos hőmérséklet-emelkedés várható, ami száz éven belül néhány fokot jelent, főleg az északi félteke közepes szélességi körök feletti területein (a hőmérséklet növekménye az üvegházgázok koncentráció-növekedésének négyzetgyökével arányos). Ebből 100 év alatt a tengerszint néhány dm-es emelkedését is prognosztizálják. Az erősödő üvegházhatás lehetséges következményeiről különböző feltételezések láttak napvilágot: a klímaövezetek eltolódása, szélsőségesebb időjárás kialakulása, a csapadékvizszo-nyok módosulása (több eső, nagyobb párolgás), az ökoszisztémák átalakulása, tengerparti övezetek elárasztása, a sivatagok terjedése, a jégtakarók zsugorodása, tengeráramlatok megváltozása. Feltételezik, hogy átrendeződnek a mezőgazda-sági termelés feltételei (hőmérséklet, csapadék), csökkennek a termőterületek és eltolódnak északi irányba, csökkennek a vízbázisok, az erdőterületek, az élőhe-lyek és megváltozik sok más, az emberi életfeltételeket lényegesen befolyásoló körülmény. Mai ismereteink alapján ezeket sem kizárni, sem megerősíteni nem lehet, a bizonyított válaszokkal még adós a tudomány. Természetesen a számítá-sokat jelentős bizonytalanság terheli, a modellekben sok körülményt figyelmen kívül kellett hagyni, melyek egy része az üvegházhatás ellen hathat. Ilyen a felszí-ni vizek párolgása, a felhőképződés befolyása az inszolációra és reflexióra, a hó-és jégtakarók alakulása és reflexiója, az óceánok hőtároló és szén-dioxid-elnyelő képessége, a vulkánok aeroszol-kibocsátása, a sztratoszféra felmelegedése, az SO_2 -emisszióból keletkezett szulfát aeroszol fényelnyelő szerepe, a metánt redu-káló OH gyök keletkezése az NO_x hatására, az ózonlyuk stb. Az viszont egyértel-mű, hogy a járulékos üvegházhatás főszereplője, a szén-dioxid-koncentráció nő, és ennek legfőbb forrása az energetika.

Az üvegházhatásról heves viták zajlanak. Elsősorban a fosszilis tüzelőanyagok értékesítésében érdekelt ipari körök vitatják, hogy szabad-e a társadalmat áldo-

zatra kényszeríteni, amíg nincs bizonyítva a klíma kedvezőtlen változása. Rangos nemzetközi szervezetek (pl. WEC) óvnak az elszármított akcióktól, a szükséges nagy ráfordítások miatt is mértéktartó stratégiát ajánlanak, amit később nem kell megbánni. Annak ellenére, hogy egyes tudósok is vitatják a globális felmelegedés veszélyét, a tudományos közösség nagy többsége szükségesnek tartja az emissziók visszaszorítását, mivel a légkör egyensúlyának megbomlása már vitathatatlan, és nincs idő várni a következmények tisztázására. Véleményük szerint kisebb kockázat a feltételezések alapján elhatározásokra jutni, mint a bizonyosságokra várva elszármított a visszafordíthatatlan következmények megelőzésének lehetőségét. Az üvegházgázok hosszú ideig tartózkodnak a légkörben, hatásuk kumulatív, ezért a folyamatokat legfeljebb lassítani tudjuk, de nem megakadályozni. Stabil és kedvezőbb egyensúlyi állapotot következetes intézkedések esetén is csak nagyon távoli jövőben lehet elképzelni, ezért nagy a felelősségünk a jövő generációival szemben. Súlyos dilemma, hogy ha sikerül is a fejlett országok CO₂-kibocsátását csökkenteni, az nem lesz képes ellensúlyozni a fejlődő világ nagy lélekszámú országai jórészt szénbázisú energiagazdálkodásának dinamikus növekvő emisszióját. Ennek következtében az IEA becslése szerint a következő időszakban a világ CO₂-emissziója évtizedenként mintegy 25%-kal fog nőni.

Az ajánlott beavatkozások nagy gazdasági kihatása a döntéshozókat óvatosságra készíti, a társadalmi közhangulat viszont a cselekvést sürgeti. A folyamatok globális jellege miatt csak nemzetközi együttműködéstől lehet eredményt remélni, de az érdekek összehangolásának akadályai miatt egyelőre mérsékelt a siker. A nagy energiafogyasztó országok félnek az árfelhajtó hatástól, a szegény és a gazdag országok között pedig huzavona alakult ki a felelősség és a pénzügyi terhek megosztása körül. Az első nemzetközi konferencia nemzetközi szervezetet hozott létre a klímaváltozás elemzésére, és még azt javasolta, hogy a CO₂-kibocsátást 2000-ig 20%-kal, 2020-ig 50%-kal csökkentsék. Később a közös cselekvési készséget demonstráló fórumnak szánt világkonferencián (Környezet és Fejlődés Konferencia, UN Conference on Environment and Development, 1992, Rio de Janeiro), valamint az ezt követő rendkívüli ENSZ-közyűlésen (1997, New York) – mint ahogy az a bevezetőben is írtuk – a magas szintű képviselő és a monstre részvétel ellenére mérséklődtek az ambíciók, szerény kötelezettségek vállalására csak a Kiotóban tartott világkonferencián került sor (1997), meglehetősen enyhe, országonként differenciált mértékben. Itt hat üvegházgáztípus (CO₂, CH₄, N₂O, SF₆, PFC – perfluorkarbonok, HFC – hidrofluorkarbonok) együttes csökkentésében állapodtak meg 2010-ig. Magyarország azt vállalta, hogy az 1987. évi kibocsátási szint 6%-kal csökkentett értéke alá szorítja az emissziót, aminek teljesítése nem fog gondot okozni, mivel az energiafelhasználás és ezzel a kibocsátás erősen visszaesett az 1990-es években. Különösen élesek a viták az üvegházhatás korlátozására javasolt karbonadó vagy energiaadó célszerűségéről, amit ugyan egyes EU-országok bevezettek, de jelentős államok (pl.

Ausztrália – 27 t/fő CO_2 -kibocsátás évente, USA és Kanada – 21 t/fő) ellenzik, féltve gazdaságuk versenyképességét. Az Európai Bizottság 2000 végén kérését nyilvánította, hogy az Európai Unió teljesíteni fogja kiotói vállalását.

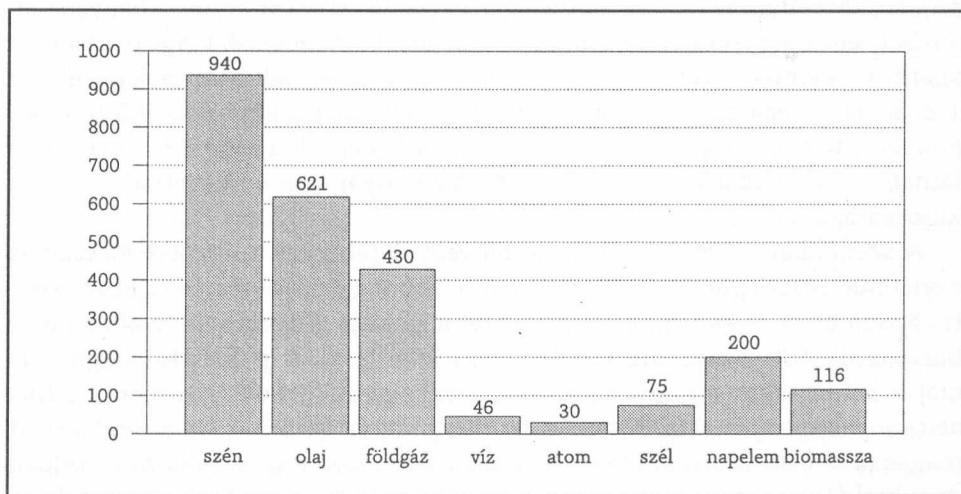
A magyarországi CO_2 -kibocsátás az elmúlt 20 év alatt mintegy 30%-kal csökkent, karbontartalma jelenleg mintegy 90 Mt/év. Ennek fele a talajban zajló bomlásból származik, több mint negyede a növényi anyagcsere terméke, 2 Mt-t az állati és emberi respiráció juttat a levegőbe és 15 Mt-t a nem biológiai jellegű emberi tevékenységek – főleg a tüzelés – bocsátanak ki.

A szén-dioxid-emisszió visszaszorítására a legegyszerűbb út az energia-takarékosság, ami közvetlenül vagy közvetve csökkenti a fosszilis tüzelőanyag felhasználását. Hatásos lehetőség a tüzelőanyag struktúrájának módosítása, figyelembe véve, hogy azonos hőmennyiség fejlesztéséhez annál kevesebb CO_2 -képződés tartozik, minél nagyobb a hidrogén aránya a tüzelőanyagban a karbonhoz viszonyítva. A hidrogén/karbon viszony közelítőleg 1:2:4 arányban változik a szén:kőolaj:földgáz sorrendben. Egy MJ hő fejlesztése a 31. táblázat szerint széntüzelésnél 108 g, olajtüzelésnél 78 g, földgáztüzelésnél 65 g CO_2 kibocsátásával jár, így a földgáztüzelés 40%-kal kevesebb szén-dioxid-emissziót okoz, mint a széntüzelés, azonos tüzelési hatások mellett. A legradikálisabb megoldás a fosszilis tüzelőanyagok helyettesítése nukleáris, vagy megújuló energiafajtákkal. Nagy léptékben erre jelenleg csak az atomenergia kínál alternatívát, a paksi atomerőmű évente kerekén 20 Mt szén-dioxid-emissziót vált ki, ami majdnem egyenlő a kondenzációs erőműveinkből évente kikerülő mintegy 22 Mt CO_2 -vel.

Jó néhány elemzést végeztek a villamosenergia-ellátás teljes vertikumának üvegházgáz-kibocsátásáról a „bölcsőtől koporsóig” szemléletben. Egy IAEA-elemzés eredményét a 45. ábra mutatja, a különféle ellátási módok CO_2 egyenértékű g/kWh-ban mért kibocsátásait hasonlítva össze. Földgáznál a metán-veszteséget is figyelembe vették. A megújuló energiafajták közvetlenül alig szennyeznek a levegőt, de a közvetett szennyezés jelentős, elsősorban a nagy mennyiségű szerkezeti anyagszükséglet miatt (egy naperőmű például fajlagosan hatszor annyi betont és 30-150-szer annyi fémet igényelne, mint egy hagyományos hőerőmű). Főleg a nyersanyagok kitermelése és az alapanyagok gyártása jár együtt jelentős kibocsátással (érc- és ásványbányászatban, kohászatban, vegyiparban), valamint az e technológiákhoz szükséges energiafejlesztés emissziói terhelik a megújulók eredő mérlegét. A növényi eredetű biomassza égése nem növeli a légkör CO_2 -tartalmát, mivel a fotoszintézishez ugyanannyit vont ki a levegőből.

Sokirányú kutató-fejlesztő munka folyik a szén-dioxidot közömbösítő technológiák kialakítására is, egy-két eljárás kísérleti szakaszban van, de a kereskedelmi versenyképességtől még távol vannak. Fizikai és kémiai eljárásokat dolgoztak ki a szén-dioxid kivonására a füstgázból, valamint annak elnyelésére mély tengerekben és föld alatti kőzetekben. Ígéretesek a szén-

Teljes villamos energetikai vertikumok üvegház-kibocsátása



dioxidot visszatartó és munkaközegként hasznosító erőművi kombinált ciklusok is. Foglalkoznak szárazföldi és tengeri energiaplantációk tenyésztésével, hogy a növények a fotoszintézis révén sejtanyagaik építésére hasznosítsák a CO₂-t. Az erdősített területek négyzetméterenként és évente átlagosan 1 kg CO₂-t kötnek meg. Folynak kísérletek a CO₂ felhasználására technológiai célokra, illetve tüzelőanyagok termelésére is.

A karbon tökéletlen égésénél, vagy a szén-dioxid redukciója során mérgező szén-monoxid képződik, ami szabadtéren viszonylag gyorsan szén-dioxid-dá oxidálódik, de bizonyos körülmények között más reakciókra is hajlamos (pl. fémekkel karbonilt, klórral fotokémiai reakcióban foszgént képez). Az erőművekben pontosan szabályozzák az égéslevegő mennyiségét, így viszonylag kevés szén-monoxidot bocsátanak ki (Magyarországon 15-20 kt/év), az a magas kéményekből kilépve gyorsan eloszlik a légtérben, ahol CO₂-vé oxidálódik. A légkör talajszintre leszoruló szén-monoxid szennyezésének fő forrása – az üzemanyagok tökéletlen égésének következtében – a gépkocsiforgalom (a hazai kibocsátás évente 400 kt körüli). A kipufogógázok rendszeres hatásági ellenőrzése erős kényszer a kibocsátás mérséklésére (tökéletesebb égést biztosító jobb motorkonstrukcióval, gyújtásállítással, katalizátoros utóégetővel stb.). A téli idényben sok szén-monoxidot juttat a légtérbe a háztartások kályhafűtése is, melyeknél nincs mód a jó szabályozásra. Lokálisan a szénbányák öngyulladás következtében tartósan égő meddőhányói is hozzájárulnak a szén-monoxid-kibocsátáshoz. A legújabb előírás a tüzelőberendezések CO-kibocsátására széntüzelésnél 250, olajtüzelésnél 175, és gáztüzelésnél 100 mg/m³-t enged meg a füstgázban.

A tüzeléstechnika kedvezőtlen hatású égéstermékei a kén-oxidok (SO_2 és SO_3 , közös néven SO_x). Ingergázok, reakciótermékeik többsége agresszív hatású, károsítják az emberi egészséget, a természeti és az épített környezetet. Az SO_x -égéstermékek 75%-a a széntüzelésből származik. A magyar szeneket jelentős, lelőhelyenként nagyon eltérő kéntartalom jellemzi: a lignitekben 1,2–2,0%, a feketeszenekben 1,8–3,0%, a barnaszénekben 2,0–4,5% a kén koncentrációja. Nagyobb szénmedencéink átlagos jellemzői a 33. táblázatban láthatók. A szénbányák begyulladt meddőhányói is hozzájárulnak az SO_2 -kibocsátáshoz.

A szenekben a kén egy része stabil vegyületekben van lekötve és csak az ezen felüli része éghető, ami az égés során zömmel kén-dioxiddá és kevés kén-trioxiddá ég el. A kén-oxidok egy részét a salak is megkötheti az abban levő bázikus alkotók arányában, a többi a füstgázba kerül. A lelőhelytől függően az olajok kéntartalma is nagyon eltérő, a hazai olaj-előfordulásaink kéntartalma alacsony (többnyire 0,02% alatt van), de az importált orosz olajé rendszerint magas (1,8% körül). A kőolaj-finomítás során a kén a nehezebb frakciókban dúsul fel (1-3% koncentrációval). A szigorodó környezetvédelmi követelmények kikényszerítik a nehéz kőolajfrakciók kéntartalmát csökkentő műveletek (pl. hidrogénezés, hidrokrakkolás) bevezetését. Az Európai Unióban ma a motorhajtóanyagokban a megengedett kéntartalom 500 ppm, célkitűzés ennek leszorítása a benzinben 150, a gázolajban 350 ppm-re, 2005 után pedig mindkettőben 50 ppm-re. A frakciókban a kén és más nemkívánatos alkotók koncentrációjának csökkentése, illetve az ártalmas adalékanyagok bevitelé-

33. táblázat

A fontosabb magyar bányatársaságok

Térség	A szén jellege	Átlagos fűtőérték, MJ/kg	Hamutartalom, %	Nedvességtartalom, %	Kéntartalom, %	Becsült műveelő vagy, Mt
Mecsek	jura kori feketeszen	12*-17**	50	7,5	2	13
Ajkai-medence	kréta kori barnaszén	8-9	33	20	2,6	8-9
Balinka	eocén kori barnaszén	11	36	18	3	13-14
Oroszlányi terület	eocén kori barnaszén	11-12	38-48	12-14	3,6-4	30
Tatabánya	eocén kori barnaszén	13	26	24	2,4	4-6
Borsodi terület	miocén kori barnaszén	10	31	25	1,8	30
Mátra-bükkaljai lignit	pliocén kori lignit	6,5	19	49	2	630

* külfejtés ** mélyművelés

nek viaszszorítása – a fejlett országokat követve – Magyarországon is folyamatban van, az ólmozott benzin forgalmazását beszüntettük, a benzoltartalmat 2% alá szorítottuk, a gázolaj kén tartalmát 100 ppm alá csökkentettük. A kőolajfrakciók kén tartalma teljes mértékben kén-oxidokká ég el, a keletkező füstgáz agresszívabb, mint a széntüzelésnél, mert a magasabb égési hőmérséklet következtében az SO_3 aránya az SO_2 -hoz viszonyítva magasabb. A füstgáz V_2O_5 tartalma fokozza az SO_3 -képződést, amit magnézium-oxid adagolásával lehet csökkenteni, de ezzel nő a füstgáz aeroszoltartalma. A földgáz kén tartalma többnyire elhanyagolható. A kén előzetes kivonása a tüzelőanyagból gyakorlatilag csak a kőolaj-feldolgozásnál oldható meg gazdaságosan. Elvileg szénknél is van lehetőség a pirit előzetes elkülönítésére száraz vagy nedves eljárásokkal, de ezek drágák. Sokat remélnék a különféle szénlégázosító eljárásoktól, mivel azok kénmentes vagy kis kén tartalmú tüzelőanyagokat szolgáltatnak. A biomassza SO_2 -kibocsátása minimális.

Az SO_2 -emisszió csökkentésének mértékéről az első nemzetközi megállapodást Helsinkiben kötötték 1985-ben, majd Oslóban 1994-ben rögzítették, hogy a kibocsátást 2000-ig 45%-kal, 2005-ig 50%-kal, 2010-ig 60%-kal csökkentik az 1980-as szinthez viszonyítva. Göteborgban tovább szigorították a követelményt, 2010-re az 1990-es szintet kell 46%-kal csökkentenünk. Az egyezményekhez Magyarország is csatlakozott. Az SO_2 -kibocsátás csökkentésének legegyszerűbb módja a kevés kén tartalmazó tüzelőanyag használata, de ezek drágábbak. A kénemisszió csökkentésére a fejlett országokban sok füstgáz-kénmentesítő rendszert valósítottak meg, nemcsak új szén-erőműveknél, hanem utólag beépítve a régi erőművekhez is. Magas kén tartalom esetén olaj-erőműveknél is felmerülhet a füstgáz kénmentesítésének szükségessége (pl. a Dunamenti Hőerőmű olajtüzelésű blokkjánál). A füstgáz kénmentesítésre többféle technológiát fejlesztettek ki, a fizikai (adszorpció) eljárásokkal szemben a kémiai módszerek terjedtek el jobban, ezek a füstgáz kénmentesítéséhez többnyire bázikus anyagot (a termelt villamos energiára vetítve 20-40 kg/MWh mészkőt vagy dolomitot) használnak, amivel a füstgázban levő kén-oxid reakcióba lép és a kén folyékony (kénsav) vagy szilárd halmozállapotú (gipsz vagy elemi kén) reakciótermékként vonható ki. A működő kapacitások 90%-át kitevő nedves eljárások a bázikus anyag vizes oldatán áramoltatják át a füstgázt, a költségesebb száraz eljárások katalizátorral váltják ki a reakciót. Az eljárások a kén-oxidok 80-85%-át kivonják a füstgázból, de ennek az ára egyrészt a beruházási és üzemeltetési költségek 20-25%-os növekedése, másrészt az energetikai hatásfok 1-2%-os csökkenése (10-30 kWh/MWh az energiafelhasználás fajlagos értéke), ami növeli a fajlagos tüzelőanyag-felhasználást is. Megjegyzendő, hogy kevés kén-oxid a tüztérbe jutott mészkőből is kiszabadulhat.

A füstgáz kénmentesítésével a környezetszennyezés gondja a légtérből a talajszintre helyeződik át, mert a deponálандó maradékokból a vízben oldódó

és savas kémhatású, valamint nehézfémeket tartalmazó veszélyes komponensek belekerülhetnek valamilyen transzportfolyamatba. A reakciótermékben a nagy mennyiségű kénvegyület mellett számos nyomelem is előfordul, a nedves eljárásoknál a $0,2\text{--}0,4\text{ m}^3/\text{MWh}$ hulladékvíz tisztítása is jelentős feladat, mert a keletkező hulladékvíz sokféle alkotót (főleg As, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn és vegyületeik) tartalmaz, e szennyezők koncentrációja mg/kg és g/kg közötti érték. A tapasztalatok szerint a nagy kénmentesítési programot végrehajtó országokban a kénmentesítés maradványainak veszélytelen deponálása gondot okoz, amit kereskedelmileg értékesíthető termék – főleg gipsz – előállításával igyekeznek áthidalni. A hasznosítás feltétele, hogy legyen elegendő piaci igény a termékre, ami a kénmentesítés bizonyos arányán felül már kétséges. A végtermékek közül a $25\text{--}50\text{ kg/MWh}$ -nyi gipszet a legkönnyebb tárolni, mivel alig oldható, vízzáró és erózióálló. A füstgáz kénmentesítése nagymértékben csökkenti a légtér terhelését, de az eljárások hatásfokától függően a kén-oxidok $15\text{--}20\%$ -a azért kikerül a légtérbe.

A kénemisszió csökkentésének másik útja a kén lekötése a tüzelés során. Kisebbségi mértékű lekötést a porszénkázánok tűzterébe juttatott adalékanyagokkal is el lehet érni, de ez a megoldás nem bizonyult gazdaságosnak, és sok üzemzavart is okozott. Tökéletesebb megoldás a fluidtüzelés, ahol az égés legnagyobb részben légáramban lebegtetett őrleményben zajlik, alacsony hőmérsékleten ($700\text{--}900^\circ\text{C}$ -n). A kén-dioxid a lebegő ágyban diszpergált bázikus salakkal, illetve adalékolt mészkővel reakcióba lépve szilárd végterméket alkot. Kisebbségi teljesítményű berendezéseknél ($100\text{--}200\text{ MW}$ -ig) a fluidtüzelés terjed, nagyobb teljesítményre a fejlesztés alatt álló nyomás alatti rendszerektől várnak megoldást. Egyes kisebb erőműveknél számításba jöhet a porszéntüzelésű kazán kiegészítése egyszerűsített fluidtüzeléssel (a Villamos Energetikai Kutatóintézet megoldása). A hulladék elhelyezése a fluidtüzelésnél is gondot okoz.

Jórészt a széntüzelés visszaszorulása következtében az SO_2 -kibocsátás az elmúlt két évtizedben mintegy 50% -kal csökkent Magyarországon, mértéke azonban még mindig jelentős. A nagy kén tartalmú szeneket és tüzelőolajat többnyire erőművekben tüzelik el, de a kisebb tüzelőberendezések SO_2 -kibocsátása is számottevő. A kén-dioxid-kibocsátás a magyar villamos energetika legsúlyosabb környezetszennyezési gondja, mert a régi szénerőművek nemcsak az EU-, hanem az enyhébb hazai előírásoknak sem felelnek meg. A hazai erőművek évente több mint 400 kt SO_2 -t bocsátanak ki, lignittüzelésnél 33 , széntüzelésnél $45\text{--}50$, olajtüzelésnél 13 g/kWh körüli fajlagos értékekkel (a korszerű vertikumok kibocsátása 1 g/kWh körül mozog). Ligniterőművünk 200 MW -os blokkjainál kénmentesítők utólagos beépítésére került sor, új szénerőmű létesítése pedig ma már elképzelhetetlen kénmentesítés nélkül. A régi, kis teljesítményű szén erőművi blokkok hátralevő élettideje alatt a kénmentesítők beruházása nem térülne meg, ezért leselejtezésük elkerülhetetlen.

A hazai előírás a tüzelőberendezések füstgázában az SO_x kibocsátási határértékére szilárd tüzelőanyagok esetében $50\text{--}100 \text{ MW}_t$ teljesítménynél $2000 \text{ mg/m}^3\text{-t}$ (új berendezéseknél $850 \text{ mg/m}^3\text{-t}$), 500 MW_t felett $400 \text{ mg/m}^3\text{-t}$ (új berendezéseknél $200 \text{ mg/m}^3\text{-t}$) enged meg, a kettő között a tolerált érték lineárisan csökken a termikus teljesítmény függvényében. Hasonló a helyzet folyékony tüzelőanyagoknál, de az 1700 mg/m^3 alsó határ $50\text{--}300 \text{ MW}_t$ -ra vonatkozik. Gáz halmazállapotú tüzelőanyaggal működő tüzelőberendezésekre a határérték 35 mg/m^3 , gázturbinákra 115 mg/m^3 . Az erőművek éves összkibocsátásának átlagát is korlátozzák, ami 2005-ig 250 mg/m^3 -re csökkentendő.

A kén-oxidok a nedvességgel kénessavat ($\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_3$), illetve kénsavat ($\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_4$) alkotnak, amik szulfát aeroszoloikat hozhatnak létre. Ezeket a viszonylag lassú átalakulásokat katalitikus hatású fémek, valamint egyes aeroszolok lényegesen felgyorsítják, és a reakciótermékek többnyire a szilárd részecskékhez kapcsolódnak. E folyamatok alapvető szerepet játszanak a savas eső kialakulásában. A szulfát aeroszoloikat tekintik az egészségkárosodás fő okozóinak.

A nitrogén-oxid-kibocsátás csökkentése az 1970-es években került előtérbe, ahogy fokozatosan fény derült annak kedvezőtlen hatásaira. Szófiában 1988-ban nemzetközi megállapodás született arról, hogy az NO_x -kibocsátás 1994-es mértéke nem haladhatja meg az 1987. évi szintet, a göteborgi jegyzőkönyv pedig az 1990. évi kibocsátás 17%-os redukcióját kívánja meg 2010-ig. Magyarország NO_x -kibocsátása az előző húsz év során 30%-kal csökkent, az ország nitrogén-kibocsátása NO_x -ben $50\text{--}100 \text{ kt/év}$ és N_2O -ban 10 kt/év körül mozog.

Alacsony tüztérhőmérsékleten főleg a tüzelőanyagban levő nitrogén oxidálódik, ám magas, 1000°C feletti hőmérsékleten a levegő nitrogénjének egy része is. Az alacsonyabb hőmérsékleti körülmények a dinitrogén-oxid (N_2O) képződésének kedveznek, a környezetbe nagyobb mennyiségű N_2O az alacsony hőfokú berendezésekből (lakossági kályhafűtés, fluid kazánok) kerül ki, a magas tüztér-hőmérsékletű kazánokban viszonylag kevés keletkezik. Magas hőmérsékleten 95%-ban NO , 5%-ban NO_2 keletkezik (e kétféle – a levegőnél nehezebb – oxid közös megnevezése: NO_x). Az atmoszférába kikerülve, napfény hatására idővel az NO nagy része is NO_2 -vé oxidálódik, nedvesség jelenlétében kedvezőek a feltételek salétomsav ($\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{NO}_3$), illetve nitrátok képződésére. A nitrogén-oxidok ingergázok, és üvegházgázok, az N_2O bódító és mérgező, az NO_x fotooxidáns, szerepe van a szmog és az ózonlyuk képződésében, az NO_2 mérgező is. Savas hatásuk a környezetre az SO_x -hez hasonló, de jóval enyhébb mértékben. Magas hőmérsékleten, főleg belső égésű motorokban erősen mérgező N_2O_3 is képződik, ami idővel disszociál NO -ra és NO_2 -re. A nitrát aeroszolok egészségkárosító hatása enyhébb a szulfátokénál.

A magas égési hőmérséklet következtében a belső égésű motorokban jelentős a nitrogén-oxid-képződés, a hazai gépkocsiforgalom évente $80\text{--}90 \text{ kt-t}$

juttat a levegőbe. Erőműveink NO_x -kibocsátása 40 kt/év körül mozog, a fluid kazánok és az alacsony hőmérsékleten működő egyéb tüzelőberendezések NO_x -kibocsátása jelentéktelen (a korszerű erőművek NO_2 -re számított egyenértékű NO_x -kibocsátása 1-2 g/kWh). Az emisszió csökkentésre többféle lehetőség van: az égéslevegő arányának optimális beállítása, jó keveredést biztosító égőkonstrukció, abszorpció a füstgázba porlasztott ammóniával vagy karbamiddal; a leghatásosabb a füstgázhuzamba épített Ti katalizátoros N_2 -re redukáló berendezés (DENOX). A hazai előírás tüzelőberendezések kibocsátására a füstgázban széntüzelésnél 650 (lignitnél 300, fluidtüzelésnél 200), folyékony tüzelőanyagoknál 450 és gáztüzelésnél 350 mg/m³-t enged meg, az új berendezésekre az előírások ennél szigorúbbak. Az erőműveknek 2005-ig 30 mg/m³-re kell csökkenteni az összkibocsátást. A tüzeléskor keletkező ammónia (NH_3) mennyisége nem számottevő, a kibocsátás 70%-a a földgázhasználathoz kapcsolódik. A biomassza égésének NO_x -emissziója valamivel magasabb, mint az ásványi tüzelőanyagoké.

Az ózonpajzs ritkulása a sztratoszférában (ózonlyuk) az ózont (O_3) redukáló anyagok emissziójára vezethető vissza. Az ózonréteget károsító anyagok kibocsátásának csökkentésére 1985-ben Bécsben írtak alá nemzetközi egyezményt az ENSZ környezeti programjának (UNEP – United Nations Environmental Program) kezdeményezésére, a montreali jegyzőkönyvben (1987) konkretizálták a mérséklés ütemét, Londonban (1990) bővítették a kiküszöbölendő anyagok körét és Koppenhágában (1992) majd Bécsben (1995) felgyorsították a kiszorítás ütemét. Ezek alapján az aláírók vállalták az érintett gázok alkalmazásának teljes kiküszöbölését. A troposzférában viszont az ózontöbblet okoz gondot, amire az utóbbi időben fokozódó figyelem irányul. A troposzférában az ózon a légszennyezők terjedése során lejátszódó fotokémiai folyamatok másodlagos terméke, ezért koncentrációja a napszaktól és időjárástól függ. Egyes égéstermékek, mindenekelőtt a nitrogén-oxidok, kis molekulasúlyú klórozott szerves vegyületek és a szén-monoxid katalizálják az ózonképződést. Az ózon kialakulását leíró modellek még tökéletesítésre szorulnak. Az ózonképződés legfőbb forrása a sok fotooxidánst kibocsátó gépkocsiforgalom, a tüzelőberendezések szerepe nem jelentős. Erős oxidáló hatása miatt az ózon nagy koncentrációban ártalmas az egészségre és az élővilágra.

A fosszilis tüzelőanyagok égésekor fejlődő füstgázban többféle illó szerves vegyület található, (alkánok, alkének, aromások, többgyűrűs aromás szénhidrogének [PAH], poliklórozott bifenilek [PCB], dioxinok, reakcióképes telítetlen szénhidrogének, nem tökéletesen elégett szénhidrogének, oldószerek stb.), melyek egy része mérgező. Az illékony szerves vegyületek (NMVOC) kibocsátás legnagyobb hányadéért a széntüzelés felelős (30. táblázat), az emisszió fő forrásai a kis lakossági tüzelőberendezések, a tűzvezetést jól szabályozó erőművek hozzájárulása ehhez jelentéktelen. Számottevő viszont az NMVOC-tartalom a gépkocsik kipufogógázában. Illókkal a folyékony szén-

hidrogénekkal kapcsolatos technológiai műveletek is szennyezik a légkört. Az ország kibocsátása 1980 óta 45%-kal csökkent. Az antropogén eredetű NMVOC-kibocsátás nagyságrenddel kisebb a főleg a növényektől származó természetes eredetűnél. Az illékony szerves vegyületek emissziójának 30%-os csökkentését, illetve az 1988-as szint befagyasztását irányozta elő az 1991-es genfi jegyzőkönyv, a göteborgi megállapodás az 1990. évi VOC-kibocsátás 33%-os csökkentését irányozza elő 2010-re.

Ritkán előfordul az olaj- és gázkutak kitörése, amiből a légtérbe éghető és robbanásveszélyes gázok kerülnek. A kutak begyulladásakor égéstermékek is keletkeznek, az olaj égésekor fejlődő kormos füstgáz mérgező alkotókat is tartalmaz. Gázkitörésnél a kútnál begyulladó gáz termikus hatása csak lokális, de súlyos katasztrófát okozna, ha a kiszabaduló és terjedő gázfelhő lakott területek felett robbanna be, aminek a gyakorlati valószínűsége azonban rendkívül kicsi.

A kőolaj-finomítók bonyolult technológiai folyamatainak sokféle gáznemű hulladéka van (SO_x , H_2S , NO_x , CO , CO_2 , NH_3 , VOC). Az éghető hulladékgázokat elfáklázzák, de ez önmagában csak a berobbanás ellen véd, nem gátolja meg a káros, sőt mérgező anyagok kikerülését. Ezek kiszűrésére sokféle eljárást fejlesztettek ki a környezetvédelem nyomására, így a veszélyes emissziók fokozatosan visszaszorultak. A levegőbe kerülő kénhidrogén és a merkap-tánok kellemetlen szagukkal azonban zavarják a környezetet.

A légkör metántartalma a 18. század közepe óta megduplázódott, jelenleg 1,7 ppm körül mozog, legnagyobb része a talajban zajló anaerob bomlás terméke. A világ antropogén metánkibocsátásának forrásai: állattenyésztés 29,6%, rizstermesztés 25,3%, a szemét bomlása 15,4%, szénbányászat 13,6%, szénhidrogén-hasznosítás 16,1%. Jelentős mennyiségű metán szabadul ki a szénbányákban a megbontott kőzetekből, kőszén mélyműveléses bányászatánál 20-40 m^3/t , illetve külfejtésénél 2 m^3/t , barnaszén és lignit bányászatánál 0,2-0,02 m^3/t átlagosan. A mélybányákból szellőztetéssel távolítják el a metánt, hogy felhalmozódása ne okozzon sújtólégréobbanást. A felhasznált földgáz néhány százaléka a légtérbe kerül, mindenekelőtt a szállítási veszteségek miatt. A villamos energetikai technológiai vertikumok szén- és földgáz-tüzelésnél 1-5 g/kWh metánt bocsátanak ki, olajtüzelésnél az emisszió jelentéktelen. A metánkibocsátás évente 450 kt karbonnak felel meg hazánkban, aminek legnagyobb része a mezőgazdaságból származik (rizstermesztés, szarvasmarhatartás), az ipari eredetű kibocsátás lényegesen kisebb.

A hévizekből elsősorban szén-dioxid és kénhidrogén jut a légtérbe, egyéb gázok (hidrogén, nitrogén, metán, radon, ammónia) csak kis mennyiségben.

Az urántartalmú ásványokból a bomlás következtében radon távozik, ami a légtérbe kerülve gyorsan szétoszlik, de zárt térben feldúsulva egészségkárosító. A bányászati tevékenység a kőzetek radontartalmának kiszabadulásával jár, a sugárterhelés csökkentésére a mélybányák térségeit intenzíven szellőztetik. Viszonylag magas a radonszint az uránbányászat és az ércdúsítás

meddőhányói felett is. Néha radont tartalmaznak a földgáz-előfordulások és a termálvizek is. A radon felhalmozódhat hasadóanyag-tartalmú kőzetek (pl. gránit) felett épült földszintes lakásokban, valamint ilyen anyagokból készült építőanyagokat tartalmazó épületekben is.

A füstgázban távozik a tüzelőanyagok nedvességtartalmának nagy része. A légnedvességet növeli a vizes technológiák (hűtőtornyok, salak- és pernyeszállítás, szénmosás stb.) párolgása is. Egyensúlyi állapotban a gáznemű légszennyezők parciális nyomása – a Dalton-törvénynek megfelelően – járulékos összetevője az eredő légnyomásnak. Ugyanez vonatkozik harmatpontnál magasabb hőmérsékleten a kibocsátott folyadékok (pl. víz, kénsav, sósav) gőzeire. Harmatpont alatt a telítési értéket meghaladó mennyiség részben a hidegebb felületekre ülepedik ki harmatként, részben kondenzációs magokra csapódik ki ködöt, illetve esetenként szmogot képezve. Gyakran keletkezik köd a vízzel hűtött nagy hűtőtornyok környékén, ami közlekedési veszélyt jelent, nemcsak a látótávolság csökkentésével, hanem télen az utak jegesedését okozva. Néha az égéstermékek között más folyadékok (pl. higany, sósav) gőzei is kikerülnek a környezetbe, aeroszolt alkotva vagy kicsapódva.

A ködök legveszélyesebb formái a szmogok, mert légzőszervi ártalmakat okoznak, és a látótávolság csökkentésével közlekedési baleseteket idéznek elő. A szmogok egyik típusát hideg időben vízköd és füstgáz együttes hatása hozza létre, ha a füstgázban sok kondenzációs mag (korom, pernye, aeroszol) van. Ez a szmog redukáló hatású, mivel a füstben ilyen kémhatású anyagok (pl. SO_x , NO_x) vannak. A sűrű ködön egyes alkotók szinergikusan felerősítik a káros hatásokat. A londoni szmog elnevezés ma már anakronisztikus, mert a tüzelőanyag-felhasználás szerkezetének átalakításával Londonban kiküszöbölték a széntüzelés füstgázát. Sajnos Budapesten és nagyobb iparvidékeinken ez a szmogtípus még gyakori.

A szmogok másik típusát fotokémiai reakciók alakítják ki, elsősorban a kipufogógázokból származó nitrogén-oxid, szén-monoxid, valamint szerves gőzök jelenlétében. Gyakran Los Angeles-i szmognak nevezik, mivel először ebben a térségben tapasztalták sűrű gépkocsiforgalomnál és erős nyári nap-sütésben. Erősen oxidáló hatású alkotókat tartalmaz (O_3 , NO_2 , peroxiacetilnitrát [PAN]). Nagyvárosok tipikus jelensége, a gépkocsiforgalom növekedése nálunk is meghonosította, súlyos esetekben szmogriadó elrendelésével korlátozzák a gépkocsiforgalmat.

Aeroszokok kibocsátása

Az aeroszokokban 1 cm^3 -ben átlagosan 10^3 - 10^5 szilárd részecske található. A nagyobb méretű, szabálytalanabb alakú szilárd részecskéket többnyire a légáramok ragadták fel, a kisebb, finomabb részecskék leginkább kondenzáció

termékei, vagy a kondenzációs magokra adszorbeálódott anyagok. A légtérben a részecskék koagulációja vagy felbomlása is bekövetkezhet. A szilárd légszennyezők (PM, Particulate Matter, szilárd részecske) terjedése méretüktől függ, a légáramok általában csak az 500 m-nél kisebb méretű por-, pernye-, koromszemcséket ragadják magukkal. A 10 μm -nél nagyobb méretű részecskék szerepe lokális, mivel gyorsan kiülepednek. A kisebb – néhány μm alatti – méretű szemcsékre a gravitáció alig hat, ezek Brown-mozgást végezve lebegnek és aeroszolt alkotva nagy távolságra is eljutnak a légáramokban. Míg a nagyobb méretű szemcsék szabad szemmel is láthatók, a finomabb szemcsék alkotta aeroszol vizuálisan közvetlenül nem mindig érzékelhető. A kis szemcsék szerepét – főleg 0,5 μm -es méret ($\text{PM}_{0,5}$) alatt – fokozza, hogy mint kondenzációs magok, abszorbensek vagy adszorbensek más, kémiai vagy biológiai aktív anyagok hordozói, illetve kémiai reakciók közvetítő közegei, esetenként katalizátorai is. Hatásukat gyakran más anyagokkal kölcsönhatásban fejtik ki, szinergizmusban fel is erősíthetik azok kedvezőtlen következményeit. A légzőszerveket legjobban a kisméretű részecskék veszélyeztetik, melyek a tüdő mélyebb légutaiba is be tudnak jutni. A tüdőkárosodás szempontjából a másodlagos szennyezők közül a szulfátoknál $\text{PM}_{2,5}$, nitrátoknál PM_{10} frakciónál vonják meg gyakran a határt.

A hazai környezetvédelem legsikeresebb tevékenysége a szilárd légszennyezés visszaszorítása volt, mértéke 1980 óta 70%-kal csökkent. A korábbi helyzettel szemben a szilárd légszennyezésnek ma már alig feléért felelős az energetika. Az energetikai eredetű szilárd emisszió túlnyomó része a füstgázban lép ki, a 30. táblázatban látható, hogy ennek több mint 80%-a a szilárd tüzelőanyagokból, legnagyobbreszt szénből származik. A szenek éghetetlen hamutartalmának egy része salak formájában válik ki, más részéből pernye képződik, annak mintegy 80%-a a füstgázban, 20%-a a salakban távozik. A pernye összetétele elsősorban a hamu jellegétől függ, de a tűztérben, majd a légtérbe kilépve különféle fizikai és kémiai kölcsönhatásokban vesz részt, egyesek katalizátorok, például elősegítik a kénessav képződését a kén-dioxidból. A szenek hamutartalmának kémiai összetétele és mennyisége lelőhelyfüggő. A hamu elsősorban agyagásványokból, karbonátokból, szulfidokból és oxidokból áll, de azokban mintegy ötvenféle fém, köztük sokféle nehézfém (főleg Zn, Cr, V, Cu, Ni, As, Pb, Cd, Hg, Ba, Co, Mn, Sr) és azok vegyületei is előfordulnak. A hazai szeneinkben megtalálható nehézfémek koncentrációja elég széles határok – néhány mg/kg és g/kg – között mozog. Ugyancsak sokféle fémot juttat az égéstermékekbe a kénlekötéshez használt mészke is. A kőolajban is lelőhelyfüggő az éghetetlen alkotók mennyisége, a fémes nyomelemek (főleg V, Ni, Pb, Cu, Cd, Cr, As, Se) koncentrációja a nikkel és a vanádium kivételével nagyságrenddel kevesebb, mint a szenekben, azok 90%-a a lepárlás során a nehéz frakciókban dúsul fel. A földgáztüzelés füstgáza némi higanyt és az égéslevegőben magával ragadott kevés port tartalmaz.

A magas lánghőmérsékleten a pirolízis kiszabadíthatja a fémeket a vegyületekből, a felszabaduló fémek, illetve fémtartalmú oxidok és kloridok egy része a pernyéhez kötődik (As, Cd, Cu, Pb, Sb, Se, Zn), számos fém egyenletesen oszlik meg a salak és a pernye között (Al, Ba, Ca, Ce, Cs, Fe, K, Mg, Mn, Th), vannak a salakban feldúsulók (Cr, Ni, U, V), néhány elem (Br, I, Hg) pedig gázfázisba kerül. A füstgázkezelési eljárások a Hg és Se kivételével a nehézfémek jórészt is kivonják, azok főleg a zagyba kerülnek. A külföldi források korszerű szénerőművek füstgázában $\sim 20 \mu\text{g/kWh}$ arzén és $\sim 1 \mu\text{g/kWh}$ kadmium átlagos kibocsátásáról adnak számot. A füstgázáram a gáznemű és szilárd alkotók mellett olvadt részecskéket is magával ragad. A gőzök egy részét a magas hőmérsékleten elpárolgó meddő alkotók képviselik, melyek a későbbiek során a hidegebb huzamokban újra kondenzálódnak. Ez utóbbiak alkotják a pernye legkisebb méretű, finom szemcséit. A légszennyezéssel kapcsolatban előkészítés alatt áll egy nemzetközi egyezmény a nehézfémek kibocsátásának korlátozására. A tüzelőanyagok égéstermékeiben Magyarországon kibocsátott 1996. évi nehézfém mennyiségek a 34. táblázatban láthatók. Azóta lényegesen csökkent az ólom (mivel megszűnt az ólmozott benzin forgalmazása), valamint a vanádium és nikkel kibocsátása, mivel füstgáztisztító épült a Dunamenti Hőerőmű fűtőolaj-blokkjánál.

Szénvegyületek tökéletlen égésekor keletkező égéstermék az aeroszol formájában kilépő korom is, amit nagyon finom elemi szén szemcsék alkotnak. Szakszerű tűzvezetésnél a széntüzelésű erőművekben csak kevés korom képződik. Az olajerőművek füstgázában a nehéz szénhidrogén-molekulák tökéletlen égéséből származó koks és kis szemcseméretű (átlagosan 1μ alatti) olajkorom fordul elő. Az utóbbi különösen kellemetlen tulajdonsága, hogy a felületekre tapad. Kormoznak a rosszul beállított dízel motorok és a háztartási tüzelőberendezések is. Ugyancsak aeroszolképző égéstermék a benz(a)pirén, ami a fosszilis anyagok égésekor keletkező legjelentősebb (és karcinogén jellege miatt legveszélyesebb) többgyűrűs aromás szénhidrogén.

Megkülönböztetett figyelem irányul a nukleáris technológiából származó radionuklidok kibocsátására a légkörbe (lásd az *Ionizáló sugárzások* c. szakaszt a 179. oldalon). Kevés figyelmet kap, hogy a szenekben is előfordulnak radioizotópok (főleg U, Th, ^{40}K), valamint ezek bomlástermékei. A legtöbb szenünkben az urán koncentrációja viszonylag nagy, az ajkai és a tatabányai szénben eléri az uránércekre jellemző ezreléknyi koncentrációt. A radionuklidok a kisméretű szemcsékhez kapcsolódva feldúsulnak a pernyében, koncentrációjuk nagyságrenddel meghaladhatja a szénben eredetileg tapasztalható mértéket. A pernyében főleg ^{40}K , ^{226}Ra , ^{238}U , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{228}Th , ^{232}Th és ^{228}Ra izotópok fordulnak elő. A magyar szenek égéstermékeiben a legnagyobb aktivitást a ^{238}U sor bomlástermékei okozzák (a pernyében $100\text{--}1500 \text{ Bq/kg}$ -ot, a salakban $40\text{--}700 \text{ Bq/kg}$ -ot), kisebb a ^{40}K izotóp, valamint a ^{232}Th sor hatása. Az így kibocsátott radioaktivitás nem elhanyagolható, például az

Nehézfém-emisszió égéstermékekben, kt-ban

Arzén (As)	Kadmium (Cd)	Króm (Cr)	Réz (Cu)	Higany (Hg)	Nikkel (Ni)	Ólom (Pb)	Szelén (Se)	Vanádium (V)	Cink (Zn)
8,1	2,9	8,2	13,3	2,8	41,0	112,3	2,2	134,0	16,4

inotai szénerőmű 400 Bq/mp értékű emissziója a füstgázban sokszorosa a paksi atomerőmű mintegy 30 Bq/mp normál kibocsátásának, a fejlesztett villamos energiára vetített mutató pedig kereken ezerszeres. A szénerőművek füstgázban kilépő radioaktivitás nem veszélyezteti az erőmű környezetében élők egészségét, mivel sugárterhelésük több nagyságrenddel kisebb a természetes eredetű háttérsugárzásnál. Gondot okozhat viszont a zagtér sugárzása a radionuklidok felhalmozódása miatt, valamint a salak esetleges építőipari hasznosítása. A szénhidrogénekben egy-két nagyságrenddel kevesebb radionuklid van, mint a szenekben.

Az erőművekben és a nagy ipari kazánokban régebben alkalmazott, füstgázjáratba épített, mechanikai elven működő ciklonok a pornak csak egy részét tudták leválasztani. Sokkal jobb, 99-99,5%-os leválasztási hatásfokot lehet elérni elektrosztatikus porleválasztókkal vagy hőálló anyagból szőtt porzsákokkal, ezekkel a kibocsátást oly mértékben sikerült visszaszorítani, hogy ma már hazánkban sem a nagy tüzelőberendezések a fő porszennyező források. Korábban a legjelentősebb porszennyező technikai létesítmények a szénerőművek voltak, az 1980-as években szénerőműveinkbe pótlólag beépített elektrosztatikus porleválasztók hatására az erőműpark emissziója egy évtized alatt az 1980-as érték tizedére (200 kt-ról 20 kt-ra) csökkent, ami ma már az energetikai eredetű porszennyezésnek csupán 21%-át (és az ország teljes por-kibocsátásának 11%-át) teszi ki. A kibocsátás még tovább mérsékelhető a gyengébb teljesítményű porleválasztók felújításával. Korszerű szénerőművek kibocsátása 0,2 g/kWh körüli érték, olajerőműveké egy nagyságrenddel kisebb, földgáztüzelésnél pedig jelentéktelen. Az ipari tüzelőberendezések poremissziója is a negyedére mérséklődött, mert csökkent a sok port kibocsátó iparművek (cementgyárak, kohók, koksizolók) termelése, visszaszorult a széntüzelés, és ezen üzemek is beépítettek porleválasztókat. További javulást az energiaszerkezet kedvező változásaitól (energiatakarékosság, földgáz térhódítása, nem fosszilis energia hasznosítása) lehet várni. Mindezek nyomán a porszennyezésben a főszerepet a kis háztartási tüzelőberendezések vették át, tökéletlen égésük következtében ma már ezekből kerül a légtérbe a szilárd égéstermékeknek mintegy a fele.

A porleválasztással azonban nem lehet teljesen megoldottnak tekinteni a problémát, mivel egyrészt a korszerű porleválasztók is csak részben tudják

kiszűrni a néhány μm -es méretű részecskéket, és azok jelentős része kikerül a környezetbe. A porleválasztás következtében a teljes portartalom (TSP, Total Small Particles, összes kis részecske) mintegy 55%-át kitevő $10\ \mu$ -nál kisebb méretű frakciók (PM_{10}) részaránya 90%-ra nő a kilépő füstgázban. Másrészt a kibocsátott gázokból a transzportfolyamat során képződnek szulfát és nitrát aeroszokok.

Szilárd részecskék nemcsak a füstgázban kerülnek a környezetbe, hanem az energetikai vertikum sok más fázisából is. Főleg nagyobb méretű részecskék szabadulnak el porlékony anyagok fejtésénél, darabolásánál, rakodásánál (bányászat, kőfejtés, meddőre hányás, aprítás, szénosztályozás, széntárolás, előkészítő és feldolgozó műveletek ércekkel és ásványokkal, brikett- és kokszygártás), az ebből származó szennyezés lokális hatású. Porzással jár a különféle nagy mennyiségű ömlesztett anyagok (mészkő, pernye, salak, gipsz) rakodása, szállítása, kezelése, tárolása, végső elhelyezése. A talajra kiülepedett port újból felragadó légmozgás a légszennyezés másodlagos forrása. A szél nagyobb távolságra is magával ragad részecskéket a szénterekről, a hulladéktárolókról (meddőhányókról, zagyterekről, ülepítő medencékről, ha a felület nincs megkötve), valamint száraz időben a talajbontásokról (kölfejtés, mélyépítés). A szénerőművek visszatérő gondja az agresszív anyagokat tartalmazó zagyterek porzásának kiküszöbölése nedvesítéssel, kémiai megkötéssel és takaró növényzet telepítésével, ami nincs minden erőműnél megnyugtatóan megoldva.

A porkibocsátás megengedett értékei a füstgázban berendezésfüggőek, a határérték széntüzelésnél $100\ \text{MW}_t$ alatt 100 , a felett $50\ \text{mg}/\text{m}^3$, folyékony tüzelőanyagnál $50\ \text{mg}/\text{m}^3$, gáztüzelésnél $5\ \text{mg}/\text{m}^3$. Külön határértékek vonatkoznak a füstgázban kibocsátható kloridokra (HCl-ben), a fluoridokra (HF-ben) és a fémekre.

Ha a levegőből a savanyú kémhatású (alacsony pH-jú) alkotókat a csapadék kimossa, savas eső keletkezik. Kialakulásában elsősorban a kén-dioxid és nitrogén-oxid reakciótermékeinek (savgőzök, szulfátok, nitrátok) a szerepe meghatározó. A savas alkotókat tartalmazó légtömegeket a légmozgások nagy távolságra is elszállíthatják, a savas eső a légköri viszonyoktól függően az emisszió helyétől sok száz km-re is kialakulhat. A magyarországi esők átlagos pH-értéke fokozatosan csökken (jelenleg a pH-érték $\sim 4,5$), ami a savasság növekedésére utal. A savas eső a talajt savanyítja, és korrózív hatása van az épített környezetre.

Vízszennyezés

A hidroszférából a szennyezéseknek a felszíni vizek vannak a leginkább kitéve, de a talajon keresztül a nemkívánatos anyagok gyakran a talajvízbe, sőt néha a rétegvizekbe is bejutnak. A vizek legfőbb szennyezőforrásai a kommu-

nális és ipari szennyvizek, melyekben sokféle anyag fordul elő oldatban, kolloid szuszpenzió vagy iszap állapotában, illetve zagy vagy hordalék formájában. A légkörből a vizekbe közvetlenül is kerülhet szennyeződés savas esőben, vagy kiülepedett aeroszolok révén. A talajszintről pedig a lefolyó csapadék szállíthat szilárd hordalékot, például a deponált hulladékból, vagy a meddőhányókról kimosott anyagokat (foszfátokat, szulfátokat, nitrátokat). A szennyezés mértékét és jellegét módosíthatják a vízben lejátszódó biológiai folyamatok (pl. anyagcsere, öntisztulás) is.

Elsősorban a kémiai technológiákat alkalmazó energetikai létesítmények (szénfeldolgozás és -nemesítés, kőolajfinomítás, nukleáris üzemanyagciklus fázisai) hulladékvizeiből kell a veszélyes anyagokat kivonni, majd közömbösíteni, vagy deponálni. A magyar előírás több tucat szennyező, valamint mérgező anyagra (savak, lúgok, sók, oldószerek, olajok, zsírok, gyanták, festékek, kenő- és hűtőfolyadékok, stb.) szabályozza, hogy az ipari szennyvizekben mennyit szabad kibocsátani a felszíni vizekbe. A koncentrációkra megszabott határértékek differenciáltak a vízminőség-védelem területei szerint, a védettség mértékére 6 területi osztályt különböztetnek meg (kiemelt régiók, ivóvízbázisok és üdülőterületek, ipari területek, öntözőbázisok, a Duna és Tisza nem kiemelt szakaszai, egyéb). Az egyedi engedélyek ezeken túlmenően specifikus határértékeket is tartalmaznak, például nukleáris létesítményeknél radioizotópokra, nagy mennyiségű hűtővíz visszavezetésénél a hőmérsékletre. Ugyancsak előírások szabályozzák a csatornahálózatba bevezethető szennyezőanyag-koncentrációkat a berendezések épségének és működőképességének biztosítására. Az előírások pontszerű szennyező forrásokra vonatkoznak, mivel egyértelműen ezeket lehet mérni és ellenőrizni. Szükség esetén születnek előírások elosztott forrásokra is, így a Balaton eutrofizációjának visszafogására a lakossági szennyvizek, az állattartótelepeken összegyűlő hígtrágya és a mezőgazdaságban alkalmazott kemikáliákat bemosó csapadékvíz bevezetésének korlátozása. Nincs még hatályban az országhatárokat átlépő vizek tisztaságáról rendelkező nemzetközi egyezmény.

A vízbe került anyagok jelentős része a telítési határ mértékéig oldódik. Az oldhatatlan anyagok fajsúly szerint rendeződnek, a könnyűek a víz felszínén úsznak, a nehezebbek a fenékre süllyednek, a kolloidális méretű részecskék szuszpenziót alkotva lebegnek a vízben. Oldatba kerülve sok anyag – főleg a sók, az erős savak és lúgok – disszociál. Az oldás, a disszociáció és a hidratáció révén a vízben kedvező feltételek alakulnak ki a különféle anyagok fizikai, kémiai és fizikai-kémiai kölcsönhatásaihoz (keveredés, oldódás, kémiai reakciók, rétegződés, ülepedés, kolmatáció, szuszpenzió, hidrolízis stb.). A vízben elnyelt gázok is részt vesznek a fizikai és biológiai folyamatokban, különösen fontos az oxigén szerepe az anyagcserében és az öntisztulásban.

A folyók nagy távolságra szállíthatják a szennyező anyagokat. A folyóvízbe koncentráltan bevezetett folyadék keveredését és terjedését az áramlás jellege és

sebessége szabja meg, a diffúzió csak a forrástól távol vagy nagyon lassú áramlásnál jut jelentős szerephez. Állóvízben viszont a diffúzió a meghatározó folyamat, a beáramlás kezdő sebességének lecsengése után. A vízbe juttatott folyadékok lassan keverednek el a környező víztömegben, a híguláshoz hosszabb idő szükséges, mivel a diffúzió lassú folyamat. Az élővizekre különösen veszélyesek a felszínen összefüggő hártyát képező anyagok (ilyen a benzol, a fenol, az olaj), mert az oxigénfelvétel útját elzárva az élőlények anyagcseréjét akadályozzák.

A talajvizet egyrészt a felső talajrétegen átszivárgó csapadék szennyezi, ha oldva nemkívánatos anyagokat visz magával. Másrészt a talajba vezetett szennyvizekből vagy szigetelés nélkül beágyazott hulladékokból is kerülnek veszélyes anyagok a talajvízbe. A mélyebben elhelyezkedő rétegvizek védettebbek, ezekbe főleg a bányászkodás révén kerülhetnek idegen anyagok. A talajvízben a szennyezők terjedését a felszín alatti vízmozgások szabják meg, vagy ilyenek híján a diffúzió.

A tengerek szennyeződésében különösen nagy szerepe van az olajnak. A média rendszeresen beszámol az olajszállító tankerek katasztrófáiról, az viszont kevésbé tudott, hogy a tengerek olajszennyezésében a szállítóhajók tárolóterének tisztítása sem jelentéktelen tényező (lásd a 29. táblázatot). Az olaj összetételétől függően sokféle folyamat (szedimentáció, emulzióképződés, diszperzió, oldódás, párolgás, fotóoxidáció, biodegradáció) alakíthatja a következményeket, amihez a széljárás és hullámozás is hozzájárul.

Bonyolítja a viszonyokat, hogy az élővizekben az élővilágnak is jelentős a szerepe, a populációk a helyi körülményektől és életfeltételektől függően vízrendszerenként eltérőek. A vízbe jutott szennyezők az anyagcserében, illetve mikrobiológiai folyamatokban vehetnek részt, és e folyamatok visszahatnak az élőlények életfeltételeire. Bizonyos elemek egyes élőlényekben felhalmozódnak (foszfor a halakban, cink a kagylókban), amit indikátornak is tekintenek. Az élővizekben nagyon fontos mikrobiológiai folyamat az öntisztulás, aminek során a mikroorganizmusok a szerves anyagok jó részét szerves ásványi sókra bontják. Az öntisztulásnak azonban feltétele a megfelelő hőmérséklet és kellő mennyiségű oldott oxigén jelenléte. Néhány szerves anyag nagyon lassan vagy egyáltalán nem bomlik le.

Korábban egyes energetikai létesítmények is jelentős szerepet játszottak az élővizek katasztrofális elszennyeződésében, különösen a kémiai technológiák (szén-, olaj-, uránátalakítási, lepárlási, dúsítási eljárások) hulladékvizei. Ma már ezeket megfelelően tisztítva vezetik ki a befogadóba, a szennyező anyagokat fizikai folyamatokkal (szűrés, ülepítés, ozmózis), kémiai módszerekkel (pl. kicsapás, ioncsere), néha biológiai eljárásokkal választják le. Az így kinyert anyagokat megkötik, inaktívvá alakítják, és ha erősen hígítva nem bocsáthatók ki, megfelelő módon tárolják, esetleg égetik.

A bányászati vízemelésnek nemcsak mennyiségi, hanem minőségi következményei is vannak. A bányákból kiemelt nagy mennyiségű víz gyakran a

környezetre káros oldott sókat (főleg kloridokat és szulfátokat), és fémvegyületeket is tartalmaz. A termálvizekben a magasabb hőmérséklet miatt különösen sok az oldott ásvány, aminek környezetet veszélyeztető jellege a geotermikus energia hasznosításával járó legnagyobb gond. A kőolajjal együtt felszínre hozott – többnyire sós – vízben kolloid állapotú olaj is van. A szénbányák nívósüllyesztése következtében, főleg a külfejtéseknél, a szárazra került pirit oxidálódik és kénsav képződik, az eredeti víznívó helyreállta után pedig a nehézfémek válnak mozgékonyvá. A talajvíz nívósüllyesztése a bánya környezetében a szárazságtűrő növényfajok elterjedését mozdítja elő. A bányák meddőhányóiról és az erőművek zagytereiről a csapadék mos ki szennyezőket (foszfátok, szulfátok, nitrátok, fluoridok), a vízben oldódó nehézfémek víz- és talajszennyezése különösen veszélyes. A vizet hidraulikus szállítóközegként (pl. szénosztályozás, zagyszállítás) vagy munkaeszközként (hidraulikus fejtés) alkalmazó technológiáknál többnyire a víz visszaforgatásával előzik meg a környezet szennyezését.

Az erőművekben technológiai célra (pl. körfolyamatok munkaközegének, hőhordozónak, atomerőművi moderátornak, oldószernek stb.) használt vizet az alkalmazás előtt tisztítják, más jellegű felhasználásoknál (pl. salak- és pernyeszállítás, füstgáz kénmentesítése, kazánmosatás, vízkezelők ülepítése) utólag kezelik. Az ennek során kivont vegyszereket (sósav, nátronlúg, mészhidrát, hidrazin, ammónia stb.) és ioncserélő gyantákat vagy regenerálják, vagy visszatartják és deponálják. A frissvízhűtésű erőművek tisztábban vezetik vissza a hűtővizet, mint ahogy kivették, mert azt a felhasználás érdekében szűrik, és szükség esetén kezelik.

Az erőművek hatása a vizek vegyi szennyezésében jelentéktelen, a hőszennyezésben viszont a frissvízhűtésű hőerőművek a meghatározók. A víztestek túlmelegedése egyrészt azért veszélyes, mert az élőlények életfunkciói hőfokfüggőek, és a túl magas hőmérséklet sok élőlény számára kedvezőtlen. Másrészt a túlmelegedés hatására oxigénhiány is bekövetkezhet, mivel a vízben az oldott oxigén mennyisége a hőmérséklet növekedésével csökken. A hőbevezetésnél 3-4 °C-os növekedés már érezteti a hatását, ezért a hőszennyezést az élővizekben korlátozzák, megszabva a hűtővíz visszavezetésének helyét, mértékét, módját, valamint megengedett hőmérsékletét.

A kőolaj-finomítók is sok vizet igényelnek hűtésre és technológiai célokra, a hulladékvízbe került anyagokat (olaj, zsír, fenol, ammónia, kloridok, szuszpendált és oldott szilárd anyag, kisebb mennyiségben savak és lúgok, foszfátok, szulfidok, króm és más fémek nyomelemei) kivonják és deponálják.

A nukleáris létesítmények hulladékvizait szigorúan ellenőrzik és tisztítják, így azokban csak nagyon kis mennyiségben kerül ki az uránbányákból és az ércdúsításból urán és rádium, a fűtőelemgyártásból uránvegyületek (valamint inaktív ammónia, kloridok és fluoridok). Az atomerőművek esetében a legjelentősebb vízszennyező a trícium, a megengedettnél sokkal kisebb mennyi-

ségben bocsátanak ki különféle aktív fémizotópokat (Mn, Co, Ag, Sb, Cs) és jódvegyületeket is. Az újrafeldolgozás hulladékvizeiben is ilyen elemek, valamint stroncium és ruténium fordul elő.

Talaj- és táplálékszennyezés

Az élettelen és élő összetevők keverékéből álló talaj speciális erőforrás, mely nem csupán termőföld, hanem a szerves anyagokból humuszt komposztáló, valamint a nemkívánatos anyagokat szűrő és detoxikáló rendszer is. A talaj károsodását egyrészt természeti erők (erózió, fizikai és biológiai degradáció, savanyodás, szikesedés, a vízháztartás módosulása), másrészt azokat felerősítő vagy kiegészítő emberi tevékenységek idézik elő. A talajnak van bizonyos fokú regenerálódó képessége, a földben lévő organizmusok anyagcseréje, szerves anyagok bomlása, valamint fizikai, kémiai és mikrobiológiai folyamatok (fermentáció, biodegradáció, biotranszformáció, aerob és anaerob bomlás stb.) révén. A történelem során sok területet tett tönkre a helytelen használat a növényzet kipusztításával, amit a humusztakaró eltűnése, majd elsivatagosodás, elkarsztosodás követett.

Nagyon jelentős a talaj és a víz kölcsönhatásának a szerepe. A túl kis nedvességtartalom kiszáradást, fizikai struktúraváltozásokat és aszályt eredményez, a túl sok víz a növényzet túlszaporodására, esetleg elmocsarasodásra vezet. A vízben oldott anyagok befolyásolják a kémiai összetételt, a pH értékét, közrejátszanak a fizikai struktúra alakításában, a vízben oldódó sók feldúsulása szikesedést okozhat. A talajszennyezés leggyakoribb oka a savas eső, illetve a csapadékkal kimosódó vagy a gravitáció hatására kiülepedő, savas kémhatású szennyezők. Ezek csökkentik a talaj pH-értékét, megnövelik a szulfátok arányát és módosítják a talajban zajló kémiai és mikrobiológiai folyamatokat. A hidrogénion-koncentráció növekedésében a legfontosabb a kén-dioxid és a szulfátok szerepe, a nitrátoknak kisebb hatása van. A szabad hidrogénionok ioncsere révén mobilizálják a talajban lekötött fémek egy részét. Különösen veszélyes a fototoxikus anyagok – például Al^{3+} ion – feldúsulása, ami gátolja a növények magnézium- és kalciumfelvételét. A vízháztartás romlását a csapadékviszonyokon kívül befolyásolhatja a bányászat vagy mélyépítés miatt bekövetkező vízszintsüllyedés, vagy a felszín alatti vizek kiemelése okozott talajerózió, illetve tömörödés. Gyakran maga a szén- és kőolajbányászat során kiemelt víz is erősen savanyú kémhatású. A talaj károsodása érinti a növények tápanyagellátását, a talaj termőképességét és nem utolsósorban a terület értékét. A károsodás nem csupán a biológiai eltartóképesség csökkenésében nyilvánul meg, hanem az emberi életkörülményeket is ronthatja, ha például a terület kopárrá, vízzé, porlékonyná válik.

Közvetlenül okozhatnak talajszennyezést a technológiai hulladékok, a legnagyobb mennyiséget a szénbányászat, valamint az uránércbányászat és

-dúsítás meddőhányói képviselik. A külfejtéseknél a letakarási aránytól függően a kibányászott tüzelőanyag többszörösét kitevő közetmennyiséget kell elhelyezni, amit azonban később a bányagödörbe visszatemetnek. A mélybányákból kitermelt szén mennyiségének tizede körül mozog a hányóra kerülő meddő, hasonló nagyságrendű az előkészítő műveletek szilárd hulladéka is. Az uránkitermelésnél az érckoncentrációtól és az ércdúsítás jellegétől függően a koncentrátum sokszorosát teszik meddőhányóra vagy ülepítő medencébe, e hulladékok enyhén radioaktívak. A nukleáris fűtőelem ciklusának többi fázisában kevés (a villamosenergia-termelésre vetítve g/kWh nagyságrendű) szilárd hulladék keletkezik.

Nagy mennyiséget képviselnek a széntüzelés szilárd égéstermékei (salak, a porleválasztásnál összegyűlő pernye), valamint a kénmentesítés maradéka, amit zagyterekre helyeznek ki, ha nem sikerül azokat bányatérsegekbe visszajuttatni (ami a szállítási költségek miatt ritkán gazdaságos), vagy más célra hasznosítani. Ezek együttes mennyisége a hamutartalom függvénye, a magyar szeneknél 0,2–0,04 kg/kWh, a jó minőségű külföldi szeneket jóval kisebb hamutartalom jellemzi. Értékesítési lehetőség híján hulladék a kénleválasztásnál keletkező gipsz is, mennyisége 10 g/kWh nagyságrendű, egy nagyságrenddel kevesebb a kénmentesítés vizes oldatának csapadéka. Egy 1 GW-os korszerű szénérőműből évente mintegy 300 kt pernye (benne 400 t nehézfém), és mintegy 500 kt gipsz (benne mérgező alkotók is) kerül ki. Az égéstermékek egy részét veszélyes hulladéknak tekintik, amelyekre szigorú előírások vonatkoznak.

A növényzet tönkretételén keresztül a szállópor is károsítani tudja a talaj struktúráját és termőerejét. A nagy területeket belepő szállópor lehet égéstermék, forrása lehet a talaj bolygatásával járó művelet (talajmegmunkálás, külfejtés, mélyépítés), és felragadhatta a szél a szénterekről, zagyterekről, hulladéklerakó helyekről. A kőolajtermékeket hasznosító erőművek szilárd hulladéka csak kénmentesítés esetén számottevő. A földgázt esetenként számottevő tisztító iszaphulladék terheli. Az atomerőművek szilárd, illetve meg-szilárdított kis-közepes aktivitású radioaktív hulladékát (~1 g/kWh) speciális tárolókba kell helyezni, melyekben a hulladék jól el van szigetelve a környezettől, és nem veszélyezteti a lakosság egészségét. A nagy aktivitású radioaktív hulladékot (beleértve a kiégett fűtőelemeket is) ugyancsak megfelelően elszigetelve tárolják, egyelőre – világszerte – csak átmeneti jelleggel, a végleges megoldások fejlesztés alatt állnak. A villamos energetikai vertikumok szilárd hulladékait hasonlítja össze a 46. ábra. Figyelmet érdemel, hogy fajlagosan a legtöbb veszélyes hulladék a napelemek anyagából kerül ki, de a szénhamu is tartalmaz néhány száz t/GWa veszélyes nehézfémvegyületet.

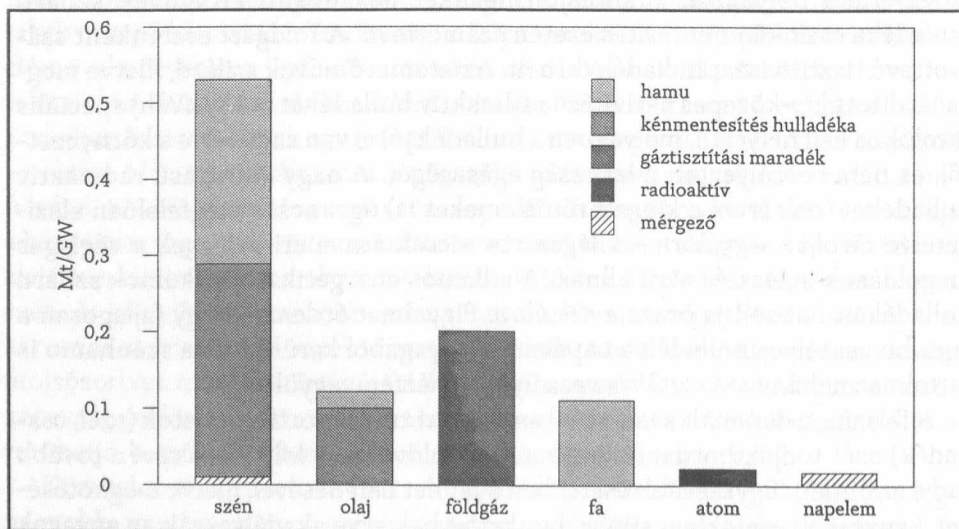
A felszínen deponált szennyező anyagokat transzportfolyamatok (szél, csapadék) szét tudják hordani, illetve a víz kioldva vagy kilúgozás révén tovább tudja szállítani. Egyszerűbb esetekben a felület befedésével, illetve megkötésével, kényesebb esetekben silóba, bunkerbe helyezve akadályozzák az anyagok

szétszóródását. A vízben oldódó anyagokat a csapadék nem csupán a felszínen tudja továbbítani, hanem a felszín alatti vízrendszerekbe is átszivárogtathatja, nemritkán magukba az ivóvíznyerő forrásokba is. Ennek megakadályozására a tárolókat ebbe az irányba is szigetelni kell. A veszélyes hulladékokat (mérgek, radioaktív hulladékok) olyan tárolókban kell elhelyezni, amelyekben egyrészt műszaki megoldások, másrészt a környezet geológiai és hidrológiai viszonyai biztosítják a szükséges ideig az elszigetelést és megakadályozzák kikerülésüket a környezetbe. A 47. ábra a terjedési útvonalak és hatásláncok lehetőségének sokféleségét érzékelteti. Egyes szennyező anyagok tárolásánál figyelembe kell venni a veszélyes anyagokra vonatkozó rendelkezéseket, valamint az energetikai létesítményekre érvényes speciális előírásokat is.

A talajszennyezés különösen kellemetlen anyaga az olaj, illetve származékai, oldó és szigetelő hatásuk miatt. Kedvezőtlen körülmények esetében a szennyezés továbbterjedhet a vízbázisokba is. Nagyobb mértékű szennyezésnél talajcserére is szükség lehet. Sérülés vagy helytelen üzemeltetés következtében az olajtermékek szállításánál vagy tárolásánál szivárgás, súlyosabb esetben folyás okozhat szennyezést, hasonló hatása lehet a kútkitöréseknek is. Villamos berendezések szigetelőolajának tartós szivárgása is szennyezés forrása lehet. A szárazföldi szénhidrogén-kitermelés az olajszivárgáson túlmenően sós vízzel, fűróiszappal, a kútképzéshez használt betonnal szennyezi a talajt, de ezek mennyisége kicsi és csak a kút környezetét érinti. A kőolaj-finomítóknak nehézfémekkel terhelt, olajos iszaphulladéka is van. Jelentős feladat az elhasznált kenőolajok sorsának rendezése és szennyező hatásának közömbösítése is.

46. ábra

Villamos energetikai vertikumok szilárd hulladécai



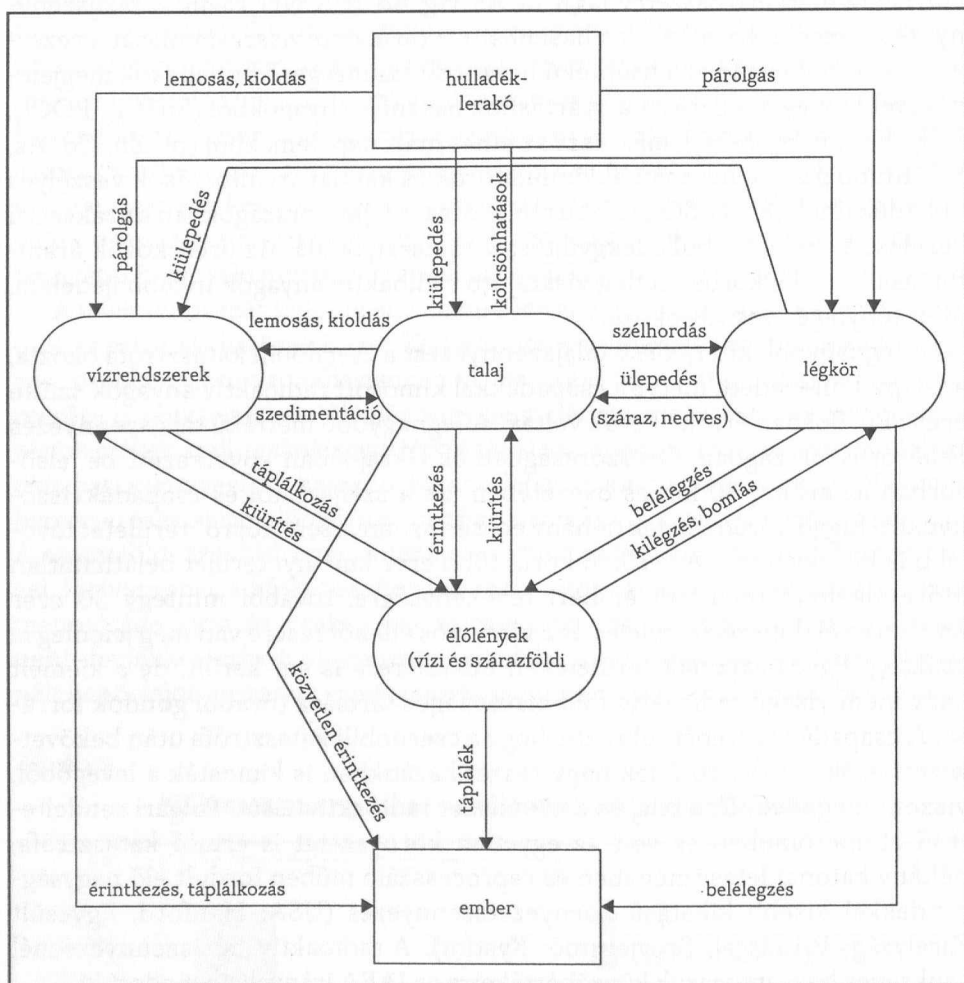
A geotermikus energiahasznosításnál gondot okoznak a vízből kiülepedő szennyezők, gyakran ionizált állapotban (Na, K, Ca, F, Mg, Si, Sr), nem ritkák az élővilágra mérgező összetevők (B, Li, As, Hg, Rb, H_2S , NH_3) sem. A talajszennyezés elkerülésére ajánlják a hasznosított termálvíz visszasajtolását a rezervoárba. A napelemek nagyléptékű hasznosítása mérgező hulladékok megjelenésével fenyeget, egyrészt a gyártáshoz használt anyagokból ($SiHCl_3$, $POCl_3$, SiH_4 , PH_3 , B_2H_6 , SeH_2), másrészt az elhasznált napelemekből (pl. Zn, Cd, As, Se). Külön gond a használt akkumulátorok és kémiai áramforrások veszélyes hulladékainak (Pb, H_2SO_4 , Cd, Ni stb.) sorsa, a fejlett országokban a szakszerű kezelést a szelektív hulladékgyűjtéssel támasztják alá. Az üreszközök áramforrásaiból a légkörbe esetleg visszajutó radioaktív anyagok inkább ijedelem, mint tényleges veszély okozói.

A legnagyobb kiterjedésű talajszennyezést a csernobili katasztrófa okozta, a talajra kiülepedett, illetve a csapadékkal kimosott radioaktív anyagok szinte egész Európában érzékelhetők voltak. A legnagyobb mértékű talajszennyezés Fehéroroszországban, Oroszországban és Ukrajnában következett be, elsősorban az erőmű 30 km-es övezetében, de a széljárástól és csapadékvizonyoktól függő körülmények néhány erősen szennyezett „forró” területet távolabb is kialakítottak. Az erőmű körül több ezer km^2 -nyi terület beláthatatlan időre alkalmatlanná vált emberi tevékenységre, további mintegy 30 ezer km^2 -en az élelmiszer-termelés és a víz tartós ellenőrzésére van még jelenleg is szükség. Egyes exponált területeken talajcserére is sor került, de a kiemelt nagy mennyiségű radioaktív föld biztonságos tárolása további gondok forrása. A csapadék szerepét tükrözte, hogy a csernobili katasztrófa után bekövetkezett esők a radioizotópok nagy részét hazánkban is kimosták a levegőből, viszont megnövelték a talaj és a növényzet radioaktivitását. Polgári rendeltetésű atomerőműben ez volt az egyetlen környezetet is érintő katasztrófa, néhány katonai létesítményben és reprocesszáló műben fordult elő nagyságrendekkel kisebb kihatású környezetszennyezés (USA: Hanford, Egyesült Királyság: Windscale, Szovjetunió: Kystim). A radioaktív talajszennyezésnél szükséges beavatkozások küszöbértékeire az IAEA irányelveket adott ki.

Anyagok terjedéséről a táplálékláncon keresztül főleg a fertőző, mérgező és radioaktív szennyeződések esetében vannak ismereteink. Az egyik legfontosabb közvetítő közeg az ivóvíz, amit különféle vízrendszerekből nyernek, e rezervoárok szennyeződhetnek közvetlenül, vagy a talajból, esetleg a csapadékból. A víz a káros anyagokat továbbíthatja az emberi szervezetbe közvetlenül – ivóvíz, főzés, tisztálkodás, fürdés révén – vagy közvetve, mint táplálékot szolgáltató állatok ivóvize, élelmezésre szolgáló növények tápanyagának szállítóközege (esetleg szennyezett öntözővíz útján).

A szennyezett emberi táplálék ártalmait erősen függenek a táplálkozási szokásoktól, az elfogyasztott ételek és italok jellegétől és mennyiségétől, az ételkészítés módjától. A magas hőmérsékletű főzés és sütés befolyása (pirolízis,

Lehetséges transzportutak



termikus reakciók, csíraölés), egyes adalékanyagok (konyhasó, ecet, fűszerek) kompenzáló szerepe mérsékli a káros hatásokat. A növények fogyasztás előtti tisztítása sok kedvezőtlen hatást kiküszöbölhet, ezért ajánlották például a csernobili katasztrófát követő napokban a leveles zöldség erőteljes mosását. A radionuklidok hatását – a spontán radioaktív bomlás révén – a tárolás is csökkenti. A szilárd tápanyagok közül a legkönnyebben a zöldségekbe és gyümölcsökbe kerülhetnek szennyező anyagok. A legtöbb szennyező a levélzetre kiülepedett anyagokból szívódik fel, ezért a felületre kiülepedő szennyezés különösen a nagy levelű zöldségeknél jelentős. A szennyezők egy kis részét – főleg a feldúsult szerves anyagokat, valamint a levegőből, vizekből, derítő

iszapokból a talajszintre kiüledett nehézfémeket – a gyökereken keresztül a tápanyaggal (főleg vízzel) együtt szívják fel a talajból. Az erdei növényeket (gombák, bogyós termésű cserjék) főleg a talajban található káros anyagok veszélyeztetik. A táplálékot szolgáltató állatok szervezetébe az anyagcsere során elsősorban a táplálkozással, az ivóvízből, lelegelt fűből, takarmánynövényekből, tápokból juthatnak káros anyagok, a belégzés hatása jóval kisebb. A növényevő állatoknál a szennyezett növények legelése a legfontosabb tényező (pl. Csernobil után a nagy területen legelésző vadak húzában erősen megnőtt az aktivitás).

Energiahatások

Az energiaellátás következtében nemkívánatos energiahatások is érik a környezetet. A legnagyobb jelentősége a hőszennyezésnek van, a legtöbb nyugatlanságot az ionizáló sugárzás váltja ki. Néhány energiahatás (pl. zaj, fény, elektromágneses zavarítás) szerepe csak lokális.

Ionizáló sugárzások

Az atomenergetikával szembeni ellenérzés alapvető oka a félelem a titokzatos, érzékszerveinkkel közvetlenül nem érzékelhető ionizáló sugárzástól. Ugyan az ionizáló sugárzás hatásai közel egy évszázada ismertek, veszélyességükre igazán a Japánra ledobott atombombák és a nukleáris fegyverkezési verseny döbbsentette rá az emberiséget. Ez a félelmetes előzmény rányomta a bélyeget az atomenergia polgári alkalmazására, és az ellenérzésnek további indítékok adtak a nukleáris balesetek, valamint a félelem a radioaktív hulladékoktól. Ilyen háttérrel nem meglepő, hogy az ionizáló sugárzásokkal kapcsolatos nézetekben és hiedelmekben sok a zavar. Ritkán vesszük figyelembe, hogy mindig és mindenütt egy természetes eredetű sugárözönben élünk. E háttér-sugárzás egyik forrása a Föld anyagában levő radioaktív anyagok bomlása, másik összetevője a világűrben érkező kozmikus sugárzás.

Az ionizáló sugárzás forrásai többnyire radionuklidok, de különféle hatásokkal gerjesztett atomok is lehetnek sugárforrások. A radionuklidok instabil izotópok, amelyek ionizáló sugárzások (α , β , γ , n) kibocsátása közben spontán bomlanak és más izotóppá vagy más elemmé alakulnak át. Kereken 50 természetes eredetű és közel 1400 mesterségesen előállított radioizotóp ismeretes. A mesterséges radioizotópok magátalakulások során jönnek létre. Az ionizáló sugárzás intenzitását az időegység alatti bomlások száma jellemzi, ez az aktivitás egyrészt a radionuklidok számától, másrészt a lebomlás idejétől függ. Az utóbbit a felezési idővel jellemzik, ami alatt a radionuklidok fele lebomlik.

A felezési idő izotópfüggő, ns (10^{-9} mp) és Ga (10^9 év) közötti értékek fordulnak elő, különösen hosszú a legtöbb aktinida (urán, tórium, transzuránok) felezési ideje. A radioaktív atomok száma és ezzel a sugárzás intenzitása a felezési idő hússzorosa alatt milliomod részére csökken, ezért a rövid felezési idejű radionuklidok veszélyessége gyorsan mérséklődik. A rövid felezési idejű, kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok komponensei között a leg-hosszabb felezési idő kerekén 30 év (^{137}Cs , ^{89}Sr), így ezek 600 éven túl nem tekintendők veszélyesnek. A hosszú felezési idejű és nagy aktivitású hulladékoknál ez a mértékadó idő több nagyságrenddel nagyobb.

Környezetünkben, sőt a testünkben is mindig vannak természetes eredetű radionuklidok, amelyek a Föld eredeti anyagából származnak (^{40}K , ^{87}Rb , ^{147}Sm , ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U), illetve amelyeket a kozmikus sugárzás hoz létre (pl. ^3H , ^{14}C). A földkéregben lévő urán- és tóriumalapú bomlási sorok spontán bomlásai további természetes eredetű radionuklidokat hoznak létre, és ugyancsak természetes radionuklidok (pl. ^3H , ^7Be , ^{14}C , ^{22}Na) keletkeznek indukált magátalakulásokban. A radionuklidok zöme főleg β -sugárzó, a ^{238}U és ^{232}Th bomlási sorokból és a transzuránokból főleg α -részecskék lépnek ki. Az izotópok egy része kettős sugárzó, az α - vagy β -részecske kibocsátását kisebb-nagyobb energiájú γ -foton kilövelése követi.

A technikai eredetű ionizáló sugárzás szuperponálódik a természetes eredetű háttérsugárzásra. Ionizáló sugárzást okozhatnak egyrészt műszaki eszközök (pl. részecskegyorsítók, nukleáris reaktorok, röntgencsővek, katód-sugárcsővek), másrészt a technológiai folyamatokkal aktivizált radionuklidok. Az utóbbiak veszélyességét növeli, hogy a transzportfolyamatokkal terjedhetnek és az anyagcsere révén az élő szervezetekbe is bekerülhetnek. Az ionizáció mértékét a sugárzás pályája mentén abszorbeált fizikai energiával (dózis) jellemzik. A biológiai hatások számszerűsítéséhez figyelembe kell venni, hogy a különféle típusú és energiájú ionizáló sugárzások eltérő mértékben hoznak létre ionpárokat, hogy a különféle radionuklidok eltérő módon vesznek részt az anyagcserében, és hogy az élőlények testszövetei és szervei molekuláris felépítettségüktől függően eltérően reagálnak azonos dózissal. E sajátosságokat specifikus dózistényezőkkel és konverziós együtthatókkal lehet leírni. Az ionizáló sugárzások hatása kumulatív, ezért a következmények megítéléséhez egyrészt szuperponálni kell a különféle sugárforrások okozta dózisokat, másrészt figyelembe kell venni a hatások időtartamát. Szakszerű alkalmazás mellett az embereket érő technikai eredetű sugárzás sokkal kisebb, mint a háttérsugárzás. A paksi atomerőmű környezetében a dózisteljesítmény változása eddig nem haladta meg a természetes háttérsugárzás ingadozásának mértékét. Ezért az erőmű hatása mérésekkel nem volt kimutatható, azt csak számításokkal lehetett leírni, az emisszió útját követő modell segítségével.

A háttérsugárzás értékei a tengerszint feletti magasságtól és a felszíni kőzetek urán- és tórium-koncentrációjától függően erősen szórnak, ennek követ-

keztében a Föld egyes pontjain az átlag sokszorosa is előfordul. Magyarországon körülbelül a Közép-Európára jellemző 2,4 mSv átlagos éves személyes dózis érvényesül (35. táblázat), néhány tized mSv szórással. A háttérsugárzás időben sem állandó a kozmikus eredetű komponensek ingadozása miatt. A 35. táblázat szerint a háttérsugárzásnak egyharmada kívülről fejti ki hatását az emberekre, kétharmadát az anyagcsere során a szervezetbe került radionuklidok belülről okozzák. A természetes bomlási sorok belélegzett elemei közül a radon (^{222}Rn) a legveszélyesebb, ami a teljes dózissnak kerekén a felét okozza, az ugyancsak gáznemű toron (^{220}Rn) szerepe két nagyságrenddel kisebb.

Az ionizáló külső sugárzás hatásával szemben megfelelő sugárzáselnyelő anyagréteggel lehet védekezni. Az α -sugarak ellen már egy vékony műanyag fólia vagy papírréteg is elegendő védelmet nyújt. A β -sugárzás áthatoló képessége két nagyságrenddel nagyobb, elnyeléséhez legalább egy vékony fémfólia szükséges. A nagy áthatoló képességű γ -sugarakat nehéz atommagokkal lehet a legjobban lefékezni, elnyelésükhöz néhány centiméteres ólomréteg, vastagabb acélköpeny, illetve fémeket, baritot vagy vasércet tartalmazó méter nagyságrendű beton szükséges, többméteres vízréteg is megfelel a célra. A neutronsugarak lefékezéséhez könnyű atomok (víz, grafit, bór) a legalkalmasabbak. A belső sugárzás szempontjából, nagy ionizáló hatása miatt, az α -sugárzás a legveszélyesebb.

A népességet érő átlagos terhelés eredet szerinti megoszlását mutató 48. ábra érzékelteti az emberi tevékenységekből származó hatások arányát a természetes eredetűekhez képest. Az építőanyagok nem jelentéktelen sugárzása (~30%) össze van vonva a talajból származóéval. Jelentős szerepe van az orvo-

35. táblázat

A természetes háttérsugárzás átlagos dózisa Európában

Forrás	Külső sugárzás mSv/év	Belső sugárzás mSv/év
Kozmikus eredetű sugárzás	0,380	
radionuklid		0,012
Földi eredetű		
^{40}K	0,130	0,170
^{87}Rb		0,006
^{238}U sorból	^{238}U - ^{230}Th	0,140
	^{226}Ra	0,001
	^{222}Rn - ^{214}Po	0,004
	^{210}Pb - ^{210}Po	1,200
^{232}Th sorból	^{232}Th - ^{228}Th	0,050
	^{220}Th - ^{212}Po	0,006
		0,073
Összesen	0,840	1,520
Teljes	~2,4	

si diagnosztikának és terápiának (~17%). Még most is érzékelhető a nukleáris fegyverkísérletek utóhatása (0,4%). A műszaki alkalmazások (anyagvizsgálat, televízió, világító festékek, repülés stb.) eredője (~1,6%) az egész nukleáris energetikai ipar szerepét (< 0,1%) is magában foglalja. Az utóbbihoz az atomerőművek hozzájárulása marginális (0,01%), a nagyon körültekintő sugárvédelem eredményeképp.

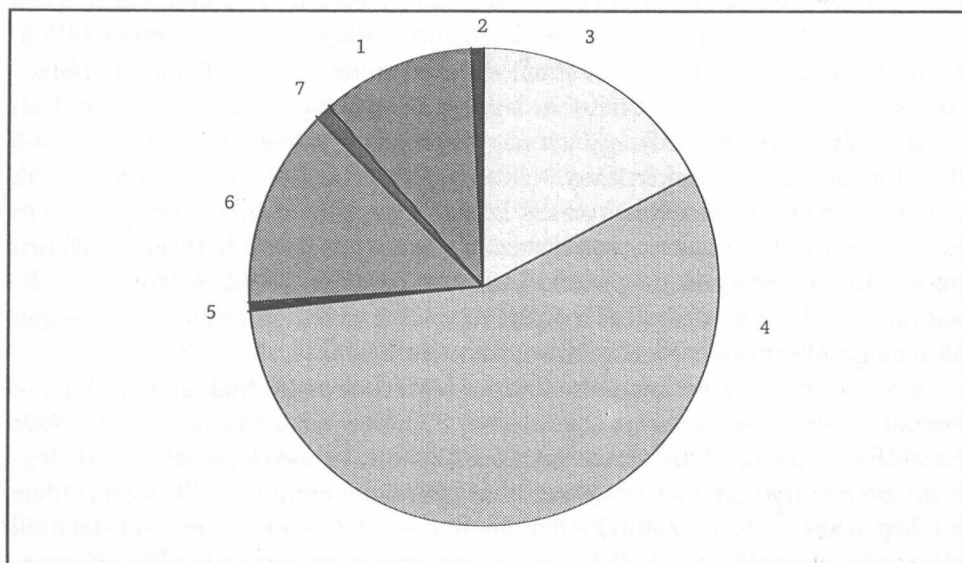
A nukleáris energetikában több százféle radionuklidnak van szerepe – hasadó és tenyészanyagok, hasadványok, bomlástermékek stb. Az energetikában szerepet játszó hasadóanyagok (^{235}U , ^{233}U és ^{239}Pu) gyenge α -sugárzók, γ -sugárzásuk mértéke jelentéktelen. Néhány transzurán is hasadóképes, a rövid felezési idejűeknek (^{249}Bk , ^{253}Es , ^{254}Cf , ^{256}Md) nincs gyakorlati szerepe, de a hosszabb felezési idejűekre ($^{242\text{m}}\text{Am}$, ^{245}Cm , ^{247}Cm , ^{249}Cf , ^{251}Cf) az atomfegyverek leszerelési tárgyalásain is figyelemmel vannak. A maghasadás (fisszió) terméke sokféle közepes atomsúlyú hasadvány, többségük erősen aktív β - és γ -sugárzó.

Az uránbányászat és ércdúsítás radonnal és jóval kevesebb toronnal, valamint uránporral szennyezi a levegőt, ami legnagyobb részt csak lokálisan, a bányatérségben érvényesül. Uránbányánk bezárása után e tevékenységnek ma már csak a hulladécai gyakorolnak némi hatást. Kiterjedt rehabilitációs program szolgálja az uránbánya környékén létrehozott hulladéktárolókon (meddőhányók, ülepítő medencék, perkolációs halmok) a radioizotópok lekötését és a sugárzás leárnyékolását. Folyamatos felügyeletre van szükség az ivóvízbázisok szennyeződésének megakadályozására is.

A fűtőelemciklus fázisainál – konverzió, izotópdúsítás, fűtőelemgyártás, újrafeldolgozás – kicsi a környezetszennyezés, mivel a hulladékot visszatartják. E fázisok csak nagy atomprogramoknál gazdaságosak, ezért magyarországi megvalósításuk szóba sem került. A sugárzás szintje alacsony, a kijutó kevés uránpor és a hulladékba kerülő U, Th, Ra, Rn radioizotópok a termelt villamos energiára vetítve a környező levegőben legfeljebb 10 MBq/GWa, a hulladékvízben GBq/GWa aktivitást okoznak. Igényesebb feladat a nem radioaktív, de agresszív kémiai hulladékok kivonása és kezelése. Az uránkonverzió során gáznemű (oxidok, fluoridok, szénhidrogének) és folyékony (kénsav, fluoridok, kloridok, nitrátok, ammónia) hulladékok keletkeznek. A dúsításnál a gáznemű hidrogén-fluorid (HF) és a folyadéokban levő nitrátok, fluoridok, foszfátok, savak, fémek kijutását kell megakadályozni. A dúsításnál visszamarad 100-200 t/GWa 235-ös izotópban elszegényített urán. Ezt a majdnem teljes mértékben 238-as uránizotópból álló dúsítási maradékot régebben energetikai tartaléknak tekintették, mivel reaktorokban neutronbesugárzással hasadóképes plutóniummá alakul. A szaporítóreaktor-fejlesztés megtorpanása miatt azonban még hosszú ideig számolni kell az elszegényített uránhányók fennmaradásával (ezt használta a NATO lövedékgyártáshoz). A kiégett fűtőelemek újrafeldolgozásánál trícium, karbon, kripton, jód és plutónium radioizotópok a legjellemzőbb szennyezők.

5. ábra

Átlagos sugárterhelés Európában



természetes eredetű	mSv/a	emberi eredetű	mSv/a
1. kozmikus eredetű külső	0,3	5. atomrobbantásokból kihullás	0,01
2. kozmikus eredetű belső	0,015	6. orvosi alkalmazás	0,4
3. földkéregből származó külső	0,5	7. technikai alkalmazások	0,04
4. földkéregből származó	1,6	ebből nukleáris ipar	0,002
ebből építőanyagok	-0,7		
összesen:	2,4	összesen:	0,4

A legtöbb radionuklid a láncreakció termékeként az erőművek kiégett fűtőelemeiben halmozódik fel, ez az erőműben lévő teljes aktivitás >99%-a. Tömörtelenségek és neutronsugárzás hatására kialakuló felaktiválódás következtében előfordul kevés radioaktív anyag a primer körben, főleg a hűtővízben. Normál állapotban a radionuklidoknak egy nagyon csekély része található a primer körön kívül, ahová a szellőztetés, hűtés, víztisztítás rendszereivel, valamint a karbantartás során kerültek. Nagyszámú berendezés és eljárás szolgál ezen radionuklidok kivonására és megkötésére (szűréssel, adszorpcióval, ioncserével, a lecsengésig tartó pihentetéssel, mélyhűtéses szétválasztással, dekontaminálással stb.), azonban az aktivitást csak bizonyos mértékig érdemes csökkenteni, az alatt az aktív anyagokat következmények nélkül ki lehet bocsátani a környezetbe. Levegőben, illetve vízben oly mértékben felhígítva történik ez a kibocsátás, hogy a természetes eredetű koncentrációkat a kibocsátás környezetében is alig módosítják, távolabb pedig ki sem mutatható a hatás.

Az erőművek normális üzemben a legnagyobb mennyiségben (500 TBq/GWa nagyságrendben) nemesgázokat bocsátanak ki a légterbe, ^{133}Xe -t

(felezési ideje 5,3 nap), ^{85}Kr -t (felezési idő 10,7 év). Ennél nagyságrendekkel kevesebb a ^{131}I , ^{129}I , ^{14}C , ^3H izotópok kibocsátása, valamint az aeroszoloké, amit nyomottvízes (PWR, Pressurized Water Reactor) erőműveknél főleg ^{88}Rb , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{54}Mn izotópok alkotnak, forralóvízes (BWR, Boiling Water Reactor) erőműveknél elsősorban Ba, La, Sr, I, Co, Cs radioizotópok a meghatározóak. Vízben a legnagyobb aktivitást a trícium képviseli (TBq/GWa nagyságrendű), egy-két nagyságrenddel kevesebb az oldatban levő fémek és más anyagok aktivitása. A kibocsátott izotópok spontán bomlásának felezési ideje nagyon széles határok között mozog, jó néhány izotóp gyorsan lecseng, viszont vannak nagyon hosszú élettartamúak is. A hatóságok szigorú határértékeket szabnak meg a kibocsátható aktivitásra. Példaképp a 36. táblázat mutatja, hogyan alakultak a Paksi Atomerőmű Rt. emissziói a hatóságok által megszabott küszöbértékekhez viszonyítva.

A kibocsátott nemesgázok tartósan a légtérben maradnak és nem lépnek kémiai reakciókba, az antropogén eredetű külső sugárzás legnagyobb részét ezektől származik. A belégzés szempontjából a legveszélyesebb a jód, legnagyobb mennyiségű izotópja viszonylag gyorsan lebomlik (a ^{131}I felezési ideje 8,1 nap, a szerencsére jelentéktelen mennyiségű ^{129}I -é $1,6 \cdot 10^7$ év). A levegőből kiülepedő, illetve kimosódó jód-, kobalt-, stroncium, cézium- stb. tartalmú aeroszolok közül az elemi jód és a cézium szerepe a legfontosabb, ezek szabják meg a talajról és a felszíni vizekből kiinduló külső sugárzás mértékét és a növények által felvett aktivitás mennyiségét. A jód gyorsan lebomlik, a cézium viszont tartósan befolyásolja a viszonyokat, mivel a domináns izotóp felezési ideje 30,17 év. Szerepük megítéléséhez fontos a kiülepedési viszonyok ismerete is, a nukleáris

36. táblázat

A Paksi Atomerőmű Rt. radioaktív kibocsátásai 1998-ban

Radionuklidok	Kibocsátás a hatósági korlát %-ában
Légnemű kibocsátás	
nemesgázok	0,5
aeroszolok*	<0,1
^{89}Sr , ^{90}Sr	2,2
jód	<0,1
Folyékony kibocsátás	
korrozíós és hasadási termék	6,0
^{90}Sr	6,1
trícium	66,0

* 24 h-nál nagyobb felezési idejű radionuklidok

fegyverkísérletek tapasztalatai szerint a ^{137}Cs tartózkodásának felezési ideje a sztratoszférában 1 év, a troposzférában viszont a csapadék hatására (a csernobili emisszió tapasztalatai nyomán) csupán 8 nap. Előfordul azonban, hogy a kiülepedett szennyezőket a légáramlatok újból felragadják a talajról.

A nukleáris létesítményekben nagyszámú védelmi berendezés és biztonsági funkció feladata, hogy elejét vegyék a radioaktivitás kiszabadulásával járó üzemzavaroknak. Atomerőművek legsúlyosabb balesetét termikus instabilitás okozhatja, ha a hűtőközeg nem tudja elvezetni a reaktorban fejlődő hőt. Ennek oka lehet a hűtőközeg elvesztése, felforrása vagy a cirkuláció megszűnte. Ha a hűtés kimarad, vagy jelentősen csökken, térben diverzifikáltan elhelyezett és működési módjukban redundáns többszörös védelmek állítják le a reaktort, és a kiesett hűtés pótlására különféle üzemzavari hűtőrendszerek indulnak működésbe. Hűtésre a reaktor leállítása után is szükség van, mert a láncreakció megszűnte után a radionuklidok spontán bomlása a névleges hőteljesítmény néhány százalékát kitevő hőfejlődéssel jár. A reaktorvédelmek nemcsak a hűtés zavarainál működnek, hanem a folyamatokban szerepet játszó védelmi eszközök és berendezések hibáinál is. Pakson a reaktor automatikus védelmi leállítására nemzetközi összehasonlításban is ritkán kerül sor, ami a megbízhatóság egyik ismérve.

Több védelmi berendezés egyidejű meghibásodásának nagyon valószínűtlen esetében a hűtés hiánya az aktív zóna megolvadására és a tönkrement fűtőelemekből nagy mennyiségű radionuklid kiszabadulására vezethet. Ekkor egymást körülölelő fizikai gátak akadályozzák meg a radionuklidok kijutását a környezetbe. Visszatartó szerepe van magának a hasadóanyag pasztillák szilárd oxidkeramikus szerkezetének és a fűtőelemek ellenálló anyagból készült burkolatának. Zónaolvadásnál a vastag falú, kémiai, termikus és nukleáris hatásoknak ellenálló anyagból készült primer kör, továbbá az aktív tereket körülölelő konténment (hermetikus rendszer a radioaktivitás visszatartására) alkotják a gátakat. Ahhoz, hogy egy zónaolvadásnál radioaktivitás kerüljön a környezetbe, meg kell sérülnie a primer körnek és egyidejűleg meg kell szűnnie a konténment hermetikusságának is. Mindezen események együttes bekövetkeztének valószínűsége rendkívül csekély, amit az utóbbi évtizedben világszerte megvalósított biztonságnövelő intézkedések és a nemzetközi egyezmények kényszerítő ereje még tovább csökkentett. Az említett gátak többnyire még nagyon súlyos üzemzavaroknál is megvédik a környezetet, egy korszerű atomerőműből még súlyos üzemzavarnál sem jut ki sok aktivitás.

Az aktív anyagoknak zónaolvadás esetén is csak egy része válik mozgékonyá: a nemesgázok majdnem teljes egészében, az illékony jód, bróm, cézium, rubídium harmada-negyede, a barium, stroncium és egyes földfémek 15%-a, néhány további anyag 1-10%-a és a legtöbb radionuklidnak pedig annál is kisebb hányada. A különféle visszatartó mechanizmusok (szűrés, ülepítés, mosás, kicsapás stb.) hatására a konténment sérülésekor csak a leg-

illékonyabb alkotók (nemesgázok, jód, cézium és trícium) kerülhetnek ki számottevő mennyiségben a környezetbe.

Az IAEA ajánlása a zónaolvadás valószínűségének felső határára régebbi atomerőműveknél 10^{-4} /év, új létesítményeknél 10^{-5} /év, a konténment sérülésének valószínűsége pedig ennél legalább egy nagyságrenddel kisebb, a radioaktivitás környezetbe kerülésével járó üzemzavar valószínűsége ezzel az elhanyagolható kockázatok 10^{-6} /év valószínűségű tartományába kerül. A paksi atomerőműben a biztonságnövelő intézkedésekkel sikerült a zónaolvadás valószínűségét egy nagyságrenddel csökkenteni, és céljuk az új létesítményekre ajánlott szint elérése. A fejlesztés alatt álló következő generációs atomerőműveknél célkitűzés, hogy a telephelyen kívüli kockázatok kisebbek legyenek a nem nukleáris eredetűeknél. A vízzel hűtött és moderált reaktortípusoknál (PWR, BWR, CANDU) a csernobilihez hasonló léptékű atomerőművi katasztrófa a reaktorok fizikai tulajdonsága miatt kizárt, a feltételezhető legsúlyosabb baleset kihatása is nagyságrenddel kisebb. E típusok összesített üzemideje kereken 9000 reaktorév, ami alatt egy zónaolvadás következett be (Three Mile Island). Ha ez néhány éven belül nem ismétlődik meg, az üzemi tapasztalat erre a reaktor családra alátámasztja a 10^{-4} -es valószínűségi követelmény realitását. A szakkörök egybehangzó véleménye, hogy a megvalósított átalakítások és biztonságnövelő intézkedések révén a csernobili (RBMK) típusoknál is kiküszöbölték az olyan mértékű katasztrófa megismétlődésének lehetőségét, mint ami 1986-ban bekövetkezett.

A radioaktív hulladéktárolók méretezésének alapelve, hogy a veszélytelen mértékig történő lebomlás időtartama alatt számottevő aktivitás ne kerülhessen a környezetbe. A kis és közepes aktivitású hulladékoknál e követelmény kielégíthetőségét számos megvalósított tároló igazolja. A hosszú élettartamú, nagy aktivitásúaknál a megoldást kutatják, a legígéretesebbnek az eltemetést tartják stabil geológiai formációkban. Ilyen tárolót a gyakorlatban még sehol sem sikerült megvalósítani, ezért a társadalom kétkedő, a döntéshozók tanácstalanok. A hosszú élettartamú hulladékok sorsának kulcskérdése a tárolás történelmi és geológiai szempontból egyaránt hosszú időszükséglete, ami alatt nemcsak a tároló körüli földtani szerkezet változhat, hanem a társadalom meg is feledkezhet a létesítményről. Ezért is fogadták sokfelé lelkesedéssel a transzmutáció gondolatát, vagyis a hosszú felezési idejű izotópok átalakítását neutronbesugárással rövid felezési idejű vagy stabil izotópokká. Nyitott kérdés, hogy a jelenleg folyó alapkutatásokból kifejlődhet-e gazdaságos ipari gyakorlat. A Paksi Atomerőmű Rt. üzeme és lebontása során összesen néhányszor tízezer köbméter kis és közepes aktivitású hulladék keletkezik, a nagy aktivitású hulladék ennél egy-két nagyságrenddel kevesebb. Az utóbbinak jelentős hányadát a kiégett fűtőelemek teszik ki, ezek végleges eltemetéséhez képest az újrafeldolgozás néhány százalékra csökkentené a temetendő mennyiséget.

Az energiakisزابadulás legsúlyosabb formáit a műszaki katasztrófák képviselik, ezek potenciális forrásai a sok energiát tároló létesítmények. A legújabb javaslat szerint egy eseményt katasztrófának kell tekinteni, ha legalább egy kritérium teljesül a következők közül emberáldozat: >5 haláleset vagy >10 személy sérülés; anyagi kár: >5 MUSD; kitelepítettek száma: >200 fő (és ideje); területhasználat korlátozása: >25 km² megtisztításra szoruló szennyezett terület vagy víz; emisszió: >10 kt szénhidrogén vagy más mérgező anyag; élelmiszer-fogyasztás tilalma.

A legnagyobb mennyiségű és a legkoncentráltabb jellegű energiát az atomerőművek reaktorai tárolják. A technika legrettegettebb üzemzavara a reaktor aktív zónájának megolvadása, és ennek következtében radioaktív anyagok kikerülése a környezetbe. Energiatermelő reaktoroknál eddig két zónaolvadással járó baleset fordult elő: 1979-ben a PWR rendszerű Three Mile Island (Harrisourgh, USA) erőműben és 1986-ban Csernobilban. Az amerikai atomerőműben az aktív anyagok kikerülését megakadályozó berendezések megvédték a környezetet, senki sem károsodott sugárzástól, csak a felkészületlen katasztrófaelhárításnak voltak káros következményei (pánik, közlekedési balesetek a kiürítésnél, spontán vetélések az ijedtség miatt stb.). A csernobili katasztrófát alapvetően a konstrukció hibái okozták, a hibás beavatkozásokat is ez tette lehetővé. Az emberi hibából szabályozhatatlanná vált reaktor zónája megolvadt, a hatalmas energiájú termikus és kémiai robbanás következtében a reaktor és az épület beomlott, a zóna aktivitásának néhány százaléka (~12 EBq) került ki a környezetbe gáz halmazállapotban és aeroszol formájában. Súlyosbította a helyzetet, hogy a moderátor szerepét betöltő, zónát körülölelő hatalmas grafittömb egy hétig égett. A fejlődő hő felhajtó ereje a radioaktív anyagokat nagy magasságba juttatta fel, és a légáramlatok azokat több hullámban szétterítették Európa országai fölött. A legnagyobb sugárterhelés az erőmű mintegy 30 km-es környezetében alakult ki.

Szerencsére Magyarországra már viszonylag kevés szennyezés jutott Csernobilból, főleg egy kisebb aktivitású második hullám nyugatról visszakanyarodó légáramlatából. Az ország légtérében néhány napos késéssel megjelent aktív anyagok nagy részét az eső a talajra mosta ki. Az első napokban a ¹³¹I izotóp, annak lebomlása után a ¹³⁷Cs szabta meg a viszonyokat. Az ebből származó 50 évre számított lekötött teljes dózis a természetes eredetű háttérsugárzás egy évnyi dózisének alig egynegyede.

A Csernobilban alkalmazott reaktortípus (grafit moderátor, nem tartályba foglalt aktív zóna, teljes konténment hiánya) csak a Szovjetunió területén épült. Korábban az Egyesült Államokban elvetették e rendszer bevezetését, mert szabályozhatóságát és biztonságát nem találták kielégítőnek. A teljesen eltérő felépítésű paksi nyomottvízes típusú atomerőmű jellegzetességei (nagy

víztér, 6 részre osztott primer kör, a reaktivitás hőfokfüggésének negatív jelleggörbéje, üzemzavari hűtés, védelmek, lokalizációs rendszer stb.) rendkívül nagy biztonságot jelentenek az ilyen jellegű balesetekkel szemben.

A csernobili katasztrófa a nukleáris energetika gyakorlatának sokirányú felülvizsgálatára ösztönzött. Jó néhány országban az atomerőmű építés halasztására, vagy végleges elvetésére vezetett. Világszerte jelentős erőfeszítéseket tettek a működő atomerőművek biztonságának növelésére és megindult új, biztonságosabb konstrukciók fejlesztése. A katasztrófa hatására születtek a nukleáris biztonsággal kapcsolatos első egyezmények. A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (IAEA) védnöksége alatt kötött sokoldalú Gyorsértéssítési Egyezmény egy nukleáris baleset esetében gyors tájékoztatásra kötelezi az aláíró országokat. Azonos értelmű kétoldalú egyezményeket is kötöttünk a szomszédos, valamint más érdekelt országokkal. Ugyancsak az IAEA koordinálásával működik az atomerőművi balesetekre vonatkozó Kölcsönös Segélynyújtási Megállapodás is. A biztonságot érintő legnagyobb hatású nemzetközi megállapodás a Nukleáris Biztonsági Konvenció. Az aláíró államok kötelezettséget vállaltak arra, hogy a területükön működő atomerőművek teljesítik a nemzetközi biztonsági követelményeket és ennek ellenőrzését alávetik a nemzetközi közösség bírálatának. A konvenció fontos követelménye az ellenőrző és engedélyező hatóságok felkészültsége és függetlensége is. A konvenció teljesülését háromévente rendezett felülvizsgálati konferenciákon tekintik át a nemzeti jelentések alapján. Az első ilyen rendezvény 1999-ben zajlott le, ezen a nemzetközi közösség a magyar helyzetet megfelelőnek minősítette.

Nagyon sok energiát lehet tárolni hidrosztatikusan. A vízátbukás a nagy víztározók magas gátjain, vagy a völgyzárógátak átszakadása nyomán kizúduló víztömegnek pusztító hatása az alatta elterülő térségben. Külföldön számos ilyen katasztrófa fordult elő, sok halálos áldozatot is követelve. Hasonló szerencsétlenségek ellen védve vagyunk, mivel folyóink kis esése ilyen tározók létesítésére nem ad módot.

A kémiai tárolt energia akkor okozhat katasztrófát, ha robbanás vagy gyulladás feltételei alakulnak ki. Az energetikában szerepet játszó anyagok közül robbanásveszélyes a metán, néhány illékony szénhidrogén és a finom szénpor, ha elektrosztatikusan feltöltődik. Mélybányáinkban előfordultak a felgyülemelő metán okozta sújtólégrobbanások, de ezek pusztító hatásukat csak a bányán belül fejtik ki, a környezetet nem érintik. A földgáz helytelenül használt fogyasztóberendezései és rosszul karbantartott elosztó hálózatai gyakran okoznak súlyos robbanásokat a lakóházakban. Hasonló baleseteket zárt térben összegyűlő, illő szénhidrogének (pl. PB-gáz, benzin) is előidéznek. A szakszerű kezelésnek köszönhetően energiaipari vállalatainknál nagy földgázrobbanások nem fordultak elő, de illékony szénhidrogének okozta katasztrófa igen (a legjelentősebb egy kazánrobbanás volt a Dunai Kőolajipari Válla-

latnál). Külföldön a távolsági gázszállításnál következtek be szivárgás okozta nagy katasztrófák, különösen amikor a földgáz nagy területet borított el.

Az energetikában használt anyagok közül a szénhidrogének, a szén, a hidrogén és a műanyagok a legtűzveszélyesebbek. A gyúlékony anyagok könnyen terjesztik tovább a már bekövetkezett tüzet. A magyar energetika legnagyobb – mai áron sok milliárd Ft-os kárt okozó – tüzeseténél, a Dunamenti Hőerőműben is ez volt a helyzet, ahol a kábelaknában terjedt észrevétlenül tovább a tűz. E tapasztalat vezetett az önkioltó műanyagok alkalmazására, és a térségek szakaszolt kialakítására. Az energiaiparok hazai létesítményeiben a kisebb tüzesetek nem ritkák, de a tűzvédelemnek és a védőtávolságoknak köszönhetően ezek nem terjedtek át a környezetre (jó néhány külföldi példa ismeretes tüzelőanyag-tárolókból vagy erőművekből kiinduló kiterjedt tűzvészre). Sajnos az energiafogyasztók körében nagy számban fordulnak elő olyan tüzesetek, melyeket tüzelőberendezések, villamos fogyasztókészülékek, tűzveszélyes eszközök helytelen használata, hálózatok szakszerűtlen javítása, tüzelőanyagok gondatlan tárolása okoz.

Katasztrófát okozhat nagy mennyiségű veszélyes anyag kikerülése is a környezetbe. A nagylengyeli olajtermelésnél előfordult olyan kútkitörés, melynél a korábban besajtott szén-dioxid visszaáramlott, elárasztva több település területét, ahonnan a lakosságot ki kellett telepíteni.

Az energetikai létesítményekben előfordulnak mechanikai eredetű haváriák is, szerkezetek összeomlása, forgó berendezések szétrepülése, nagy nyomású és/vagy magas hőmérsékletű közegek kiáramlása stb. Ezek következményei azonban a létesítményen belül maradnak, a környezetet csak a leg-ritkább esetben érintik és akkor is csupán jelentéktelen mértékben. Ilyen eredetű lakossági baleset nem ismeretes, bár előfordult, hogy egyik erőművünk turbinájának szétrepült darabjai a környező épületekre hullottak.

A műszaki létesítmények tervezésénél és üzemvitelénél mindent el kell követni, hogy megakadályozzák katasztrófák bekövetkeztét. Bár a kívülállókat is veszélyeztető energetikai katasztrófák Magyarországon rendkívül ritkák, azok elhárítására körültekintően fel kell készülni, hogy esetleges következményeiket minimalizálják és a keletkezett károkat gyorsan felszámolják. A katasztrófaelhárítás állami feladatait és a szervezetek működési módját jogszabályok írják elő. A legkritikusabb eseményeknél (nukleáris és vegyipari katasztrófák) a felkészültséget gyakorlatokkal is ellenőrzik, és a lakosságnak is megfelelő tájékoztatást adnak a teendőkről.

Egyéb hatások

A normál üzem közbeni energiakibocsátás összehasonlíthatatlanul kisebb szerepet játszik a környezetszennyezésben, mint az anyagok emissziója. Legjelentősebb a hőszennyezés, hiszen az energiahasznosítás minden formája végül is hővé

alakul. A hőfejlődés miatt minden energiaátalakító vagy -hasznosító berendezésnél szükség van hűtésre vagy hőátzármaztatásra, amit többnyire valamilyen fluid közeg (levegő, füstgáz, inert gáz, víz, olaj stb.) lát el. E közegek vagy közvetlenül, vagy további hőátzármaztatások révén közvetve a légkört melegítik fel. A légtér legjelentősebb hőterhelését a fűtés és a közlekedés összesített hőkibocsátása okozza. A Föld lakosságának jelenlegi, mintegy 400 EJ/évnyi energiahasznosítása a beeső napsugárzáshoz viszonyítva még nem számottevő (aránya 0,016%), de néhány agglomerációban a hővesztesség már eléri az inszoláció néhány százalékát. Ez már a mikroklíma változását is előidézi, a fűtési időnyben az átlaghőmérséklet egy-két fokos növekménye Budapesten is tapasztalható. A mikroklíma változását más hatások is előidézhetik, például gyakori szmogképződés, a felhősödés előmozdítása, nagy víztározók hőkapacitása.

A legkoncentráltabb hőkibocsátók a hőerőművek, a kondenzációs erőművekben fejlesztett hőnek mintegy 40-60%-át kell a hőkörfolyamatból elvonni, és a környezetnek átadni, ha nincs hulladékhő-hasznosítás vagy kapcsolt hőszolgáltatás. Fosszilis energiabázisú erőműveknél mintegy 10%-os mértékben a füstgáz is részt vesz a hő elszállításában, a többi sorsa a hűtés módjától függ. Hűtőtornyok esetében a hő száraz hűtésnél közvetlenül, nedves hűtésnél közvetve adódik át a levegőnek. Frissvízhűtés esetén a hő legnagyobb része a felszíni vizekbe kerül (ahonnan idővel szintén a levegőbe jut).

Az energiahasznosításból származó hő a 21. század végére elérheti a száraz-földekre jutó inszoláció ezrelékét, ami az energetika legnagyobb problémájává válhat. Ez a hő bolygónk globális melegedését okozza, szemben az üvegházhatással, mely csak a hőmérséklet-eloszlást rendezi át a troposzféra és a felszín között. Nem tudjuk, meddig lehet növelni a Föld hőmérsékletét, mikor következnek be visszafordíthatatlan változások. A bajt csak úgy tudjuk elkerülni, ha elejét vesszük ennek a növekedésnek, és az energetikától várt szolgáltatásokat teljesen új módon elégítjük ki. Erre lehetőségek már megjelentek, egyes fémeket az ércekből baktériumokkal is ki lehet nyerni energiafalo kohászati eljárások helyett, a haszonnövények hozamát és ellenálló képességét a kártevőkkel szemben géntechnikai módszerekkel is növelni lehet energiaigényes kemikáliák helyett, az információkat továbbítani lehet műholdakról mikrohullámokkal, és nem kell kiépíteni sok anyagot és ezen keresztül energiát felhasználó távközlési hálózatokat. A tudomány ilyen és ehhez hasonló megoldások kifejlesztésével tud segíteni abban, hogy kikerüljünk e csapdahelyzetből.

A megújuló energiák hasznosításánál is jelentkezhetnek kedvezőtlen hatások a mikroklímára, a napsugárzás elől lefedett területen a talaj lehül, nedveség csapódik ki, átalakul a talaj szerkezete; a szélárnyékba kerülő térségekben a levegő keveredése, a csapadékviszonyok módosulása okozhat zavart; a víz-erőművek tározóinak a környezetében nő a légnedvesség, a harmat- és zúzmaraképződési hajlam. A biomasszában jelentős lehet a klór és az alkálikus szennyezők mennyisége.

Nagy energia tárolódik a nagyfeszültségű villamos rendszerekben is, melyeknek sok eleme (szabadvezetékek, kábelek, kapcsoló készülékek, transzformátorok) a lakosság által is viszonylag könnyen megközelíthető, de ezeknél áramütés csak az előírások tudatos megszegőit fenyegeti. A villamos hálózat üzemzavarainak (zárlat, ív, dinamikus erők stb.) következményei nemigen érintik a környezetet, legfeljebb a földzárlatok ébresztenek kellemetlen feszültségeket a talajban húzódnó fémes vezetőkben. Annál inkább veszélyeseek a fogyasztókészülékek meghibásodásai, áramütéseket és tüzeket okozva.

A nagyfeszültségű szabadvezetékek és készülékek koronakisülése, valamint egyes fogyasztóberendezések rádiófrekvenciás és mikrohullámú zaja zavarja a rádió és televízió vételt, illetve az elektronikus telekommunikációt. Hasonló hatása lehet a szélérőművek forgó lapátainak is. Az áram által gerjesztett villamos és mágneses tér is zavarja az információtechnikai berendezéseket (zavartatás), de a térerősség a távolság függvényében rohamosan csökken. Az elektromágneses sugárzások egy részének (mikrohullám, lézer) van kimutatott élettani hatása, az ipari frekvenciás erőtereknél ez vitatott.

A szállítás, anyagmozgatás, építés, a gépek mozgása, valamint a fluid közegek áramlása zajjal jár. Az utóbbi különösen a geotermikus hőhordozók áramlásánál jelentkezik. A szélérőműveknél egyrészt a lapátoknál aerodinamikus zaj, másrészt a hajtóműben mechanikai zaj alakul ki. Ugyancsak zajosak egyes erőáramú berendezések (nagyfeszültségű szabadvezetékek, transzformátorok). A hanghullámok gyorsan csillapodnak, a forrástól egy-két km-en túl az erős hangok sem érzékelhetők. Kellemetlen fényhatása főleg a villamos kisüléseknek és a naptükröknek van. A zaj és a fényhatások főleg ingerhatásukkal okoznak zavart, de nagy intenzitásnál károsodást is okozhatnak. A légszennyezésnek kellemetlen kihatása a látásviszonyok forgalmat és a közérzetet egyaránt zavaró romlása.

Környezeti károk

Az embereket a környezeti hatások közül leginkább egészségük károsodása (lásd az *Egészségkárosodás* c. fejezetet) nyugtalanítja. Ezen túlmenően a környezetszennyezés élő és élettelen környezetünkben is sokféle káros következmény oka, melyek gyakran az emberi életkörülményekre is kedvezőtlenül hatnak. E folyamatok meglehetősen bonyolultak és összetettek, vizsgálatuk csak rövid múltra tekinthet vissza. Az utóbbi években – elsősorban a környezetvédelem igényének hatására – megindult széles körű interdiszciplináris kutatás nyomán néhány hatás következményeiről kezd kirajzolódni a kép. A tapasztalatok általánosítását azonban nehezíti, hogy a következmények erősen függenek a környezet konkrét jellemzőitől, és az eredmények többnyire csak egy adott rendszerre vagy helyzetre értelmezhetőek.

Az emberi tevékenységek a természeti erőforrások hasznosításának túlzott mértékével, vagy a környezetszennyezéssel megzavarják természeti környezetünkben a biológiai életfeltételeket, megbontják a fajok élettársulásának (biocönózis) egyensúlyát. Ez a beavatkozás fékezi vagy gátolja a fajok önfenn-tartását, alkalmazkodását és fejlődését, előidézheti növény- és állatfajok ritkulását, esetenként teljes kipusztulását is. Az eltűnő fajok helyett gyakran a megváltozott feltételekhez jobban alkalmazkodó új fajok jelennek meg. Példá-ja ennek, hogy a talajvíz nivósüllyesztése a bányászkodás következtében a kör-nyezet növényzetét a szárazságtűrő fajok irányába módosítja. A biodiverzitás csökkenése a természetes kiválasztódás és ezen keresztül a fejlődés ellen hat, az antropogén hatásokra kialakuló folyamatok jelentőségét nem csökkenti, hogy fajok eltűnése természetes okokból is előfordul.

Ismereteink a természeti környezet károsodásáról még meglehetősen hézagosak. Keveset tudunk az élővilág rendkívül bonyolult egyensúlyi visz-onyairól, bizonytalan a hatások elviselhetőségének küszöbértéke, tisztázatlan a természetben mindig zajló spontán átalakulások és az ember előidézte válto-zások aránya. Nem meglepő, hogy gyakran csak a már bekövetkezett károk hívták fel a figyelmet a folyószennyezés, a savas eső vagy az üvegházhatás következményeire.

Tudásunk erősen függ attól, hogyan aránylik a következmények kialakul-ásának időtartama ahhoz a két-három évtizedhez, amióta a folyamatok céltuda-tos kutatása folyik. E tekintetben rövid, közép- és hosszú távú következmé-nyeket célszerű megkülönböztetni. Legtöbbet a néhány éven belül lezajló folyamatokról tudunk, melyek következményeit többnyire közvetlenül is érzékeljük. Veszélyes anyagok szállítási baleseteinél, kémiai technológiák üzemzavari emisszióinál, olajkutak kitörésénél viszonylag gyorsan fel lehet számolni a hatásokat és a következmények stabilizálódása is legfeljebb néhány évbe telik. A középtávú folyamatok a mintegy 70 éves emberi élettartamhoz mérhetők. Ebbe a kategóriába tartoznak a lassabb, kumulatív hatásokra bekö-vetkező átalakulások (pl. bányaművelés, folyószabályozás, élővizek szennye-zése következményei). Ez irányú ismereteink kezdenek összerendeződni, de nehezíti a kutatást a kölcsönhatások és szinergizmusok sokasága. A több generációt érintő tartósabb folyamatok – amilyen például az élővilág átalaku-lása vagy a globális klímaváltozás – megértésének még az elején tartunk az eddigi, viszonylag rövid megfigyelési idő miatt. A természeti károk egy része visszafordíthatatlan – a kipusztult fajokat, vagy a megbontott kőzeteket nem lehet újrateremteni. A helyrehozható természeti károsodás felszámolása is többnyire hosszú időbe telik és sokba kerül.

A legközvetlenebbül érzékelhető károsodást az élőhelyek elpusztítása okozza, ami az eredeti növény- és állatvilág kiszorítását jelenti egy adott tér-

ségből. Ilyen következménye van a létesítmények telepítésének, valamint a számottevő terület megbolygatásával járó külfejtéseknek és vezetéképitéseknek. A hatás nemcsak a létesítmény által elfoglalt területre terjed ki, hanem annak környezetére is, egyrészt a kapcsolódó közlekedési és egyéb infrastrukturális rendszerek révén, másrészt a környezeti feltételek módosulása (zaj, forgalom, szennyezés stb.) miatt. A következményeket a hulladékok elhelyezése is befolyásolja: a meddőhányók, zagyterek, ülepítő medencék és bányatavak által lefedett területeken a változások a biocönózisban belátható időn belül visszafordíthatatlanok.

A környezetszennyezésnek az élővilágra gyakorolt hatása gyakran többszörös áttételeken keresztül érvényesül, a legtöbb ismerettel a növények és a vízrendszerek károsodásáról rendelkezünk, a szárazföldi állatvilággal kapcsolatban kevés a tapasztalat. A növényvilág károsodását elsősorban a légkör és a talaj állapota, az állatvilágét főleg az ivóvíz és a táplálék minősége befolyásolja. A növényekbe káros anyagok a tápanyaggal juthatnak be, elsősorban a gyökereken keresztül, de a nagylevelű fajoknál (pl. levélzöldségek) a levélzet is szerephez jut. Az érzékenységet az energetika fontosabb légszennyezőire szemléteti a 37. táblázat.

A légszennyezés veszélyessége a növényekre általában



növekvő sorrend szerint alakul. Szinergizmusok és kölcsönhatások is fellépnek más károsító hatásokkal (kártévők, betegségek), a klímával és különféle anyagokkal is. A kumulatív jelleg miatt a tartós hatások szerepe nagyobb, mint a rövid idejű csúcsigénybevételé.

Az irodalomban sok összefüggés található a terméshozam és a légszennyezők immissziójának kapcsolatára (többnyire lineáris vagy kvadratikusan függvények), de azok mindig csak adott környezetben, egy meghatározott növényfajra érvényesek, a talaj, az éghajlat, a csapadékviszonyok és nem utolsósorban

37. táblázat

Fontosabb légszennyezők szerepe

Szennyező anyag	Erdők	Kultúrnövények	Természetes növények	Természetes állatvilág	Halállomány
SO ₂	xx	xx	xx	x	
NO _x	x	x	x	x	
NH ₃	x	x	x	x	
O ₃	xxx	xxx	xxx	x	
Összes sav	xxx	x	xxx	x	xxx
Összes N	xxx	x	xxx	x	xx

a növényfajta jelentős szerepe miatt más körülményekre nem ültethetők át. A haszonnövények terméshozamára a legnagyobb befolyása az ózonnak van, hatására bizonyos küszöbértéken felül számos fajta hozamának csökkenését tapasztalták. Az ózon főleg a membránok működését befolyásolja, reakcióképes gyökök létrehozatalával módosítja a molekulák kötéseit. Az ózon jelenléte fokozza egyes növények (dohány, fejes saláta, szója) érzékenységet a légszennyezők immissziójának növekedésére.

A kén-dioxid szerepéről ellentétesek a tapasztalatok, egyesek szerint csak nagy koncentrációban veszélyes, kis mennyiségben a kén hozamnövelő tápanyag, az SO_2 - és NO_2 -immissziót $15\text{--}30\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ alatt veszélytelennek tartják. Ugyanakkor a legtöbb haszonnövény terméshozama csökken, ha a talajközelen megnő a levegő kén-dioxid-koncentrációja. Az SO_2 bizonyos koncentráción felül a növények sárgulását idézi elő (klerózis), nagyobb koncentrációnál barnulás és kiszáradás következik be. A savas kémhatás következtében a növények leveleiben romlik a légzés, módosul a sejtfoliadék pH-ja, csökken az enzimaktivitás, módosul az aminosav-spektrum, pusztul a klorofil, ami a fotoszintézis csökkenésével és az ellenálló képesség romlásával jár. Az NO_2 hatása hasonló a kén-dioxidéhoz, de sokkal enyhébb. A becslések a terméshozam csökkenését $0,15\text{--}0,6\text{ t}$ biomasszára teszik a légszennyezők tonnánkénti mennyiségénél. A savas eső káros hatása egyes haszonnövényekre bizonyítottan tekinthető. Újabb kutatások több szennyező (O_3 , SO_2 , NO_2 , PAH, HF, savas eső) közül kettő vagy három egyidejű hatásának vizsgálatára irányulnak. A fluortartalmú vegyületek edzik a leveleket és ezzel a szén-dioxid-felvételt fékezik. A nyomelemek egy része (B, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Tl, V) növényméreg.

A növényvilágra a legjelentősebb hatása a talaj savasodásának van. Az aeroszokok és a savas eső a talaj, valamint a talajvíz savasodásán keresztül befolyásolja a növényvilág károsodását. A savasodás legfontosabb oka a kén-dioxid-emisszió, de szerepe kölcsönhatásban érvényesül egyéb tényezőkkel (talajminőség, mikroorganizmusok, más légszennyező anyagok – ózon, nitrátok), valamint a helyi sajátosságokkal (kártévők, időjárás, szinergizmusok stb.). A toxikus hatású fémek (Al, Hg, Cd, Pb stb.) vízben oldott vegyületei vagy disszociált ionjai a gyökereken keresztül felszívódva és biológiailag aktív vegyületekbe beépülve fejtik ki hatásukat. A kén szerepét különösen veszélyesnek tartják, ha a talajban feldúsulva reakcióba lép más anyagokkal, akadályozva a növények tápanyagellátását. Nagy kárt okozhatnak a kén reakciói a szerves kötésben levő fémalkotókkal, magnéziummal és főleg alumíniummal. Ha a talajban a pH értéke 4 alá csökken, az alumínium oldatba megy, ami kis koncentrációban is veszélyes a növények gyökérzetére, mert a tápanyagszállító szöveteket károsítja. A talaj pH-jának csökkenése következtében a savanyú közegben lényegesen módosulnak a mikrobiológiai életfeltételek, ennek nyomán megváltozik a talajban élő mikroorganizmusok és egyéb élőlények számaránya. A savas lerakódás tápanyagot képezve elősegítheti a kórokozók (rova-

rok, gombák) elszaporodását. Számottevő a nitrogén-oxidok és nitrátok szerepe is. A tápanyagot jelentő nitrogén felvételének képessége fajtánként eltérő, a több nitrogént feldolgozó növények nagyobb mértékben terjedhetnek el, kiszorítva más fajtaikat. A legfontosabb talajszennyezők (S, N) területi koncentrációjára g/m^2 nagyságrendet még veszélytelenek tartanak.

Egyes kutatók az erdőpusztulás legfőbb okát is a talaj savasodásában látják. A jelenségre az 1970-es években figyeltek fel, az északi féltekén az utóbbi 20 év alatt 20 nagy kiterjedésű erdőpusztulás fordult elő. Az erdőpusztulás mértékét általában a korona lombzatának csökkenésével jellemzik. A levélzet relatív ritkulásának aránya alapján az ép korona és a teljesen lepusztult korona között többnyire 5 fokozatból álló károsodási osztályokat állítanak fel. A faállomány gyarapodásának visszaesése és a korona ritkulása között egyértelmű a kapcsolat. A károsodás sokféle egyidejűleg érvényesülő hatás következménye, de az egyes hatások szerepének mértéke még vitatott. Az erdőpusztulás gazdasági, esztétikai és rekreációs jelentőségén túl a globális melegedés szempontjából is lényeges kérdés, mivel az erdők a levegő széndioxidjából a fotoszintézissel évente hektáronként több tonna karbont kötnek le, egyidejűleg mintegy kétszer ennyi oxigén kibocsátásával frissítik a levegőt. A károsodásban a fő szerepet a gyökérzetten keresztül felszívott anyagok – alapvetően a savas lerakódás és a nitrogén – játsszák. Egyes becslések szerint 1 t szulfátemisszió hatására 0,4–1,6 t biomasszával csökken a faállomány. A levélzetten keresztül a légszennyezés is szerephez juthat, bár a fák a légszennyezésre kevésbé érzékenyek, a kén-dioxid és ózon hatása csak az immisszió nagy értékénél ($>100 \mu\text{g/m}^3$, év) egyértelmű. A kén-oxidok és nitrogén-oxidok a fotoszintézis szerveit támadják meg, a levelekre kiüledő por a fotoszintézist akadályozva teszi tönkre a növényzetet. A folyamatok fajtánként is nagyon különbözőek, a hosszú élettartam miatt nehezen is követhetők, ezért az erdőpusztulásra nincsen elméletileg megalapozott, általánosítható összefüggés, a jelenségek erdőnként erősen eltérőek.

Nagyon behatóan vizsgálták az ionizáló sugárzás hatását. A környezetbe kiszóródott rövid felezési idejű radioizotópok a levélzetten keresztül fejtik ki hatásukat, a hosszú felezési idejűek a talajra kiüledve, a gyökérzetten keresztül. A tapasztalatok szerint hosszú idő alatt érvényesülő 100 mGy/nap-nál kisebb dózis nem okoz érezhető változást a növényeknél és vízi élőlényeknél. Az ionizáló sugárzás nagy dózisa az élő szervezetekben rendellenes életjelenségeket, esetleg teljes elpusztulásukat váltja ki. A csernobili katasztrófa ilyen közvetlen következményei az erőmű környezetében jelentkeztek. Az erőmű közelében kialakult >80 – 100 Gy γ -sugárzás hatására a fenyők teljesen, a lombos fák részben kipusztultak. A néhány km-es övezetben érvényesült 10–20 Gy γ -sugárzás az új hajtásokat elpusztította, a túlélő részekben elhaltak, a lombos fák deformálódtak. a nagyobb távolságban érvényesülő 4–5 Gy sugárzás visszavetette a növekedést, a fák egy része elszáradt. A különféle növények magvainak

csírázási hajlama 20 Gy felett megszűnt. A terméshozamot (Yield) felére csökkentő YD_{50} dózis 10-100 Gy nagyságrendű, a kipusztulás (Leathal) 50%-os valószínűségét jellemző LD_{50} dózis negyedénél hibás magok képződnek, 40%-a gátolja a növények virágzást, fele pedig már a növekedését is. Az életkor, a szárazság és más hatások szinergizmusban csökkentik a növények sugártűrését. A nagy területet érintő kései hatások ma még nem ítélték meg, mivel a talajra kiülededett radioaktivitás hosszú ideig érvényesíti hatását. Az eddigi tapasztalatok nem utalnak markáns elváltozásokra, a megfigyelési idő még nem elegendő annak eldöntésére, vannak-e maradandó utóhatásai a katasztrófának, a növényzet regenerálódása azonban meglepően gyorsan megindult, és néhány év után helyreállt az eredeti állapot. Tízegynéhány év után a hatóságok az erőmű környezetében enyhítették a mezőgazdasági hasznosítás korlátozását.

Kevés információval rendelkezünk a környezetszennyezés hatásáról az állatvilágra, a talajlakók életkörülményeit a talaj, a növényzettel szimbiózisban élőket, illetve a növényevő állatokét a növényzet állapota határozza meg, de az állatok egy része el is vándorolhat kedvezőbb élőhelyre. Az állatok a légszennyezésre kevésbé érzékenyek, mivel káros anyagok inkább a táplálékláncon keresztül épülnek be a szervezetükbe, mint a légzés révén. Ózon hatására tapasztalták néhány állatfaj mortalitásának növekedését, és egyes nyomelemekről (Be, Cd, Fe, Hg, Ni, Sb, Se, Tl) tudott, hogy kedvezőtlenül befolyásolják az állatok életműködését.

A tapasztalatok szerint hosszú ideig érvényesülő 1 mGy/nap-nál kisebb dózis nem okoz érezhető változást a szárazföldi állatoknál. Kis testű vadaknál genetikai mutáció is előfordult, de egyértelmű morfológiai változások nem bizonyíthatók. Az állatok közül a nagy testű emlősök bizonyultak a legérzékenyebbek, a sugárzás a szaporodást nagyobb mértékben érintette, mint az elhalást. Az LD_{50} dózis annál nagyobb, minél alacsonyabbrendű a faj, nagy emlősöknél 1,5-2,5 Gy, kis emlősöknél és madaraknál 5-20 Gy, hüllők és halak esetében 10-100 Gy és gerincteleneknél több 100 Gy. Csernobilnál tapasztalták gerinctelenek pusztulását, egyes fajoknál egy ideig csökkent a szaporodás.

A legkiterjedtebb kutatásokat a hidrobiológiai viszonyok tisztázására végeztek. A környezetszennyezés első felrázó erejű megnyilvánulása is az élet kipusztulása volt néhány jelentős folyóból (Rajna, Temze, Hudson), a savas esőre is az hívta fel a figyelmet, hogy az 1960-as években a Nyugat-Európából oda áramló savas égéstermékek kipusztították a skandináv tavak élővilágát (Norvégiában 1750 tó teljes halállománya kipusztult).

Az élővizek kémiai szennyezése a vízben élő szervezetek anyagcsere folyamatait zavarja meg, romlanak az alkalmazkodás és fennmaradás feltételei. A vízben feldúsuló káros anyagok következtében vagy a tápanyagok szükséges arányának megbomlása miatt az élővilág degradálódik, vagy teljesen ki is pusztulhat. A víz elszabadíthat mérgező fémeket (Cd, Zn, Pb, Cu, Cr, Al) is a környezetből, a tavakban a halpusztulás egyik okát az alumíniumionok dúsú-

lásával magyarázzák. Egymást erősítő szinergizmusok is tapasztalhatók – a vizek élővilága érzékenyen reagál például egyes oldott elemek (O, N, S, P) egymás közötti arányára. A túl sok tápanyag, mindenekelőtt foszfor és nitrogén feldúsulása elindítja – más fajok rovására – az algák mértéktelen szaporodását (eutrofizáció), a folyamat a rendszer oxigénellátásának összeomlására is vezethet, ami az élőlények életfeltételeinek megszűnését jelenti, az aerob lebomlás helyett anaerob bomlás, poshadás alakulhat ki. Sok körülménytől, így többek között a pH értékétől és a szerepet játszó elemek arányától függ, hogy e folyamatok bekövetkeznek-e és milyen mértékben. Egyes, a víz felszínén szétterülő rétegek (pl. olaj) megakadályozzák az oxigénfelvételt, megzavarva az élővilág normális anyagcseréjét. Az állatok bőrére rakódó olaj a normális életfunkciókat és a mozgást gátolja, a magazinok hálás témája a tartályhajó-szerencsétlenségeknél az olajjal borított vergődő madarak képe. A tapasztalatok szerint a vízi élővilág érzéketlenebb volt a radioaktív szennyezésre, mint a szárazföldi, 100 mGy/nap alatti dózis nem okozott érzékelhető hatást a vízi élőlényeknél. Említést érdemel, hogy a szélerőművek lapátai veszélyeztetik az arra repülő madarakat, különösen csapatos vonulásnál.

Anyagi károk

Az energetikai technológiák üzeme, üzemzavarai és környezetszennyezése jelentős anyagi károkat okozhat. A legnagyobb károkat az energetikai katasztrófák okozzák. A kár jelentős része magában a sérült létesítményben keletkezik, a pusztulás mértéke néha akkora, hogy nem érdemes a létesítményt helyreállítani. A nagy atomerőművi baleseteknél a tönkrement blokk értéke GUSD nagyságrendű, és hasonló mértékű a sérült reaktor lebontásának a költsége. A legtöbb műszaki katasztrófának csupán a közvetlen környezetre van romboló hatása, a nagyobb területet érintő hatások (pl. a vízár pusztítása egy gátszakadásnál, vagy egy interkontinentális gázvezeték robbanása) kivételesek. Nagy területet érinthetnek viszont az emisszióval járó katasztrófák, például a csernobili katasztrófa országrésznyi területeken tett használhatatlanná anyagi javakat, termőföldeket, bénított meg gazdasági tevékenységeket, aminek anyagi vonzata felmérhetetlen, a becslések TUSD-ra rúgnak. Szerencsére Magyarországon, az energetika területén ilyen típusú haváriák csak kis kiterjedéssel fordultak elő szénhidrogénkutak kitörésénél. Az energiaszállítási balesetek is okoznak anyagi károkat (tönkrement járművek, elsüllyedt hajók, szennyezett környezet, ütközés okozta kár, elvesztett energiahordozók), a legsúlyosabb szállítási kárt a tengeri tankerek szerencsétlenségei okozták, néha ezek kára is eléri a GUSD nagyságrendet.

Az energetikában nem ritkák a kisebb tüzek tüzelőanyagok öngyulladásá, villamos berendezések melege, villamos ívek, műanyagok (kábel-szigetel-

sek, burkolatok) lángra lobbanása nyomán. Robbanások is előfordulnak, a leg-súlyosabb kihatása a sűjtólégrobbanásoknak van a szénbányákban, de más létesítményekben is előfordulnak, főleg a földgázhasználathoz kapcsolódva.

A légszennyezés egyes alkotói erodeálják és korrodeálják az épületeket, a műtárgyakat, a szabadtéri berendezéseket és fémszerkezeteket. A legnagyobb szerepe a savas kémhatású légszennyezőknek van, de a folyamatokat lényege-sen befolyásolják helyi körülmények, mindenekelőtt a klíma is. A használható-ság megőrzése érdekében a keletkezett anyagvesztéseket a karbantartás során pótolni vagy ellensúlyozni kell, illetve a tönkrement elemeket cserélni kell. Kez-detben csak a felületi védőréteg sérül, hosszabb idő után szerkezeti hibák is kialakulnak, és a romlás olyan mértékűvé válhat, hogy a szerkezet ellenálló képességét elvesztve tönkre megy, esetleg katasztrofális körülmények között.

A légszennyezés – elsősorban a kén-dioxid-koncentráció, és kisebb mér-tékben a savas leülepedés az építőanyagokat erodeálja, ami egyrészt a szerke-zeti funkciókat, másrészt az esztétikai hatást érinti. Az építőanyagok többsé-ge mintegy 3 mm vastagságcsökkenés után javításra szorul, ami az anyagoktól függően 25-75 év után esedékes, de a művészeti és történelmi értékű építmények állagmegőrzését más követelmények szabják meg. Az erózió sebességét a légszennyező koncentrációján kívül befolyásolja a csapadék mennyisége, a hidrogénion-koncentráció, a légnedvesség, és egyes anyagoknál az ózon- és szén-dioxid-koncentráció is, a hatások kumulatívak. Az eróziós folyamatokat sok hatás (koromlerakódás, biológiai folyamatok, kondenzáció, párolgás, vízzárványok fagyása és olvadása) gyorsítja, előre-haladt állapotban mindez rétegződésre és repedésekre vezet. Az erózió ter-mészetesen erősen függ az építőanyag jellegétől. A jó minőségű vízzáró beton nagyon ellenálló, leginkább a savas hatások károsítják, felületén néha gipsz képződik kén-dioxid hatására. Ha a nedvesség hatolhat a beton belse-jébe, a szerkezeti vasak korrodeálnak, főleg szén-dioxid és klór jelenlétében. Ugyancsak nagyon ellenálló anyag a téglá is. A száraz falazatok nem romla-nak, a nedves falak érzékeny összetevője a habarcs, ami kalciumtartalma miatt savas hatásokra roncsolódik. A köveket sokféle hatás károsítja. Szén-dioxid és eső együttes hatására a felületen lemorzsolódó, lemosható réteg keletkezik, sók, savanyú kémhatású alkotók kémiai átalakulásokat indítanak el, ez mállásra, esetenként a felületen lemezes szerkezetű táskásodás kialaku-lására vezet, ami nedvesség hatására leválk. A szilíciumbázisú kövek ellenál-lóbbak, a mészbázisúak (mészke, márvány) érzékenyebbek a savas kiülepe-désre. A savas szennyezés a hagyományos festékreteget évente néhány mikronnal csökkenti, a műanyagbázisúak a légköri hatásoknak sokkal jobban ellenállnak. A külső felületekre kiülepedő szilárd szennyezés, valamint az azokon képződő rétegek elszínezik a felületeket, ami csökkenti a használati értéket (pl. romlik az ablakok átláthatósága), rontja az esztétikai benyomást, az elhasználódás jele csökkenti a forgalmi értéket.

Kárt okozhat maga az energetika építési tevékenysége is, különösen a nagymértékű anyagszállítással. A szállítási útvonalak fokozott elhasználódása, a közutak tönkremenetele és a nehéz járművek okozta épületkárok visszatérő jelenségei a nagy építkezéseknek.

A különféle fémes szerkezeti anyagok eltérő módon reagálnak a légszennyezőkre, az előidézett változás lehet anyagcsökkenés, vagy anyagnövekedés a felületen, illetve reakciók az anyag belsejébe. A legtöbb esetben a kén-dioxidnak van a legnagyobb hatása, kisebb a savas eső jelentősége. Az NO_x szerepe még tisztázatlan, valószínűleg a kén-dioxid hatásának erősítése a legfontosabb. Az ózonnak is van szerepe az erózióban, különösen a festékek, műanyagok, gumi romlásában.

A felületen kialakuló oxidrétegek miatt a fémes szerkezeti anyagok korróziójának sebessége többnyire csökken a folyamat előrehaladtával. Mind az immisszió, mind a felületre kiülepedett szennyező réteg sűrűsége befolyásolja a folyamatokat. A fémek korróziója elektrokémiai folyamat, amiben többnyire a kén-dioxid a főszereplő nedvesség jelenlétében. Az acél és a vas védőréteg (horgany, festék) híján érzékeny a légköri szennyezésre. Az acél korróziója az első évben 20–50 μm , a későbbiekben közel arányos az idő négyzetgyökével. A horgany a kén-dioxidra érzékeny, korrózióját nitrogén-oxid és ózon gyorsítja. A rezet patina, az alumíniumot oxidréteg védi a korrózió előrehaladásától. Az alumínium az egyik legellenállóbb szerkezeti anyag, melyen a kén-dioxid csak pontkorróziót okoz, de klórnak és savas aeroszolnak nagyobb a hatása. Ugyancsak ellenálló anyag az ólom is. A festékeket főleg az ultraibolya fény és az oxidánsok (főleg az ózon) veszélyeztetik, de a jó műanyagalapú védőfestékek nagyon ellenállóak. Ha viszont a felületük sérült, a repedésen keresztül korróziót elindító kén-dioxid vagy ózon juthat be az alaphoz.

A környezetszennyezés a mezőgazdaságban, illetve a levegő vagy a víz minőségére kényes ipari technológiákban (elektronika, finomvegyszer-gyártás, gyógyszeripar) termelési veszteségeket is okozhat, a minőség romlását, vagy a tevékenységek beszűkülését idézve elő. Az egészség veszélyeztetése esetén a hatóságok meg is tilthatják élelmiszerek és ivóvíz fogyasztását, bizonyos területek hasznosítását, leállíthatnak mezőgazdasági és élelmiszer-ipari termelési tevékenységeket. Súlyos katasztrófáknál sor kerülhet a lakosság átmeneti vagy tartós kitelepítésére, esetleg áttelepítésére, ami nemcsak az érintettek életvitelét érinti súlyosan, hanem jelentős társadalmi költségvonzata is van a szükséges lakás-, munka- és infrastrukturális feltételek biztosítása, az egészségi ellátás, valamint a kárelhárítás miatt. Ukrajna még ma is állami költségvetésének 7%-át költi évente a csernobili katasztrófa következményeinek enyhítésére, a becsült kumulált ráfordítás 2006-ig eléri a 130 GUSD-t.

Az okozott anyagi károknak természetesen jogi következményei is vannak. A vállalatok körültekintő szerződésekkel és biztosításokkal igyekeznek kártérítési terheiket enyhíteni. A nukleáris katasztrófák okozta károkért viselt

felelősséget nemzetközi megállapodások is szabályozzák (erről lásd az *Energetika és társadalom* c. fejezetet).

Irodalom

- Aktuális adatok a levegőtisztaság-védelemről. Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium, Budapest, 1997.
- Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants*. International Nuclear Safety Advisory Group, SS No. 75-INSAG-3, IAEA, Vienna 1988.
- Benign Energy? The Environmental Implications of Renewables*. OECD, Paris, 1998.
- Bódizs, D., Gáspár, L., Keömley, G.: Radioaktív emisszió széntüzelésű erőművekből. *Fizikai Szemle* 42, 135 (1992).
- Creation of an Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Toronto, 1988.
- European Commision: *ExternE, Externalities of Energy*. EC DG. XII, Brussels 1995.
- Fritsche, A. F.: *Gesundheitsrisiken von Energieversorgungssystemen*. TÜV Verlag, Köln, 1988.
- Haszpra L.: A légköri CO₂-koncentráció mérésének legújabb eredményei. *Magyar Tudomány*, 45. (2) 207. 2000.
- Health and Environmental Impacts of Electricity Generation Systems. *Techn. Rep. Series*, No. 394. IAEA, Vienna, 1999.
- International Energy Agency: *World Energy Outlook*. OECD, Paris, 1998.
- Intervention Criteria in a Nuclear or Radiation Emergency*. IAEA, Safety Series, No. 109, Vienna 1994.
- Kovács E.: Új nemzetközi megállapodás a levegőtisztaság-védelem területén. *Energiagazdálkodás*, 41. (3) 27. 2000. (Jevyzőkönyv a savasodás, az eutrofizáció és a talaj közeli ózon csökkentésére, Göteborg, 1999.)
- Mészáros E.: *Levegőkémia*. Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém, 1997.
- Nuclear Energy Agency: *Chernobyl, Ten Years on Radiological and Health Impact*. OECD, Paris, 1995.
- One decade after Chernobyl: environmental impact and prospects for the future*. IAEA J1-CN-63, Vienna, 1996.
- Prospects and Challenges. UNDP, New York, 1997.
- Reményi K.: A magyar hibrid-fluid tüzelés. *Energetika* 3. (3) 2. (1995).
- Sustainable development and nuclear power*. IAEA, Vienna, 1997.
- Tajthy, T., Tár M.: *Nehézfém-kibocsátások alakulása Magyarországon*. KGI Környezetvédelmi Intézet, Budapest, 1997.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: *Effects of Radiation on the Environment*. IAEA, A/AC 85 R 549, Vienna, 1995.
- Vajda Gy.: *Kockázat és biztonság*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1998.
- Vajda Gy.: Új kihívás az energetikában: az üvegházhatás és fékezésének módszerei *Magyar Kémikusok Lapja*, 48. (10–11) 430, 1993.
- Villamos energia statisztikai évkönyv*, 1996. Magyar Villamos Művek Rt., Budapest, 1997.
- World Commission on Environment and Development: *Our Common Future (Report of the Brundtland Com.)* Oxford University Press, 1987.

Jogszabályok

1995. évi LIII. törvény a környezet védelmének általános szabályairól.

Légszennyezés

88/609/EEC Council Directive of 24 November 1988 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from large combustion plants; Proposal of the Commission for an amending to the directive, 8 July 1998.

96/61 EC Council Directive of 24 September 1996 concerning integrated pollution prevention and control; 93/12 EEC Council Directive of 23 March 1993 relating to the sulphur content of certain liquid fuels.

21/1986. (VI. 2.) MT rendelet a levegő tisztaságának védelméről, módosítva a 97/1995. (VII. 24) kormányrendelettel, 4/1986. (VI. 2.) OKTH-rendelet a levegő tisztaságának védelméről szóló 21/1986. (VI. 2.) MT rendelet végrehajtásáról, 5/1990. (XII. 6.) NM rendelet a légszennyező anyagokról, a levegőminőségi határértékekről és a légszennyezettség méréséről.

1/1980. (II. 6.) OKTH-rendelet a levegő védelmének az atomerőművel kapcsolatos szabályairól.

22/1998. (VI. 26.) KTM rendelet az 50 MW_t és az ennél nagyobb hőteljesítményű tüzelőberendezések légszennyező anyagainak kibocsátási határértékeiről.

21/2001. (II. 14.) kormányrendelet a levegő védelmével kapcsolatos egyes szabályokról.

A környezeti levegő tisztasági követelményei. Magyar Szabvány, MSZ 21854, Budapest, 1990.

Convention for the Protection of the Ozone Layer, Vienna, 1985, realizáló határozatok: MT: 31/1990. (II. 16.), 35/1990. (II. 28.); Kormány: 141/1991. (XI. 2.), 67/1995. (VI. 13.) KTM: 13/1992, 22/1993, 19/1994, 28/1994.

Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, Geneve, 1979, közzétéve 1984. évi OKTH-közléménnyel.

Protocol Concerning the Control of Emissions of Nitrogen Oxides or their Transboundary Fluxes. Sofie, 1988.

Protocol Concerning the Control of Emissions of Volatile Organic Compounds or their Transboundary Fluxes. Genf, 1991, kihirdetve 218/1995 (X. 13.) köztársasági elnöki határozattal.

Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. Montreal, 1987, The First Enhancement of Emission Control of the Ozone Depleting Substances. London, 1990, The Second Enhancement. Koppenhagen, 1992, The Third Enhancement, Vienna, 1995.

Protocol on the Convention on Climate Change. Kyoto, 1997.

Protocol on the Reduction of Sulphur Emissions or their Transboundary Fluxes by at least 30 per cent. Helsinki, 1985; Protocol to the 1979 Convention on Long Range Transboundary Airpollution on Further Reduction of Sulphur Emission. Oslo, 1994.

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), New York, 1992, kihirdetve: 102/1993. OGY határozat; 1995. évi LXXXII. törvény; 1995. évi LXXXII. törvény az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezmény kihirdetéséről.

Vízszennyezés

1995. évi LVII. törvény a vízgazdálkodásról.

Convention on the Protection and Use of Transboundary Watersources and International Lakes. Helsinki, 1992.

Rendelkezés a szennyvízbírságról. Országos Vízügyi Hivatal, 3/1989.

- 102/1996. (VII. 12.) kormányrendelet a veszélyes hulladékokról; 233/1996. (XII. 26.) kormányrendelet a veszélyes anyagokkal és veszélyes készítményekkel kapcsolatos eljárás szabályairól, módosítva: 143/1997. (IX. 3.) kormányrendelettel; 4/1997. (II. 21.) NM rendelet a veszélyes anyagokkal és veszélyes készítményekkel kapcsolatos eljárásról szóló 233/1996. (XII. 26.) kormányrendelet végrehajtásáról.
- 62/1997. (XI. 26.) IKIM rendelet a földtani és bányászati követelményekről a nukleáris létesítmények és a radioaktív hulladék elhelyezésére szolgáló létesítmények telepítéséhez és tervezéséhez.

Balesetelhárítás

- 146/1992. (XI. 4.) Kormányrendelet a környezetre jelentős hatással bíró villamos és hőenergia fejlesztésére szolgáló berendezések létesítése egyes kérdéseinek átmeneti szabályozásáról.
- 30/1994. (X. 6.) KTM rendelet egyes környezetvédelmi és építésügyi szabványok kötelezővé nyilvánításáról; 30/1994. (XI. 8.) IKM rendelet egyes nemzeti szabványok kötelező alkalmazásáról.
1999. évi LXXIV. törvény a katasztrófák elleni védekezés irányításáról, szervezetéről és a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek elleni védekezésről.
- 248/1997. (XII. 20.) kormányrendelet az Országos Nukleárisbaleset-elhárítási Rendszerről.
- 31/1999. (VI. 11.) GM-KHVM együttes rendelet az elektromágneses összeférhetőségről, módosítva 58/1999. (X. 27.) GM-KHVM rendelettel.
- 14/1997. (IX. 3.) KHVM rendelet a radioaktív anyagok szállításáról, fuvarozásáról és csomagolásáról, módosítva a 11/2000. (XI. 10.) KöViM rendelettel.
- Convention on Assistance in the Case of a Nuclear Accident or Radiological Emergency, Vienna, 1986; 29/1987. (VIII. 9) MT rendelet a Bécsben, 1986. szeptember 26-án aláírt, a nukleáris baleset, vagy sugaras veszélyhelyzet esetén való segítségnyújtásról szóló egyezmény kihirdetéséről.
- Convention on Early Notification of a Nuclear Accident, Vienna, 1986; 28/1987. (VIII. 9) MT rendelet a Bécsben, 1986. szeptember 26-án aláírt, a nukleáris balesetekről adandó gyors értesítésről szóló egyezmény kihirdetéséről.
- Convention on Nuclear Safety, Vienna, 1994; 1997. évi I. törvény a nukleáris biztonságról a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség keretében Bécsben, 1994. szeptember 20-án létrejött egyezmény kihirdetéséről.

Egészségkárosodás

Az energetika veszélyeinek megítélésénél figyelembe kell venni, hogy minden emberi tevékenység kockázattal jár együtt, ennek következtében nem léteznek tökéletesen veszélytelen technikai megoldások sem. Civilizált világunkban szinte mindig és mindenütt technikai eredetű veszélyforrások tömege vesz bennünket körül. A paletta rendkívül széles: az elromlott vasúti fénysorompótól egy nukleáris katasztrófaig, a táplálékunkba felszívódott növényvédő szektől a Föld légköri egyensúlyának meg bomlásáig. A veszélyes hatások fenyegethetik közvetlenül az emberek egészségét, testi épségét és életét, vagy érvényesülhetnek közvetve a természeti környezet, az anyagi javak és a társadalmi viszonyok károsításával, befolyásolva az életkörülményeket. A technikai eredetű baleseteket közvetlenül érzékeljük, a betegségeknel és az idegrendszer túlterhelésénél az oksági kapcsolatok már nem mindig nyilvánvalóak. Az életkörülményeket befolyásoló természetkárosító folyamatok részleteiről ismereteink még bizonytalanok, a társadalmi következményekhez vezető szálak pedig gyakran rejtve vannak.

Az energetika veszélyei az utóbbi időben a társadalmi figyelem középpontjába kerültek, elsősorban a környezeti ártalmak és néhány katasztrófa hatására. A társadalom igyekszik az ártalmak kockázatát minél lejjebb szorítani, az egészségkárosító hatások megfelelő anyagi ráfordításokkal az energiaellátás minden módjánál csökkenthetők. A társadalom gazdasági erejétől függ, mekkora erőforrásokat képes erre fordítani. A gazdag országok sokat áldoznak az emberek egészségének megőrzésére, a biztonság növelésére, a balesetek elkerülésére, törekvésük a tiszta levegő, a jó minőségű ivóvíz biztosítása, még az üvegházhatás mérséklését is finanszírozzák. A legszegényebb országokban viszont az elemi életfeltételek megteremtése is gond, a környezeti katasztrófák megakadályozására sem jut erő, gyakran önpusztító gazdálkodással felégetik az erdőket, az energiaigények fedezésére eltüzelik a humuszréteget megtartó cserjéket, a talaj termőerejét fokozni képes trágyát. A hazai erőfeszítések az ártalmak csökkentésére jelentősek, de korlátozott anyagi lehetőségeink miatt lemaradásunk – elsősorban a környezetszennyezés csökkentésében – még számottevő.

Fontos, hogy korlátozott anyagi lehetőségeinket a legtöbb károsodást okozó ártalmak csökkentésére összpontosítsuk. A közvélemény néha véletlenszerűen előtérbe kerülő ügyekben nagy ráfordítással is csak kis kockázatcsökkentést eredményező intézkedéseket kényszerít ki, míg azzal az erővel más területeken lényeges javulást lehetne elérni.

Az ártalmak jellege

Az emberi egészséget, testi épséget, életet veszélyeztető ártalmakat okozhatják heveny traumatikus hatások (pl. mechanikai erők, égés, áramütés), a szervezetbe került anyagok, a testszövetekben elnyelt energia és az idegrendszeret érő ingerek. Ezek fizikai, kémiai, biológiai hatásainak következményei lehetnek szervek sérülései, lehetnek betegségek, érzékszavarok, genetikus változások, sőt még tudatzavarok is. A következményeknek sokféle kimenete fordul elő: életvesztés, rokkantság, akut vagy krónikus betegség, neurózis, személyiségzavar, utódok károsodása stb. (38. táblázat).

A következmények időbeli alakulása meglehetősen változatos. A balesetek egy részénél a következmény gyorsan bekövetkezik, időben majdnem egybeesik a hatással, más részénél viszont a kimenet a szervezet ellenálló képességétől és a gyógykezelés sikerétől függően jelentős késéssel alakul ki. A rák és néhány foglalkozási ártalom hosszú – esetleg több évtizedes – lappangási idő

38. táblázat

Ártalmak lehetséges kimenete

Következmény	Következmény jellege	Kimenetek	Példák a kiváltó okra
Elhalálozás	azonnali	gyors elhalálozás	traumatikus sérülés, égés, áramütés, mérgezés, sugárbalet, fulladás
	későbbi	meghatározott időn belül	
		hosszú idővel a hatás után	rák, krónikus szervi betegség
Nem halálos baleseti sérülés	maradandó	csonkulás, mozgáskorlátozás, érzékszervek sérülése, feltűnő torzulás	traumatikus sérülés, áramütés, égés
	múló	átmeneti munkaképtelenség	gyógyuló sérülés
Egészségkárosodás	maradandó	rák, krónikus szervi betegség, mozgásszervi ártalom, csökkent érzékelőképesség, csökkent teljesítőképesség	foglalkozási ártalom, környezet-szennyezés, rossz minőségű táplálék és ivóvíz
	múló	gyógyítható ártalom	regenerálódó betegség
Pszichés zavar	maradandó	elmezavar, személyiségváltozás, tudatzavar, frusztráció, agresszivitás, kooperativitás hiánya	trauma, szélsőséges és tartós ingerek (fény, zaj, bűz, rezgés), környezetszennyezés
	múló	szorongás, félelem, pánik, csökkent ítélő- és cselekvőképesség	stressz, sokkhatás
Utódok károsodása	tartós állapot	fejlődési rendellenesség, szervi elváltozások, értelmi fogyatékoság, csökkent képességek	magzatkárosodás (teratogén hatás), ivarsejtek károsodása (genetikai mutáció)

után mutatkozik, a genetikus mutációk csak későbbi generációknál jelentkeznek. Vannak kumulált hatásokra kifejlődő következmények, ilyen számos betegség (pl. légzőszervi ártalmak), ez jellemzi a mérgek felhalmozódását is. Más esetben a következmény feltétele, hogy hosszú időn keresztül érvényesüljön a hatás (pl. az idegrendszer terhelése).

A kimenetek súlyossága a hatás mértékétől és az érintett személyek szervezetének ellenálló képességétől függ. Az utóbbi sok paraméter – genetikus adottság, életkor, nem, egészségi állapot, táplálkozás, életmód, anyagi helyzet, életkörülmények stb. – függvénye, így az ártalmak kimenete személyfüggő. Ezért mérvadó információkat csak nagyszámú eset statisztikai feldolgozása szolgáltat. A veszélyesség a legszemléletesebben a kockázattal jellemezhető, amit többféleképpen lehet értelmezni. A legegyszerűbb a statisztikák alapján meghatározni, hogy a társadalom egy kiválasztott csoportját (egy üzem dolgozóit, egy település lakosait, egy foglalkozás képviselőit) valamilyen hatás következtében milyen mértékű károsodás éri, a kockázatot az egy főre eső következmények vagy kimenetek gyakorisága jellemzi. Ilyen adatokat közölnek például a baleseti statisztikák szakmák, balesettípusok, okok és más jellemző szerint csoportosítva, valamint a megbetegedések valószínűségére és eredetére vonatkozó epidemiológiai vizsgálatok. Egy további lehetőség a kockázat meghatározása valamilyen eseményhez (üzemzavar, katasztrófa, kritikus művelet) kapcsolódva. Az egyéni kockázat legáltalánosabb értelmezése a vizsgált következmény, illetve kimenet évenkénti valószínűsége, vagy ami ezzel egyenértékű, ezekből hány érintett személyre esik évente egy.

A hatásvizsgálatok gyakran nemcsak múltbeli eseményekre vonatkoznak, hanem feltételezett jövőbeli fejleményekre is, amihez analógiákra, modellekre támaszkodó számításokkal becsülik meg a kimenetek valószínűségét. Súlyos kimenetű események kockázatát az esemény bekövetkeztének valószínűsége és az ehhez tartozó kimenetek valószínű mértékének szorzatával értelmezik. Bonyolult, nagyon sok elemből álló rendszerek kockázatának vizsgálatára sokféle eljárást fejlesztettek ki. A legigényesebb a valószínűségi kockázatelemzés (Probabilistic Risk Analysis, PRA), illetve az ennek komplementerét jelentő valószínűségi biztonságelemzés (Probabilistic Safety Analysis, PSA), melynek módszerei külön tudománnyá fejlődtek. A meghibásodások valószínűségét és következményeit a Bool-algebra módszereit alkalmazó hibafákkal, az események logikai következményeit eseményfákkal írják le, és a lehetséges kezdeti események következményeinek összegzésével állapítják meg az eredő valószínűséget. Ilyen módon elemzik a környezetet érintő nagyon súlyos üzemzavarok valószínűségét és lehetséges következményeit (pl. nukleáris létesítményeknél, robbanásveszélyes berendezéseknél, kockázatos kémiai technológiáknál).

Az energetikai tevékenységeknek egyidejűleg sokféle hatása is érvényesülhet többféle következménnyel, melyek nem is mindig azonos embercsoportot

érintenek. Ilyenkor az egyes hatásokra és kimenettípusokra elkülönítve lehet csak értelmezni a kockázatot. Érdemes viszont bevezetni a társadalmi kockázat fogalmát, a különféle – meghatározott időtartam során fellépő – következmények egyféle kimenetének összegével. Például a villamosenergia-ellátás halálos kimenetének társadalmi kockázata a teljes technológiai vertikumban (lásd a 43. ábrát a 136. oldalon) a balesetek, munkahelyi ártalmak, környezet-szennyezés, áramütés stb. okozta elhalálozások számának összege. Különböző változatok összehasonlításának megkönnyítésére érdemes relatív mutatókat képezni, a kimenetek összességét a tevékenység valamely jellemzőjére – például a szolgáltatott villamos energia mennyiségére – vetítve.

Kényes kérdés, hogy a társadalom az ártalmak és kockázatok milyen mértékét tekinti elfogadhatónak. Tökéletes védettség nem létezik, azt még egy tevékenység eltiltása sem biztosítja, mert akkor a társadalmi szükséglet kielégítetlensége okoz kedvezőtlen következményeket. Az egészségi ártalmakat okozó hatások megengedett határértékei sem garantálnak tökéletes védelmet. A határértékek a kockázatnak egy társadalmilag elfogadható szintjére kialakított kompromisszumot tükröznek, a reális műszaki és gazdasági lehetőségek figyelembevételével, így nem zárják ki a károsodás bizonyos valószínűségét. A legveszélyeztetettebbek valószínűleg a legkevésbé ellenálló szegény, beteg, öreg populációk lesznek. Ez egyben egy komoly morális problémát is jelent, hiszen a határértékkel valószínűségi alapon, burkoltan tulajdonképp kijelölik a károsítható személyek számát is. Van-e erre a társadalomnak jogosítványa?

A veszélyes hatásoknak kitett személyek helyzetétől és szerepvállalásától függően meg kell különböztetni önként vállalt és kényszerűen elviselt veszélyeket, illetve kockázatokat. Az emberek a veszélyek egy részét – nem mindig tudatosan – de önként vállalják, mint munkavállalók, lakosok, a közlekedés résztvevői stb. A munkavállalás során ritkán veszik fontolóra, hogy az milyen munkahelyi ártalmakkal vagy üzemi baleseti kockázattal jár, csak az átlagosnál jóval veszélyesebb foglalkozásoknál (pl. mélybányákban, robbanás- vagy sugárzásveszélyes munkahelyeken) kérdés, hogy a nagyobb jövedelem vagy más előnyök (munkaidő-kedvezmény, alacsonyabb nyugdíjkorhatár, több szabadság) ellensúlyozzák-e a nagyobb kockázatot.

Az önként vállalt veszélyeket az emberek hajlamosak lebecsülni, túlságosan bízva szervezetük ellenálló képességében, illetve szakmai felkészültségükben és ügyességükben, ráadásul a megszokás is tompítja a veszélyérzetet. A toleranciaküszöb magasra emelése ugyanakkor a szervezet önvédelme is, mert a félelem és szorongás lebénítja a cselekvőképeséget. Ilyen körülmények között az egyéni judícium nem megbízható, a fejlett társadalom az emberek segítségére siet a veszélyek korlátozásával.

A tőlünk függő kategóriába tartoznak azok a veszélyek is, amelyeket az emberek nem önként, tudatosan vállalnak, hanem az érintettek akaratlanul idéznek elő, gyakran másokat is veszélyeztetve. Ezek legfőbb ismérve tudat-

lanság és fegyelmezetlenség, csökkenésüket csak az iskolázottság és az általános kulturális színvonal jelentős emelkedésétől várhatjuk. Nyílt láng használata robbanásveszélyes térségben, mérgek és élelmiszerek együttes tárolása, tartózkodás és mozgás kis teherbírású, labilis szerkezeteken vagy azok alatt, metilalkohol fogyasztása és sok más, a józan észnek ellentmondó magatartás váltja ki e balesetek jelentős részét.

A veszélyek egy másik részét azonban nem önként vállalják az emberek, azokat mások cselekvése kényszeríti rájuk, erre a legtöbb példát a környezeti ártalmak szolgáltatják. Az emberek a mások által előidézett veszélyekre a legérzékenyebbek. A kívülről rákényszerített, többnyire kiszámíthatatlan mértékű kockázat ingerültséget és szorongást vált ki, a fenyegetettség hatására az emberek hajlamosak túlbecsülni a veszély nagyságát. Frusztráló hatásuk befolyásolja az egyének magatartását, pszichikai terhelhetőségét és bizonyos mértékig teljesítőképességét is. Még ha a veszély nem is valós, a rettegés a vélt veszélytől súlyos lelki és biológiai károsodást válthat ki. A személyiség- és magatartászavarok életminőséget csökkentő hatása gyakran meghaladja a biológiai károsodás súlyát. Emellett szomatikus következményeik sem jelentéktelenek: a rettegés az ismeretlentől keringési zavarok, anyagcsere-problémák oka lehet. A csernobili katasztrófánál az életvitelt megzavaró áttelepítés és az ismeretlen mértékű sugárterhelés okozta szorongás nagy tömegeknél idézett elő ilyen következményeket. A pszichés zavar további veszélyek forrása lehet, példa erre egy veszélyes üzem pánikba esett operátora vagy egy nem beszámítható járművezető.

A halálos kockázat szubjektív toleranciaküszöbe, vagyis az elhalálozás évenkénti valószínűségének elviselt felső határa a tapasztalatok szerint a kényszerűen elviselt kockázatoknál nagyságrenddel alacsonyabb (10^{-4} – 10^{-5} /év), mint az önként vállaltaké (10^{-3} – 10^{-4} /év). A toleranciaküszöb annál magasabb, minél enyhébb kimenetre vonatkozik. Újabb morális dilemmával szembesülünk: elvárhatja-e a társadalom, hogy emberek – esetleg kimondott tiltakozásuk ellenére – elviseljenek mások által rájuk kényszerített veszélyeket, környezet-szennyező vagy veszélyes létesítmények miatt? (A probléma ellentettje sem érdektelen: szabad-e védeni az embereket saját magukkal szemben, kitelepíthető-e valaki akarata ellenére egy veszélyes övezetből, betilthatók-e a veszélyes szórakozások, kötelezhető-e a biztonsági öv használata, ha az frusztrálólag hat stb.). Az ilyen típusú problémák feloldása mindig az, hogy az egyéni érdeket alá kell rendelni a közösség érdekének, a közösségtől pedig elvárható az egyéni érdekek optimális szem előtt tartása.

A műszaki létesítményeknek nemcsak közvetlen egészségkárosító szerepe érdemel figyelmet, hanem az életkörülményeket otthonunkban, munkahelyünkön és másutt kedvezőtlenül befolyásoló különféle közvetett hatások is, például zaj, bűz, rezgések, fényhatások, forgalom stb. formájában, vagy a környezet képeinek tönkretételében. Az ingerküszöböt meghaladó tartós

hatásuk idegesítő, ami nemcsak a komfortérzetet rontja, hanem az idegrendszer terhelése befolyásolhatja az emberek teherbírását, ellenálló képességét, egészségi állapotát. Stresszt okozhat az energiaellátás rossz minősége, vagy hiánya is, például az ellátó rendszerek gyakori üzemzavara, a villamos hálózatnak a háztartási eszközök használatát lehetetlenítő alacsony feszültsége stb.

Az egészségkárosodás vizsgálatánál célszerű különválasztani az energetikai létesítmények munkavállalóinak ártalmait a kívülálló lakosság károsodásától. Ennek egyik indoka a hatások eltérő jellege, a lakosságot leginkább a környezetszennyezés veszélyezteti, a munkavállalókat elsősorban az üzemi balesetek és a munkahelyi ártalmak. Megjegyzendő, hogy a szennyező üzemek dolgozói gyakran a létesítmény közelében laknak, ezért mint lakosok is a környezeti hatásoknak fokozottabban kitett személyek közé tartoznak. A megkülönböztetés másik indoka, hogy a lakosság ártalmait a társadalom súlyosabban ítéli meg és szigorúbb előírásokkal védi a gyakran nem is közismert hatásokkal szemben. Ezzel ismeri el, hogy míg az üzemi személyzet ártalmait a foglalkozással együtt járó, tudatosan vállalt veszélyek következményei, melyek ismeretében adottak a célszerű aktív védekezés lehetőségei, a kívülálló a kényszerűen elviselt hatásoknak kiszolgáltatott helyzetben vannak.

Egy fejlett társadalom az egészségkárosodás megelőzésére törekszik. Ennek érdekében számos jogszabály rögzíti a követelményeket és a teendőket. Az előírások betartását különféle hatóságok ellenőrzik és felügyelik. Azonban az érintettek együttműködése nélkül a legkorszerűbb jogszabályrendszer és a legátgondoltabb hatósági tevékenység sem tölti be a feladatát. Sajnos a legtöbb bajt az emberek vigyázatlan, könnyelmű magatartása idézi elő, az óvó rendszabályok megsértése, az üzemviteli utasítások és a készülékek kezelési utasításának figyelmen kívül hagyása, a veszélyek lebecsülése, mások biztonságának veszélyeztetése. Ezért elengedhetetlen a tudatformálás, az oktatás, nevelés, tömegtájékoztatás különféle csatornáin keresztül.

Balesetek

A legeggyértelműbb képünk a balesetek okozta ártalmakról van. Közös vonásuk, hogy a többnyire rövid ideig tartó, hirtelen, erőszakos hatásuk meghaladja az érintett emberi szervek vagy szövetek ellenálló képességét. A baleseteknek sokféle oka lehet (hibás magatartás, szerkezetek tönkremenetele, tűz, robbanás, veszélyes anyagok kiszabadulása stb.). A legtöbb balesetet mechanikai erőhatások idézik elő: emberek vagy tárgyak esése, mozgó tárgyak ütése, fluidumok nagy sebességű áramlása, nagy nyomás vagy nyomáskülönbség, sérülés éles vagy hegyes eszközöktől. Sérülések előidézője lehet sokféle más fizikai és kémiai hatás is: égés, fagyás, mérgezés, áramütés, sugárbaleset, vegyi behatások, nagyon erős fény vagy zaj, sőt még a stressz is előidézhethet balesetet.

A baleseti ártalmak többnyire azonnal fellépnek, de néha az érzékelhető tünetek kifejlődéséhez hosszabb idő szükséges (pl. belső vérzés vagy az agy károsodása következtében). A súlyos balesetet szenvedettek állapotának stabilizálódásához is hosszabb időre lehet szükség. Ezek is szerepet játszottak abban, hogy míg korábban a statisztikusok 1 napon belüli elhalálozás esetén minősítették a közlekedési baleseteket halálos kimenetűnek, 1970 óta 1 hónapot tekintenek mérvadó időnek. Munkabaleseteknél a három hónapon belüli elhalálozás a mérvadó, ha a halál és a baleset közötti összefüggést orvosi szakvélemény támasztja alá. Egyes hatásoknál az ártalom csak hosszú lappangási idő után nyilvánul meg (pl. az ionizáló sugárzás kiváltotta rák néhány típusa sok év, esetleg egy-két évtized múlva). Természetesen minél hosszabb a trauma óta eltelt idő, annál bizonytalanabb az ok és okozat közötti kapcsolat, mivel közben más hatások is érhetik a szervezetet, és a történéseket aligha lehet pontosan követni.

A balesetek okaira, jellegére, kimenetére és különféle szempontok szerinti csoportosítására sok statisztikai adat áll rendelkezésre. Legmegbízhatóbbak a halálos balesetek adatai, ugyanis ezek bejelentését és nyilvántartását szigorú előírások szabályozzák, az adatokat rendszeresen közzéteszik különféle szempontok (jelleg, ok, hely, érintettek jellemzői) szerint csoportosítva. Kevesebb adat áll rendelkezésre a balesetek okozta nem halálos, de súlyos következményekről (rokkantságról, maradandó egészségkárosodásról vagy az életidő csökkenéséről). A legteljesebb az egészségügyi hálózat, mindenekelőtt az elsősegélyt nyújtó mentőszolgálat adatgyűjtése, a társadalombiztosítás statisztikája csak a biztosítottakra terjed ki. Jogilag súlyos következménynek tekintik a súlyos csonkulást (a hüvelykujj elvesztése, vagy a kézen, illetve lábon legalább két ujj csonkulása vagy ennél nagyobb veszteség), érzékszerv vagy érzékelőképesség elvesztését, a beszélőképesség elvesztését, bénulást, elmezavart, feltűnő torzulást, az életveszélyes sérülést, illetve egészségkárosodást. A rokkantsági nyugdíjak, illetve járadékok megállapításához a rokkantság mértékét kategorizálják aszerint, hogy a rokkant gondozásra szorul-e, munkaképességét teljesen vagy részlegesen veszítette-e el. Ezzel kapcsolatos adatok a társadalombiztosítás és a biztosító intézetek kimutatásaiból nyerhetők. A balesetek okozta gyógyuló sérülésekről és betegségekről bizonytalanok az információk. Ugyan az üzemi balesetekre és munkahelyi ártalmakra bejelentési kötelezettség vonatkozik, de annak csak részlegesen tesznek eleget (a KSH becslése szerint az esetek felére). A vállalatok arculatukat féltik a munka veszélyességének benyomását keltő információktól, a munkavállalók állásukat féltik, nehogy az ártalom alkalmatlanságukat tanúsítsa. A könnyebb kimenetű következmények jelentős részét az érintettek házilagosan látják el.

A veszélyességre a legmarkánsabban a halálos kimenet kockázata hívja fel a figyelmet, a statisztikák arra utalnak, hogy a halálos és az enyhébb kimenetű balesetek száma között van bizonyos korreláció. Durva közelítéssel egy halá-

los balesetre egy nagyságrenddel több súlyos és két nagyságrenddel több könnyű sérülés esik, három nagyságrenddel több esetben pedig csak anyagi kár keletkezik. Az átlagos arányok körül jelentős a szórás balesettípusok (közlekedési, munkahelyi, háztartási stb.) és szakmai sajátosságok szerint.

A statisztikai adatok idősorait megfelelő kritikával kell kezelni. Az idő folyamán ugyanis egyrészt lényegesen változnak az eseményeket befolyásoló feltételek, például a balesetek valószínűségét megszabó műszaki színvonal, a megelőzés hatékonysága, az orvosi ellátás és gyógyítás eredményessége, másrészt lényegesen változhatnak az adatok értékelést befolyásoló körülmények, így módosulhat a fogalmak értelmezése, az adatszolgáltatás rendje és köre, a feldolgozás és csoportosítás módszere. A rendszerváltás iparszerkezeti változásai, az adatszolgáltatás beszűkülése a privatizáció nyomán, valamint az illeszkedés a nemzetközi statisztikai rendszerhez (1992-től) sok statisztikai idősor folytonosságát törte meg, egyes kérdésekben (pl. munkabalesetek okai, foglalkozási ártalmak) az adatszolgáltatás nyilvánossága meg is szűnt.

Az üzemzavarok elsősorban az üzemi személyzetet veszélyeztetik, az ilyen események a lakosság körében nagyon ritkán okoznak akut következményekkel járó baleseteket. Az üzemi létesítmények tönkremenetelét okozó haváriák hatósugara általában a telephelyen belül van, nagyon valószínűtlen, hogy szerkezetek összeomlása, szétrepülése vagy robbanása a telephelyen kívül élő lakosságot közvetlenül veszélyeztetné, a szénhidrogén-tárolók tüzei is a telephelyen belülre korlátozódnak, mert a tűzrendészeti védőtávolságok többnyire elejét veszik azok áttérjedésének a közeli lakóépületekre.

Az országos statisztikák szerint az évente bekövetkező összes balesetnek kerekén a fele foglalkozási baleset, ezek mintegy 10%-a függ össze az energia-ellátással. A 39. táblázat néhány hazai energetikai tevékenység baleseti jellemzőit mutatja be.

A táblázatban látható, hogy a szénbányászat baleseti mutatói sokkal nagyobbak, mint a többi energiahordozó kitermelésé. A szénbányászatban belül a mélyművelés veszélyessége nagyságrenddel haladja meg a külfejtését (a mélyművelésben a tízezer fizikai munkásra jutó halálos balesetek száma évente 6-7, a három napon túl gyógyulók mértéke pedig kétezer körül mozog). A föld alatti bányászkozást egyrészt balesetveszélyes technológiai műveletek jellemzik, másrészt a mostoha munkakörülmények nagy fizikai és pszichikai megterheléssel járnak. A bányatérsekben magas a hőmérséklet és a páratartalom, a levegő poros, a bányajáratokban kellemetlenül erős légáramlatok alakulnak ki, nyomasztó a bezártság érzete és a természetes fény hiánya, ami esetenként az alacsony és szűk vágatokban korlátozott mozgási lehetőséggel párosul. A hőmérséklet a mélységgel arányosan emelkedik, a legtöbb helyen a Pannon-medencében érvényesülő geotermikus anomália következtében az átlagosnak közel kétszeresét elérő hőfokgradienssel. Növeli a kockázatot, hogy szénbányáinkat az átlagosnál nagyobb mértékben fenyegetik elemi

Energetikai tevékenységek fajlagos baleseti mutatói

Tevékenység	Vonatkoztatási alap	Három napon túl gyógyuló baleset	Halálos baleset
Szénbányászat - mélyművelés - külfejtés	Mt széntermelés	350-420 30-35	1,0-1,5 0-0,2
Uránbányászat	t urántermelés	0,2	0,002
Szénhidrogén-kitermelés	PJ energiaérték	1,3	0,015
Kőolaj-finomítás	Mt feldolgozott kőolaj	8	0,08
Hőerőművi termelés	GWa villamos energia	82	0,55
Villamosenergia-ellátás - szénbázison - lignitbázison - szénhidrogénbázison - atomenergiából	teljes vertikum, GWa kiadott villamos energia	4538 808 325 370 (224)	40 25 22 22 (20,8)
Villamosenergia-átvitel	GWa villamosenergia	45	0,5
Anyagszállítás - vasúton - közúton	M(t.km) szállítási teljesítmény	1,3·10 ⁻³ 350·10 ⁻³	0,4·10 ⁻³ 20·10 ⁻³
Egyéni kockázat - foglalkozási baleset átlaga - szénbányászatban - villamos energetikában - gépiparban - vegyiparban - építőiparban - ipari átlag	fő.év	36·10 ⁻³ 121·10 ⁻³ 21·10 ⁻³ 39·10 ⁻³ 37·10 ⁻³ 38·10 ⁻³ 42·10 ⁻³	17·10 ⁻⁵ 28·10 ⁻⁵ 28·10 ⁻⁵ 15·10 ⁻⁵ 13·10 ⁻⁵ 37·10 ⁻⁵ 17·10 ⁻⁵

veszélyek – omlás, bányatűz, vízbetörés, sújtólégrobbanás – melyek a színvonalas védekezés ellenére időnként emberáldozatot követelő szerencsétlenségeket okoznak. Tanulságosak az energiaértékre vetített fajlagos baleseti mutatók (40. táblázat), amit a mélyműveléses szénbányászatnál az is növel, hogy az alacsony fűtőérték miatt viszonylag nagy létszámra van szükség. Az uránbányászat kedvezőbb baleseti helyzetéhez az is hozzájárult, hogy uránbányánk bányaföldtani adottságai előnyösebbek, mint a szénbányáké, a kísérő kőzetek szilárdabbak, nincs tűz- és robbanásveszély, ugyanakkor az azonos energiaértékhez kibányászandó érc mennyisége nagyságrendekkel kevesebb, mint a szükséges széné. A legkedvezőbbek a szénhidrogén-kitermelés baleseti mutatói, ahol alig van szükség kezelőszemélyzetre.

40. táblázat

Baleseti mutatók a bányászatban

Energiahordozó termelés	Baleset/PJ	Halálos baleset/PJ
Mélyműveléses szénbányászat	32,5	0,1
Külfejtéses lignitbányászat	4,4	0,024
Szénhidrogén-kitermelés	1,2	0,015
Uránércbányászat	4,6	0,030

41. táblázat

A villamosenergia-ellátás baleseti mutatói GWa-re vetítve

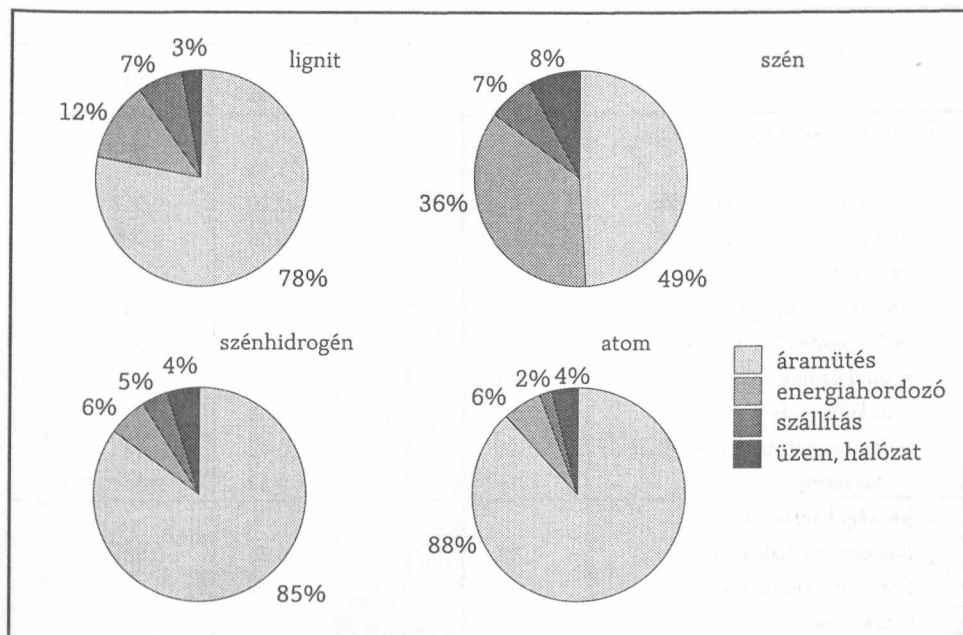
Baleset jellege	Energiabázis			
	lignit	szén	szén-hidrogén	nukleáris
Üzemi munkavállalók balesetei				
bányászat	540	4131	96,6	146
energiahordozó átalakítása	–	–	16,8	0,3
energiahordozó szállítása*	0,4	6,8	3,3	0,002
egyéb anyag szállítása*	1,5	1,8	0,02	0,02
szerkezeti anyag szállítása*	10	10	7	13
erőműépítés, * -lebontás**	14	14	9,8	18
erőmű üzeme	60,4	177	21,6	20,3
munkába járás*	4,5	9,6	1,1	1,3
villamosenergia-átvitel, elosztás	45	45	45	45
összesen	675,8	4395,2	201,2	243,9 (97,9)
Lakossági balesetek				
közlekedési balesetek*	10	21	1,6	3,7
fogyasztó készülékek	122	122	122	122
összesen	132	143	123,6	125,7
Összesen	807,8	4538	324,8	369,6 (223,6)
Országos átlag	1018,3			

*számított érték **irodalmi adat

A 39. táblázatban feltüntetett egyéni kockázati értékek is a szénbányászat kiemelkedő veszélyességét jelzik. A kőolajipar veszélyessége a vegyipari átlagnak felel meg, a többi energiaipari vállalat mutatói valamivel jobbak az ipari átlagnál, ami az energetikai tevékenységek veszélyessége miatt megkövetelt nagyobb felkészültségnek és fegyelemnek tudható be.

A 39. táblázatban a villamosenergia-ellátás jellemzői a tüzelőanyag kitermelésétől a felhasználásig terjedő teljes vertikumra (49. ábra) vonatkoznak, a

Balesetek okainak megoszlása



Magyarországon alapvető szerepet játszó négy változatra (szén, lignit, szénhidrogén, nukleáris bázis). Az atomenergiánál a zárójeles érték az uránbánya bezárását követő időszakot jellemzi. A vertikumon belüli fázisok részletesebb adatai a három napon túl gyógyuló balesetekre a 41. táblázatban láthatók. A mutatók folyamatos tevékenységnél a balesetek évenkénti számának és az éves villamos energiatermelésnek a hányadosai, egyszeri tevékenységnél (létesítés, lebontás, berendezésgyártás) a balesetszám vetítési alapja a teljes élettartam alatt termelt energia. Szilárd energiahordozók esetében ezek kitermelése a domináns baleseti ok, jelentős tényező az erőművek és hálózatok üzemvitele és a fogyasztókészülékeknél bekövetkező áramütések hatása.

Ugyanezen vertikumokra a halálos balesetek adatait a 42. táblázat mutatja (a paksi atomerőmű adata feltételezésen alapul, mivel eddig ott halálos munkabaleset nem fordult elő). A halálos kimenetek túlnyomó többségét a villamosenergia-ellátás mind a négy vizsgált változatánál az áramütések okozzák a lakosság fogyasztókészülékeinél (49. ábra). Az üzemi munkavállalók halálos baleseteinek domináns oka minden változatnál az energiahordozók kitermelése, jóval kisebb az anyagok és személyek szállításának, valamint az erőművek és hálózatok üzemvitelének a szerepe. A legkevesebb halálos áldozatot követelő szénhidrogén-bázisú villamosenergia-ellátáshoz viszonyított fajlagos mutatók alakulását az 50. ábra mutatja. A sötét hasábok a teljes vertikum bal-

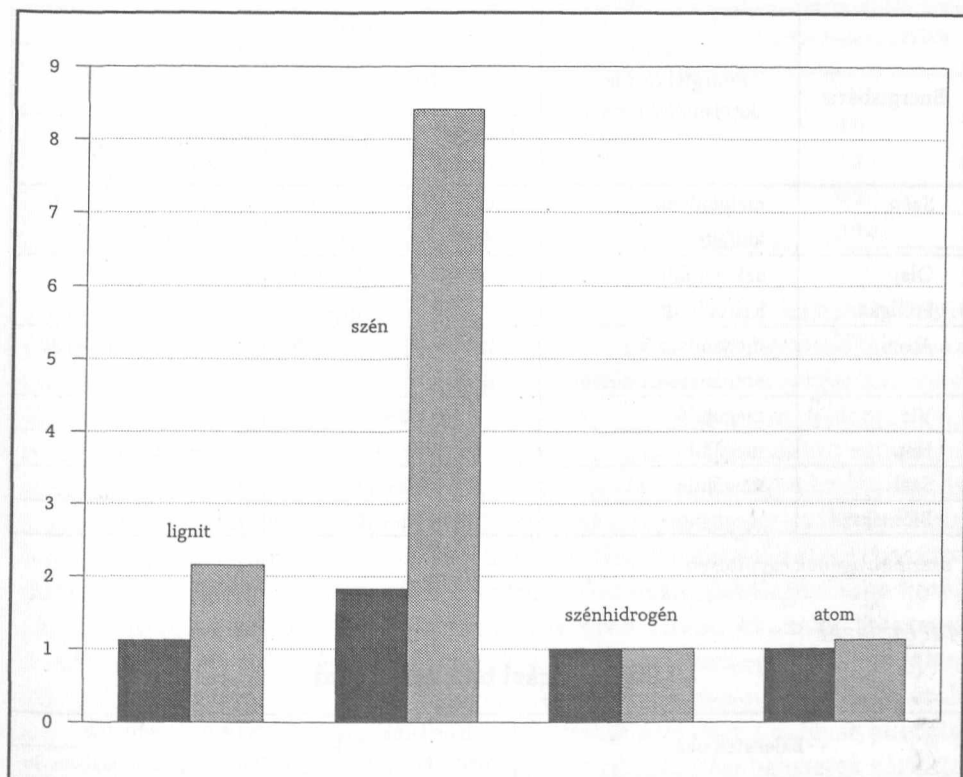
A villamosenergia-ellátás halálos baleseti mutatói GWa-re vetítve

Baleset jellege	Energiabázis			
	lignit	szén	szén-hidrogén	nukleáris
Üzemi munkavállalók balesetei				
bányászat	2,88	14,30	1,16	1,25
energiahordozó átalakítása	–	–	0,16	0,016
energiahordozó szállítása*	0,11	0,44	0,08	0,0008
egyéb anyag szállítása*	0,09	0,57	0,005	0,13
szerkezeti anyag gyártása*	0,03	0,03	0,02	0,04
erőműépítés,* -lebontás**	0,18	0,18	0,14	0,24
erőmű üzeme	0,06	1,85	0,02	0,02*
munkába járás*	0,21	0,48	0,05	0,06
villamosenergia-átvitel, elosztás	0,48	0,48	0,48	0,48
összesen	4,04	18,33	2,13	2,24 (0,99)
Lakossági balesetek				
közlekedési balesetek*	1,39	1,95	0,23	0,28
fogyasztó készülékek	19,51	19,51	19,51	19,51
összesen	20,9	21,46	19,47	19,79
Összesen	24,94	39,79	21,87	22,03 (20,78)
Országos átlag	25,06			

*számított érték **irodalmi adat

eseteit összegzik, a világosabb hasábkok a lakossági áramutések számával csökkentett értékeket. A nukleáris villamosenergia-ellátás veszélyessége nem tér el lényegesen a szénhidrogénbázisúétól. A szenes változat nemzetközi összehasonlításban is kiugróan magas baleseti mutatóinak több oka van: a mélyműveléses szénbányászat veszélyessége, az öreg erőművek korszerűtlen technológiája, a szükséges szén nagy mennyisége az alacsony fűtőérték és a rossz erőművi hatásfok miatt. A hazai üzemi baleseti mutatók meghaladják az OECD-országok átlagértékeit (43. táblázat), a rosszabb helyzetet egyrészt létesítményeink kisebb egységteljesítménye, idősebb kora és hasonló műszaki tényezők magyarázzák, másrészt az OECD adatgyűjtése nem tartalmazza az anyagmozgatás és munkába járás baleseteit. A 43. táblázatban a megújuló energiahasznosításra is található értékek, de egyedül a vízerőműveknél alapulnak tényadatokra, a többi becslés, a kisléptékű berendezések jellemzőinek extrapolálása még meg sem valósult nagyléptékű megoldásokra. A megújuló energiahasznosítás baleseteit főleg a kis teljesítménysűrűség miatt jelentkező nagy szerkezeti anyagigény és azok gyártásához szükséges energia biztosítása, valamint a jelentős volumenű építés okozza.

Balesetek relatív mértéke



A hazai foglalkozási balesetek 40%-ának oka (44. táblázat) tárgyak és személyek esése. A leggyakoribb kimenetek törések, ficamok, rándulások és nyílt sebek képződése. Sok balesettel jár az energetikai létesítmények építése és lebontása, különösen a felszín alatt és a nagy magasságban végzett munka, az utóbbiak közé tartozik a villamos szabadvezetékek építése és karbantartása, valamint hibaelhárításuk gyakran szélsőséges időjárás közepette. Veszélyekkel terhelt az anyagmozgatás is, főleg a nehéz súlyok emelése és a nagy mennyiségek mozgatása. Az energetikában gyakoriak az égések és a villamos balesetek is. Jó néhány munkafázist kell szabadtéren végezni, kitéve az időjárás szeszélyeinek és egyéb környezeti hatásoknak.

Míg az összes baleset fele foglalkozási baleset (évente 27-28 ezer), arányuk a halálos balesetek között mindössze 5-6%, és azoknak is több mint fele járművek mozgásával kapcsolatos. A részletes vizsgálatok arra utalnak, hogy a halálos foglalkozási baleseteknek mintegy 80%-a emberi hibára vezethető vissza. Gyakori a feladatra való alkalmatlanság, a szakmai ismeretek vagy a tevékenységhez szükséges személyiségjegyek – ítélőképesség, teherbírás,

A villamosenergia-ellátás üzemi balesetei

Energiabázis	Energiahordozó kitermelési módja	Halálos kimenet/GWa			
		baleset		munkában szerzett betegség	
		Magyar- ország	OECD	Magyar- ország	OECD
Szén	mélyművelés külfejtés	18,33 4,04	0,4-3,2 0,16-1,7	1,4	0,3-1,1
Olaj Földgáz	szárazföldi szárazföldi	2,13*	0,2-0,85 0,1-5		
Atom	mélyművelés ércbányászat nélkül	2,24 0,99	0,09-0,5	0,3	0,13-0,37
Víz	megújuló	0,6-4			
Nap	megújuló	0,5-3		0,03	
Szél	megújuló	0,2-2,8			
Biomassza	megújuló	1,1-1,3			

*szénhidrogének együttesen

44. táblázat

Foglalkozási balesetek okai

Balesetek oka	Balesetek megoszlása, %	Halálos kimenetek	
		száma	megoszlása, %
Járművek mozgása	5,0	235	54,9
Égés robbanás, mérgezés, fulladás	3,5	34	7,9
Személyek esése	15,7	60	14,0
Tárgyak esése	24,3	52	12,2
Munkagépek	4,1	14	3,3
Szerszámok, szűrő-, vágóeszközök	9,8	4	0,9
Egyéb	37,6	29	6,8
Összesen	100,0	428	100,0

koncentrálóképesség, együttműködési készség stb. – hiánya. Többnyire a tervezés, gyártás, építés, karbantartás, üzemvitel során elkövetett emberi hibákra vezethetők vissza a technológiák meghibásodásai is a kis üzemzavaroktól a csernobili katasztrófaig. Az energetikában a balesetek negyede az előírások megszegése miatt következett be.

Az összes balesetnek mintegy 20%-át, a halálos baleseteknek még ennél is nagyobb arányát a közlekedés okozza. A közlekedés előkelő helyen szerepel az energetika halálos baleseteinek okai között is, a nagy anyagmennyiségek szál-

Lakossági közlekedési balesetek villamosenergia-ellátás miatt

Energiabázis	Három napon túl gyógyuló baleset/GWa	Halálos baleset/GWa
Lignit	9,8	1,4
Szén	21,0	2,0
Szénhidrogén	1,6	0,2
Nukleáris energia	3,7	0,3
Eredő	7,6	0,7

lítása és a jelentős létszám munkába járása miatt. A legtöbb baleset a közúti forgalomban következik be, a gépjárműforgalom főleg a kőolajtermékek elosztásában, a településeken belüli tüzelőanyag-szállításban, az energetikai nagylétesítmények építéséhez szükséges anyagszállításban és a dolgozók munkábajárásában játszik szerepet. Nagy forgalom esetén a beruházásokhoz szükséges anyagok közúti szállítása zavarja az útvonal mentén az életkörülményeket is. A jóval kevésbé balesetveszélyes vasút a távolsági tüzelőanyag-szállítás fő esz-
köze; több, a tüzelőanyag-forrásoktól távolabb fekvő erőmű ellátása is vasúton történik. A bányák közelében fekvő erőműveket szállítószalagon vagy kötél-
pályán látják el szénnel, e szállítási rendszerek ritkán okoznak balesetet. A csővezetékes kőolaj- és kőolajtermék-szállítás balesetveszélyessége jelen-
téktelen, viszont nem ritkák a földgázszállításához kapcsolódó robbanások. Sajnos a belvízi tüzelőanyag-szállítás nem játszik szerepet a magyar energia-
gazdálkodásban. A közforgalmi (közúti és vasúti) szállítási balesetek sérültjei között a legnagyobb arányt a lakosság véletlenül a helyszínen tartózkodó vagy
a forgalomban részt vevő tagjai teszik ki. A 45. táblázat ezt hasonlítja össze a villamosenergia-ellátás különféle változataira. A különbségeket a szállított
tüzelő- és építési anyagmennyiségekkel, valamint a munkába járók létszámá-
val lehet magyarázni.

Az energiafelhasználás bővülése a fogyasztóberendezések és ezzel óhatatlanul a veszélyforrások szaporodását vonja maga után. A jogszabályok és szabványok folyamatosan szigorítják a biztonsági követelményeket, de az eszközök használatából származó balesetek száma ennek ellenére – főleg a laikusok körében – nagy. A mentők által ellátott baleseteknek több mint 40%-a, és a halálos kimenetűek fele a háztartásokban fordul elő. A 46. táblázatból kitűnik, hogy e baleseteknek 10-15%-a hozható kapcsolatba az energetika tartós
fogyasztási cikkeivel (gázkészülékek robbanása, áramütés, tüzelőanyagok vagy készülékek okozta tüzek, forgógépek helytelen használata, sérülés meg-
munkáló eszközöktől, magas hőmérsékleten vagy nagy nyomáson működő szerkezetek okozta ártalmak stb.). A statisztikák adatai szerint a tüzelőberendezésekre, vagy tüzelőanyagok használatára visszavezethető halálos háztartá-

Halálos otthoni balesetek

Okok	Halálesetek 1994-ben	
	száma	megoszlása, %
Esés, csúszás, botlás	3091	73,9
Mérgezés	177	4,3
Tűz, láng	240	5,7
Fulladás	320	7,7
Izzó, maró anyagok, gáz, gőz	52	1,2
Áramütés	40	1,0
Robbanás	24	0,6
Egyéb	236	5,6
Összesen	4180	100,0

si balesetek száma évente meghaladja az ötszázat. Ezek jellege a füstgázmérgezésről az égési sérüléseken keresztül a gázrobbanások okozta balesetekig terjed. A mentőknek évente kereken ötszáz áramütésnél kell elsősegélyt nyújtaniuk, melyekből mintegy 60-80 halálos kimenetű, ezen áldozatok 70-80%-a a nem hozzáértők köréből kerül ki. Az ország villamosenergia-felhasználására vonatkoztatva ez 15-18 halál/GWa-es lakossági kockázatot képvisel.

Foglalkozási ártalmak

Az energiaellátás miatt bekövetkezett betegségek közül néhány foglalkozási ártalomról a munkaegészségügyi vizsgálatok szolgáltatnak képet. A legexponáltabb szakma a szénbányászat, a mélyműveléses magyar bányákban a megbetegedések 1 Mt széntermelésre eső fajlagos értéke 20 körül ingadozik. Hosszú ideig a pneumokoniózis (szilikózis) volt a bányászok jellegzetes légzőszervi megbetegedése, aminek több évtizedes lefolyása a por koncentrációjától és kémiai összetételétől függ, a legsúlyosabb esetek fibrózisra vezetnek. Az 1960-as években még a mecseki bányászok negyedét támadta meg a betegség, a következő évtizedekben azonban majdnem teljesen visszaszorult, egyrészt a bányák intenzív szellőztetésének és a por megkötésének, másrészt a korai diagnosztizálhatóságnak köszönhetően. Pneumokoniózis más poros munkahelyeken is kialakulhat (uránércbányászat és -feldolgozás, szénzállítás és -feldolgozás, mészkőfejtés, külfejtés stb.). Jelenleg a bányákban a zaj okozta halláskárosodás a legelterjedtebb foglalkozási ártalom, második helyen az izom- és csontkárosodás áll, amit a munkagépek vibrációja okoz (47. táblázat), előfordulnak izületi (pl. burzitisz) és keringési (pl. vazoneurózis) ártalmak is. A megbontott kőzetekből kiszabadult radon belélegzése

Foglalkozási megbetegedések megoszlása

Betegség jellege	Az egész iparban, %	A szénbányászatban, %
Halláskárosodás	40	51
Bőrbetegség	18	
Vibráció okozta károsodás	7	29
Légzőszervi megbetegedés	6	15
– szilikózis	4,5	10
– daganatos megbetegedés	28	5
Fertőzés	1	
Egyéb		5

miatt bekövetkező sugárártalom is jelentős a bányászoknál, amit az uránbányákban a kőzet γ -sugárzása is növel. A belélegzett radon főleg a tüdő- és gyomorrákok számát növeli, a bőséges szellőztetés lényegesen enyhíti a veszélyt. Az energiaiparok más munkahelyein a környezet jellegétől függően légzőszervi, mozgásszervi és zajártalmak a dominánsak, de nem gyakrabban, mint más szakmáknál. Főleg a vegyszerekkel kapcsolatos technológiák (kőolajfinomítás, szén-nemesítés, kokszyártás) dolgozóinál a foglalkozási megbetegedések között jelentős a bőrbetegségek aránya. Külföldön jelentek meg információk a kőolaj-finomítókban leukémia nem markánsan alátámasztott gyanújáról is.

Környezeti ártalmak

A társadalmat a legjobban a környezetszennyezés ártalmai nyugtalanítják, egyrészt a hatások kényszerűen elviselt jellege, másrészt az érintettek nagy száma miatt. Környezeti ártalmakat leginkább a szervezetbe jutó anyagok okoznak, de ártalmak forrásai lehetnek a szervezetet érő energiahatások, az életkörülményeket befolyásoló effektusok is. Az emberi szervezetre veszélyes technikai eredetű anyag lehet kémiai mérge, reakcióképes molekula, radioizotóp, biokémiai reagens, szinergikus vagy katalizáló hatású anyag. Az energiahatások egy része csak az érzékszerveket ingerli, bizonyos mértéken felül pedig károsítja, vagy pusztítja a sejteket. A kedvezőtlen életkörülmények nemcsak rontják a közérzetet, hanem akadályozhatják az emberi életszükségletek kielégítését is.

Az élő szervezetekben a következmények nagy része nem a hatások pillanatértékétől, hanem az érintett szervekben felhalmozódó anyag vagy energia mennyiségétől, a dózistól függ. Elég nagy dózisoknak majdnem mindig vannak

káros következményei, elég kis dózisok – egy küszöbérték alatt – viszont többnyire ártalmatlanok (Paracelsus: „a dózis teszi a mérget”). A dózisokkal kapcsolatban lényeges a hatás időtartama is – nem mindegy, hogy valaki egy éven keresztül naponta vesz be egy szem altatót, vagy egyszerre veszi be a 365 tablettát. Vannak hatások, melyeknél még nem sikerült kísérletileg igazolni egy küszöbérték létét (pl. ionizáló sugárzások rákkeltő szerepénél), ilyenkor feltételezik, hogy bármilyen kis dózis is ártalmas.

A dózis és a következmények közötti kapcsolat többnyire sztochasztikus jellegű és nem lineáris. Az orvosi szakirodalomban közölt adatok szórása nagy és a morbiditást, illetve mortalitást befolyásoló nagyszámú körülmény (ellenálló képesség, környezeti viszonyok, más hatásmechanizmusok, védekezés és gyógyítás színvonala stb.) miatt a korrelációk bizonytalanok. A kitüntetett embercsoportokra végzett epidemiológiai vizsgálatoknál e sokféle paraméter szerepének szétválasztása okoz nehézséget, a laboratóriumi toxicitási vizsgálatoknál és az állatkísérleteknél pedig az eredmények átültetése okoz gondot az emberi szervezetre. A hatalmas mennyiségű kísérleti anyag sok összefüggést tárt fel, de a hatások és a következmények kapcsolatáról számos kérdésben még csak kvalitatív képünk van.

Az ártalom kis dózisoknál csak ingerek vagy átmeneti funkciózavarok formájában jelentkezik. Nagyobb dózis akut vagy krónikus betegséget okoz, ami többnyire hosszabb idő alatt kumulálódó hatások következménye és nemritkán tetemes lappangási idő után jelentkezik (pl. krónikus betegségek vagy rák esetében). A megbetegedés vezethet az életidő csökkenésére és szervek elkorcsosulása esetén rokkantságra is, bizonyos dózison felül pedig gyors halált okozhat.

Az élő szervezetekbe került anyagok dinamikus egyensúlyban vannak, amit az anyagcserében zajló felvétel és kiürítés különbsége szab meg. A 48. táblázatban láthatók néhány elemre a normál táplálkozással felvett mennyiségek, valamint a kiürülés ütemét jellemző biológiai felezési idők. Az utóbbiakat néhány elem esetében napok jellemzik, de vannak éveket kitevő folyamatok is. A szervezetben megköthető anyagmennyiség korlátozott, a természetes koncentrációval jellemzett telítődési értéken felüli mennyiség kiürül. Egyes anyagok kitüntetett szervekben vagy szövetekben felhalmozódnak: például jód a pajzsmirigyben, a kalcium és stroncium a csontokban, króm és a vas az izmokban, a kén a fehérjékben, a foszfor a DNS-molekulákban stb., a nátrium és kálium az iontranszportban játszik szerepet.

A szervezetbe kerülő anyagok nemkívánatos kölcsönhatásai okozhatják a sejtek sérülését, módosulását, működésének változását vagy a sejt pusztulását is. Ugyanakkor a sejtekben javító mechanizmusok, a szervekben védekező folyamatok alakulnak ki, pozitív szereppel érvényesülnek szinergikus, illetve antagonisztikus hatások, hatnak védőanyagok (pl. vitaminok). Mindezek ellenére, ha a dózis elég nagy, az élettani folyamatok (enzimhatások, biokémiai

Fontosabb elemek szerepe az emberi szervezetben

Elem	Elemfelvétel táplálékban, g/nap	Kitüntetett helyek	Természetes koncentráció, g/g	Biológiai felezési idő, nap
Szén	400	egész test	0,18	10
		zsír	0,75	12
		csontok	0,13	40
Nátrium	4	egész test	$1,5 \cdot 10^{-3}$	11
Foszfor	1,4	egész test	0,01	257
		csontok	0,05	1 155
Kálium	3	egész test	$2 \cdot 10^{-3}$	58
		izmok	$2,9 \cdot 10^{-3}$	58
Kalcium	1	egész test	0,015	16 400
		csontok	0,145	18 400
Vas	0,02	egész test	$5,7 \cdot 10^{-5}$	800
		vér	$5 \cdot 10^{-4}$	65
Stroncium	10^{-3}	egész test	$2 \cdot 10^{-6}$	13 000
		csontok	$1,5 \cdot 10^{-5}$	18 000
Jód	$2 \cdot 10^{-4}$	egész test	$5,7 \cdot 10^{-7}$	138
		pajzsmirigy	$4 \cdot 10^{-4}$	138
Cézium		egész test	$1,4 \cdot 10^{-10}$	70
		izmok	$3 \cdot 10^{-7}$	140
Radon	$5,5 \cdot 10^{-12}$	egész test	$1,4 \cdot 10^{-15}$	8 100
		csontok	$1,7 \cdot 10^{-14}$	16 400
Tórium		egész test	$4,6 \cdot 10^{-10}$	5 700
		csontok	$2,3 \cdot 10^{-9}$	73 000

vagy elektrokémiai folyamatok) módosulhatnak, a DNS-molekulák sérülése nyomán bekövetkezhetnek karcinogén vagy mutagén hatások is. A következmények az anyagcsere rendellenességében, az idegműködés és az érzékszervek funkciózavaraiiban, szervek részleges vagy teljes működésképtelenségében nyilvánulhatnak meg, bekövetkezhet a szövetek elroncsolódása, vagy kóros burjánzása. A genetikus következmények az utódok fejlődési zavaraiiban, illetve rendellenességeiben jelentkeznek.

Az energetika által kibocsátott szennyezők közül az emberi szervezetbe 85% a légzőszerveken, 15% az emésztőrendszeren és 0,4% a bőrön keresztül jut be. A bőrön át viszonylag kevés anyagi hatás érvényesül, a fontosabb lehetőségek: érintkezés károsító anyagokkal, fürdés szennyezett vízben, tisztálkodás szennyezett vízzel, reagensek és radionuklidok kiülepedése a levegőből. Jelentős a ruházat védőszerepe, de maga a bőr is hatékony védőréteg. Az anyagok többsége csak a bőrt károsítja, kevés – főleg bioaktív – anyag képes a bőr-

rétegen áthatolni és a szervezet belsejébe jutni. Bizonyos kiterjedésen felül a bőrfelület sérülése életveszélyes.

A legtöbb ártalmas anyag a légzéssel jut be a szervezetbe, a respiráció során egy felnőtt nyugalmi állapotban 8 óra alatt $4\text{--}5\text{ m}^3$ levegőt lélegzik be, mozgás közben a fizikai erőfeszítéstől függően ennek két-háromszorosát. Az energetika néhány tucat olyan légszennyezőt bocsát ki, amelyek jelentős egészségkárosítást okozhatnak. A belégzés révén kialakuló dózis függ az adott helyen érvényesülő immisszió mértékétől, a belélegzett levegő mennyiségétől, és attól, hogy a légzőszervek az anyagcsere során mennyit adszorbeálnak a beke-
rült szennyezőből.

A levegőben levő szennyező gáz- és gőzmolekulák akadálytalanul terjednek a légutakban, a szilárd vagy folyadék részecskék terjedését a méretük is befolyásolja. Az alsó légutakba csak a néhány μm -nél kisebb részecskék jutnak el, a nagyobbakat a száj és orrüreg nyálkahártyái megkötik. A légszennyezők többsége elsősorban a légzőszerveket támadja meg, kisebb koncentrációnál a kialakuló biokémiai és élettani hatások csak ingerkeltők (köhögést, váladékképződést, nehéz légzést okozva). Nagyobb koncentráció csökkenti az oxigénfelvételben és a biokémiai reakciókban szerepet játszó felületeket, tartós terhelés hatására a légutak részbeni elzáródásával járó betegségek – bronchitisz, asztma, tüdőtágulás – fejlődhetnek ki, egészen súlyos esetek szövetek degradációjára vagy a sejtek burjánzására vezethetnek. Egyes anyagok az oxigénfelvételhez kapcsolódva a véráramban más szervekhez is eljutva okozhatnak károsodást.

Különösen érzékenyek a légzőszervi ártalmakra a gyermekek, az idősek és az asztmás betegek. A légzőszervi ártalmak csökkentik az ellenálló képességet más hatásokkal és a fertőzésekkel szemben is. Egyes vizsgálatok erősen szennyezett levegőjű térségekben néhány éves életidő-csökkenést és a munkavégző képesség mérséklődését valószínűsítik, más felmérések a szennyezett levegőjű környezetben a csecsemők kisebb születés kori súlyáról tudósítanak. Magyarország területének csupán 11%-án erősen szennyezett a levegő (főleg a délnyugat-északkeleti ipari tengely mentén), azonban ezen a területen él a lakosság 42%-a. A hazai egészségügyi statisztikákban a légzőszervek megbetegedései teszik ki az összes betegség 5%-át, a legutóbbi két évtized alatt a légzőszervi rákos betegek száma megduplázódott, az asztmások száma többszörösére nőtt. A városi és falusi levegőminőség különbsége alapján a halálozásoknak mintegy 6%-a (kb. 10 ezer fő/év) hozható kapcsolatba hazánkban a légszennyezéssel. Az energetikában is szerepet játszó légszennyezők ártalmas hatásáról a 49. táblázat ad képet.

A füstgázban távozó aeroszolok nagy távolságba is eljutnak, a lakosság széles körét veszélyeztetve. Egyes feltételezések szerint 10–50 km-en belül csak a kibocsátott primer részecskéknek van szerepük, az $\text{NO} \rightarrow \text{NO}_2$ átalakuláson kívül kémiai reakciók kialakulására a terjedés során még nincs elegendő idő. Nagyobb

A fontosabb légszennyezők hatása az emberi szervekre

Érintett szerv	Ártalmat okozó anyagok
Légzőszervek	SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , As, Pb, Cd, Cr, Mn, Ni, V, H ₂ SO ₄ , HNO ₃ , por, azbeszt, korom, formaldehid, kipufogógáz
Szív- és érrendszer	CO, As, Pb, Sb, Ba, Co, Cd, V, poliklórozott szénhidrogének, szálképzők (szerves por, fémpor, azbeszt, kvarc)
Immunrendszer	Cd, Pb, Hg, Ni, Co, Cr, PCH, NO ₂ , O ₃
Vérképzés	Pb, Co, NO ₂ , As, benzol
Nyelőcső	fémek
Máj	As, Sb, Be, Cd, Pb, Cr, Co, Cu, Hg, Sn, Zn és oxidjaik, alifás, ciklusos és poliklórozott szénhidrogének
Vese	As, Cd, Cr, Pb, Ni, Hg, Bi, Tl, Se, V és oxidjaik, alifás és ciklusos szénhidrogének
Bőr	As, Th, HCHO, halogének, fémek, poliklórozott szénhidrogének, oldószerek
Idegrendszer	Pb, Cd, Hg, Mn, Tl, Sn szerves vegyületei, Co, poliklórozott szénhidrogének, oldószerek
Ivarszervek	Cd, egyes szerves vegyületek
Csontok, kötőszövet	Cd, Se

távolságra már a szekunder szennyezők alkotta aeroszolkok – főleg az ammónium-szulfát és ammónium-nitrát – is meghatározó jelentőséget nyerhetnek.

A légszennyezők közül az aeroszolkokat tartják a legártalmasabbaknak, és a kisméretű részecskéket a legveszélyesebbeknek. Az aeroszolkok veszélyességéről közölt adatok erősen szórnak, aminek egyik oka, hogy nehéz az aeroszolk szerepét elhatárolni a többi légszennyezőtől. Másrészt a légkörben lejátszódó másodlagos folyamatok hatására változik az aeroszolk kémiai összetétele, és a részecskéket, mint kondenzációs magok vagy adszorbenseket, más anyagokat is magukhoz kötnek. Az aeroszolk kis koncentrációban ingerli a felső légutak nyálkahártyáit, gátolja a garat és légcső csillóinak mozgását, megkönnyítve a kisméretű részecskéket bejutását az alsó légutakba. Nagyobb koncentrációban akadályozza a légzést, akut vagy krónikus ártalmakat válthat ki. Az akut ártalmak főleg időseket és beteg embereknél fordulnak elő, elsősorban légzőszervi és keringési zavarok formájában, néha halálos kimenettel. Krónikus ártalmak-

nak különösen a huzamosan erősen poros környezetben tartózkodók vannak kitéve. Enyhébb esetekben nehéz légzést, bronchitist okoznak, a tartósan érvényesülő nagy koncentráció súlyosabb kimenetekre (asztma, fibrózis, pneumokoniózis, rák) is vezethet. A legtöbb szilárd részecskét a széntüzelés emittálja, köztük sokféle kémiai és biokémiai ártalmas anyagot (többek között nehézfémeket, radionuklidokat), a fűtőolaj füstgázában a vanádium és nikkel a legveszélyesebb szennyező, a benzinmotorok kipufogógázában szén-monoxid, elégtelen szénhidrogének és rákkeltő benzpirén található, a dízel-motorok kibocsátásában a korom a legkellemetlenebb.

Az epidemiológiai vizsgálatok alapján többnyire lineáris kapcsolatot tételeznek fel a mortalitás, illetve morbiditás relatív növekménye és az aeroszolkoncentráció növekedése között. A PM_{10} immisszió $1 \mu g/m^3$ év növekményénél a vizsgálatok a halálozási valószínűség növekedésének középértékére gyenge korrelációval $10^{-4}/\text{év}$ és $10^{-3}/\text{év}$ közötti értékeket találtak, a légzőszervi megbetegedések növekménye egy nagyságrenddel nagyobb. Jelentősnek bizonyult az életkor szerepe, a 65 évnél idősebbek mortalitásának növekménye több mint háromszorosa a fiatalabbakénak. A PM_{10} emisszió alapján végzett számítások a letális kockázatra 0,5–7/GWa értékre vezettek szénerőművek esetében, de az irodalomban régi szénerőműveknél találhatók egy-két nagyságrenddel nagyobb értékek is. Egy javasolt ökölszabály szerint, átlagos európai településsűrűség esetén 10 kt erőművi aeroszolemisszióhoz tartozik 1 halálos kimenet.

Jó néhány szilárd szennyező (azbeszt, korom, benzpirén, As és Cr vegyületek) karcinogén, másoknál ezt csak valószínűsítik (Be és Cd vegyületek, többgyűrűs aromás szénhidrogének) és több más anyagnál (Ni, Sb, Pb vegyületek) a feltételezés még igazolásra szorul. A benz(a)pirén okozta rák kockázatára $10^{-5}/mg/m^3$ nagyságrendű arányossági tényezőt mutattak ki az éves átlagos koncentráció figyelembevételével. A részecskékhez kötődve más károsító anyagok is bejutnak a légzőszervekbe, például a nehézfémek főleg oxidok és halogenidek formájában magas hőmérsékleten gőzfázisba vagy gázfázisba kerülnek, majd lehűlve a kisméretű szilárd kondenzációs magokra csapódnak le. Ezek molekulákba beépülve létfontosságú biokémiai folyamatokat (oxigénfelvétel, fehérjelebontás) zavarhatnak meg (51. táblázat). Ugyancsak a finom frakcióra kondenzálódhatnak rákkeltő szerves vegyületek is (pl. benzol, formaldehid, pirének, többgyűrűs aromás szénhidrogén).

A füstgázok gáznemű szennyezői közül a legbehatóbban a kén-oxidok hatását vizsgálták, ennek ellenére a szerepük vitatott. A kén-dioxid a légutak és a szem nyálkahártyáinak nedvességével savas reakciótermékeket hoz létre, az immisszió kisebb koncentrációjánál ($20\text{--}60 \mu g/m^3$ alatt) csupán ingerkeltő köhögést, váladékképződést, könnyezést és látászavarokat kiváltva, azon felül akut ártalmakat (gyulladás) okoz. A kén-dioxid fokozza más ártalmak veszélyességét is, $250\text{--}500 \mu g/m^3$ felett gyakoribbá válnak az asztmás betegek roha-

mai, sok vizsgálat az érzékeny csoportok (kisgyermek, öregek, keringési és légzőszervi betegségben szenvedők) morbiditásának növekedésére utal. Nagy koncentrációnál valószínű a szív és tüdő működésével összefüggő betegségek súlyosbodása, valamint zavarok kialakulása a vérképző szervek működésében és az anyagcserében. Tartósan érvényesülő nagyobb koncentráció ($200-300 \mu\text{g}/\text{m}^3$) felett légzőszervi ártalmakat (tüdővízenyő, légúti szűkület) vált ki, egészen nagy koncentráció ($>1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) már életveszélyes, légzésbénulás is bekövetkezhet. Az ártalmakat általában az immisszió függvényében vizsgálják, de az irodalomban található számítás az emisszió alapján, sőt van javaslat „kollektív dózis” figyelembevételére is ($10^5 \text{ személy} \cdot \text{mg}/\text{m}^3$ -hez 1-20 halálozást rendelve). Egyes vizsgálatok a kén-dioxid-immisszió éves átlagának $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -nyi növekedésénél az egyéni mortalitási kockázat 10^{-4} – 10^{-5} nagyságrendű növekményét tapasztalták. Az emisszióra felállított ökölszabály 3 halálozást rendel 10 kt kén-dioxid-kibocsátáshoz, körülbelül ekkora emisszió tartozik füstgáz kénmentesítéssel rendelkező erőműveknél 1 GWh villamos energia fejlesztéséhez. Az ökölszabály alapján végzett számítások ligniterőművünk esetében GWh-enként 176 korai elhalálozásra és 4 554 megbetegedésre vezettek, ami az erőmű eddigi, 25 éves üzemideje alatt fejlesztett ~ 10 GWh figyelembevételével kerekén 1 700 elhalálozást és 45 ezer megbetegedést jelent. E meghökkentően nagy értékek valószínűleg túlzottan pesszimisztikusak, de ezek tört része is nyugtalanítóan nagy. Epidemiológiai vizsgálatok korrelációt tapasztaltak a kén-dioxid-koncentráció növekedése és a légzőszervi panaszok miatt szükséges orvosi vizitek, vagy a légzési nehézségekkel járó napok számának növekedése, valamint a gyermekek köhögéssel járó megbetegedésének valószínűsége között.

Vannak vélemények, hogy elsősorban nem az SO_x ártalmas önmagában, hanem más anyagokkal együtt, ha nedvességgel savakat alkot, illetve szulfát-aeroszolókat hoz létre. A kapcsolat a kén-dioxid- és a szulfátkoncentráció között kis töménységnél lineáris, de az átalakulást gyorsító hatások esetén az összefüggés bonyolultabbá válik. A reakciótermék jellege a körülményektől és a katalizátoroktól függ, a keletkező kis pH-jú anyagoknak sejteket roncsoló képessége van. Irodalmi adatok szerint a szulfátkoncentráció éves átlagának küszöbértéke megbetegedésre $6-9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, elhalálozásra $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, egyes vizsgálatok napi $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aeroszolkoncentrációban jelölték ki az életveszély határát.

Az égés során keletkező nitrogén-oxidok közül az N_2O a legkellemetlenebb, belélegezve mámoros állapotot és érzéketlenséget idéz elő, szerencsére gyorsan bomlik. Az NO_x szerepe hasonló a kén-dioxidéhoz, de kevésbé agresszív. Egyes becslések szerint a veszélyes kollektív dózis a kritikus kén-dioxid-dózis másfélszerese. Az NO_2 légnedvességgel salétromsavat alkot, és könnyen képez nitrátokat. A nitrogén-oxid is ingergáz, elsősorban a szem és a légutak nyálkahártyáit irritálja. Valószínűsítik, hogy nagy koncentrációnál ($2 \text{ mg}/\text{m}^3$ felett) légzőszervi ártalmakat okoz a rossz egészségi állapotú embe-

reknél. Hatása növeli a nyálkahártyák vízáteresztő képességét, ami tüdőödéma keletkezését segíti elő, vannak indikációk kromoszómahibák előidézésére is. Epidemiológiai vizsgálatok szerint az immiszió átlagértékének $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -nyi növekedése a hurutos megbetegedések valószínűségét 10^{-3} , a torokgyulladásokét és a szemirritációkét 10^{-2} nagyságrenddel növeli. Az NO_x sokféle egyéb hatása (fotooxidáns, üvegházgáz, szerepe van az ózonlyuk képződésében) áttételesen is károsítja az egészséget.

A tökéletlen égésből származó szén-monoxid súlyos méreg, veszélyességét növeli, hogy színtelen, szagtalan, így jelenléte nem érzékelhető. A szén-monoxid a vér hemoglobinjával lép reakcióba, és mivel affinitása két nagyságrenddel haladja meg az oxigénét, gátolja az oxigénfelvételt és a szervezetben általános oxigénhiányt idéz elő. A levegő minden 1 ppm -nyi ($1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) szén-monoxid-koncentrációja átlagosan a hemoglobinkészlet $0,16\%$ -át köti le, de nagy koncentrációnál a lekötés aránya fokozódik. Normális körülmények között a vér hemoglobinjának legfeljebb néhány százalékát köti le a szén-monoxid, 10 - 20% körüli arány már veszélyes. Az enyhe szén-monoxid-mérgezés fejfájással jelentkezik, nagyobb koncentrációnál az erős fejfájás szédüléssel párosul, mozgászavarok lépnek fel, e felett már szervek károsodása is bekövetkezik, megzavarva a légzést, szívműködést, idegfunkciókat, a rosszullét ájulással jár, és ha a hemoglobinban a szén-monoxid túlsúlyba kerül az oxigénnel szemben, valószínű a halálos kimenet. Közismert, hogy a gépkocsik kipufogógázában távozó szén-monoxid zárt térben már sok ember halálát okozta. A katalizátoros motorok terjedése és a gépkocsik kipufogógázának kötelező ellenőrzése visszaszorítja a szén-monoxid-emissziót.

A troposzférában lévő ózon a transzportfolyamatok során keletkező másodlagos szennyező, képződését egyes égéstermékek, mindenekelőtt a nitrogén-oxidok, kis molekulású klórozott szerves vegyületek és a szén-monoxid katalizálják. Az ózon erősen redukáló hatású, egészségkárosító szerepe még kutatás tárgya, nagy koncentrációnál akut légzőszervi ártalmakat vált ki.

Kisebb mennyiségben más egészségkárosító gázok is szerepet játszanak az energetikában. A kőolaj-finomításnál keletkező kénhidrogén erős idegméreg és a légzőszerveket is károsítja, ezért a szabadba való kikerülését égetéssel akadályozzák meg. Szénhidrogénkút gázkitörésénél előfordult, hogy a magas kénhidrogén- és szén-dioxid-koncentráció miatt a szélirányba eső falvak lakosságát több napra ki kellett telepíteni a kitörés elfojtásáig. Főleg a földgáz-tüzelésnél ammónia is keletkezik, az NH_3 kisebb koncentrációban a szemre és a felső légutakra ható ingergáz, $0,7 \text{ g}/\text{m}^3$ felett fulladást és keringési zavarokat okoz. A fosszilis tüzelőanyagok füstgázában és a tüzelőanyagokkal kapcsolatos műveletekből sokféle ártalmas illó szénhidrogén is kikerül a levegőbe. A folyadékok gőzei közül a benzol a vérképző szerveket támadja meg és leukémiát is okozhat, a toluol a központi idegrendszerre hat, a xilol az emésztőszervekre. A többgyűrűs policiklusos aromás szénhidrogének (PAH – Polycyclic

Szmogriadót megalapozó határértékek

Szennyező	Készültségi fokozat		
	készültség ¹	riadó I ²	riadó II ²
	határérték, $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
SO ₂	400	600	800
NO ₂	350	600	800
CO	20 000	30 000	40 000
O ₃	200	300	400
SO ₂ és szálló por ³	600	800	1 000

¹ 3 órát meghaladó túllépés² 3 órát meghaladó túllépés, vagy 72 óra az előző fokozatban³ amin belül a por $>200 \mu\text{g}/\text{m}^3$

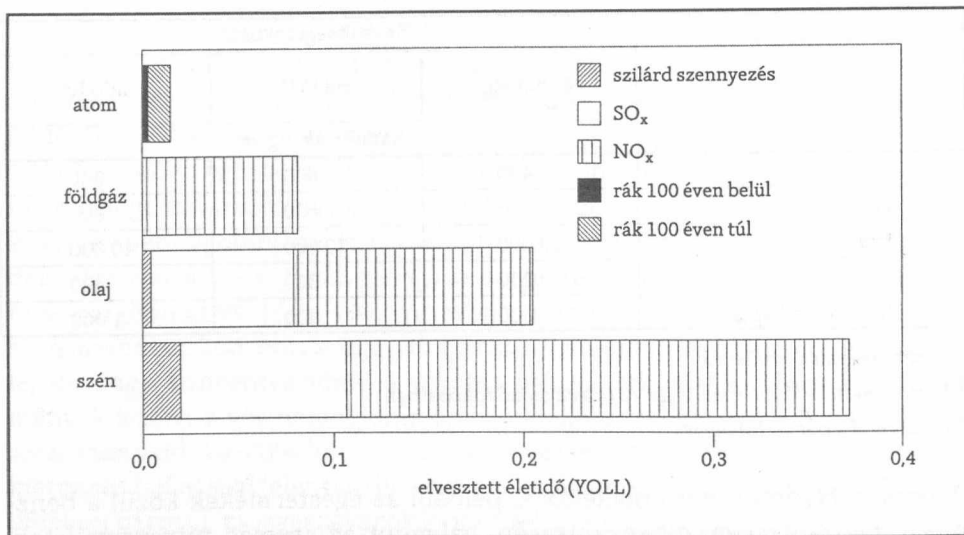
Aromatic Hydrocarbon) rákkeltőek, például az égéstermékek közül a benz-pirén, benzantracén, dibenzantracén, valamint az aromás nitroegyületek. A főleg szénhidrogének égéséből származó poliklórozott bifenilek (PCB – Polychlorinated Byphenils), a dioxinok és a xilol valószínűsíthetően karcinogének, egyesek mutagének. Az oldószerek, festékek és más szerves gőzök (alkoholok, glikolok, ketonok, észterek, halogénezett szénhidrogének stb.) főleg a belső szervekre és az idegrendszerre hatnak.

A légszennyezők meghatározó szerepet játszanak a szmogok kialakulásában. A redukáló hatású füstköd a légzőszerveket támadja meg. Tartósan érvényesülő sűrű szmognak súlyos következményei lehetnek (Londonban 1952-ben egy kéthetes erősen ködös időszak négyezer halálos áldozatot követelt). Az oxidáló hatású fotokémiai köd főleg a nyálkahártyákat támadja meg és légzési nehézségeket is okoz. A szmogok növelik a közlekedési balesetek számát is. A légszennyezők meghatározott küszöbértékei felett szmogriadó rendelkezhető el, a hazai előírásokat az 50. táblázat mutatja be.

Épületek helyiségeiben a spontán bomlás magas radonkoncentrációt okozhat, ha a talajszint feltöltésére vagy fűdémszigetelésre olyan salakot használnak, ami nagy urán- (vagy tórium-) tartalmú szenek erőművi eltüzeléséből származik. A tapasztalt anomáliák hatására építőanyagként az ilyen (pl. tatabányai vagy ajkai szénből származó) salakok alkalmazását betiltották.

A légszennyezés veszélyességét az utóbbi évtizedben nagymértékben sikerült mérsékelni a társadalmi figyelem, és a szigorodó előírások hatására. Az ártalmak teljes kiküszöböléséről még a fejlett országokban sem lehet számot adni, a magyar viszonyokat pedig jelentős elmaradás jellemzi. A porleválasztók ugyan erősen visszaszorították az aeroszolemissziót, de a kisméretű részecskéket kevésbé szűrik ki, így pont az a frakció jut ki a környezetbe, ami a

Villamos energetikai vertikumok légszennyezése



YOLL = Years of Life Lost, elveszett életévek

legkönnyebben tud behatolni az emberi légzőszervek alsó légutaiba és amit a légáramlatok legmesszebb tudnak elszállítani. Kis széntüzelő berendezéseknél porleválasztás nem is jöhet számításba. A füstgáz kénmentesítésére is csak nagyberendezéseknél kerül sor, de az SO_x egy része azokból is kijut a környezetbe. Az NO_x-kibocsátás mind az erőműveknél, mind a gépkocsiknál redukálható, de teljesen nem szüntethető meg. Más légszennyezők visszatartásáról is csak részleges eredmények vannak. Mindezek következtében az energetika légszennyezése, és az ezzel okozott ártalmak teljesen még a fejlett országokban sem hanyagolhatók el. Ezt tükrözi az 51. ábra, ami a továbbfejlesztett ExternE vizsgálat eredményeit mutatja négy korszerű vertikum teljes légszennyezésének hatásáról. Az NO_x nagy szerepét az magyarázza, hogy annak a kibocsátását lehet a legkevésbé korlátozni.

A táplálékkal felvett szennyezők az anyagcsere-folyamatokkal a szervezetnek jóformán minden részébe eljuthatnak. Egy felnőtt átlagos napi táplálékfelvétele 1,5 kg, vízigénye 2,5 liter. A legtöbb káros anyag az ivóvízben oldva vagy diszpergálva kerül a szervezetbe. Már kevés víz is elegendő nagy mennyiségek bejuttatására, a legtöbb ártalmas anyag azonban hosszabb idő alatt kumulálva érvényesíti hatását. A vízben előforduló nehezen lebomló vagy stabil szerves anyagok (halogénezett, aromás és egyes ciklusos és policiklusos aromás szénhidrogének) között is sok a mérgező, mutagén és karcinogén hatású. Egyes anyagokra különösen érzékenyek a fejlődésben lévő kisgyermek, a nitrát a hemoglobint átalakítva oxigénellátási zavarokat okoz, a nitrit a bélrendszer-

Nehézfémek hatása

Fém	Feldúsulás főbb helye	Fontosabb ártalmak
Arzén	bőr, haj, körmök, máj, lép	agyvelőgyulladás, bőrrák, pigmentzavar, tüdőrák,* májrák,* letális mérgezés
Kadmium	máj, vese, csontok, herék	májműködés zavara, vesekiválasztás romlása, keringési zavarok, tüdőgyulladás, prosztatatárak,* csontvelő-, enzimzavarok,*
Higany	központi idegrendszer, magzat	idegrendszer sorvadása, vesekárosodás
Nikkel	légzőszervek, bőr	légzőszervi rák
Króm	tüdő, zsírszövetek	tüdőrák,* gyomor károsodása
Ólom	csontok, vér, bőr, agy, bélrendszer, mozgató idegek	emésztőszervi ártalmak, vérszegénység, eszméletvesztés, halálos mérgezés, immunrendszer hibái,* hallásromlás,* gyermekek értelmi fejlődésének visszamaradása*
Tórium	bőr	bőr, nyálkahártyák, idegrendszer degradációja
Vanádium	légzőszervek	légzőszervi és vérképzési zavarok
Szelén	csontok	máj, vese, velő betegségei

* valószínű, de nem egyértelműen bizonyított

ben aminosavakkal reagálva karcinogén nitrozaminokat hoz létre, a higany az idegrendszer fejlődésének rendellenességét idézi elő.

A nehézfémek (Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn, Co, As, Mn, Ag) több mint 90%-a a táplálékkal és 3-5%-a az ivóvízzel kerül a szervezetbe (a légzés részaránya csekély). A nehézfémionok befolyásolják a biokémiai és enzimfolyamatokat, egyesek kémiai mérgek (esetenként csak bizonyos vegyületeik), más részük rákkeltő (As, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn). Hatásuk (51. táblázat) gyakran szelektíven érvényesül a májra (As, Cr, Cu), a vesére (Cd, Pb, Hg), a vérkeringési rendszerre (As, Pb), az idegrendszerre (As, Pb, Hg). Vannak szulfátokkal biológiailag reaktív vegyületet alkotók (As, Cr, Mn, V, Fe, Be), és katalizátorként is előmozdíthatnak nemkívánatos reakciókat, például a kén-dioxidból kénessav képződését. Egyes vélemények szerint a nehézfém szennyezés nagyobb egészségügyi kockázatot jelent a világnak, mint a biológiai és radioaktív szennyezések együtt-

tesen. Más fémek is szerephez juthatnak élettani folyamatokban, izomműködésben (Ca, Mg), ingervezetésben (Na, K, Ca), véralvadásban (Ca), érzékelési mechanizmusokban (Ca, Ba, Fe). A közegészségügyi hálózatok ellenőrzik az egészségre veszélyes szennyezők koncentrációját az ivóvízben és a szennyezésnek leginkább kitett táplálékfajtákban, és ha a koncentráció meghaladja az előírt határértékeket, forgalmazásukat, illetve fogyasztásukat betiltják.

A növényi táplálék ritkán játszik szerepet az energetikai eredetű szennyezés transzportjában, de a csernobili katasztrófát követően főszereplővé lépett elő. A nagy levelű zöldségek (pl. saláta) felületére főleg a kihullásból vagy kimosásból kerültek radionuklidok, ezért korlátozták fogyasztásukat az emisszió által erősebben érintett területeken a katasztrófa első heteiben a legnagyobb szerepet játszó ^{131}I lebomlásának idejéig. Ugyanerre az időre sokfelé legeltetési tilalmat rendeltek el, hogy megakadályozzák az állatok húsában és tejében az aktivitás felhalmozódását. A tej forgalmazását is korlátozták azokban az országokban, ahol az aktivitás meghaladta a tejben megengedett határértéket, a tej egy részét megsemmisítették, másutt (pl. Magyarországon) nem szennyezett tejjel hígítva tették fogyasztásra alkalmassá vagy feldolgozták tejtermékké, amiben bizonyos idejű tárolás alatt az aktivitás elfogadható szintre csökken.

Csernobil környékén a legszennyezettebb területeken belátható időn belül nem lehet élelmiszert termelni. Az eddigi tapasztalatok szerint a tartósan legnagyobb szerepet játszó ^{137}Cs izotóp a talaj felső, mintegy 10 cm-es rétegében marad, ami hátrányos az élelmiszer-termelésnek, de kedvező, hogy a radionuklidok nem jutnak be a talajvízbe. A nukleáris szennyezettség ellenőrzésére sok élelmiszerben (tej, marha-, disznó-, birkahús és -máj, gabonatermékek, burgonya, levélzöldség, gyökérzöldség) folyamatosan vizsgálják az aktivitáskoncentrációt, a megengedhető mértéket nemzetközi szabványok rögzítik. A hazai előírás részletesen szabályozza a radioaktív szennyezettség megengedhető mértékét az élelmiszerekben mind normális körülmények között, mind nukleáris veszélyhelyzetet követően.

Energiahatások

Az energiaeffektusok hatása lokális, az a forrástól távolodva gyorsan csökken. A legenyhébb hatások csak az érzékszerveket ingerlik, hőérzetet, optikai vagy akusztikai hatásokat váltanak ki. A hosszabb idejű hatások az érzékszervek rendellenes működését, elég nagy dózis esetén károsodásukat válthatják ki. Az érintettek gyakran tiltakoznak a zavaró hatású létesítmények környékén, beavatkozást követelnek például az épületben elhelyezett transzformátor zaja, vagy az idegesítő fényeffektusok miatt.

Berendezéseket hűtő légáramok, a működésükkel összefüggő zaj vagy fény zavarhatja a közérzetet, az életkörülményeket és szélsőséges esetben ideg-

rendszeri ártalmakat is okozhatnak. A megújuló és nem konvencionális megoldások közül a szélerőműveknél és a geotermikus energiahasznosításnál erős az áramló közegek hanghatása. A nagyfeszültségű távvezetékek korona kisülését erős zizegő hang kíséri, ami azonban csak a közvetlen közelben érzékelhető. Nagy létesítmények építésénél a sűrű közúti anyagszállítás útvonala mentén fekvő települések életét éveken keresztül megkeseríti a forgalom zaja. Zavart nemcsak az erős megvilágítás okoz, hanem a túlságosan gyenge is. A fényt elnyelő légszennyezők, például a füstgázban kibocsátott, por, füst, vagy a meddőhányókról és zagyterekről a szél által felragadott por csökkenti a látótávolságot, veszélyeztetve a közlekedés biztonságát is. Különösen erős ez a hatás a légszennyezők által létrehozott szmogok és a hűtőtornyok közelében keletkező vízköd esetében.

Számos foglalkozási ártalmat energiahatások idéznek elő, a szemet túlterhelő nagy fényintenzitás elektrooftalmiát (szemlencsehomály), a nagy zaj halláskárosodást idéz elő. A zajszint 10 dB-nyi növekménye megkétszerezi a fizikai érzetet, 40-80 dB magas vérnyomást és idegrendszeri zavarokat is kiválthat, hosszabb ideig érvényesülő 80 dB feletti zaj süketiséget okozhat. Egyes munkagépek (pl. fejtőgépek, osztályozó berendezések) működésével együtt járó tartós vibráció izomsorvadást és csontkárosodást válthat ki. Szabadtéri vagy huzatos munkahelyeken a tartósan érvényesülő nagy hőmérsékletkülönbségek és légáramok mozgásszervi ártalmak okozói.

A nagy energiadózisok baleseteket – égés, áramütés, sugárbetegség, megvakulás, megsüketülés – okoznak. Tüzek, érintkezés magas hőmérsékletű testekkel vagy közegekkel, villamos ívek nemcsak a bőrfelületen okoznak égési sebeket, hanem a magas hőmérséklet és a nagy hőmennyiség szervek elroncsolódásához vezethet. Bizonyos mértéken túl a bőrfelület pusztulása is elég a halálos kimenethez. A legtöbb égéssérülést tüzelőanyagok és villamos zárlatok okozzák, a legtöbb robbanás a földgázhasználat miatt keletkezik. A robbanások nagy nyomáskülönbségei és erőhatásai, a roncsolás következtében leomló vagy szétrepülő szerkezeti elemek romboló ereje nem csupán baleseteket okoz, hanem sokkos állapotot is előidézhet.

A testen átfolyó egyenáram vagy ipari frekvenciájú váltakozó áram megzavarja az idegrendszert működtető villamos jeleket, a testnedvek áramlását, nagyobb áramerősségnél a vese és a szív működését, nagyon erős áram pedig a szívkamra lebegését idézi elő, ami gyakran halálos kimenetű. Vitatott, hogy a hosszabb idejű tartózkodás erős állandó vagy lassan váltakozó mágneses térben növeli-e a leukémia valószínűségét, egyes kutatók nagyon gyenge korrelációról számolnak be. Valószínűtlen, hogy az egyenáramú és ipari frekvenciájú villamos tereknek az ébresztett mechanikai erőkkel, vagy a sejtek ingerlésével élettani hatása lenne. A mágneses erőterénél nem ennyire egyértelmű a helyzet. A szabadvezetékek alatti szokásos térerősség (<5 kV/m villamos és <100 μ T mágneses tér) jóval kisebb, mint a WHO ajánlotta határértékek.

Az elektromágneses hullámok többsége nagy távolságra terjed, de intenzitásuk a forrástól távolodva gyorsan csökken. A forrás közelében a sugárzások egyes típusai (ibolyántúli, lézer, erős fény, röntgen, mikrohullám) veszélyesek az egészségre. Minél nagyobb a fotonok energiája, annál intenzívebb kölcsönhatás tud kialakulni a sejteket alkotó atomokkal és molekulákkal, kémiai, elektrokémiai és fiziológiai folyamatokat gerjesztve. Az erős infravörös sugárzás előidézhethet keringési zavarokat, felső légúti megbetegedést és szembántalmakat. A szokásos intenzitású rádiófrekvenciás hullámoknak valószínűleg nincs biológiai hatása, a nagy teljesítményű, nagyfrekvenciás hullámok dielektromos veszteséget okozva sejtzavarokat válthatnak ki. A mikrohullámok állatkísérletek szerint kromoszómasérülést és a belső elválasztású mirigyek, illetve az idegrendszer működési zavarait okozhatják, hatásáról az emberi szervezetre – főleg a mobiltelefonok kapcsán – szenvedélyes viták zajlanak. Az erős látható fény a látás zavarát vagy a szem károsodását okozhatja, néha az atomok gerjesztésével fotokémiai reakciókat is kivált. Különösen veszélyes lehet az erősen koncentrált lézersugár, ami mélyebben is behatol a testszövetekbe, és nagy teljesítménysűrűsége miatt roncsoló hatású lehet, elsősorban a bőrt és a szemet károsítva. Az ibolyántúli sugarak atomkötések megbontásával kémiai és biokémiai folyamatokat válthatnak ki, bőrgyulladást és kedvezőtlen esetben szürkehályogot okozva, az ibolyántúli sugárzás legnagyobb frekvenciájú, kemény változatának (főleg a 280–320 nm-es UV-B) hatására – 10-15 éves lappangással – bőrrák fejlődhet ki. Ezeket a világúrból érkező kemény UV-sugarakat a sztratoszféra ózonmolekulái abszorbeálják, az ózonkoncentráció csökkenése – az „ózonlyuk” – e sugárzás veszélyét növeli. Egyes epidemiológiai vizsgálatok arra utalnak, hogy a sztratoszféra ózonkoncentrációjának 1%-os csökkenése a fehér bőrű embereknél 1%-kal növeli a melanóma gyakoriságát és 3%-kal az egyéb bőrrákok valószínűségét. Egyes égéstermékek hozzájárulnak az ózonlyuk kialakulásához.

A legbehatóbban az ionizáló sugárzások (röntgen, α , β , γ , p , n) hatását vizsgálták. Ionizáló sugárzás érheti az embert a környezetből (külső sugárzás) vagy az anyagcsere során a szervezetbe került radionuklidokból (belső sugárzás). A belélegzett, illetve lenyelt radionuklidok többsége szétoszlik az emberi testben. Ha az adott elemből a szervezet már telítve van, a radionuklidok kiürülnek; ellenkező esetben beépülnek a sejtekbe, ennek során egyes szervekben bizonyos radioizotópok feldúsulnak (foszfor és radon a csontokban, kálium az izmokban, jód a pajzsmirigyben stb.). Hosszabb, 30 év körüli felezési idejük miatt különös figyelem irányul a ^{137}Cs -ra, ami a kálium helyére az izmokba épül be, és a ^{90}Sr -ra, ami részben a kalciumot helyettesítve lép a csontokba. Ezek belső sugárzásának időbeli tartamát egyrészt a biológiai kiürülés (48. táblázat), másrészt a radioaktív bomlás felezési ideje szabja meg.

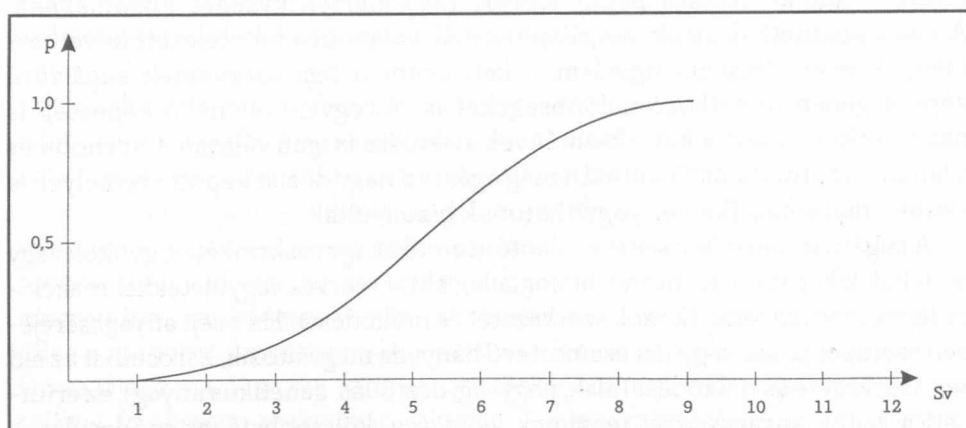
A különféle típusú és energiájú ionizáló sugarak áthatoló képessége és ionizáló hatása eltérő, ettől függ a biológiai hatásuk, amit tapasztalati úton

meghatározott tényezőkkel vesznek figyelembe. A megkülönböztetés érdekében *gray* (Gy) mértékegységet használnak a fizikai dózisra, a tényezőkkel korrigált biológiai dózisra pedig *sievert* (Sv) mértékegységet alkalmaznak. A megengedhető dózisok megállapításánál, valamint a feltételezett következmények összesítésénél figyelembe kell venni a test szerveinek sugártűrő képességében mutatkozó különbségeket is. Az egyéni ellenálló képesség is nagyon eltérő, ezért a következmények alakulása is igen változó. Csernobil és a Japán ért atomtámadások után még egészen nagy dózist kapott személyek is életben maradtak, illetve gyógyíthatónak bizonyultak.

A sugárzás ionizálja a sejteket alkotó atomokat, így reakcióképes gyökök vagy molekulák képződnek, melyek biológiailag aktív szerves vegyületekkel reakcióba lépve megváltoztatják azok szerkezetét és működését. Ha a sejt anyagcseréjében szerepet játszó vegyület számottevő hányada megváltozik, károsulhat az élő sejt szerkezete és működése (alak, nagyság, osztódás, genetikai anyag), ez érintheti a sejtek anyagcseréjét (enzimek változása, kölcsönhatások módosulása), befolyásolhatja a sejtek funkcióit is (struktúraváltozás, funkciómódosulás) és szélsőséges esetben a sejt pusztulásához is vezethet. Az ionizáló sugárzás leginkább a sejtműködés irányításában kulcsszerepet játszó DNS-molekulákra hat, részben közvetlenül, részben biokémiai reakciókon keresztül.

Ha az ionizáló sugárzás megöli a sejteket, szövetek halnak el és a következmények determinisztikusak, ha csak módosítja a sejteket, a működés zavarainak következménye sztochasztikus. Determinisztikus következmény – sugársérülés – csak nagy aktivitású sugárforrás közvetlen közelében, 0,5–1,0 Sv feletti dózisonál lép fel, ilyenkor az ártalom súlyossága arányos a dózissal. Kisebb dózisonál (0,5–1 Sv) a heveny sugársérülés kimenete enyhébb, csak a bőrön keletkeznek égési sebek, esetleg émelygéssel, hányással és rossz közérzettel párosulva, kialakulhat a fertilitás zavara is. Nagyobb (1–2 Sv) dózis a szemben hályogot okoz, súlyosabb esetben károsodnak a vérképző szervek is, melyeknek azonban jelentős a regenerálódó képessége, így van lehetősége a gyógyításnak. 2–5 Sv-nyi dózisonál a vérképző szervek – főleg a csontvelő – károsodása már olyan fokú lehet, hogy az egy-két hónapon belüli halálos kimenet valószínűsége jelentős. Az ennél nagyobb, 5–15 Sv-nyi dózis a tápcsatorna nyálkahártyáját és az emésztőrendszert is károsítva 1–2 héten belül nagy valószínűséggel halálos kimenetű. 15 Sv felett a sugárzás az idegrendszert és érrendszert is megtámadja (görcsös állapot, eszméletvesztés, zavartság tüneteivel), néhány napon belüli elhalálozást okozva, még nagyobb dózisonál belső vérzés lép fel, megindul a fehérvérsejtek és vérlemezkék lebomlása, a halál órákon belül beáll. A dózis és a halálos kimenet átlagos valószínűsége között többnyire logisztikus kapcsolatot tételeznek fel (52. ábra), 1 Sv táján érvényesülő küszöbértékkel (Csernobilban 2 Gy-nél kisebb dózis nem okozott halálos kimenetet), a mortalitás 50%-os valószínűsége 5 Sv körül van, a közel 100%-os tartomány 6,5–8 Sv között kezdődik.

Sugárbetegség okozta halálozás valószínűsége



A sztochasztikus következmények egyik típusa sok évvel a besugárzás után jelentkezik sejtek rákos burjánzásával. E kései károsodásnál a sugárzás csupán a betegség kiváltó oka, a további lefolyást, annak súlyosságát és kimenetét nem lehet kapcsolatba hozni a dózissal. A megbetegedés valószínűsége viszont a sztochasztikus jellegnek megfelelően függ a dózis nagyságától, többnyire arányosságot tételeznek fel. A tapasztalatok szerint 1 Gy fizikai dózis a különféle szervekben $(1-10) \cdot 10^{-3}$ gyakorisággal okoz rákot. Különösen érzékenyek a karcinogén hatásra a vérképző szervek és a csontvelő, a tüdő, a máj, a női emlő és jóval nagyobb dózissal a pajzsmirigy. A leukémia átlagos lappangási ideje 8 év, a többi ráké ennek két-háromszorosa, ezt követően a betegség hosszú ideig elhúzódhat. Nem minden rák halálos, a mortalitás a megtámadott szervtől és a gyógyítás lehetőségétől függően nagyon eltérő: például a tüdőrák nagy része halálos kimenetű, a pajzsmirigyráknak viszont csak nagyon kis hányada letális. Vitatott, hogy a kis dózisok (1 mSv alatt) az emberi szervezetben rákkeltők-e. Mivel e kérdés kísérletileg nem dönthető el, a biztonság érdekében feltételezik hogy bármilyen kis dózis is növeli a rákos megbetegedés kockázatát. Ezért ajánlják a sugárzás csökkentését a lehetséges legkisebb mértékre (ALARA-elv, azaz As Low as Reasonable Achievable, az ésszerűen lehetséges legalacsonyabbra). Újabban arra is vannak indikációk, hogy az ilyen kis dózis a DNS-molekulákat javító enzimek működését és más korrekciós mechanizmusokat gerjesztve pozitív szerepet játszik (hormezis). Sokan kétlik, hogy a természetes eredetű háttérsugárzás – amihez a fajfejlődés során az emberiség akklimatizálódott – tört részének megfelelő dózis káros lenne. Mindezek következtében a Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottságban (ICRP, International Commission on Radiological Protection) megindult a korábbi megközelítés felülvizsgálata, de ez hosszú időt fog igényelni. Az első

kompromisszum az egészen kis dózisoknál a lineárisnál enyhébb összefüggés figyelembevétele a dózis és a következmények között. A jelenlegi sugárvédelmi előírások szerint figyelmen kívül hagyhatók a következmények, ha az egyéni dózis $<10 \mu\text{Sv}/\text{év}$, a kollektív dózis $<1 \text{ személy.Sv}/\text{év}$ vagy a radioaktív forrás felületétől 0,1 m-re a dózisteljesítmény $<1 \mu\text{Sv}/\text{óra}$. Az ICRP-60 ajánlása szerint a lakosságnál a tolerált effektív dózis 5 év átlagában $1 \text{ mSv}/\text{év}$, de üzemzavarnál egy évben elérhet $5 \text{ mSv}/\text{év}$ -et, a szemre 15 és a bőrre $50 \text{ mSv}/\text{év}$ dózist engednek meg. A foglalkozási sugárterhelésre a határértékek magasabbak, 5 év átlagára $20 \text{ mSv}/\text{év}$, de egyszer $50 \text{ mSv}/\text{év}$ -et is elérhet, a lokális értékek pedig a lakosságra megengedettnek tízszeresei.

A sztochasztikus következmények másik típusa az ivarszerveket vagy ivarsejteket ért sugárzás miatt bekövetkezett genetikus mutáció. Az utódokat érintő mutagén és teratogén következményekre vonatkozó információk ellentmondásosak. Hirosima és Nagaszaki túlélőinek leszármazottai több mint fél évszázada orvosi megfigyelés alatt állnak, de még mindig nem egyértelmű, vannak-e genetikus következményei a sugárhatásnak. Ennek ellenére – főleg állatkísérletekre alapozva – a nemzetközi tudományos közösség feltételezi a hatást.

A sztochasztikus következmények modellezéséhez a kollektív dózist használják. Hangsúlyozni kell, hogy ez nem tapasztalatokkal alátámasztott összefüggés, hanem munkahipotézis, ami a nagy dózisoknál szerzett ismeretek extrapolálására alapul. A nemzetközi szervezetek (ICRP, UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, ENSZ Tudományos Bizottsága a Radioaktív Sugárzás Hatásáról; WHO – World Health Organization, Egészségügyi Világszervezet) a kollektív dózishoz rendelt kockázati valószínűséget az utóbbi évtizedekben fokozatosan növelték, jelenleg feltételezik, hogy 100 személy.Sv -nyi kollektív dózis átlagosan 5 halálos és 12 nem halálos kimenetű rákot, valamint 1 genetikus mutációt okoz. Az életkor-megoszlást és az egyének teljes élettartamát figyelembe véve a 18 és 64 év közötti dolgozók esetében e következmények 4 halálos, 12 nem halálos rákot és 0,6 genetikus mutációt jelentenek. A genetikus mutációk 15%-a az első és 12%-a a második generációnál jelentkezik, 73% pedig későbbieknél. Mivel a rákos megbetegedés valószínűsége, lappangási ideje és lefolyása függ az érintett személy életkorától a besugárzás idején, az életidő csökkenése is életkorfüggő. Ezért újabban differenciáltabb, az érintett populáció korösszetételét is számításba vevő elemzést ajánlanak a várható következmények becsléséhez az átlagértékek alkalmazása helyett, figyelembe véve, hogy a jelenségek nem lineárisak. A kollektív dózis számításánál megegyezés szükséges a figyelembe veendő időtartamra és földrajzi kiterjedésre is. Nagyon igényes számításoknál arra is tekintettel vannak, hogy a halálos kimenetű rákot okozó sugárzás csökkenti az egyéb eredetű rák kifejlődésének lehetőségét.

Gyengéje a kollektív dózist alkalmazó megközelítésnek, hogy sok személyt érő kis dózis ugyanakkora veszélyt jelent, mint egy kis csoportra ható nagy

dózis, ha a számított kollektív dózis értéke a két esetben azonos. Ez a megközelítés egészen kis dózisoknál valószínűtlenül nagy kockázatra vezet, ha a figyelembe vett populáció elég nagy. Ezért a kis dózisokkal kapcsolatban megindult átértékelés a kollektív dózis használatának célszerűségét is meg fogja kérdőjelezni.

Az egészségvédelmi rendszabályok előírásokat vagy ajánlásokat is adnak a különféle közegekben tolerálható radioaktivitás mértékére, zárt térben a levegő aktivitására 200–400 Bq/m³, az ivóvízre 20 Bq/l, a talajra 185–555 kBq/m² a szokásos értékek. A hazai jogszabály az élelmiszerekre általában 600 Bq/kg-ot enged meg céziumizotópokra, amitől azonban jelentős eltérések lehetségesek az élelmiszerfajtától, az izotóp jellegétől, és a fogyasztás módjától (kis vagy nagy mennyiségű fogyasztás, csecsemőtáplálék, nukleáris baleset után) függően.

A sztochasztikus ártalmak valószínűségének figyelembevételével a francia kutatók úttörő munkát végeztek a lakosság sugárterhelésének felmérésére. Izotóponként meghatározták a teljes nukleáris ciklus létesítményeinek emisszióját a légkörbe és a környező vizekbe, továbbá felmérték a talajba deponált hulladék hatását. Ebből kiindulva izotópspecifikusan, a konkrét hatásmechanizmusok figyelembevételével számították a radioaktív anyagok terjedését és az immisszió területi megoszlását. A kibocsátások terjedését a légkörben általában a Gauss-fáklyával modellezték, kivéve a ³H és ¹⁴C izotópokat, melyeknél egyenletes elkeveredést tételeztek fel a Föld légkörében és egyensúlyi koncentráció kialakulását a levegővel érintkező rendszerekben (víz, élőlények). A vízrendszerekben és a táplálékláncban a radionuklidok terjedését rekeszmodellekkel követték. A számításoknál néha specifikus feltételeket is figyelembe vettek (terepviszonyok, széljárás, vízrendszerek topográfiája és áramlási viszonyai). A terjedést általában lokális (<100 km) és regionális (<1000 km) kihatásban követték, az utóbbi gyakorlatilag egész Európa figyelembevételét jelenti. Négy izotópnál az egész Földre kiterjedő globális hatást is feltételeztek nagy mobilitásuk és hosszú élettartamuk miatt. Ezek egyenletes eloszlásával számoltak a Föld ökoszisztémájában, a ⁸⁵Kr-t a légkörben, a ³H-t a légkörben és a vizekben, a ¹⁴C-t (felezési idő 5710 év) és ¹²⁹I-t (felezési idő 16 millió év) ezeken túlmenően a bioszférában is vizsgálva.

Az immissziók ismeretében a radioizotópok konverziós tényezőinek alkalmazásával felmérték az emberek egésztest dózisterhelését. Levegőben a belélegzést, a bemerülést és a talajra kiülepedett radionuklidok sugárzását vették számításba, a táplálkozásnál a tipikus étkezési szokásokból indultak ki, a vizek hatásánál az ivóvíz, az öntözés és halfogyasztás szerepét követték. A lekötött dózist általában 50 évvel vették figyelembe, azonban 100 ezer évet tekintettek mérvadónak a globális hatásoknál, valamint a talajra kiülepedett szennyezésnél és a hulladék elhelyezésénél. Ezzel a hosszú időhorizonttal a jövő nemzedékek iránti felelősséget kívánták demonstrálni. A hosszú megfigyelési idő ugyanakkor bizonytalanságokkal is terhes, mivel ez alatt változatlanságot téte-

lez fel az életvitelben, a népsűrűségben, a biológiai válaszokban stb. Vizsgálták az egyes telephelyek közötti szállítás befolyását is, mind a sugárzás, mind a feltételezhető közlekedési balesetek figyelembevételével. Az elemzéseket általában konkrét létesítmények jellemzői alapján végezték, a nagy aktivitású hulladék végső elhelyezésének hatását azonban – kivitelezett megoldás híján – egy feltételezett telephelyről készített tanulmány alapján becsülték meg. Ugyancsak feltételezések alapján becsülték a nagy atomerőművi balesetek szerepét is, amiknél a lehetséges következmények száma ugyan nem kevés, de a kis valószínűség következtében az eredő fajlagos mutatókat csak kevéssel növelik.

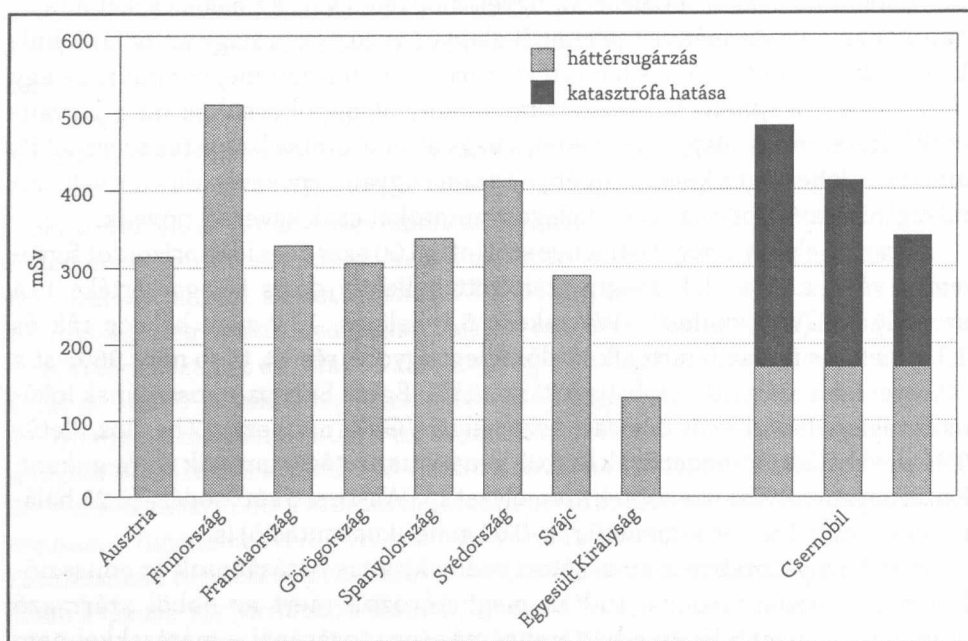
A francia elemzés végeredménye szerint, a 100 ezer éves időhorizontot figyelembe véve, a teljes lakosságra számított kollektív dózis fajlagos értéke 114 személy.Sv/GWa, amihez GWa-enként 5,7 halálos, 13,7 nem halálos rák és 1,1 genetikus mutáció tartozik. A dózis legnagyobb részét, több mint 96%-át a 100 ezer évre számított globális hatás teszi ki. Egész Európa lakosságának lokális és regionális kollektív dózisa 3,4 személy.Sv/GWa, amihez 0,17 halálos, illetve 0,41 nem halálos kimenetű rák és 0,03 genetikus mutáció tartozik GWa-enként. Közel ugyanennyi az üzemviteli személyzet 1 GWa-re eső károsodása (0,21 halálos és 0,5 nem halálos kimenetű rák, 0,04 genetikus mutáció) is.

Paks környezetében a kibocsátott radioaktivitás hatását csak az emissziókat követő számításokkal tudták meghatározni, mert az ebből származó immisszió – kisebb lévén a háttérsugárzás ingadozásánál – mérésekkel nem mutatható ki. E szerint a 3 km-es övezeten belül élő lakosságot érő egyéni átlagos effektív dózisegyenérték az évek során 0,1 és 0,4 $\mu\text{Sv}/\text{év}$ között ingadozott, vagyis egy állandóan az erőmű telephelyének kerítésénél tartózkodó személy dózisterhelése a háttérsugárzás tized ezreléke körül mozog.

Figyelemre méltó elemzés eredményét mutatja be az 53. ábra Európa különböző régióiban az életidőre kumulált kollektív dózis mértékéről, figyelembe véve a háttérsugárzás (világosabb hasábok) és Csernobil (sötét hasábok kisebb, közepes és nagy dózisonál) hatását. A magas értéket Ausztriában az magyarázza, hogy a lakosság jó része a hegyekben él, a kozmikus sugárzásnak jobban kitéve, Skandináviában a gránitpajzs magas urántartalma okoz nagyobb terhelést. Csernobil környezetében a talaj jellege miatt alacsony a természetes eredetű radonkoncentráció, a katasztrófa hatása a domináns, de a kollektív dózis még a nagy sugárzást kapott populációnál sem rosszabb a skandináv viszonyoknál.

Az atomenergia alkalmazásának kritikus kérdése a radioaktív hulladékok végső tárolása. Alapvető követelmény, hogy a tározóból semmilyen transzportfolyamattal se juthassanak emberközelbe radionuklidok a megengedett meghaladó mértékben (a méretezési érték 0,1 mSv/év). A fűtőelemciklus és az erőmű radioaktív hulladékait megfelelően kialakított tárolókban addig kell a környezettől elszigetelni, amíg aktivitásuk nem csökken veszélytelen mértékre. A szükséges időtartam a hulladékok izotóp-összetételétől függ, a felezési idő hússzorosa már elhanyagolható mérték, mert a spontán bomlás következtében

Életidőre kumulált kollektív dózisok



ezalatt az aktivitás egymilliomodára csökken. A felületükön <10 mGy/h teljesítménnyel értelmezett kis és közepes aktivitású hulladékok nagy részénél ez néhány évtized alatt bekövetkezik. Egy kis hányadnál a felezési idő 30 év körül mozog (^{137}Cs , ^{89}Sr), ezeknél az elszigetelés néhány száz évet igényel. A kis és közepes aktivitású hulladékok biztonságos elhelyezésére sok országban – köztük Magyarországon is – működnek a gyakorlatban bevált létesítmények.

Van megvalósítható műszaki elképzelés a hosszú felezési idejű, nagy aktivitású hulladékok végleges elhelyezésére is, néhány száz méter mélyen stabil geológiai formációkban. Ennek realitását maga a természet igazolta Gabonban, ahol a transzportfolyamatok nem hordták szét egy hosszú ideig tartó – 1 milliárd évvel ezelőtt zajló – spontán láncreakció termékeit. Az USA-ban 1999-ben üzembe is helyeztek egy föld alatti tárolót katonai eredetű nagy aktivitású hulladékoknak (Carlsbad, Új Mexikó). Több országban készültek tervek atomerőművi nagy aktivitású hulladékok elhelyezésére is, azonban ezek megvalósítására még sehol sem került sor. Ennek oka, hogy a kiégett fűtőelemek néhány alkotójának nagyon hosszú a felezési ideje, az elszigetelést 10 ezer évekre, vagy még hosszabb időre kell tervezni, a fűtőanyagciklus lezárásának módjától függően. Ilyen hosszú időre nemcsak a tartós elszigetelhetőség bizonyítása probléma, hanem az intézmények tartóssága és az ismeretek megőrzése is kétséges, ami a társadalom bizalmatlanságát váltja ki. Ezért

a kiégett fűtőelemek 50-100 évre biztonságos átmeneti tárolása honosodott meg (Pakson is), hogy az alatt mód legyen a végső megoldás kiérlelésére. Erre az egyik megoldás a fűtőelemek újrafeldolgozása, amiből az energetikailag hasznosítható komponenseket visszavezetik a fűtőelemciklusba, néhány százalékra csökkentve a hulladék mennyiségét. A földkéreg eredeti természetes sugárzási szintjének megőrzése is egy lehetőség, a temetendő aktivitást a kitermelt hasadóanyag aktivitásának mértékére korlátozva. Újabban felmerült a transzmutáció lehetősége, ez az ígéretes eljárás neutronbesugárzással a hosszú felezési idejű izotópokat rövid felezési idejű vagy stabil izotópokká alakítja át. A hazai nukleáris létesítmények leszerelésével és a hulladékok végső tárolásával kapcsolatos költségek finanszírozása egy erre a célra létrehozott pénzügyi alap feladata. Az alap értékének megőrzése bizonytalanná vált, mert egy átgondolatlan országgyűlési határozat törölte ennek feltételét.

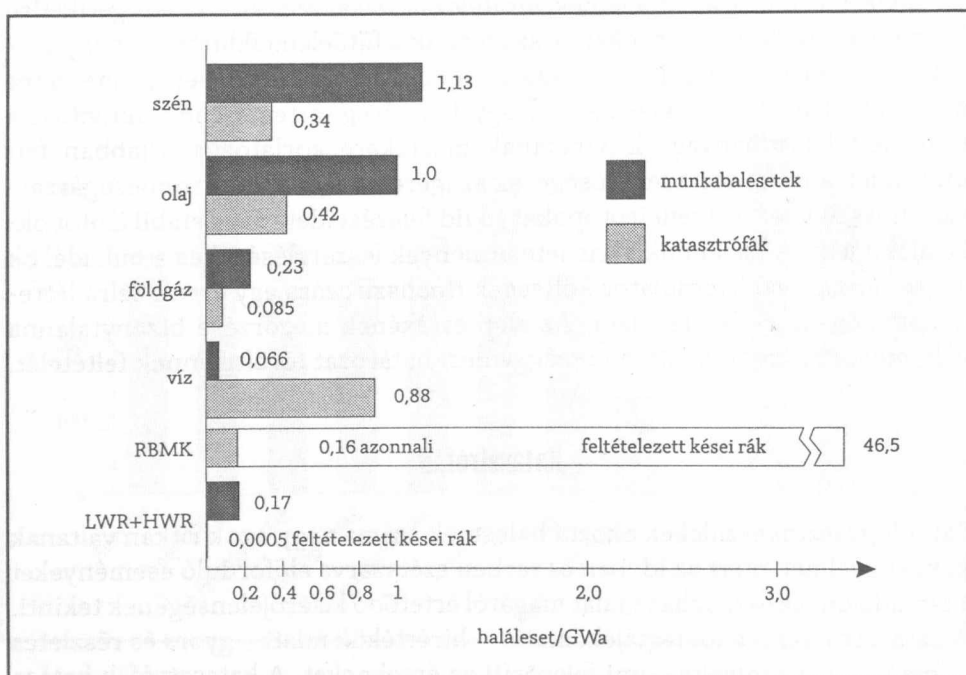
Katasztrófák

Bár a fogyasztókészülékek okozta balesetek száma nagy, azok ritkán váltanak ki közfigyelmet, mert az időben és térben szétszórva előforduló eseményeket a társadalom az eszközhasználat magától értetődő kísérőjelenségének tekinti. A katasztrófákról a tömegtájékoztatás – hírértékük miatt – gyors és részletes információkat szolgáltat, ami felerősíti az érzelmeket. A katasztrófák hatása sokkoló, ezért a társadalom sokkal nehezebben tolerálja az egyidejűleg nagyobb számú következményt kiváltó súlyos baleseteket és katasztrófákat, mint a térben és időben megosztva jelentkező, nagyszámú áldozattal járó veszélyeket. Sajátos ellentmondása e szubjektív megítélésnek, hogy az egyéni kockázat a foglalkozási vagy háztartási balesetek következtében sokkal nagyobb, mint a katasztrófák miatt, mert a nagyszámú áldozat ellenére a bekövetkezés kis valószínűsége miatt a katasztrófa okozta kockázat kicsi. Kívülállókkal nehezen fogadtatható el, hogy a katasztrófák számszerűsített kockázata sokkal kisebb, mint amit a szubjektív veszélyérzet sugall. Természetesen ettől függetlenül mindent el kell követni a technikai katasztrófák kiküszöbölésére. Az 54. ábra tanulságos összehasonlítást mutat be az üzemi balesetek és a katasztrófák halálos kimenetének arányáról néhány energetikai vertikumra.

Egy, az energetikai katasztrófák valószínűségére vonatkozó vizsgálat eredményét mutatja be az 52. táblázat, e számított értékek többségének időléptéke geológiai korszaknyi, hiszen egymillió évben egyszer előforduló eseményt jelent a 10^{-6} /év gyakoriság.

Ma még nincs egységes állásfoglalás a katasztrófák definíciójára, a nemzeti szervezettek most kezdik kialakítani a határértékeket (lásd a *Kölcsönhatások* című fejezetet). A katasztrófák kimenetének elemzése szerint (53. táblázat) a következmények mind emberáldozatban, mind anyagi kárban a természeti ere-

Halálos kimenetelű ártalmak mértéke



detűeknél a legnagyobbak, a műszaki eredetű szerencsétlenségek viszont gyakoribbak. A biztosító társaságok adatgyűjtése szerint a technikai szerencsétlenségek 60-75%-át közlekedési balesetek okozzák, az energetika 20-25%-ért felelős.

Az energetikában leggyakrabban előforduló nagy balesetek bányaszerencsétlenségek és gázrobbanások. Fajlagosan a legtöbb prompt emberáldozattal a gátszakadások járnak. Nagy a halálos kimenetek száma a tengeri platformok szerencsétlenségeinél, a tankerek katasztrófáinál inkább a természetkárosítás dominál. A világban előforduló katasztrófák halálos áldozatainak összesített, évenkénti átlagos száma a bányászatban 200, az olajiparban 100 fő körül mozog, és mintegy 200 emberéletet követelnek a gátszakadások (nem vízerőműveket is beleértve). Az elmúlt egy-két évtizedben előfordult legnagyobb energetikai eredetű katasztrófák (100-nál több áldozattal és/vagy 100 MUSD-t meghaladó kárral): atomreaktor robbanása Csernobilban, bányaszerencsétlenségek Franciaországban, Kínában és Rhodesiában, gátszakadás Olaszországban és Indiában, földgázvezeték robbanása Szibériában, olajfinomító katasztrófa Braziliában, tűzvész egy venezuelai erőműben, felborult, illetve tűzvész sújtotta tengeri platformok az Északi-tengeren, a tengereken szerencsétlenül járt olajtankerek.

Az energetika legsúlyosabb katasztrófája a csernobili atomerőmű balesete volt 1986-ban. Egy nukleáris balesetnél több százféle radionuklid kerülhet a

52. táblázat

Súlyos energetikai katasztrófák valószínűségei

Katasztrófa jellege	Valószínűség/év	Azonnali halál*	Kései elhalálozás**
PWR atomerőmű nagy balesete	10^{-5}	0	10–100
PWR atomerőmű nagy katasztrófája	10^{-7} – 10^{-9}	10–500	10^3 – 10^4
Olajfinomító nagy balesete	10^{-5} – 10^{-6}	1 500	
Olajfinomító katasztrófája	10^{-6} – 10^{-7}	18 000	
Kisikló szén szállító vonat ütközése személyvonattal	$3 \cdot 10^{-5}$	10–50	
Szénhidrogén-szállító vonat összeütközése alagútban	10^{-8}	600	
Gátszakadás	10^{-3} – 10^{-4}	10–2 000	

* néhány héten belül

** évek múltán

53. táblázat

Katasztrófák kimenetének megoszlása

Katasztrófák jellege	Katasztrófák megoszlása, %		
	események	emberáldozatok	anyagi kár
Természetes eredetűek	35,9	88,2	82,5
Tűzvész	11,7	0,6	8,5
Repülőszerencsétlenség	9,4	1,3	5,6
Hajószerencsétlenség	14,4	2,3	2,7
Szárazföldi közlekedés	18,5	2,9	
Egyéb	10,1	4,7	0,7

környezetbe. Az erőművek a legnagyobb mennyiségben nemesgázokat (főleg ^{133}Xe és ^{85}Kr) bocsátanak ki, melyek nem lépnek kölcsönhatásokba és a légtérben maradván az antropogén eredetű külső sugárzás legfőbb forrásai. A légtérbe kerülő hasadványok és aktivált részecskék (H, I, C, Rb, Cs, Sr, Co, Mn stb. radioizotópok) közül a baleset első időszakában a pajzsmirigyben feldúsuló ^{131}I izotóp szerepe a legfontosabb. Egyrészt belélegezve, másrészt a növényekre kiülepedve a táplálékláncban keresztül kerül be az emberi szervezetbe, rövid felezési ideje (8,1 nap) következtében viszonylag gyorsan lebomlik. A ^{137}Cs viszont a levegőből a talajra kiülepedve vagy a csapadékkal kimosva tartósan befolyásolja a viszonyokat (felezési ideje 30,17 év), részben külső sugárforrásként, részben a növényzetbe felszívódva. Csernobil utóhatását alapvetően a talajra kiülepedett céziumizotóp koncentrációjának eloszlása szabja meg.

A csernobili katasztrófában érintettek ártalmairól nagyon bizonytalanok és ellentmondásosak az információk. A 30 km-es zónából kitelepítettek 10–100 mSv nagyságrendű sugárdózist is kaphattak, de távolabbi körzetek-

ben is előfordult hasonló mértékű hatás. Európa többi országában az 50 évre kumulált dózis nem érte el a háttérsugárzás egy évnyi mértékét és 1-2 mSv alatt maradt. A médiában gyakran jelennek meg elborzasztó – százezres, sőt milliós nagyságrendű – adatok a katasztrófa sugársérültjeinek számáról a lakosság körében. A csernobili katasztrófa rendkívül súlyosan befolyásolta a három legérintettebb ország (Oroszország, Ukrajna, Belorusszia) lakosságának egészségét és életkörülményeit, de a tisztánlátás érdekében hangsúlyozni kell, hogy nem akut sugárbaesetek, hanem a környezetszennyezés okozta sztochasztikusan előforduló kései rákos megbetegedések, és a még ennél is súlyosabb pszichés ártalmak formájában. A szabatos megkülönböztetés nem utolsósorban a hasonló katasztrófák lehetetlenné tétele érdekében szükséges teendők meghatározása miatt is fontos. Ténylegesen egyetlen erőművön kívül tartózkodó személy sem szenvedett akut sugárbaesetet, mivel az ott érvényesülő dózis nagyságrendekkel kisebb volt az ennek feltételét jelentő 1 Sv körüli küszöbértéknél. A sugársérülés gyanújával kórházi kivizsgálásra került 237 személy a katasztrófa elhárításban részt vevő erőművi dolgozó vagy tűzoltó volt, közülük 134-nél állapítottak meg sugárbetegséget, 28-an három hónapon belül meghaltak (a katasztrófánál 3 nem sugárzás okozta haláleset is bekövetkezett), további 14 személy 10 éven belül halálozott el, de az utóbbiak nem mindegyikénél egyértelmű ok a sugárzás. A félrevezető tájékoztatás egyik forrása, hogy a három súlyosan érintett ország egyes intézményei felnagyított és torzított adatokat tesznek közzé az együttérzés és anyagi támogatás megnyerése érdekében. Egy további ok az információk összemosása tájékoztatatlanságból, vagy antinukleáris elkötelezettségből, összekeverik az ártalmak különféle típusait, az érintett térségben mindenféle egészségkárosodást a sugárzás következményének tekintenek, függetlenül attól, hogy abban a sugárzás hatásának lehetett-e szerepe, tényadatokat összevonnak feltételezésekre alapuló prognózisokkal stb. Gyakori az áttételek és fordítások információtorzító hatása is, az érintett területen élők számából érintettek száma válik, a további hírek károsultakról, majd megbetegedettekről szólnak és végül a lakosság-számból halálos áldozatok száma lesz. Esetenként indokolatlanul más megbetegedéseket (fertilitási, keringési és emésztési zavarok) is a sugárzás hatásának minősítenek. Természetes, hogy az atomenergia-ellenesek a nézetüket leginkább alátámasztó szélsőséges adatokat ragadják ki, és azokat mértékadó szakvéleményként ismertetik.

A következmények súlyosságát természetesen nem szabad lebecsülni, a katasztrófa kihatásai (egészségkárosítás, lélektani khatások, természetkárosítás, anyagi károk, gazdasági és társadalmi következmények) szinte felmérhetetlenek. Országrésnyi területek váltak lakhatatlanná, a becslések szerint 7 millió ember életkörülményeit érintette az, hogy térségükben a talajszennyezés meghaladta a területhasználatot korlátozó 37 kBq/m² küszöbértéket, nagy területen még jelenleg is érvényesül ez a túllépés, és Csernobil körül

4 300 km² ma is tiltott övezet. Egymillió körül mozog azok száma, akiket a megengedettnél nagyobb dózis ért (116 ezer embert kellett áttelepíteni a 30 km-es övezetből, több százezer ember – a likvidátorok – vett részt a baleset-elhárításban és a következmények felszámolásában, 270 ezer ember nem volt hajlandó elköltözni az ellenőrzött zónából). A feltételezések szerint a katasztrófát követő 70 évben a többletsugárzás következtében elsősorban ebben az embercsoportban jelentkezhetnek rákos megbetegedések (a számítások szerint legfeljebb néhány ezren voltak kitéve a foglalkozásokra megengedett dózis többszörösének, az áttelepítettek dózisa annak kétszerese alatt maradt, a legtöbben alig kaptak a megengedettnél valamivel többet). Az erőmű környezetében a gyermekek körében erősen megnőtt a pajzsmirigyrákok száma (szerencsére jól gyógyítható, a mintegy 1800 eset mortalitása ‰ nagyságrendű). Más jellegű (leukémiás, illetve szilárd daganatos) rákok szignifikáns növekedését eddig nem tapasztalták, az UNSCEAR 2000. évi jelentése szerint ez nem is várható. A radioaktív felhő egész Európát bejárta, az északi féltekére jutó kollektív dózis 560 k(személy.Sv), aminek kései következményeként – a jelenleg elfogadott számítási módra alapuló becslés szerint – a katasztrófát követő 70 év során legfeljebb 10^3 – 10^4 rákos megbetegedés következhet be. Az atomerőmű-ellenes mozgalmak gyakran egy-két nagyságrenddel több megbetegedést tételeznek fel, ugyanakkor a sugárbiológusok között terjed a felfogás, hogy a számítás a kollektív dózis alapján indokolatlanul sok következményre vezet.

Valószínűleg a lélektani hatás a legsúlyosabb, a sok százezer embert érintő frusztráció a megszokott életkörülmények elvesztése miatt, a szorongás a lehetséges következményektől, a korlátozások és ellenőrzések kiváltotta fenyegetettség, az intézkedésekkel szembeni bizalmatlanság sok embernél válthat ki pszichés és pszichoszomatikus ártalmakat. Tapaszthatók magatartászavarok (depresszió, apátia, devianciák, reménytelenség), és idegi eredetű szervi megbetegedések. És előfordulnak társadalmi anomáliák is, félelem a besugárzottak „fertőző” hatásától, irigykedés a kárpótlás miatt, a szennyezett területről származó lányok csökkent vonzereje a feltételezett kisebb fertilitás miatt; stb.

Szerencsére a nagyon súlyos technikai katasztrófák ritkák, a csernobilihez hasonló méretű szerencsétlenség megismétlődését épp az annak tapasztalatai alapján eszközölt intézkedések zárják ki. Az atomerőművek biztonságának növelésére világszerte sokirányú programokat indítottak mind a berendezések korszerűsítésére, mind a hatósági felügyelet erősítésére. Magyarországon mintegy 40 milliárd forintot fordítunk a paksi atomerőmű biztonságnövelésére és több intézkedés történt a hatóság függetlenségének és hatékonyságának növelésére.

Magyarországon az elmúlt 30 évben 2 súlyos bányaszerencsétlenség fordult elő, 1978-ban Tatabányán 26 áldozattal és 1983-ban, Oroszlányban 36 halottal. A szénhidrogénipar legsúlyosabb katasztrófája egy kemence-

Beavatkozási szintek nukleáris balesetnél

Intézkedés	Beavatkozási szint	Megjegyzés
Elzárkózás	>10 mSv	legfeljebb két napra
Kitelepítés	>50 mSv	legfeljebb egy hétre
Jódtabletták osztása	>100 mGy	pajzsmirigy dózis
Ideiglenes visszaköltözés	>30 mSv/10 mSv	első hónapban/ezt követő hónapban
Végleges visszatelepítés	>1 Sv	élettartamra extrapolált többletdózis
Élelmiszer-fogyasztás korlátozása	>1 kBq/kg >0,1 kBq/kg >0,01 kBq/kg	^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{89}Sr , $^{131}\text{I}^*$ ^{90}Sr ^{241}Am , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{242}Pu
Térülethasználat korlátozása	>37 kBq/m ² >185 kBq/m ² >555 kBq/m ² >1 480 kBq/m ²	sugárzás ellenőrzése mezőgazdasági termelés korlátozása áttelepülés ajánlása azonnali kitelepítés

* víz, tej, csecsemőtáplálék esetében ^{131}I -ra a korlát >0,1 kBq/kg

téknak (VSL – Value of Statistical Life) is nevezik. Az élet értékét mindenütt azonosnak kell tekinteni, csupán fenntartásának költségei eltérők.

Többször az ártalomhoz az okozott kárt rendelik hozzá, ami az egyént, a családot vagy a társadalmat éri. Természetesen a kárt nem egyénekre, hanem jól meghatározott statisztikai átlagokra értelmezik. A veszélyeztetettség jellegetől függően az átlag vonatkozhat egy létesítmény dolgozóira, egy település, régió vagy ország lakosaira, egy foglalkozási körre, egy korcsoportra stb. A kár értelmezésére többféle megközelítés lehetséges.

A halálos kimenet kárára a legszemélytelenebb számítási mód az egyén halála miatt elmaradt nemzeti jövedelem, ami természetesen a gazdasági színvonalától függően országonként nagyon eltérő. Hátránya, hogy nagyon erősen nivellál és az aktívan nem dolgozó rétegeknél nincs tényleges gazdasági tartalma. Csak az aktív dolgozó népességre lehet reálisan értelmezni az elmaradt életkereset figyelembevételét is. A fejlett országokban a halálos balesetek kárát a kiesett éves átlagkereset tízszerese körüli értékkel veszik figyelembe, ami MUSD nagyságrendet jelent, a maradandó következményekkel járó balesetekhez egy nagyságrenddel kisebb értéket rendelnek és a kis sérülések kárát kUSD-ben számolják. A kereseti arányok alapján a korai elhalálozás magyar viszonyokra átszámított mutatója 0,1 MUSD körüli érték lenne. Többször a biztosítók által fizetett kártérítési, illetve kárpótlási összegek számításba vételét ajánlják, bár ennek mértéke személyfüggő, mivel erősen befolyásolja a biztosítás módja és díja. Számításba jöhet még a bíróságok gyakorlata a kártérítések megállapításánál, bár ezt meg jogi mérlegelés befolyásolja, pél-

dául a felelősség megoszlásának vagy a visszamaradt család szociális helyzetének figyelembevétele. Az anyagi kárba beleértendő a gyógykezelés és ápolás díja, a korlátozott cselekvési lehetőség következtében elmaradt jövedelem, a mozgáskorlátozás miatt szükséges ellátás költsége stb.

Az értékelésnek egy másik lehetősége az elveszett idő figyelembevétele. Ezt nem terhelik a pénzbeli értékméréssel kapcsolatos morális fenntartások és gyakorlati gondok, viszont az ártalmakon túlmenően más következmények minősítésére nem alkalmazható. A halálos kimenetet az élettartam csökkenésével (YOLL – Years of Life Lost, életidő-csökkenés évben, vagy LLE – Loss of Life Expectancy, várható élettartam-csökkenés) lehet jellemezni. Francia statisztikai adatok alapján a prompt baleseti elhalálozást 6000 munkanap elvesztésével veszik figyelembe, ami kereken 30 évnyi munkaviszony. Más elemzések a munkahelyi baleseteknél 35 éves életidő-csökkenést vesznek alapul, feltételezve, hogy a balesetek életkor szerinti megoszlásának középértéke 40 év. A kései elhalálozás megítélésére átlagosan 12-15 éves élettartam-csökkenést ajánlanak. A múlt ártalmakat a kiesett munkaidővel (WDL – Working Day Lost, elveszett munkanapok) lehet számításba venni, mértéke az ártalmak típusától függően nagyon változó a tízegynéhány nap és néhány száz nap közötti tartományban. A francia statisztikák alapján az átlagos munkaidő-kiesés a balesetek miatt 28 nap, a foglalkozási megbetegedések következtében 338 nap. A maradandó kimenetet a keresőképesség relatív csökkenését is tükröző évek számával (YREC – Years with Reduction in Earning Capacity, csökkent keresőképességű évek) lehet számításba venni, vagy a romlott minőségű életidővel (QALY – Quality Adjusted Life Year, csökkent minőségű életidő), az utóbbi tényleges számításának módjára nincs utalás az irodalomban.

Időnként szükségessé válik az egészségi következmények közös kezelése és minősítése más jellegű következményekkel. Többnyire a pénzben kifejezett értékmérést alkalmazzák, a „külső költségek” alapján. Az utóbbi években a külső költségek meghatározására világszerte intenzív kutatómunka indult, a legsokoldalúbb nemzetközi együttműködéssel az Európai Unióban.

Az értékmérés azonban nem mindig járható út, a következmények egy részénél meg kell elégedni naturális mutatók alkalmazásával (pl. üzemmavaro gyakorisága, üvegházgázok koncentrációja), és jó néhány kimenethez semmiféle számszerű mutatót sem lehet hozzárendelni, legfeljebb szubjektív jelzőkkel lehet minősíteni (pl. tájrombolás, gazdasági vonzerő). Ilyenkor – főleg a változatok összehasonlításánál – jól alkalmazható módszer minősítő „osztályzatokat” rendelni a következményekhez. Az osztályzatokból álló heterogén mutatórendszer együttes számszerű értékelésére ad módot a sokparaméteres hasznosság (MAU – Multiattribute Utility) meghatározása. Az n számú következmény i -edik elemére adott y_i osztályzat (hasznosság) és az i -edik következmény fontosságát jellemző w_i súlyozó tényező figyelembe vételével az S hasznosságot a 13. képletben (lásd a következő oldal) kifejezett

$$S = \sum_{i=1}^n w_i y_i$$

összeg szolgáltatja. Természetesen mind az osztályzatok megállapítása, mind a súlyozás szubjektív, aminek a veszélyét némileg enyhíteni lehet, ha a minősítést egyének helyett felkészült szakértői csoport végzi. Megjegyzendő, hogy sok objektívnek tekintett minősítési mód (pl. valószínűségi kockázatbecslés, költség-haszon számítás, lineáris optimalizáció) mélyén ugyancsak szubjektív megítélés húzódik meg.

Egészségvédelem

Az élet- és egészségbiztonság érdekében szükséges intézkedéseket nagyszámú jogszabály írja elő, hogy a veszélyeket egy társadalmilag elfogadható szintre korlátozzák. Ezek jó részét az energiaellátást és -felhasználást kísérő potenciális veszélyek korlátozásának szándéka hozta létre. A veszélyeztetettek legnagyobb csoportját a környezeti ártalmaktól kell megóvni. Ezen ártalmakkal szemben a lakosság védelmét az immissziókra és emissziókra vonatkozó különféle előírások szolgálják (lásd az előző fejezetet). A fejlett országokban a környezetvédelmi jogszabályok és az ezek nyomán foganatosított intézkedések hatásosnak bizonyultak a tisztább levegő, a jobb minőségű ivóvíz, valamint az egészségesebb táplálék biztosítására, a magyar gyakorlat célkitűzései is hasonlóak.

A létesítmények biztonságát tanúsító engedélyeket országos hatáskörű közigazgatási szervek, vagy speciális hatóságok (Magyar Bányászati Hivatal, Műszaki Biztonsági Felügyelet, Nukleáris Biztonsági Felügyelet, Vegyipari és Robbanóanyag Felügyelet, Közlekedés Biztonsági Felügyelet, Országos Munka- és Üzemegészségügyi Intézet, Országos Munkabiztonsági és Munkaügyi Főfelügyelőség, Környezetvédelmi Felügyelet, Vízügyi Hatóság) adják ki, az épületekre ezt a szerepet az önkormányzatok látják el. Az energetikai létesítmények üzembe helyezésével és felügyeletével kapcsolatban széles körű jogosítványokkal rendelkezik az Állami Népegészségügyi és Tisztiorvosi Szolgálat (ÁNTSZ) is. Természetesen az engedélyezési eljárás nemcsak a létesítményen belüli biztonságot tartja szem előtt, hanem a kívülállók veszélyeztetettségét is.

A balesetveszély csökkentése egyaránt feladat az energiaellátást biztosító üzemi dolgozóknál (munkavédelem) és a felhasználóknál (fogyasztóvédelem). A veszélyes hatások kialakulásának megakadályozására maguk az alapvető energetikai törvények (bánya-, gáz-, villamosenergia-, atomtörvény) is tartalmaznak követelményeket, részletesebben foglalkoznak a feladattal a végrehajtási utasítások, a szakmai részletkérdéseket alacsonyabb szintű jogszabályok rendezik.

A munkavédelem legfontosabb feladatait az 1993. évi XCIII. és az 1997. évi CII. törvény és azok végrehajtási rendeletei szabályozzák, a követelményekkel

szabvány is foglalkozik. A jogszabályok rendelkeznek a munkavégzés technikai feltételeiről is (csúszásgátló padozat, biztonságos munkaállás, kerítések és lefedések be- és leesés ellen, védelem tárgyak esése ellen, mozgástér és közlekedési útvonal biztosítása, veszélyek jelzése, riasztórendszer és menekülési útvonal), védőeszközök és -öltözékek, védőételek és -italok biztosításáról. A munkavédelmi rendszabály megszabja a munkahelyi környezettel szembeni követelményeket is (szellőzés, megvilágítás, zajszint, klíma, rezgések tolerálható mértéke, telephelyen belüli forgalomirányítás), a munkavégzés közérzeti feltételeit (ivóvíz, tisztálkodási és öltözési lehetőség, egészségügyi ellátás, pihenési és melegedési lehetőség biztosítása, a munkahely tisztasága).

Veszélyes technológiáknál a biztonság érdekében szükséges teendőket részletes jogszabályokban teszik közzé, például építmények tervezésére és kivitelezésére, a szerelésekre, emelőgépekre, hegesztésekre. Jogszabály rendezi a gépekkel, valamint a munkaeszközökkel kapcsolatos biztonsági követelményeket is. A teendőket, a megoldásokat és a vizsgálatok módját sok szabvány támasztja alá, melyek közül a legfontosabbakat gyakran kötelező erejűvé teszik. A munkavédelem követelményeit és a szükséges teendőket a legtöbb üzem részletes, a helyi viszonyokat figyelembe vevő konkrét vállalati szabályzatban rögzíti. Ezek a tudomásulvételt elismerő munkavállalói aláírással joghatályossá válnak, ami gyakran perdöntő a felelősséget megállapító büntetőeljárásokban, vagy munkaügyi perekben. (Az aláíratás sokszor csak formális, a felelősség áthárítására szolgáló „bőrpapír”.) Veszélyes technológiáknál és berendezéseknél (ami az energiaellátás jóformán minden fázisára vonatkozik) részletes üzemviteli és üzemzavar-elhárítási utasításokat követel meg a jogszabály. Ezen teendők mind nagyobb hányadát veszik át az intelligens felügyeleti és irányítási rendszerek.

A munkavégzésre vonatkozó előírások betartását egyrészt az erre felhatalmazott szakintézmények és hatóságok (Munkavédelmi Felügyelőségek, szakmai hatóságok, közegészségügyi intézmények), másrészt az érdekvédelmi szervezetek ellenőrzik. Egyes engedélyezési és felülvizsgálati fázisokba az érdekvédelmi szervezetek kijelölt képviselőjét is bevonják. Az előírások megszegését enyhébb esetben bírságokkal szankcionálják, súlyosabb mulasztások miatt büntetőeljárást kezdeményeznek. Az is fegyelmező erő, hogy az ártalmakat a vállalatoknak nyilvántartásba kell venni, a baleseteket be kell jelenteni az illetékes szerveknek, azok okát ki kell vizsgálni a felelősség megállapítása mellett. Az elemi veszélyek miatt a mélybányákban bekövetkezett balesetek bejelentésével és kivizsgálásával külön rendelet foglalkozik. A biztosító intézeteknek is van bizonyos befolyásoló hatása, mivel a kártérítés mértéke függ az eszközölt biztonságvédelmi intézkedésektől és a biztosított magatartásától.

A munkahelyi biztonságvédelemhez egészségügyi ellenőrzés is tartozik. Az egészségvédelem általános követelményei között rangos helyet foglal el a munkavállalók egészségének védelme, az egészségkárosító hatásokra – pél-

dául szélsőséges környezeti feltételek, veszélyes légszennyező anyagok, elektromágneses terek, ionizáló sugárzás stb. – a hatóságok jogszabályokban vagy kötelező erejű szabványokban írják elő a megengedhető határértékeket. Az egészségkárosító anyagok munkahelyi emissziójára olyan küszöbértékeket szabnak meg, hogy az ott dolgozók munkaviszonyának teljes tartamára kumulált dózis se legyen ártalmas sem az érintettekre, sem azok utódaira. Különösen veszélyes munkakörülményekre (sugárveszélyes munkahely, föld alatti munkavégzés, munka nagy magasságban, villamos feszültség alatt) speciális előírások vannak a munkahely kialakítására és a munkavégzés módjára. Ahol indokolt, ott magukat a munkahelyeket is vizsgálják, meghatározott munkakörökben pedig a dolgozók egészségi alkalmasságát minősítik, illetve preventív szűrését végzik bizonyos időközönként. A munkavállalók biztonságát is növeli egészségi állapotuk és alkalmasságuk vizsgálata munkakörük betöltésére. Kritikus munkakörökre a vállalatok a kezelőszemélyzet kiválasztásához is megszabják a követelményeket mind a szakmai felkészültség, mind a pályaalkalmasság tekintetében, nagy felelősséggel járó beosztásokban a pszichés terhelhetőséget is figyelembe véve. A biztonságot szolgálják a professzionális személyzet képesítésére vonatkozó követelmények, valamint egyes munkakörök betöltéséhez előírt vizsgák is. Bonyolult feladatok ellátásához (pl. veszélyes üzemek operátorainál) a vizsgák időszakos megújítását is megkövetelik, esetleg szimulátoros gyakorlatok beiktatásával.

Nemcsak a fosszilis energiahordozók tűzveszélyesek, hanem az energetikában használt sok más anyag is, például a villamos vezetők szerves szigetelése, egyes épületelemek és berendezések, vagy a különféle feladatokra használt olajok. A szerves gázok és gőzök, valamint az elektrosztatikusan feltöltődött szénpor pedig robbanásveszélyes. A legfontosabb e balesetveszélyes események bekövetkeztének megelőzése, tűzálló, lángálló, önkiltó anyagok alkalmazásával, a továbbterjedést megakadályozó szerkezetek beépítésével, önműködő védelmek (érzékelők, tűzoltó berendezések, nyomáscsökkentők) beépítésével. A tűz- és robbanásveszély korlátozása több jogszabály és szabvány tárgya, amit a szénhidrogénekre speciális előírások egészítenek ki. Súlyos veszélyt jelent a nagynyomású közegek hirtelen kiáramlása a befogadó berendezések meghibásodásakor, a magas hőmérséklet még fokozza a veszélyt, ezért szigorú előírások vonatkoznak az erőművi kazánokra, valamint más nyomástartó edényzetre és csővezetésekre. Az áramütés elkerülését szolgáló érintésvédelem számos jogszabály és szabvány tárgya. A legtöbb energetikai létesítmény környezetében biztonsági övezetet jelölnek ki, egyrészt a berendezések, másrészt a lakosság védelmére, a villamos vezetékeknél a nyomvonal kialakításának körülményeit is szabályozva.

Megkülönböztetett figyelem irányul a nukleáris létesítmények veszélyes következményeinek megakadályozására. Az ionizáló sugárzás megengedett mértékét rendelet szabályozza. A nagyobb mennyiségű radioaktív anyag kiju-

tásával járó balesetek (megszaladás, zónaolvadás, primerkörü sérülés) megelőzését nukleáris biztonsági szabályzat szolgálja, melynek végrehajtását nagyszámú OAH-irányelv támasztja alá.

Az energiaellátáshoz nagy mennyiségben kell veszélyes anyagokat szállítani, esetenként nemzetközi forgalomban is. A felelősség bonyolult kérdéseinek rendezése miatt is nemzetközi előírások szabályozzák a tevékenységeket a különféle szállítási módokra. Speciális előírások vonatkoznak a radioaktív és nukleáris anyagok szállítására, az utóbbiak fizikai védelmére nemzetközi konvenció is született, és fegyveres őrzésük is szükséges az eltulajdonítás megakadályozására, valamint az antinukleáris demonstrációk okozta veszélyek elhárítására. A veszélyes hulladékok országhatárokat keresztező terjedésének megakadályozására is született nemzetközi konvenció.

Az energiafogyasztók biztonságának megteremtésénél figyelemmel kell lenni arra, hogy energetikai szakképzettségük nem tételezhető fel. A vezetékes ellátási módoknál gondoskodni kell a fogyasztók biztonságos csatlakoztatásának módjáról, az üzemanyagtöltő kutaknál pedig a veszélytelen kiszolgálásról. A fogyasztóberendezéseknél jogszabályok kötelezik a gyártókat, hogy a konstrukciók kialakításával biztosítsák a veszélytelenséget, forgó gépeknél a véletlen benyúlást, villamos készülékeknél az érintésvédelmet, gázkészülékeknél a robbanásveszély, olajtűzelő berendezéseknél a tűzveszély kiküszöbölését. A forgalmazóknak pedig kötelessége a biztonságot szavatoló vizsgálatot tanúsító bizonylat, valamint a veszélytelen használatot ismertető kezelési utasítás mellékelése.

A veszélyes energetikai berendezések és fogyasztói készülékek engedélykötelesek. A kazánok, a nagynyomású vagy/és magas hőmérsékletű közegekkel működő berendezések, a tűz- és robbanásveszélyes anyagokat használó berendezések, az érintésveszélyes villamos gépek és készülékek, az ionizáló vagy elektromágneses sugárzást kibocsátó eszközök biztonságát megfelelő vizsgálatokkal kell tanúsítani. Az előírások megszabják a követelményeket, rendezik a szükséges vizsgálatok jellegét és módszerét, a forgalomba hozatal engedélyezésének módját és szükség esetén a működő berendezések időszakos ellenőrzésének rendjét is. Az egyedi gyártású veszélyes eszközök biztonságát darabonkénti vizsgálattal, a tömeggyártású termékeket típusvizsgálat keretében kell igazolni. Ezeket a vizsgálatokat többnyire megfelelő felkészültségüket igazoló minősítő eljáráson átesett, „akkreditált” intézményekkel végeztetik. A típusengedély megszerzéséhez azt is bizonyítani kell a vizsgálatoknak, hogy az eszköz eleget tesz a biztonsággal kapcsolatos kötelező erejű előírásoknak. A típusvizsgálatokat meg kell ismételni néhány évenként, illetve ha módosul a konstrukció, változnak a felhasznált anyagok vagy a gyártási technológia. A szabványok esetenként minden példányt érintő darabvizsgálatot is előírnak a gyártóknak, például a villamos szigetelésvizsgálatát, nyomáspróbát, lángőrellenőrzést. A kevésbé igényes vizsgálatokra erre kijelölt „noti-

fikált" intézmények is igénybe vehetők. Egyes tevékenységekhez külön jogsultságot kötnek ki a tervezéshez is (pl. épületek, emelőgépek, villamos berendezések, nukleáris létesítmények esetében). A veszélyes anyagok (mérgező, radioaktív, nukleáris, robbanásveszélyes stb.) tárolásánál és szállításánál szükséges fizikai védelemre (őrzés, műszaki akadályok, hozzáférés engedélyezése) is vannak előírások.

Irodalom

- Cohen, A. V.: Comparative risk of electricity generating systems. *J. Soc. Rad. Protection*, 3, (4), 9 (1983).
- Erdélyi A.: Foglalkozási balesetek és foglalkozási megbetegedések a magyar bányászat területén. *Bányászati és Kohászati Lapok*, 126, (4) 409 (1993).
- European Commision: *ExternE, Externalities of Fuel Cycles*. EC DG XII, Brussels, 1995, 1998.
- Fritsche, A. F.: *Gesundheitsrisiken von Energieversorgungssystemen*. TÜV Verlag, Köln, 1988.
- Hamilton, L. D.: Comparative Risk from Different Energy Sources. *IAEA Bulletin* 22. (5/6) 35. 1980.
- Hirschberg, S., Strupczewski, A.: How Acceptable, Comparison of Accident risks in Different Energy systems. *IAEA Bulletin*, 41. (1) 25, 1999.
- Horváth, L. G., Téchy Z., Vörös, L.: *Risk Assessment Based on Case Studies for Reference Plants of the Hungarian Energy System*. IAEA, J4-733, Tec. Doc - 767, Vienna, 1991.
- International Commission on Radiological Protection: 1990 Recommendations of the ICRP. ICRP Publ., No. 60, Oxford, 1991.
- Intervention Criteria in a Nuclear or Radiation Emergency*. IAEA Safety Series, No. 109, Vienna, 1994.
- A magyar nemzeti szabványok jegyzéke*. Magyar Szabványügyi Testület, Bp. 1998.
- One decade after Chernobyl: environmental impact and prospects for the future*. IAEA J1-CN-63, Vienna, 1996.
- Statisztikai Évkönyvek*. KSH, Budapest.
- Swiss Reinsurance Company. Catastrophes and Major Losses in 1990. *Sigma Swiss. Re.*, Zürich 3/1991.
- Vajda Gy.: Kockázat és biztonság. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1998.

Jogszabályok

Egészségvédelem

- 5/1990. (XII. 6.) NM rendelet a légszennyező anyagokról, a levegőminőségi határértékekről és a légszennyezettség méréséről, módosítva a 17/1993. (VIII. 25.) NM rendelettel.
- 12/1998. (XII. 11.) EüM rendelet az élelmiszerek radioaktív szennyezettségének megengedhető mértékéről.
- 62/1997. (XI.26). IKIM rendelet a földtani és bányászati követelményekről a nukleáris létesítmények és a radioaktív hulladék elhelyezésére szolgáló létesítmények telepítéséhez és tervezéséhez; MSz 14344 Radioaktív hulladékok.
- 240/1997. (XII. 18.) kormányrendelet a radioaktív hulladékok és kiegészítő üzemanyag elhelyezésére, valamint a nukleáris létesítmények leszerelésére kijelölt szerv létrehozásáról és tevékenységének pénzügyi forrásáról; 2414/1997. (XII. 17.) kormányhatározat a Radioaktív

- Hulladékokat Kezelő Közhasznú Társaság létesítéséről; 67/1997. (XII. 18.) IKIM rendelet a Központi Nukleáris Pénzügyi Alap működéséről és eljárásrendjéről.
- 39/1997. (VII. 1.) IKIM rendelet a nukleáris anyagok nyilvántartási rendszeréről, nemzetközi ellenőrzéséről és a velük kapcsolatos egyes hatósági jogkörökről; módosítva 38/1998. (VI. 24.) IKIM rendelettel; 25/1997. (VI. 18.) IKIM rendelet a radioaktív anyagok és készítmények nyilvántartásáról; módosítva 38/1998. (VI. 24.) IKIM rendelettel.
- 248/1997. (XII. 20.) kormányrendelet az Országos Nukleárisbaleset-elhárítási Rendszerről.
- 33/1996. (XII. 27.) kormányrendelet a műszaki-biztonsági felügyeletet ellátó szervezetről; 166/1995. (XII. 27.) IKM rendelet a műszaki-biztonsági felügyeletet ellátó szervezetről szóló kormányrendelet végrehajtásáról.
1991. évi XI. törvény az Állami Népegészségügyi és Tisztiorvosi Szolgálatról; 7/1991. (IV. 26.) NM rendelet az Állami Népegészségügyi és Tisztiorvosi Szolgálat szervezetéről és működéséről.

Munkavédelem

1993. évi XCIII. törvény a munkavédelemről; 1997. évi CII. törvény a munkavédelemről szóló 1993. évi XCIII. törvény módosításáról; 5/1993. (XII. 26.) MüM rendelet a munka védelemről szóló 1993. évi XCIII. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról, módosítva a 20/1997. (XII. 19.) MüM rendelettel.
- MSz 63 Munkavédelem.
1997. évi LXXVIII. törvény az épített környezet alakításáról és védelméről; 253/1997. (XII. 20.) kormányrendelet az országos településrendezési és építési követelményekről; 45/1997. (XII. 29.) KTM rendelet az építészeti műszaki tervdokumentációk tartalmi követelményeiről; 11/1984. (VIII. 1.) ÉVM rendelet a nukleáris létesítmények építési szabályairól.
- 32/1994. (XI. 10.) IKM rendelet az Építőipari Kivitelezési Biztonsági Szabályzat kiadásáról; módosítva a 46/1999. (VIII. 4.) GM rendelettel.
- 31/1995. (VII. 25.) IKM rendelet a Vas és Fémipari Szerelési Biztonsági Szabályzat kiadásáról; módosítva a 45/1999. (VIII. 4.) GM rendelettel.
- 33/1994. (XI. 10.) IKM rendelet az Emelőgépek Biztonsági Szabályzatának kiadásáról; módosítva a 47/1999. (VIII. 4.) GM rendelettel.
- 31/1994. (XI. 10.) IKM rendelet Hegesztési Biztonsági Szabályzat kiadásáról; módosítva a 43/1999. (VIII. 4.) GM rendelettel.
- 21/1998. (IV. 17.) IKIM rendelet a gépek biztonsági követelményeiről és megfelelőségük tanúsításáról; 83/1998. (IV. 17.) IKIM rendelet a gépek biztonsági követelményeiről; MSz En 292 Gépek biztonsága.
- 8/1998. (III. 31.) MüM rendelet a munkaeszközök és használatuk biztonsági és egészségügyi követelményeinek minimális szintjéről.
- 30/1994. (XI. 8.) IKM rendelet egyes nemzeti szabványok kötelező alkalmazásáról.
- 44/1997. (VIII. 14.) IKIM rendelet a súlyos bányászati üzemzavarok és a súlyos bányászati munkabalesetek bejelentésének és vizsgálatának rendjéről szóló bányakapitánysági szabályzat közzétételéről.
1997. évi CLIV. és 1972. évi II. törvény az egészségügyről, módosítva az 1999. évi LXXI. törvénnyel; 161/1972. (IV. 29) MT rendelet az egészségügyről szóló 1972. évi II. törvény végrehajtásáról.
- 25/1996. (VIII. 28.) NM rendelet az egészséget nem veszélyeztető munkavégzés és munkakörülmények általános egészségügyi követelményeiről; 26/1996. (VIII. 28.) NM rendelet az egészségkárosító kockázatok között foglalkoztatott munkavállalók expozíciós idejének korlátozásáról; 27/1996. (VIII. 28.) NM rendelet a foglalkozási betegségek és fokozott expozíciós esetek bejelentéséről és kivizsgálásáról.
- 4/1981. (III. 31.) EüM rendelet a munkaköri alkalmasság orvosi vizsgálatáról és véleményezéséről.

1996. évi XXXI. törvény a tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról; 35/1996. (XII. 29.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzat kiadásáról; 70/1997. (XII. 29.) BM rendelet a tűzoltóság tűzoltási és műszaki mentési tevékenységének szabályairól; Tűzvédelem, Szabványgyűjtemények 96, MSz 1987 Budapest; MSz 595 Építmények tűzvédelme; MSz 26184 Robbanásvédelem; MSz 15633 Tűzvédelem éghető folyadékoknál; MSz 9901 Olajtüzelés tűzvédelme.
- 11/1994. (III. 25.) IKM rendelet az éghető folyadékok és olvadékok tárolótartályairól; 1/1977. (IV. 6.) NIM rendelet a gázenergiáról szóló 1969. évi VII. törvény végrehajtásáról.
- 20/1960. (VI. 7.) kormányrendelet a kazánok és egyes nyomástartó berendezések hatósági felügyelet alá helyezéséről, 2/1971. (IV. 28.) NIM rendelet a kazánok és egyéb nyomástartó berendezések hatósági felügyeletéről; 8/1978. (XI. 29.) NIM rendelet a Kazánbiztonsági Szabályzat hatálybaléptetéséről; 4/1979. (III. 7.) NIM rendelet a Nyomástartó Edények Biztonsági szabályzata hatálybaléptetéséről; MSz 13833 Kazánok és nyomástartó edények gyártása és vizsgálata.
- MSz 172 Érintésvédelmi Szabályzat, MSz Szabványgyűjtemények 86, MSz 1992, Budapest.
- 6/1982. (V. 6.) IpM rendelet a gáz- és kőolajüzemű létesítmények biztonsági övezetéről.
- 11/1984. (VIII. 22.) IpM rendelet a villamosmű biztonsági övezetéről.
- 213/1997. (XII. 1.) kormányrendelet a nukleáris létesítmény és a radioaktív hulladéktároló biztonsági övezetéről.
- 1/1967. (IV. 28.) NIM rendelet a villamos vezetékekre vonatkozó vezetékjogról.
- 16/2000. (VI. 8.) EüM rendelet az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról.
- 108/1997. (VI. 25.) kormányrendelet az Országos Atomenergia Hivatal eljárásáról a nukleáris biztonsággal összefüggő hatósági ügyekben.
- 22/1998. (IV. 17.) IKIM rendelet egyes gázfogyasztó készülékek kialakításáról és megfelelőségük tanúsításáról.
1995. évi XXIX. törvény a laboratóriumok, a tanúsító és ellenőrző szervezetek akkreditálásáról; 4/1999. (II. 24.) GM rendelet a műszaki termékek megfelelőségét vizsgáló, ellenőrző és tanúsító szervezetek kijelölésének részletes szabályairól.
- 79/1997. (XII. 31.) IKIM rendelet az egyes villamossági termékek biztonsági követelményeiről és az azoknak való megfelelésértékeléséről; 25/1996. (IV. 17.) IKM rendelet a sújtólég- vagy robbanásbiztos védelmű villamos gyártmányok vizsgálatáról és tanúsításáról.
1986. évi 2. törvényerejű rendelet a Bernben, az 1980. évi május hó 9. napján kelt Nemzetközi Vasúti Fuvarozási Egyezmény (COTIF, Convention concerning International Carriage by Rail) kihirdetéséről; 4/1987. (V. 13.) KM rendelet a Nemzetközi Vasúti Árufuvarozási Egyezményre vonatkozó Egységes Szabályok (CIM – Convention Internationale Concernant le transport des Merchandises par Chemins de Fer, Nemzetközi Vasúti Árufuvarozási egyezmény) mellékleteinek kihirdetéséről, Réglement concernant le transport internationale ferroviare des marchandises dangereuses, a COTIF melléklete, Bern, 1980; kihirdetve: 4/1987. (V. 13.) KM rendelettel, illetve 12/1990. (IV. 30.) KÖHÉM rendelettel. Veszélyes Áruk Nemzetközi Vasúti Fuvarozásáról szóló Szabályzat. Kiegészítései és 1997. évi módosítások: MÁV Közösségszolgálati Iroda, 1996, Bp; 12/1990. (IV. 30.) KÖHÉM rendelet a Nemzetközi Vasúti Árufuvarozási Egyezményre vonatkozó Egységes Szabályok (CIM) I. melléklete módosításának kihirdetéséről, valamint Veszélyes Áruk Nemzetközi Vasúti Fuvarozására vonatkozó Szabályzat (RID – Réglement Internationale Concernant le Transport des Merchandises Dangereuses par Chemins de Fer, Veszélyes Áruk Nemzetközi Vasúti Fuvarozásáról szóló Szabályzat) belföldi alkalmazásáról.
- Accord Européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (ADR), ECE/TRANS/80, 1957, Genf; Kihirdetve: a Magyar Népköztársaság Elnöki Tanácsának 1979.

- évi 19. sz. törvényerejű rendeletével, illetve 20/1979. (IX. 18.) KPM rendelettel. A rendszeres kiegészítéseket figyelembe vevő összefoglalás: *Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Európai Megállapodás*. Műszaki Könyvkiadó, Bp., 1991., az 1997. évi módosítások: Korytrade Kft. Bp., 1996., 1979. évi 19. törvényerejű rendelet a Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Európai Megállapodás kihirdetéséről, 20/1979. (IX. 18.) KPM rendelet a Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Európai Megállapodás kihirdetéséről, 20/1979. (IX. 18.) KPM rendelet a Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Európai Megállapodás „A” és „B” mellékletének kihirdetéséről és belföldi alkalmazásáról.
- Convention on the Physical Protection of Nuclear Material, Vienna, 1987; 1987. évi 8. törvényerejű rendelet a nukleáris anyagok fizikai védelméről szóló egyezmény kihirdetéséről; 47/1997. (VIII. 26.) BM rendelet az atomenergia alkalmazásával összefüggő rendőrségi feladatokról.
- Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal. Basel, 1989.
- European provision concerning the international carriage of dangerous goods by inland waterway (ADN), ECE/TRANS/GE/R.270, Genf, 1977; Veszélyes áruk nemzetközi belvízi szállításáról szóló szabályzat; kihirdetve: 2/1982. (II.22.) KPM rendelettel. Veszélyes áruk nemzetközi belvízi szállításáról szóló szabályzat, rendszeresen kiegészítve.
- IAEA Safety Standard Series No. ST-1, Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, 1996. Edition, Vienna, 1996; 14/1997. (IX. 3.) KHVM rendelet a radioaktív anyagok szállításáról, fuvarozásáról és csomagolásáról; 13/1997. (IX. 3.) KHVM rendelet a kiegészített nukleáris üzemanyag biztonságos vasúti szállításáról szóló szabályzat kihirdetéséről.
- MSz 62 Ionizáló sugárzás elleni védelem; MSz EN 50166, 61000 Elektromágneses terek hatása az emberi szervezetre; MSz EN 50081 Elektromágneses összeférhetőség; MSz ISO 5805 Emberre ható mechanikai rezgés és lökés; MSz ISO 1995, 4225 Levegőminőség, MSz 21460 Levegőtisztaság védelem; MSz ISO 6107 Vízminőség; MSz 21978 Veszélyes hulladékok; MSz 1610 Létesítési biztonsági szabályzat.
- Recommendations on the Transport of Dangerous Goods*. ST/SG/AC.10/1/Rev. 9 UN. New York, 1995.

Gazdasági kölcsönhatások

Az energiaellátás a gazdaság működésének egyik legfontosabb feltétele. Rendelkezésre állása és ára minden gazdasági tevékenységet befolyásol. Ahhoz, hogy a fogyasztók mindig hozzájussanak a kívánt minőségű és mennyiségű energia-hordozókhoz, nagyszámú különböző méretű vállalat összehangolt működésére van szükség. Az energiaellátás vállalatai az energiaszolgáltatáson túlmenően számos más tevékenységen keresztül is kölcsönhatásban vannak a gazdaság más területeivel. Megrendeléseikkel sok vállalatot vesznek igénybe szolgáltatásokra, eszközök és berendezések gyártására és szállítására, energetikai létesítmények megvalósítására, tervezésre, karbantartásra stb. A gyártóipart gyakran ösztönzik innovációra, néha csúcstechnikai termékek létrehozásában közreműködői szerepet is vállalva. A kapcsolatok nem korlátozódnak a reálfolyamatokra, bankműveletek, biztosítási ügyletek, kereskedelmi tevékenység, jogi ügyek, tőkemozgás stb. a piaci szereplők széles körét érintik. Az energetikai vállalatok szakértelmüket hasznosítva betársulnak különféle ipari projektekbe (pl. ipari erőmű építése, hőellátás, melléktermékek hasznosítása), és az energiaszolgáltatás mind gyakrabban kapcsolódik össze más infrastrukturális szolgáltatásokkal.

Nemzetgazdasági szerep

Az energetikai vállalatok gazdasági erejük és stabilitásuk, kiszámítható üzletpolitikájuk és szakmai kompetenciájuk révén a saját hatásterületükön többnyire vezető szerepet játszanak, a kisebbek saját régiójukban, a nagyok országos viszonylatban. Gyarapodik a nemzetközi viszonylatban is jelentős multinacionális energetikai társaságok száma, ezek némelyike a világ legnagyobb vállalatai közé tartozik. Az utóbbiak közül néhány Magyarországon is tulajdonosi szerephez jutott.

Az energiaellátásnak léptéke és jelentősége révén érzékelhető makrogazdasági hatása is van mind országos, mind nemzetközi viszonylatban. E szerep időnként rendkívül nagy horderejű fejleményekre is vezet, például az olajár világgazdaságot átrendező eszkalációja az 1970-es években, vagy Csernobil még ma is érvényesülő lélektani és politikai következménye, ami derékba törte az atomenergetika fejlődését. Említhető egyes iparágak helyzetének átrendeződése is – például a szénbányászat térszerkesztése – a primer energiahordozók szerepének áttértékelése következtében.

Az energiaellátás szerepe a nemzetgazdaságban

Energetikai jellemző	Vonatkoztatási alap	Arány, %
Éves árbevétel	GDP/év	8,5–9
Import évente	országos import/év	10–11
Állóeszközürték	nemzeti vagyon	6–7
Beruházás évente	összes ipari beruházás/év	10–18
Munkavállalók száma	foglalkoztatott lakosság	2,2

Néhány, a magyar energetika nemzetgazdasági szerepét jellemző mutató az 55. táblázatban látható. Természetesen ezen értékek csak tájékoztató jellegűek, egyrészt a statisztikai adatok bizonytalansága, másrészt az évenkénti ingadozások miatt.

Tükrözi az energiaellátás nagy nemzetgazdasági súlyát, hogy az 1990-es években a fogyasztók évente 1,5-2 Tft-ot költöttek energiavásárlásra, ami nemzeti jövedelmünk 8,5-9%-a, ebből a lakosság háztartási energiaszámlája 350-400 Gft. Az energiaköltségek természetesen kihatnak a gazdasági tevékenységek hatékonyságára és a lakosság életszínvonalára. Az éves energiaimport költsége 2 GUSD körül mozog, ez az ország behozatalának kerekén 10%-át teszi ki. A 20. század utolsó éveiben az energetika fejlesztése nagyon visszafogott volt, de még így is évente 120-140 Gft-ot költöttünk energetikai beruházásokra – a fogyasztóberendezéseket figyelmen kívül hagyva. Az energetikai beruházások néhány százalékos részaránya a nemzetgazdaság beruházásaiban hullámzó, amit az energiaigényeken kívül erősen befolyásol az energetikai nagylétesítmények ütemezése. Nyugat-Európában az energetikai beruházások az ipari beruházások 10-22%-át teszik ki, az EGB területén a beruházások 17%-át az olajiparra, 7,5%-át a földgázrendszerre, 11-15%-át a szénszektorra és 64%-át a villamos energetikára fordítják. Az energetika létesítményei a nemzeti vagyon jelentős részét képezik, de ezt a hazai vagyonértékelés bizonytalansága miatt nehéz szabatosan meghatározni, ugyanis a tervgazdaság időszakában épített létesítmények könyv szerinti értéke irreális, a világpiacitól eltérő árak és a beruházások állami dotációja miatt. Tovább nehezíti a tisztánlátást, hogy az energetikai vállalatok privatizációja előtti vagyonértékelésnél figyelmen kívül hagyták az inflációt, ami a könyv szerinti érték jelentős alábecslését eredményezte. Az energetikai beruházások szerepe jelentős a gazdaság élénkítésében, a nemzeti jövedelem növelésének ütemében. Az energiaellátó vállalatok összesített jegyzett tőkéje billió (T) Ft nagyságrendű, részvényeik ennek ellenére sem játszanak jelentős szerepet a budapesti értéktőzsdén, mert az állami árszabályozás fékezi a piaci viszonyok kialakulását. Az energetikai iparok összességében mintegy 100 ezer főt foglal-

koztatnak. Ez az ország munkavégző lakosságának csupán 2,2%-át teszik ki, de ennél sokkal nagyobb a jelentősége a foglalkoztatási gondok enyhítésében, mivel a munkahelyek jelentős hányada vidéken van. Az állami adóbevételek jelentős hányada származik az energiahordozók forgalmából és az energiaipari vállalatok nyereségéből, aminek nem elhanyagolható hatása van a költségvetés alakulására.

Az árak szerepe

Nincs olyan termék vagy szolgáltatás, aminek költségét ne befolyásolná az energia ára. Világjelenség, hogy a benzin, a villany, a földgáz és a többi energiahordozó ára a közfigyelem előterében áll, mert érinti az emberek anyagi helyzetét és befolyásolja a vásárolt javak árát.

Az energiaiparok vállalatainak természetes igénye, hogy az árak ne csak a tevékenység folyó költségeit térítsék meg, hanem a bevételek biztosítsák a befektetett tőke elég gyors megtérülését és fedezzék a fejlesztés terheit is. Magától értetődő törekvésük, hogy minél drágábban értékesítsék termékeiket, megfelelő nyereséget biztosítva a tulajdonosoknak. A társadalomnak viszont általános érdeke, hogy az energiaellátás olcsó legyen, mivel annak ára nemcsak a lakosság életszínvonalát befolyásolja, hanem a gazdaság hatékonyságát és az ország versenyképességét is. Az ellentét feloldását hosszú időn keresztül a piacgazdaságban is az állam feladatának tekintették, manapság világszerte a piaci verseny kialakításától várják a megoldást. Ettől várja az Európai Unió is az energiaárak csökkenését, amit stratégiai célkitűzésnek tekint. A magyar kormányok az infláció mérséklése érdekében a vezetékes energiaellátások területén erőteljesen korlátozzák az árak emelkedését. Ez viszont a piac deformálását eredményezi különféle negatív következményekkel (torz fogyasztói értékítélet, beruházások visszafogása, energiavállalatok vagyonszelése és tőzsdei értékvesztése stb.)

A gazdaság stabilitásához hozzátartozik, hogy az energiaárakban térüljenek meg az indokolt ráfordítások. Tapasztalhattuk, hogy a mesterségesen kialakított árak idővel megbosszulják magukat. A tervgazdaságban az energiahordozóknak a reális költségeknél lényegesen alacsonyabb, diktált áraival is befolyásolni kívánták a gazdálkodó szervezetek költség-színvonalát és a lakosság életszínvonalát. Ezek a tényleges költségeket nem fedező, dotált energiaárak helytelen értékítéletet, az optimálistól eltérő döntéseket, pazarló fogyasztói magatartást és torz energiaszerkezetet eredményeztek. A következményeket a társadalom az 1990-es években szenvedte meg, a torz árrendszert korrekciója során. A helytelen árárányokkal az olajkályhákra és hőtárolós villanyfűtésre ösztönzött fogyasztók később drágán fizették meg választásukat, nem beszélve a panelházak távfűtésének – korábban a költség-

56. táblázat

Energiahordozók átlagos áremelkedése az 1990-es években

Energiahordozó	Árarány (1999/1989)
Szén	11,2
Brikett	10,3
Koksz	7,1
Tüzifa	4,6
Tüzelőolaj	15,1
Vezetékes meleg víz	12,1
Villamos energia	9,5
Földgáz	7,3
PB-gáz	14,9

gek kétharmadával dotált – a piaci viszonyok között szinte uralhatatlan költségéről. Különböző adminisztratív eljárásokkal (kiutalás, jegyrendszer, színezés) sem sikerült kezelni azt a visszás gyakorlatot, hogy ugyanazt a gázolajat eltérő áron forgalmaztuk mint motorhajtó dízelolajat és mint háztartási tüzelőolajat, végül az árkülönbséget meg kellett szüntetni, amikor az olajszőkítés (a tüzelőolaj színezőanyagának eltávolítása) vált a maffia egyik legjövedelmezőbb üzletévé. Kudarcot vallottak a piaci viszonyokat megerősztoló állami akciók is, például a mélyműveléses szénbányászatot az ismétlődő szanálások sem tudták megmenteni, az uránbánya bezárását sem tette elkerülhetővé a drága ércnek az atomerőmű felé érvényesített átvételi kényszere.

Az energiaárak alakulása a magyar átmenet időszakának egyik neuralgikus kérdésévé vált, ami körül ismétlődő politikai, gazdasági és érdekegyeztetési konfliktusok, médiaviták és szociális feszültségek keletkeztek. Az átmenet a piacgazdaságra elkerülhetetlenné tette az energiaárak megsokszorozódását (56. táblázat), de a vezetékes energiahordozók területén még mindig jelentős az elmaradás. A reális arányok megközelítése érdekében a növekedés üteme energiahordozónként eltérő.

Termelői árak

Az energiahordozók használati értéke szabja meg piaci értékítéletüket és az irántuk megnyilvánuló keresletet. A használati érték egyrészt az energiahordozók hasznosítását befolyásoló tulajdonságoktól függ, másrészt a lelőhely megközelíthetőségétől és a forrás és a felhasználás helye közötti szállítási lehetőségtől. A tüzelőanyagok anyagi összetétele lelőhelyenként nagyon eltérő, és ennek megfelelően különböznek a fizikai és kémiai tulajdonságaik is.

Ettől függenek a tüzeléstechnikai jellemzők (gyulladásí és égési hőmérséklet, lángstabilitás, illók aránya, az anyag homogenitása, égéstermékek jellege stb.), valamint az energiahordozók feldolgozhatósága szekunder termékke (kőolaj-finomítás, kokszyártás, brikettálás, elgázosítás, cseppfolyósítás).

A tüzelőanyagok fontos jellemzője a fűtőérték. A fűtőértékben a legszámottevőbb különbségek a szeneknél tapasztalhatók, amit a legnagyobb mértékben a meddő- és a nedvességtartalom befolyásol. A fiatalokú lignitek fűtőértéke 4-8 MJ/kg, a feketeszeneké 25-33 MJ/kg, a barnaszenek közbenső helyet foglalnak el. A kőolajtermékek fűtőértéke 40 MJ/kg körül viszonylag szűk határok között mozog, a földgázé alacsonyabb (30-36 MJ/m³) és egyes előfordulásokban magas lehet a fűtőértéket lerontó éghetetlen (inert) alkotók aránya. A biomasszánál a jelentős nedvességtartalom és a laza szerkezet miatt alacsony a fűtőérték.

A fűtőérték nemcsak a használhatóságot befolyásolja nagymértékben, hanem az alkalmazás költségeit is. Azonos hőfejlesztéshez például a jó minőségű szén mennyiségének sokszorosa szükséges alacsony hőértékű lignitből. A mennyiségekkel arányos a szállítási és manipulálási munka, a szilárd égéstermékek leválasztásának és elhelyezésének gondja, a pernye okozta kopás a kazánok járataiban stb. A tüzelőanyag tulajdonságaitól függ, hogy milyen konstrukciójú kazánban lehet eltüzetni, ami megszabja e berendezések méretét és árát is.

A fosszilis tüzelőanyagok használati értékét nagymértékben befolyásolja környezetszennyező hatásuk mértéke. Az üvegházhatás előtérbe kerülésével meghatározó tényezővé vált, hogy az éghető alkotók mekkora hányadát képviseli a karbon. A tüzelőanyagok kén tartalma lényeges szerepet játszik az értékítéletben, mivel a kén-dioxid és annak reakciótermékei a legtöbb közvetlen kárt okozó légszennyezők. Koncentrációjával arányos a kénmentesítés költsége, illetve ennek híján a szennyezés miatt fizetendő bírság mértéke, és ugyancsak azzal arányos a kénmentesítés során keletkezett hulladék mennyisége. A hazai szenek jó részében jelentős a kén mennyisége (1-4%). Egyes kőolaj-előfordulásokat is terheli a kénszennyezés, ami a feldolgozás során elsősorban a nehéz frakciókban dúsul fel, befolyásolva azok értékesíthetőségét is. Esetenként a füstgáz más környezetszennyező összetevői (nitrogén-oxid, illó szénhidrogének, szeneknél a nehézfémek és a radioaktív szennyezők, olajnál a vanádium és a nikkell) is szerepet játszanak a használhatóság megítélésében.

Elvileg a primer energiahordozók árát a határkölség szabja meg, vagyis a még kiaknázásra érdemes legkedvezőtlenebb előfordulás költsége, az adott kereslet mellett. A tényleges árakat azonban ettől lényegesen eltérítik politikai és gazdasági befolyások. Politikai döntésen múlik például, hogy az erőművek valamilyen válfaját (atom, víz, szén) kirekesztik az energiaellátási lehetőségek közül, vagy ha szociálpolitikai vagy energiapolitikai okokból az energiaellátás bizonyos módját (szénbányászat, távfűtés, megújulók) dotálni kívánják. Gazdasági befolyásolás módja lehet kartellmegállapodás (amire pél-

da az OPEC tevékenysége), az állam terelő hatása egy gazdaságpolitikai törekvés érdekében (költségvetési bevételek növelése, energetikai önellátás erősítése, hazai ipar foglalkoztatása stb.), de deformálhatja az árviszonyokat monopólium hatása is (pl. vezetékes elosztó vállalatok természetes monopóliuma, illetve nagy gazdasági erejű nemzeti, vagy multinacionális vállalat befolyása).

Az energiaellátás minden fázisa erősen eszközigenyes, az emiatt felmerülő tőkekölségek – az értékcsökkenés miatt szükséges leírás (amortizáció) és a beruházásokhoz felvett hitelek kamata – szerepe jelentős az energiaellátás árában. Az energetikában a befektetett eszközök, berendezések, létesítmények többségének hosszú az élettartama, ezért a tőkekölségek sok évre oszlanak meg, a beruházások lassan térülnek meg. A leírás futamideje a gazdaságilag indokolt élettartam – ami többnyire az erkölcsi (műszaki) avulásnak felel meg. A tönkremenetelig terjedő fizikai élettartam ennél jóval hosszabb, több működő erőművünk sokkal öregebb, mint a tervezett és a főberendezések leírásánál számításba vett 25-30 éves élettartam.

Költséges beruházások szükségesek az ásványi energiahordozók kitermeléséhez, amibe beleértendő az ásványvagyon felkutatása, feltárása és a bányatérsg kialakítása is. A megújuló energiáknál is magasak a fajlagos beruházási költségek, mivel a kis teljesítménysűrűség miatt az energia összegyűjtéséhez viszonylag nagyméretű, sok anyagot felhasználó berendezések szükségesek (pl. napkollektorok, szélkerekek, vízepítési műtárgyak, kis hőfokkülönbséget hasznosító turbinák). Az ásványi energiahordozók kiaknázásánál nem elhanyagolhatóak a tulajdonhoz kapcsolódó költségelemek, a terület igénybevétele jogosító koncessziós díj és a kitermelés mértékével arányos bányajáradék. A megújuló energiáknál ilyen jellegű költséget csupán a vízhasználati díj képvisel (vízerőműveknél és a geotermikus energiahasznosításnál), a Nap, a szél, a tengeri energia kiaknázási joga ingyenes.

Nagy az eszközigenye az energiahordozók távolsági szállításnak is, amihez vagy speciális szállítóeszközökre, vagy e célra létesített szállítórendszerekre van szükség. A vezetékes ellátási módok nagy teherterele a költséges szállítási infrastruktúra. Az átalakító művek (különösen az erőművek és a kőolajfinomítók) az ipar legtőkeigényesebb létesítményei közé tartoznak.

A költségek másik nagy csoportja az üzemvitelt és a karbantartást fedezi, ami erősen függ a technológia műszaki színvonalától és a működés szervezettiségétől. Ennek a költségcsoportnak vannak a termeléstől független, állandó elemei (bérek többsége, közterhek, biztosítás, ügyvitel, fejlesztés stb.) és vannak a tevékenységgel arányos összetevői (pl. anyagfelhasználás, karbantartás), amibe beletartoznak az energiaköltségek is.

Az ásványi energiahordozók kitermelési költsége a műre való vagyon jellegetől és földtani körülményeitől függ. A költséget lényegesen befolyásolja az ásványvagyon kitermelhető mennyisége, a lelőhely felszín alatti mélysége és elhelyezkedése, a környező kőzetek jellege, a kitermelés technológiája és haté-

konysága, a munkaerő-szükséglet, a védelem a termelést fenyegető elemi veszélyek ellen, a kihozatal járulékos anyagainak (meddő, víz, szennyezők) jellege, mennyisége és azok további sorsa, a kitermeléssel együtt járó környezetkárosítás mértéke és helyreállításának ára.

Az ásványi energiahordozók kitermelésében fajlagosan a leghatékonyabb a fluid halmazállapotúak (kőolaj, földgáz, geotermikus hőhordozók) felszínre hozatala fúrt kutakban. Ez a termelési mód még a természetes felhajtóerőt pótló technológiák (szivattyúzás, közegek visszasajtolása, mozgékonytságot fokozó adalékok) alkalmazásával is versenyképes lehet. A szén föld alatti elgázosítására irányuló próbálkozások kudarcot vallottak, az uránérc in situ kémiai vagy biológiai feltárása terjed. A külfejtéses ásványbányászat ugyan erősen beruházás igényes, de nagy termelékenységevel szintén a fajlagosan olcsóbb eljárások közé tartozik. A mélyműveléses bányák fajlagos önköltsége magas, amiben szerepe van a nagy munkaerőigény miatt az élőmunka jelentős terheinek (bér, közterhek, juttatások, munkavédelem, munkafeltételek biztosítása). Míg régebben különleges kedvezményekkel (magas jövedelem, nyugdíjkedvezmény, lakásjuttatás, igényes szolgáltatások, társadalmi presztízis stb.) kellett növelni a föld alatti bányászkodás vonzerejét, ma a leépítéshez kell támogatási megoldásokat kialakítani.

A különféle primer energiahordozók ára nem teljesen független egymástól, hosszú ideig a kőolajhoz igazodtak, mint a legsokoldalúbban hasznosítható és stratégiaileg legfontosabb energiahordozóhoz. Ez a kapcsolat azonban az utóbbi években lazult, ahogy visszaszorult a kőolajtermékek alkalmazása hőfejlesztésre, és ezzel csökkent a közvetlen helyettesíthetőség. A világ globalizálódásának megfelelően ma már csak egyetlen nagy világpiacról lehet beszélni, melyben az ármozgások mindenütt szinte egyidejűleg észlelhetők és az elektronikus tőzsdék azonnal reagálnak az árak változására. A kőolaj az egyik legjelentősebb tőzsdei cikk, néhány „markerként” választott olajminőség, például Brent (Egyesült Királyság), West Texas Intermedier (USA), iráni nehéz (Irán), Es Sider (Líbia), Ural (Oroszország), arab könnyű (Szaúd-Arábia), Dubai (Egyesült Emírátsok) árát jegyzik, a többi olaj ára ezekhez igazodik. A kőolajárakat rendszerint hordóra (1 bbl = 159 l, ami kb. 139 kg) vetítve adják meg, de terjed a tonna használata is.

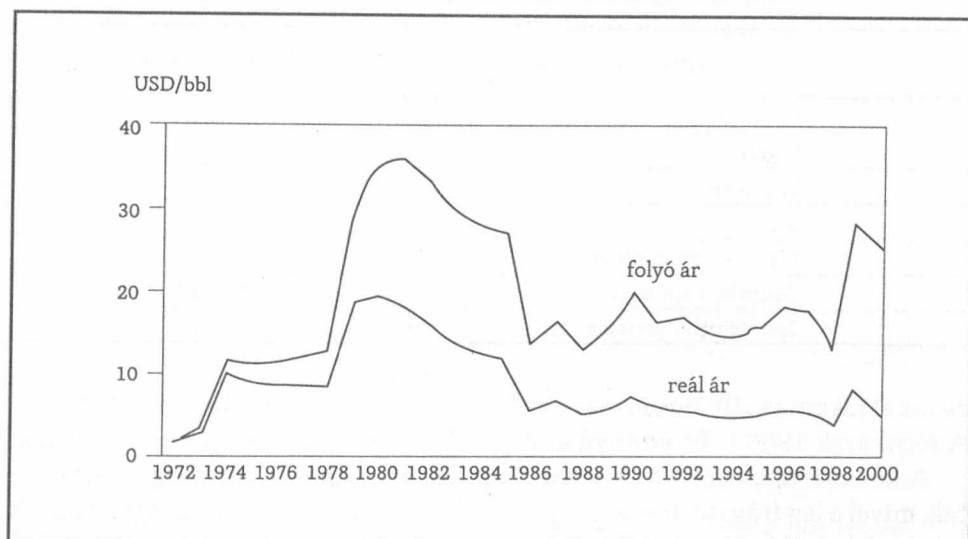
A marker olajok tőzsdei árát (spot árak) egyrészt piaci hatások, másrészt a piactól független körülmények szabják meg. A tőzsdei árak hullámozása jelentős lehet, és miután az olajárnak rendkívül nagy szerepe van, minden rezdülését nagy figyelem kíséri, élénk reakciót váltva ki az üzleti életben és a tőzsdéken. A piaci kereslet és kínálat ingadozását okozhatják konjunkturális hatások, előidézhetik a körülmények szezonális változásai, de szerepet játszhat a spekuláció is. A kőolajkínálat manipulálható és befolyásolható a stratégiai, valamint a kikötői olajraktárakban és a tengeren hajózó tankerekben felhalmozott nagy készletek piacra dobásával vagy visszatartásával is, de a leghatásosabb a kőolaj-

termelés fokozása vagy visszafogása. A piactól független tényezők szerepe időnként sokkal nagyobb, ezek közül a legjelentősebbek a kartellmegállapodások. A két világháború között a nagy olajtársaságok (a „7 nővér”, illetve utódai) szabták meg a kőolaj árát, 1928-ban a status quót szentesítő informális megállapodás keretében egyeztették ár- és piacpolitikájukat. Ezen szerepüknek az olajországok függetlenedése és ezzel összefüggésben az olajjövödelmekből nagyobb részesedésük kiharcolása vetett véget. Az 1970-es években az 1960-ban alapított OPEC árpolitikája vált meghatározóvá, támaszkodva a nagy olajexportőrök termelési kapacitásának könnyen változtatható mértékére. Áralakító hatása van a világpolitika és világgazdaság olyan eseményeinek is, melyek befolyásolhatják az olajellátás várható alakulását. Ilyen hatása volt például a Szezei-csatorna lezárásának, áremelkedéseket okoztak a nagy olajexportőröket érintő krízisek (iráni forradalom, iraki–iráni háború, kuvaiti háború), és az ellátásbiztonságot csökkentő más eseményeknek. Az ellátás stabilitása érdekében a nagy olajszállítási ügyleteket nem a tőzsdén kötik, hanem sok évre szóló – általában nem publikus – megállapodásokkal, többnyire alacsonyabb árakon. E szerződésekben csúszó klauzulákat alkalmaznak, figyelembe véve az inflációt, valamint a hosszabb idő alatt kialakuló változásokat a munkaerőköltségekben és a fontosabb termékek és szolgáltatások kereskedelmi árszínvonalában. Az ügyletek gyakran összetettek, beruházási megállapodásokkal, technológia átadással, kölcsönösen előnyös áruszállításokkal, kedvező hitelekkel biztosítva a felek érdekeltségét és a tartós stabilitást.

A „fekete arany” birtoklásáért, és a kőolajjövödelmek kisajátításáért vívott küzdelem átszötte az egész huszadik századot. Ennek eszköztárában egyaránt találhatók véres háborúk, politikai intrikák, államcsínyek, erőszakos hódítások, ravasz diplomáciai lépések, multinacionális vállalatok harca a piacokért és összefogása az erőfölény érdekében. Az utóbbi években a fúziók kerültek előtérbe (pl. Exxon és Mobil, BP és Amoco, Texaco és Chevron, Total és Elf, ENI és Repsol stb.), mely vállalatbirodalmak tőzsdei értékét 100 GUSD-okban mérik. Az olajjövödelmek újrafelosztásának változatos módszerei voltak: államosítás, a koncessziós díjak (royalty), valamint az adók és vámok növelése, állami olajtársaságok alapítása, kartell létrehozatala stb. E folyamat lényeges része volt az 1973-ban kiváltott olajkrízis, amitől kezdve egy évtizedre az OPEC kezébe ment át az olajár diktálásának lehetősége, mivel az ebben a szervezetben tömörült országok rendelkeznek a világ megkutatott kőolajvagyonának kétharmadával, és ezekből az országokból származik a világkereskedelem fele.

Az 1973-as és 1978-as radikális árugrás sokszorosára növelte a kőolaj árát. Csúcsértékét (262,6 USD/t) 1981-ben érte el, szemben az 1971. évi minimummal (13,3 USD/t). Az olajimportáló fejlett országok ellenakciói (energiatakarékoság, beszerzés diverzifikálása, új – az OPEC-től független – olajforrások felkutatása, stratégiai tartalékok képzése, felkészülés válságok közös elhárítására stb.) fellazította az OPEC monopolhelyzetét, a feltárások pedig lényegesen meg-

A kőolaj világpiaci árának alakulása



növelték az ellátottságot (lásd a 29. ábrát a 84. oldalon). Mindezek eredményeképp a '70-es évek után az olajár csökkenő irányzatot vett fel, szinte összeomlás-szerű árcsökkenés alakult ki 1986-ban és 1998-ban, mindezek eredményeképp a reálár a krízis előtti szintre morzsolódott le. Az OPEC az árszínvonal megőrzése érdekében a tagországoknak a feltárt vagyonukkal arányos kvótákat állapít meg az exportálható olaj mennyiségére, de ezek gyakori áthágásának ellensúlyozására csak az utóbbi időben találtak érdemi megoldást. A századforduló táján az OPEC ismét meghatározó szerephez jutott, stratégiájához a szervezeten kívüli olajexportőrök is csatlakoztak. Ennek eredményeképp 1999-ben az olajár 10 USD/bbl-ról (~70 USD/t) 31 USD/bbl-ra (~220 USD/t) nőtt, majd 2000-ben tartósan és számottevően meghaladta a 30 USD/bbl-t. Ennek nyomán a benzin és a gázolaj a fuvarozók tűréshatárát meghaladó mértékben nőtt, ami Nyugat-Európában tettelegességbe torkolló demonstrációkat, útlezárásokat, a finomítókban a kőolajtermékek kiszállítását megakadályozó blokádot idézett elő. A feszültségek levezetésére és a gazdasági stabilitás biztosítására egyes kormányok mérsékeltek az üzemanyagok adótartalmát. A magyar kormány az üzemanyagok jövedéki adójának esedékes emelését halasztotta el, amíg a kőolaj ára tartósan meghaladja a 25 USD/bbl-t. Hosszabb idő szükséges ahhoz, hogy az olajár és készletezés hektikus mozgása lecsillapodjon, a kompromisszum 25 USD/bbl táján rajzolódik ki (mai áron), de lefelé és felfelé is lehetséges néhány USD-nyi eltérés (az OPEC ± 3 USD-t irányzott elő).

Az 56. ábra a kőolaj világpiaci árának alakulását szemlélteti 1972 és 2000 között USD/bbl-ben, a reálár és a folyó ár különbségét a dollár inflációja okoz-

Néhány olajforrás önköltségének becsült aránya

Olajforrás	Relatív önköltség
Perzsa-öböl, Észak-Afrika	1
Nigéria	3
Venezuela	6
USA	9
Alaszka, Északi-tenger	12
Olajpala, olajhomok	24
Szén cseppfolyósítása	36

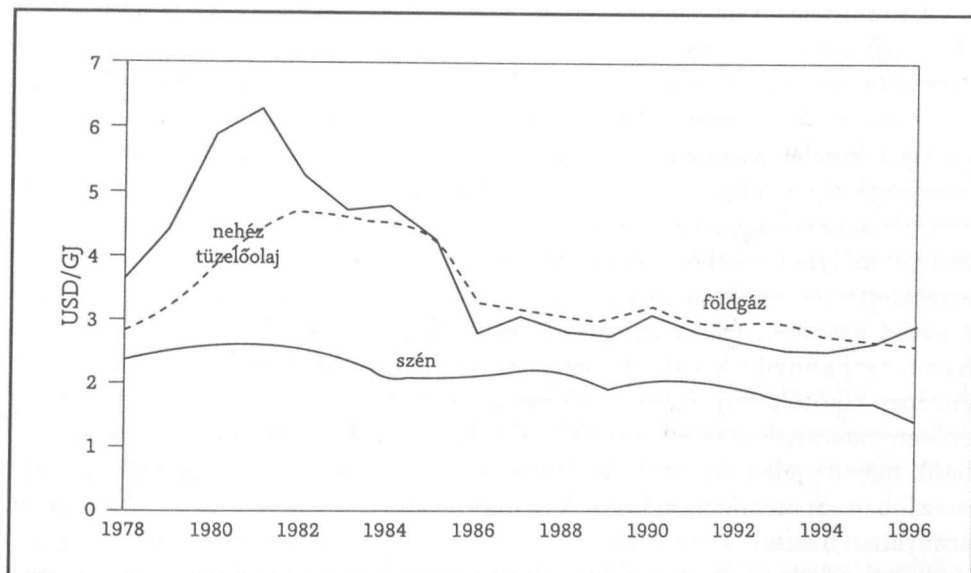
za (az átszámítás 1972-es értékre az USA hivatalos GDP deflátorával történt). A folyó árak 1986 előtt könnyű arab, ezt követően dubai olajra vonatkoznak.

A kőolajtermelésben az áresés időszakában is mesés hasznok realizálódtak, mivel a legdrágább források (pl. Északi-tenger, Szibéria) és a legolcsóbbak (pl. Szaúd-Arábia, Kuvait, Líbia, Irán) termelési költségei között az 57. táblázat szerint nagyságrendi különbség van. A költségeket erősen befolyásolja a termelés módja és a kutak hozama, az árat pedig a kőolaj minősége. Az utóbbi tekintetében lényeges a kisebb molekulájú frakciók aránya, ettől függ a fehér-áru-kihozatal mértéke és költsége, ezért a kis viszkozitású, könnyű olajok értékesebbek, és a kitermelésük is könnyebb, mint a nehéz olajoké.

Viták tárgya a kőolajárak jövőbeli alakulása, a prognózisokat érdekek is erősen befolyásolják. A szakértők szerint az 1970-es évek olajkrízisének megismétlődése kizárható, de az árszínvonal fokozatos lassú emelkedése valószínű. Ez mindenekelőtt azon múlik, hogy a leggazdagabb, olcsó olajforrások kiapadását nehezebben hozzáférhető, drágábban kiaknázható vagyon (zord klímaövezetekből, nagyobb mélységből, a tenger alól, kihozatalnővelő másodlagos és harmadlagos eljárásokkal, gyengébb minőségű kőolajokkal) művelésbe vételével kell ellentételezni. A nominálár növekedését ösztönzi az infláció hatása is. Hosszabb távon az alacsony olajár is árfelhajtó hatású, mivel nem ösztönöz nyersanyagkutatásra és termelő beruházásokra, ezért idővel csökken a kínálat. Az áremelkedés felső határát az olajhelyettesítő eljárások önköltsége jelöli ki. Az IEA prognózisa 2020-ra olyan kőolajárat valószínűsít, ami már a nem konvencionális olaj térhódítását is lehetővé teheti. A kőolaj magyarországi ára követi a világpiaci árak mozgását, ami mellett egyes hazai forrásaink kiaknázása másodlagos és harmadlagos termelési eljárásokkal is gazdaságos.

A jó minőségű földgázok termelői ára a kutaknál erősen függ a lelőhelytől, mértéke 3-5 USD/GJ. A földgáz átlagos termelői ára azonos fűtőértékű mennyiségek figyelembevételével az alacsony kéntartalmú fűtőolaj ára körül alakul

Erőművek fosszilis tüzelőanyagainak áralakulása



(57. ábra), de a hosszú időre kötött szállítási szerződések árklauzuláinak megfelelően sok – többnyire 9 – hónapos késéssel. A jelenlegi szint 15-20 dollár-cent/m³. A földgáz Észak-Amerikában tőzsdei cikk, mivel jelentős a szabad szállítási kapacitás, de az előrejelzések szerint a jelenlegi túlkínálatot ellátási nehézségek fogják követni. Európában viszont a földgázforgalom hosszabb időre kötött szállítási szerződésekre alapul, a piaci viszonyok terjedését fékezi, hogy a drága szállítási infrastruktúra csak lassan fejleszthető. Az Európai Unió liberalizálási politikájának a célja ennek a helyzetnek a megváltoztatása.

A következő évekre a világ földgázfelhasználásának gyors növekedését várják, ami globálisan valószínűleg kielégíthető, de regionális ellátási feszültségek kialakulhatnak az olcsó források kiapadása, vagy szállítási nehézségek miatt. Bizonytalan, hogy ez hogyan fog tükröződni az árakban, a legtöbb szakértő az ellátottság figyelembevételével (lásd a 31. ábrát a 92. oldalon) a gázárnak csak az olajárát követő fokozatos növekedésére számít, újabb drasztikus áremelkedést 1-2 évtizeden belül nem tartanak valószínűnek. A behozatal nagy aránya miatt a hazai árképzésnél indokolt az igazodás az importárhoz, de ennek realizálása körül ütközik a lakossági terhek mérséklésére törekvő kormány és a költségek megtérülését igénylő kőolajipar érdeke. A jelenlegi kereshetőfinanszírozási gyakorlat (a kisfogyasztók költségének csökkentése a nagyfogyasztók terhére) deformálja a piacot. A földgázügyleteknél a termelés biztonsága érdekében gyakran alkalmazzák a TOP (take or pay) szerződéseket, melyek szerint a vásárlónak akkor is ki kell fizetnie a meghatározott idő-

szakra lekötött földgáz árát, ha nem veszi át. Ezt a gyakorlatot az EU leépítendőnek tartja.

A jó minőségű energetikai feketeszenek ára jelenleg 30-35 USD/t (1-1,5 USD/GJ). Az ár, azonos hőértékű mennyiségeket figyelembe véve, általában a tüzelőolaj árának kétharmada körül alakul, az 57. ábra a szénár viszonylag enyhe csökkenését is szemlélteti. A világ hatalmas szénvagyonára támaszkodó bőséges kínálat stabilnak ígérkezik. A szénfelhasználás csökkenése és a jó minőségű, olcsó tengerentúli szén kínálata válságos helyzetbe hozta az európai szénbányászat nagy részét. Európában a széntermelés 90%-a sok munkaerőt igénylő mélyművelésből származik, ami a magas európai munkabérek mellett elvesztette versenyképességét, különösen a külfejtésből származó tengerentúli szénnel szemben (pl. a nyugat-európai bányákból származó szén mintegy háromszor annyiba kerül, mint az Amerikából vagy Afrikából importált szén az európai kikötőkben). Több országban gyakorlatilag felszámolták, vagy nagyon erősen visszafejlesztették a mélybányászatot (pl. Franciaországban, Belgiumban), másutt jelentős dotációval igyekeznek azt életben tartani (pl. Németországban, Spanyolországban). A német erőművek a feketeszen-felhasználás arányában fizetett „Kohlenpfenig” formájában dotálják a bányászatot, de az EU csak átmenetileg tolerálja e piacpolitikájába nem illeszkedő szubvenciók gyakorlatot. A piaci viszonyok fokozatos kialakulása Magyarországon is együtt járt a dotációk visszaszorításával, a mélyműveléses szénbányászat veszteségesé vált. A kormányzat többször is a bányászat segítségére sietett a felhalmozódó adósságok egy részének elengedésével, de a veszteségek újratermelődését így sem tudta megakadályozni. A sok embert foglalkoztató mélyművelés leépítése súlyos szociális feszültségekkel, valamint politikai és érdekvédelmi küzdelmekkel járt. A feszültségeket az állami szervek és a szakszervezet együttműködésével sikerült uralni, aminek köszönhetően a bányászlétszámot néhány év alatt viszonylag súrlódásmentesen sikerült a törtrészére csökkenteni. A külfejtéses széntermelés relatív létszámgénye kicsi, termelékenysége nagy, ezért többnyire megőrizte versenyképességét.

Az energetikai barnaszeneknek nincs világpiacon árá, értéküket a helyi körülmények szabják meg. Kedvezőtlen tüzeléstechnikai tulajdonságaikat is figyelembe véve barnaszenek hőára (egységnyi fűtőérték költsége) magas, de az import feketeszenhez viszonyított különbséget kiegyenlíti a szállítás költsége. Az 58. táblázat a fontosabb hazai tüzelőanyagok hőáráról ad áttekintést. Természetesen a szénmedencék átlagértékei körül az egyes bányák termékeinek hőára jelentősen szóródik, például a Mecsekben a mélyműveléssel termelt szén költsége az átlagnak több mint kétszerese, viszont külfejtéssel alig fele.

Az utóbbi időben erősen megnőtt a szén világkereskedelme. Nagy távolságra csak feketeszenet gazdaságos szállítani, mert kevés ballasztanyagot (hamu, nedvesség) tartalmaz. A jó minőségű szenek ára a bányánál nem nagyon eltérő, a szén bányárának 20-50%-a között mozgó szállítási költség-

Fontosabb hazai ásványi tüzelőanyagok hőárai 1995-ben*

Forrás	Jelleg	Relatív ár
Mecsek	feketeszén	1,85
Ajkai-medence	barnaszén	1,20
Balinka	barnaszén	1,37
Oroszlány	barnaszén	1,54
Tatabánya	barnaszén	1,82
Borsod	barnaszén	1,85
Mátra-Bükk	lignit	1,00**
kőolaj-finomítók	nehéz fűtőolaj	1,59
gázhálózat	földgáz (puffer)	1,41
import	nukleáris fűtőelem	0,20

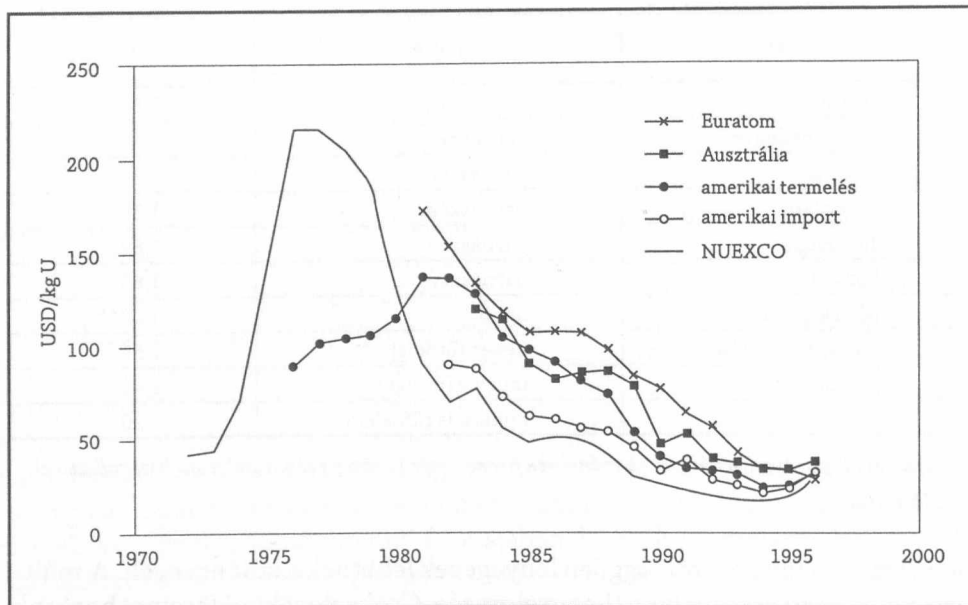
* későbbi időpontban, a bányák és erőművek összevonása után a szénár nehezen határolható el

** 218 Ft/GJ

ben viszont a távolságtól függően lényegesek lehetnek a különbségek. A múltban a környező országokból (Lengyelország, Csehszlovákia, Ukrajna) hoztunk be minőségi szenet és széntermékeket lakossági és kohászati felhasználásra, újabban szénimportot erőművi célra is előirányoztak.

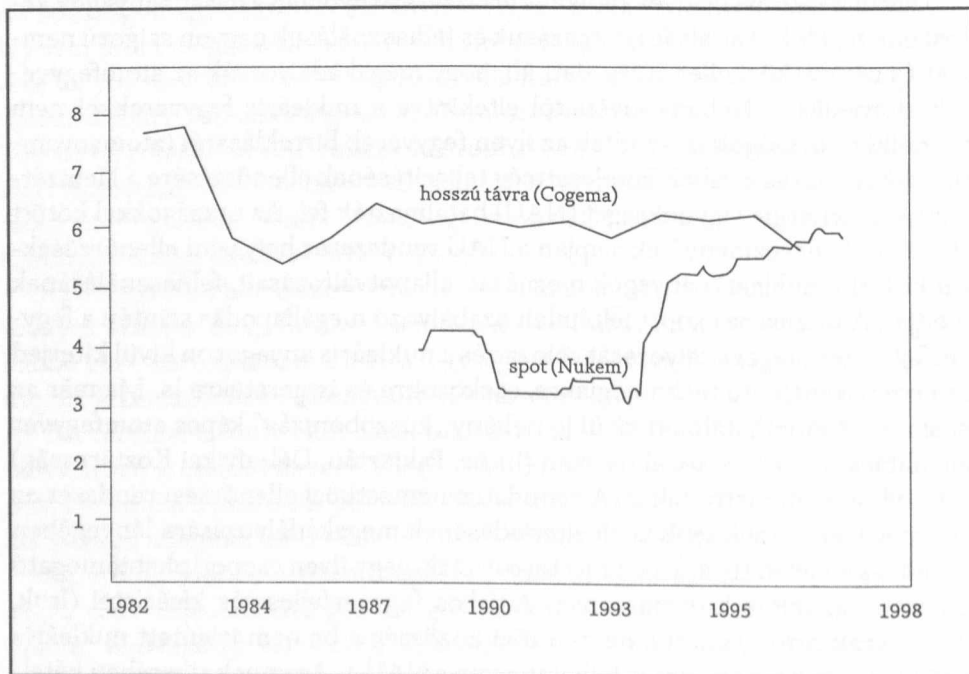
Ugyan a katonai igények radikális visszaesése nyomán a hasadóanyagok kereskedelmi cikké váltak, forgalmazásuk és felhasználásuk nagyon szigorú nemzeti és nemzetközi ellenőrzés alatt áll, hogy megakadályozzák az atomfegyverek elterjedését. Néhány kivételtől eltekintve a nukleáris fegyverekkel nem rendelkező országok lemondtak az ilyen fegyverek birtoklásáról (atomsorompó-szerződés) és a vállalt kötelezettség teljesítésének ellenőrzésére a Nemzetközi Atomenergia Ügynökséget (NAÜ) hatalmazták fel. Az országokkal kötött „biztosítéki egyezmény”-ek alapján a NAÜ rendszeres helyszíni ellenőrzésekkel követi a nukleáris anyagok mozgását, állapotváltozásait, felhasználásának módját. A nukleáris export feltételeit szabályozó megállapodás szintén a fegyverfejlesztés megakadályozását célozza és a nukleáris anyagokon kívül kiterjed az erre használható technológiákra, eszközökre és ismeretekre is. Ma már az elismert öt atomhatalmon kívül jó néhány „küszöbország” képes atomfegyver előállítására, melyek közül hárman (India, Pakisztán, Dél-afrikai Köztársaság) ezt nyíltan demonstrálták is. A céltudatos nemzetközi ellenőrzési rendszer az atomfegyverek szélesebb körű elterjedésének megakadályozására lényegében bevált, és elejét vette annak, hogy terroristák, vagy ilyen csoportokat támogató országok azokhoz hozzájussanak. A titkos fegyverfejlesztés kísérletei (Irak, Irán, Észak-Korea) miatt a nemzetközi közösség a be nem jelentett nukleáris tevékenységek feltárására is felhatalmazta a NAÜ-t. Az ennek sikerében kétel-

Uránárak alakulása



59. ábra

Urándúsítási árak



Erőművi fűtőelemek költségkomponensei

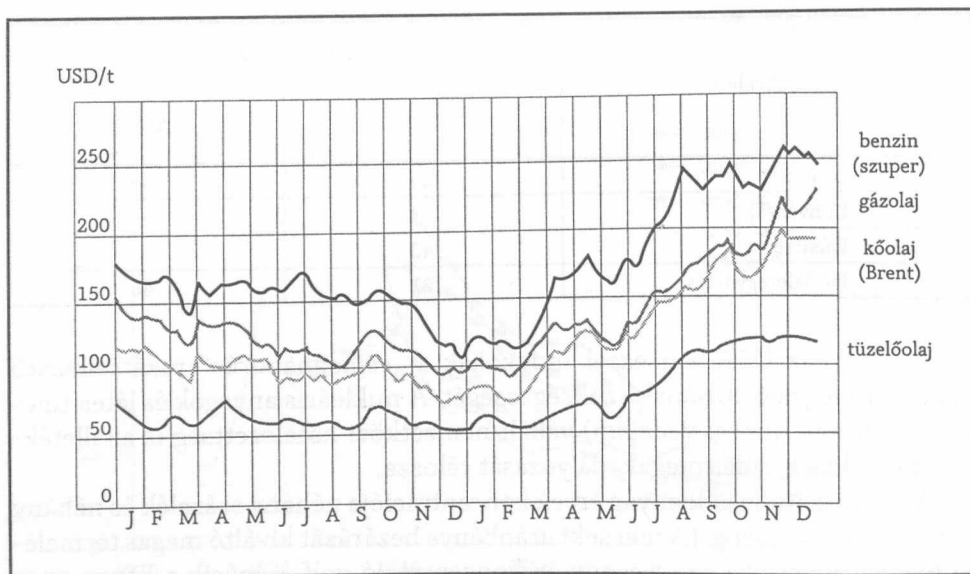
Költségelem	Költségmegoszlás, %	
	PWR	CANDU
Uránérc	35	54
Konverzió	4	–
Dúsítás	40	–
Fűtőelemgyártás	21	46

kedő körök az USA-ban ezzel indokolják a „csillagháborús” rakétaelhárító rendszer megvalósításának szükségességét. A nukleáris anyagok és létesítmények őrzésére (fizikai védelem) vállalt nemzetközi kötelezettség is az illetéketlen kezekbe kerülés megakadályozását célozza.

A bányászott hasadóanyag ércek koncentrációja néhány százalék és néhány ezrelék között mozog. (A mecseki uránbánya bezárását kiváltó magas termelési költség egyik oka az alacsony érckoncentráció volt, a másik a bánya nagy mélysége.) Az ércdúsításból nyert U_3O_8 -koncentrátum („sárga pogácsa”) tözsdén jegyzett cikké vált, az árakat fontra (1 lb=453,6 g) vetítve adják meg, a fémuránra vonatkoztatott értékeknél viszont metrikus mértékegységeket alkalmaznak. A jelentős túlkínálat következtében az uránár erősen visszaesett (58. ábra) 10 USD/lb körüli értékre, de lassú növekedése valószínű, ahogy a dús érctelepek kimerülnek és sor kerül a soványabb ércek bányászatára. A koncentrátum ára a nyomottvízes erőművi fűtőelemek előállítási költségében viszonylag kis hányad (59. táblázat), a költségek nagyobb részét a gyártási fázisok (kémiai átalakítások, izotópdúsítás, oxidkeramikus eljárások, összeszerelés stb.) teszik ki. A technológia fejlődése csökkenti a fűtőelemgyártás jó néhány fázisának, például az izotópdúsításnak a költségét (59. ábra folyó árakon). A gyártás teljes technológiai folyamata hosszú időbe telik, az erőművek ellátásának stabilitása érdekében sok évre kötött szállítási megállapodások szokásosak (gyakran a gyártási fázisok szerint ütemezett részfizetésekkel). Mivel a világ uránbányászati, izotópdúsítási és fűtőelem-gyártási kapacitásai bőségesek és a kínálatot a leszerelt atomfegyverek töltetei is növelik, a kereslet viszont stagnál, belátható időn belül valószínűtlen a fűtőelemárak radikális változása.

A megújuló energiahasznosítás költségeinek zömét többnyire az energia összegyűjtéséhez szükséges berendezések tőke költsége teszi ki, ami a kis teljesítmény-, illetve energiasűrűség miatt fajlagosan magas. A vízerőművektől eltekintve, a természeti adottságok az átalakítási hatásfokokat alacsony értékre korlátozzák, ami szintén növeli a fajlagos tőke költségeket. A megújuló energiák használati értékét erősen befolyásolja a rendelkezésre állás termé-

Kőolajtermékek áralakulása 1998–1999-ben



szeti körülményektől (időjárás, napszakok, vízjárás, széljárás, vegetáció stb.) függő időszakossága. A nem konvencionális megújulók éves kihasználhatósága a mérséklet égöv kontinentális vidékein 15-30%. Az időszakosság ellensúlyozására vagy energiátárolásra van szükség, vagy más energiabázisra támaszkodó háttérkapacitásra, mindkét megoldás járulékos befektetést igényel. A megújuló energiahasznosítás versenyképességének javítására sokat remélnek a műszaki fejlesztéstől és a tömeggyártás ármérséklő hatásától. A megújuló energia hasznosítása a legtöbb országban preferenciában részesül. A hazai előírások az energiatakarékosság érdekében 100 kW teljesítmény felett a megújuló forrásokból előállított, illetve a független erőművekben a hőszolgáltatással kapcsoltan fejlesztett villamos energia kedvezményes áron történő átvételére kötelezik a villamosenergia-rendszert.

A szekunder energiák előállítása általában költséges, akár fosszilis energia-hordozókra alapul az energiaátalakítás technológiája, akár megújuló energiára. A szekunder energia-hordozók termelői árában a két legjelentősebb tényező az átalakítóművek tőkeértéke és az energiaköltség. A kőolajtermékek tőzsdén jegyzett árának mozgása nagyjából követi a kőolajét (a feldolgozás additív költsége 30 USD/t körül mozog), de a tényleges kereslet okozta eltérésekkel, amiben szezonális változások is érvényesülnek. Télen a fűtési hőmérséklet alakulásától függő kereslet befolyásolja a tüzelőolaj árát, nyáron az autós turizmus mértékétől függenek az üzemanyagárak. A benzin tőzsdei ára a kőolajénak 1,5-1,8-szorosa, a gázolajé a kőolaj 1,2-1,5-szöröse, a fűtőolajé

A jelentősebb* közcélú erőművek relatív önköltsége 1995-ben**

Telephely	Tüzelőanyag	Relatív arány
Paks	atom	1,00
Kelenföld	szénhidrogén	1,06
Kisköre	víz	1,13
Kispest	szénhidrogén	1,20
Dunamenti	szénhidrogén	1,36
Kőbánya	szénhidrogén	1,42
Tisza	szénhidrogén	1,45
Tatabánya	barnaszén	1,53
Visonta	lignit	1,70
Tiszalök	víz	1,95
Oroszlány	barnaszén	2,27
Bánhida	barnaszén	2,36
Ajka	barnaszén	2,49
Pécs	feketeszén	2,78
Tiszapalkonya	barnaszén	3,40
Borsod	barnaszén	3,59
Inota	barnaszén	6,20
a rendszer eredő költsége	3,53 Ft/kWh	1,44

* termelésük meghaladja az ország felhasználásának egy ezrelékét

** későbbi időpontban a privatizált vállalatok önköltségi adatokat már nem publikáltak

pedig 0,8-0,9-szerese. A 60. ábra a hőerőművek ár alakulását szemlélteti 1998–1999-ben a rotterdami piacon.

A villamos energia termelői árát az áramellátás tervezett piaci szegmensében – részben a tőzsde közbeiktatásával – a kereslet és kínálat viszonya fogja kialakítani. Ez az ár szinte folyamatosan fog változni, ahogy az erőművek terhelése és az import mértéke a vevők és eladók közötti megállapodások függvényében alakul.

Az áramellátás közszolgáltatói szegmensében a villamos energia termelői átlagárának van rendező szerepe. Az átlagár a rendszerben együttműködő – termelési részarányukkal súlyozott – fajlagos áraknak az átlaga, a rendszerirányítás feladata ennek minimalizálása, az erőművek között a terhelés elosztásának optimalizálásával. Az együttműködő villamosenergia-rendszert nagyon eltérő tulajdonságú erőművek alkotják, önköltségük az erőműtípus, a tüzelőanyag-bázis és az erőmű kihasználásának függvénye. A 60. táblázat jelentősebb közcélú erőműveink relatív önköltségét mutatja 1995-ben, a privatizációt megelőzően.

Erőműtípusok költségtípusainak megoszlása

Költségtípus	Atomerőmű	Szénerőmű	Kombinált ciklus földgázbázison
Tőkekötség, %	52-66	34-48	17-26
Energia, %	19-25	37-48	66-74
Üzemeltetés és karbantartás, %	15-23	15-18	8-9
Beruházás, * kFt/kW	378-394	280-312	137-144
Ft/kWh	3-4,5	3,3-4,1	3,5-3,9

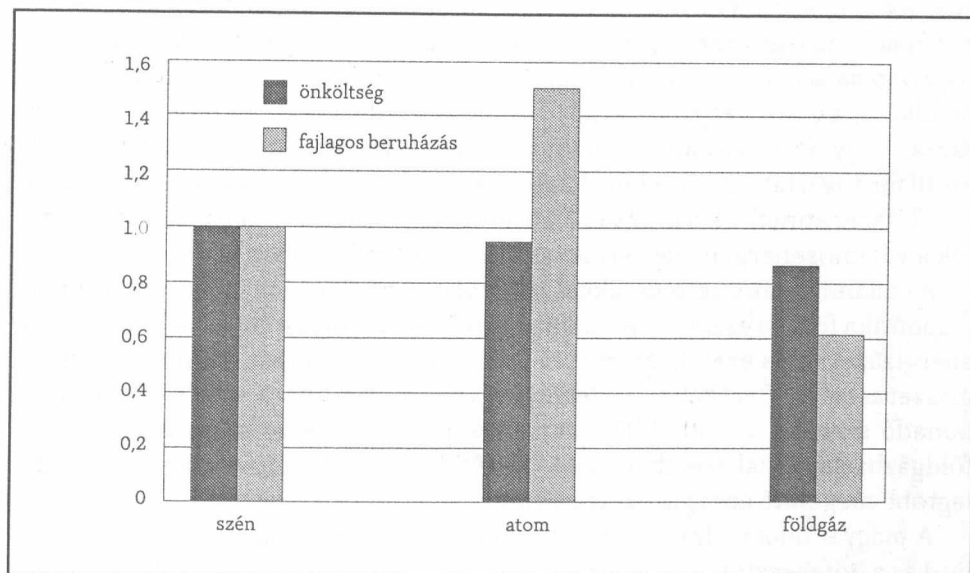
* a dollár 1995-ös árfolyamán

Korábban a szállító (MVM Rt.) az erőművekkel hosszú időre szóló áramvásárlási szerződést kötött. E szerződések alapján az egyes erőműveknek fizetett árban egyrészt teljesítményt kötnek le a villamosenergia-rendszer egyensúlyának biztosítására, másrészt villamos energiát vásárolnak tőlük a növekményköltségek figyelembevételével, arra törekedve, hogy a teljes rendszer eredő költsége minimális legyen. Az egyes erőműveknek fizetendő ár meghatározásánál a szállító különféle egyéb körülményeket (tüzelőanyag-ellátottság, rendelkezésre álló tartalék, szabályozhatóság, menetrendtartás, meddőszolgáltatás, környezetvédelmi követelmények stb.) is figyelembe vesz. Az áramvásárlási szerződések ma már akadályozzák a piaci viszonyok kibontakozását, vizsgálat tárgya, hogyan lehetne érvényességi idejüket lerövidíteni. Jogszabályok írják elő, hogy a közszolgáltató villamos művek milyen áron vehetik át a nem közszolgáltató erőművektől az ott termelt villamos energiát.

A 60. táblázatban nagyon eltérő műszaki színvonalú és életkorú erőművek szerepelnek. A figyelembe vett barna- és feketeszenet hasznosító erőművek egységteljesítménye kicsi, hatásfoka rossz és életkora több évtized, egy korszerű létesítményt sokkal kedvezőbb arány jellemezne. Ugyanakkor paradox módon a nagyon öreg erőművek, melyek állóeszközeiket már teljesen leírták, olcsón tudnak villamos energiát fejleszteni, mivel azt alapvetően csak a tüzelőanyag költsége terheli.

Gyakran viták tárgya az összehasonlítás alapját képező paksi atomerőmű alacsony önköltségének szerepe a magyar villamosenergia-rendszer termelői átlagárának alakításában. Kétségtelen, hogy atomerőművünk (és a többi régebbi erőművünk) könyv szerinti értéke alacsony és a számviteli törvény szerint képzett alacsony amortizáció nem fedezi az erőmű pótlását. Ez azonban nem csökkenti az atomerőmű pozitív szerepét a termelési költségek és a fogyasztói árak leszorításában, ami nélkül a lakossági tarifa szintjét legalább 40%-kal kellene megemelni. Különösen jelentőssé válhat ez a szerep az atomerőmű élettartamának esetleges meghosszabbításával, amikor az alapberuházás már le van írva.

Alaperőmű-típusok fajlagos mutatói



Az áttérés a villamosenergia-ellátás monopolisztikus módjáról a piaci versenyre felveti a befagyott költségek problémáját. Ezt piaci áron nem fedezhető költségelemek, például azon erőművek korábbi beruházásai okozzák, melyek amortizációja az alacsonyabb árszínvonalon nem fedezhető. A befagyott költségeket az áttérés során egyes országokban ellentételezendőnek minősítették, másutt veszteségként leírandónak. Nálunk e probléma súlya az áttérés ütemétől és az erőművekkel kötött áramvásárlási szerződések kifutási idejétől függ.

A 61. táblázat a 21. század elejére prognosztizált UNIPÉDE-adatok alapján a költségtípusok szerinti megoszlás nagy különbségét érzékelteti három erőműtípusra. A tüzelőanyagárak teszik ki hozzávetőlegesen a földgáztüzelésnél a villamosenergia-termelés önköltségének 70%-át, széntüzelésnél 40%-át és az atomerőművi önköltség mintegy 20%-a fedezi a fűtőelemek árát, a tőkeköltségek aránya ellentétes sorrend szerint alakul. A költségelemek valamelyikének – például a földgáz árának – lényeges változása módosíthatja a beruházási döntések preferenciáit. Német átlagértékek alapján a 61. ábra érzékelteti a fajlagos önköltségek és a fajlagos beruházási költségek arányát.

Fogyasztói árak

Míg az energiahordozók termelői árai nagyjából a világpiaci árakhoz igazodnak, a fogyasztói energiaárakat erősen befolyásolják a helyi körülmények.

Az eltérésekben jelentős az országok költségvetési és szociális politikájának szerepe, közrejátszhatnak energiapolitikai követelmények, fogyasztói szokások, és más körülmények is. A motorhajtó üzemanyagok fogyasztói ára az Európai Unió legtöbb országában csak kismértékben függ a tőzsdei ártól, jóval nagyobb az árban érvényesített jelentős, 60-70% körül mozgó állami elvonás befolyása, az üzemanyagok árába beépített adótartalom különbsége magyarázza, hogy az USA-ban a benzin fogyasztói ára az európai szint harmada körül mozog. Hatása van a beruházási javak árszínvonalának is, például Japánban kétszer annyiba kerül egy erőmű létesítése, mint Európában, ami tükröződik a villamosenergia-fogyasztás tarifáinak különbségében is.

Az államnak az energiaárakkal kapcsolatos pénzügyi magatartása az energiapolitika fontos eszköze. Az adók mértékével befolyásolni lehet a fogyasztói energiaárakat, és ezen keresztül az energiatakarékosságot, valamint az energiaszerkezetet. Érzékelteti a lehetőségeket a sok vitára alkalmat adó karbonadó szerepe, 25-30 USD/t versenyképessé tenné az atomerőműveket a földgázbázisúakkal szemben és 65-100 USD/t esetében gazdaságossá válna a legtöbb megújuló energia hasznosítása.

A magyar adórendszer minimális áfán kívül nem sújtja elvonásokkal a szilárd és a hőfejlesztésre szolgáló gáznemű energiahordozókat, a villamos energiát és a hőszolgáltatást. Az üzemanyagként használt cseppfolyós energiahordozókat viszont magasabb kulcsú áfa és további jelentős elvonások (fix jövedéki adó, készletezési hozzájárulás) terhelik, melyek összességükben az ár 60-70%-át is meghaladják (az arány az üzemanyagok világpiaci árának függvénye). Energiapolitikai megfontolásokból a motorhajtó üzemanyagként használt PB-gáz és földgáz esetében kedvezményes adókulcsokat alkalmaznak. Az állam különféle más preferenciák és diszpreferenciák alkalmazásával is érvényesítheti energiapolitikai törekvéseit, például a megújuló energia hasznosításának preferálására kötelező átvétellel premizált áron, mindez végső fokon a fogyasztói árakban is tükröződik. Az energiaimport alakulását a vámok mértékével lehet befolyásolni, ezt a lehetőséget azonban az EU-tagság szűkíteni fogja, mivel a közösség energiapolitikájának célja, hogy az energia-ellátó vállalatok versenye lépje át az országhatárokat.

A kereslet és kínálat kölcsönhatása egy optimális árszínvonal kialakulása felé hat. Elegendő energiaforrás esetén a valós piaci verseny kikényszeríti a költségek leszorítását. A kevés hasznot hozó, nyomott energiaárak azonban eltérítik a befektetőket az energetikai beruházásoktól, ami idővel a kínálat szűkösségére és az árak növelésére vezet, az árnövekedés ösztönzi a hiányzó kapacitások beruházását. A drága energia viszont takarékosagra és hatékonyságnövelésre ösztönöz, a visszafogottabb kereslet az árak csökkentését mozdíttja elő.

A magyar árpolitikát meghatározó 1990. évi LXXXII. törvény általában piaci ármechanizmus kialakulását kívánja meg, de a vezetőkes ellátásnál a termé-

Energiahordozók fogyasztói átlagárai*

Energiafajta	Fogyasztói kör	Mértékegység	Ár
Villamos energia	átlag	Ft/kWh	14,5
	lakosság		
	– átlag		16,4
	– általános		19,8
	– vezérelt		9,2
	nem lakossági		
	– átlag		13,7
	– általános		20,7
	– teljesítménydíjas		11,7
	– közvilágítás		24,2
	– vasúti vontatás		10,2
	– közúti vontatás		12,2
Hőenergia	átlag	Ft/GJ	1022
	– forró víz		986
	– gőz		1055
Földgáz	végfelhasználói átlag	Ft/m ³	23,8
	– lakossági átlag		28,9
	– nem lakossági átlag		23,3
	– általános díjszabás		24,3
	– teljesítménydíjas díjszabás		22,5
	– puffer díjszabás		19,3

* maximált ár 2000-ben áfa nélkül, kerekítve

szetes monopólium korlátozása érdekében engedményt tesz, és maximált hatósági árak alkalmazására ad felhatalmazást. Ennek érvényesítését a jogszabályok a villamos energia és a földgáz esetében állami hatáskörben tartják, az önkormányzatokra hárul a nem közcélú forrásokból szolgáltatott gőz és meleg víz árának meghatározása és a távhőszolgáltatás tarifáinak kialakítása. A vezetékekhez nem kötött energiahordozók – tüzelőanyagok és a motorhajtó üzemanyagok – Magyarországon szabadáras termékek, amelyeknél a világpiac hatása és az állami politika együttesen befolyásolják a viszonyokat. A vezetékes energiahordozóknál is ez a cél, de a piac liberalizálásáig hatósági árak érvényesülnek. A 62. táblázat az 1999. eleji árakat mutatja (kerekítve) áfa nélkül.

Csatlakozásunk az Európai Unióhoz az árpolitika liberalizálását követeli meg a vezetékes ellátás terén is, de az állami árszabályozást a fogyasztók egy részénél valószínűleg még egy néhány éves átmeneti időszakban fenn kell tartani. A vezetékes ellátási formáknál a piaci ármechanizmus műszaki és kereskedelmi fel-

tételei kezdetben csak a feljogosított nagyfogyasztók részére valósíthatók meg, az árak teljes körű felszabadítása a háztartásokat és a kisfogyasztókat kiszolgáltató helyzetbe hozná, mert a reális piaci verseny feltételei ebben a fogyasztói körben nehezen teremthetők meg. Az Európai Unió országai eltérő mértékben liberalizálták a piacot, egyesek minden fogyasztóra kiterjedően (az átlag jelenleg 2/3), de a feljogosított fogyasztóknak is csak egy kisebb hányada élt ténylegesen a szállítók szabad megválasztásának lehetőségével.

A vezetékes energiaellátások hazai árszínvonala – főleg a kisfogyasztóknál – jelentősen elmarad a nyugat-európai áráktól (1999-ben 40-70%-kal). Ennek oka egyrészt a költségek különbsége (alacsonyak a bérék, csekély az amortizáció a korábbi beruházások irreálisan alacsony árszínvonala miatt, a környezetvédelem ráfordításai kicsik stb.), másrészt a maximált árak megállapítását szociálpolitikai és korábban iparpolitikai szempontok is befolyásolták. A különbségek nivellálása elkerülhetetlen az EU-hoz történő csatlakozásunk után jelentkező esetleges hátrányok elkerülése érdekében. A jelenlegi árárányok mellett előfordulhatna, hogy az olcsóbb villamosenergia-forrásaink (pl. atomerőmű) iránti nyugati kereslet a hazai ellátás számára csak a drágább lehetőségeket hagyja meg, növelve a hazai ellátás költségét.

A rendszerváltás óta a magyar kormányok hatósági ármegállapító szerepükben a vezetékes energiaárak felzárkóztatásának fékezésére törekedtek. Ezt politikai népszerűségük féltése is motiválta, mert az energiaárak hányadának növekedése a megélhetési költségekben a lakosság, a termelési költségekben a vállalkozók elégedetlenségét váltja ki. A legalacsonyabb jövedelmű rétegek képtelenné válnak az energiaszámlák kiegyenlítésére, ami a szociálpolitikának okoz nehezen megoldható gondot. A voluntarista árpolitika visszatérő konfliktusok forrása a kormány és az energiavállalatok között, mert a nyomott ár nem biztosítja indokolt költségeik fedezetét (pl. új erőművek építését vagy a földgázimport árát), ami hosszabb távon ellátási zavarok forrásává válhat. Stabil megoldást csak reális árak biztosítanak, a társadalmi feszültséget pedig a rászorultak szociális kompenzációjával kell enyhíteni.

A központilag szabályozott áraknál döntést igényel, hogy mi tekinthető a költségek elfogadható mértéknek, ami mindig hosszadalmas vizsgálatok és egyeztetések tárgya. A hazai hatósági árrendszer alapját elvileg a Magyar Energia Hivatal által elismert tényleges költségek szabják meg, amit azonban a kormány gyakran felülbírál. A privatizációval és az árszabályozással kapcsolatos hazai jogszabályok átlagosan 8%-os tőkearányos nyereséget tekintenek méltányosnak az indokolt költségeken felül. A vezetékes energiaellátás területén a dotációkat és a fogyasztói szektorok közötti keresztfinanszírozásokat szociálpolitikai megfontolásokból csak fokozatosan építettük le, ezért többször került sor a földgáz és a villamos energia árképzésének szabályozására, illetve a villamos energia lakossági tarifáinak, és a nem lakossági díjaknak a meghatározására. Mivel a vezetékes energiaellátásban vertikálisan technológiai kényszerkap-

csolatban levő vállalatok vesznek részt (a villamos energetikában termelők–szállító–elosztók, a földgáziparban értékesítő–szolgáltatók, a hőszolgáltatásban fűtőmű–távfűtők), ezek forgalmi kapcsolatában is szükség lehet bizonyos árszabályozásra, amennyiben a fogyasztók hatósági áron vásárolják az energiát, vagy az energiaátvitel pénzügyi feltételeit a hatóság hagyja jóvá. A piaci és a közszolgáltatási mechanizmus egyidejű érvényesítése nehézségeket fog okozni mind műszaki, mind költségmegosztási kérdésekben. A vertikumokon belüli belső árak meghatározására a szabályozó hatóság sok tényezőt figyelembe vevő képleteket állított fel. A villamosenergia-ellátás összes költségének mintegy kétharmadát kitevő átlagos termelési árhoz járul a szállító, illetve elosztó vállalatok költségeit és nyereségét fedező központilag szabályozott árrés, így alakul ki a nagykereskedelmi, továbbá az átlagos hatósági fogyasztói ár. A közcélú erőművekből szolgáltatott gőz és meleg víz árát a helyi körülmények számításba vételével határozzák meg.

A földgáz hatósági fogyasztói (végfelhasználói) árát a viszonteladói árból vezetik le, ami a földgázimport árából, valamint a forgalmazás (szállítás és tárolás) költségeitől függ. A földgáz díját megállapító rendeletek viszonteladói, lakossági, ipari, valamint kommunális árszabást tartalmaznak. A természetes állapotú földgáz fogyasztói árát csak egy alacsony kulcsú áfa terheli, de az üzemanyagként használt földgáznál nagyobbak az elvonások. Kedvezményes tarifában részesülnek a pufferfogyasztók (többnyire erőművek és nagy ipari kazánok), melyek a teljesítménymérleg egyensúlyának biztosítására télen csökkentik a gázfelhasználásukat, illetve más energiahordozó használatára térnek át. A gázszolgáltatók folyamatos ellátásra vannak kötelezve, ha a napi középhőmérséklet nem csökken -10°C alá. Ennél hidegebb időben a Magyar Energia Hivatal által jóváhagyott korlátozási menetrend szerint kijelölt ipari fogyasztók ellátása megszakítható. A különféle fogyasztói kategóriák tarifája 20 és 30 Ft/m³ között mozog. Csatlakozásunk után az Európai Unió piaci körülményei lényeges változásokat fognak okozni földgázáraink alakulásában.

A villamos energia fogyasztói tarifái erősen differenciáltak, azokban az ellátás módjának és a fogyasztó típusok (háztartások, ipar, kereskedelem, vontatás, közvilágítás) vételezési módjának jellegzetességei is érvényesülnek, az árak 12 és 21 Ft/kWh közötti értékek. A tarifák legtöbb típusa kétféle díjletem érvényesít, egyrészt a rendelkezésre állással összefüggő állandó költséget fedező alapdíjat (teljesítménydíjat), másrészt a fogyasztással arányos változó költséget (áramdíjat). A nagyfogyasztóknál a csatlakozás módjától függően nagyfeszültségű, közép- és kisfeszültségű kategóriát különböztetnek meg, a tarifával véve figyelembe, hogy alacsonyabb feszültségű csatlakozásnál a fogyasztó több eszközt (transzformátorokat, vezetékszakaszkot) köt le. A berendezések legjobb kihasználását az évenként 8760 órán keresztül tartóan fogyasztó üzemek biztosítják, az ilyen „zsinórfogyasztók” kedvezményben részesülnek.

Villamosenergia-ellátási vertikumok külső költsége

Energiabázis	Külső költség mECU/kWh
Szén	5,3–15,0
Lignit	9,9–10,8
Fűtőolaj	10,7–12,6
Földgáz	0,4–1,0
Szél	0,8–2,2
Víz	2,3
Atom	0,4–2,5

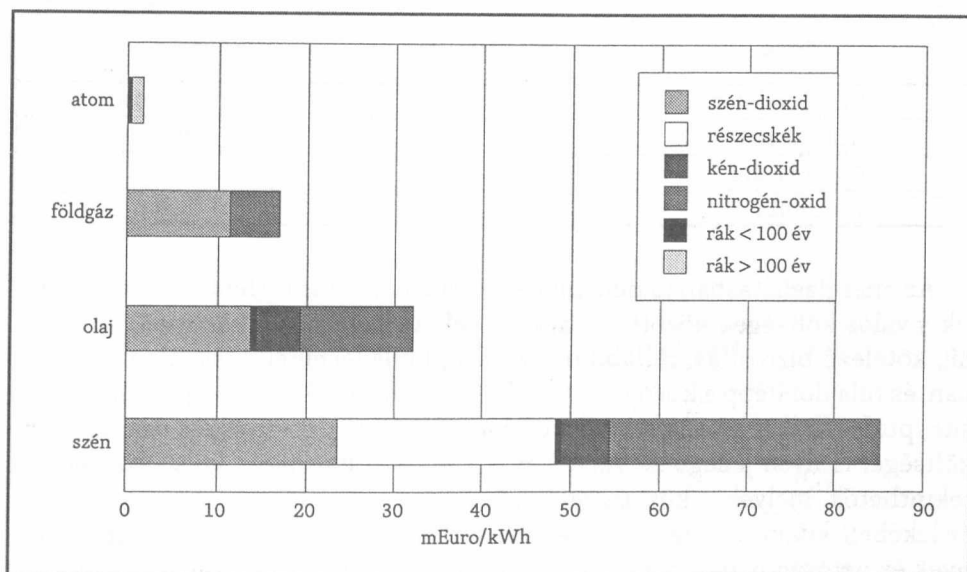
Mivel a villamos energia nem tárolható, az állandóan változó terhelés kielégítése érdekében teljesítménygazdálkodásra is szükség van. A fogyasztókat zónaidőkre bontó tarifával, illetve a csúcsidőszaki energia drágításával és a völgyidőszaki (régebben éjszakai) fogyasztás árának mérséklésével is lehet ösztönözni, hogy vételezésüket csökkentsék a nagy terhelés időszakában. A szabályozási technika fejlődése módot ad arra, hogy az elosztó vállalatok központilag vezéreljék az erre kész fogyasztók főleg termikus készülékeinek be- és kikapcsolását a rendelkezésre álló szabad teljesítőképesség függvényében. A vezetékeken átvihető teljesítményt csökkentik a jelentős meddő terhelést (kis $\cos\varphi$ -t) okozó fogyasztók, a tarifák ezekre a fázisszög csökkentésére ösztönző felárat alkalmaznak. Korábban a háztartások fogyasztását növekvő egységgárral elszámolt tömbökre bontó tarifa is használatos volt, a szociálisan igazságosabb teherviselés kialakítására és a takarékoság előmozdítására. Nem lehetetlen, hogy az elosztás költségeinek (transzformációk száma, vezetékhossz és annak mentén a veszteség) érvényesítésére visszatérnek a fogyasztók területi sűrűsége szerint differenciáló tarifák is, ami a falusi és tanyai fogyasztókat érintené érzékenyen.

A fogyasztói terhelés és a rendelkezésre álló teljesítmény egyensúlyát egyrészt az erőművek kiadott teljesítményének, másrészt a hálózatok átviteli feszültségének szabályozásával biztosítják. Ha a normális szabályozás lehetőségei már kimerültek, az egyensúly megbomlását – főleg üzemzavarok alkalmával – a hatóság által jóváhagyott sorrendben ipari fogyasztók lekapcsolásával lehet helyre állítani.

A közcélú erőművekből teljesített hőszolgáltatás árát – erőművek szerint differenciáltan – a hatóság szabja meg, a helyi rendszerek esetében az 1000 Ft/GJ nagyságrendű díjak megállapítása az önkormányzatok hatásköre.

A piaci mechanizmusok alapvetően átalakítják a földgáz- és villamosenergia-ellátás jellegét. A vállalatok szolgáltatóból energiával kereskedőkké válnak, az ellátási felelősséget üzleti tevékenység váltja fel, a hierarchikus struk-

Erőművi vertikumok légszennyezésének külső költségei



túra helyett a vertikum minden szintjén versenyző vállalatok jelennek meg, a hatósági árak helyébe alku során kialakított piaci ár lép. A villamosenergia-ellátásban a 2000-es évek elején – kísérleti jelleggel – a nagyfogyasztók egy csoportjára bevezetjük a piaci rendszert, ennek követését szorgalmazzák a gázellátásnál is, bár ennek módszere még az Európai Unióban sem kiforrott.

A külső költségek elvileg a társadalomnak az emberek egészségében, a természetben, az anyagi környezetben, az életkörülményekben, a szociális viszonyokban stb. okozott károk pénzben kifejezett mértékét tükrözik. Az energiaellátás miatt jelentkező – de az árakban nem érvényesülő – külső költségek tulajdonképp dotációt jelentenek, ezért erősödik a nyomás azok beépítésére az árakba. A külső költségek meghatározása gyakorlati okokból meglehetősen bizonytalan, ezért a figyelembe vett értékek lényegében egy társadalmi meg egyezést tükröznek arról, mennyit érdemes áldozni a károk mérséklésére, vagy a következmények enyhítésére. Gyakran a külső költségek értelmezése is akadályokba ütközik, hogyan lehet forintosítani a közérzet romlását, mi a kára a tájrombolásnak, hogyan lehet számszerűen értékelni a biodiverzitás csökkenését, mit ér a gazdasági vonzerő fogyása, hogyan kell figyelembe venni a jövőbeli generációk lehetőségeinek korlátozását stb. Folytak kutatások a külső költségek meghatározására, a 63. táblázat példaképp egy európai uniós vizsgálat (ExternE) eredményeit mutatja a villamosenergia-ellátás különféle lehetőségeinek teljes vertikumára, a 62. ábra pedig a külső költségek szerkezetébe enged bepillantást.

Kibocsátások korlátozásának költségei erőműveknél

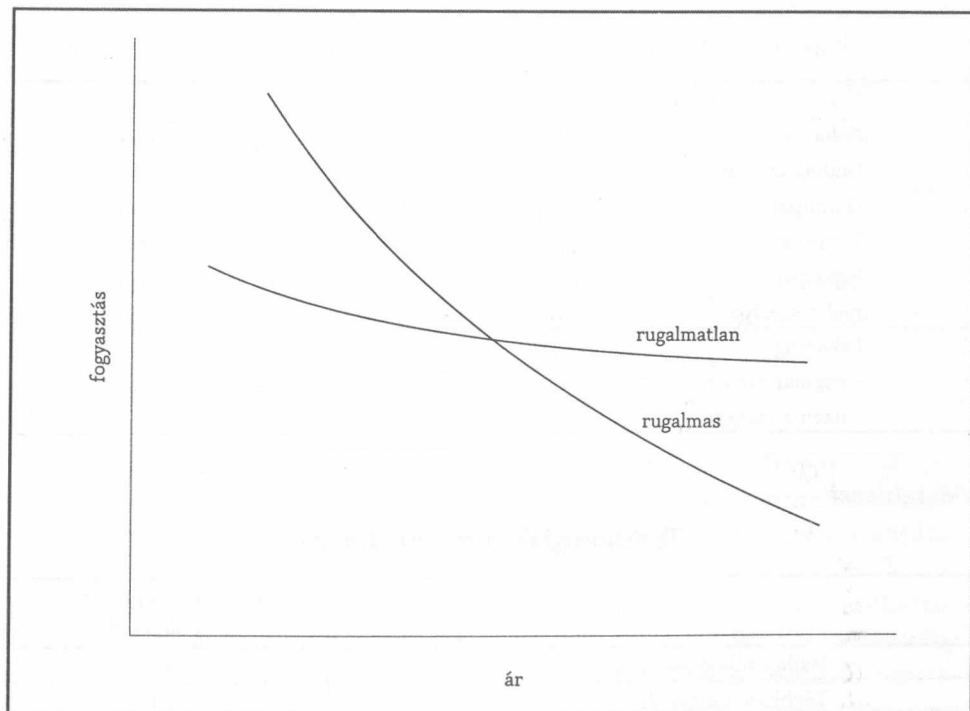
Eljárás	Beruházás, USD/kW _e	Üzemeltetés, USD/kWh
Füstgáztisztítás	180–230	0,6–0,8
NO _x -kivonás	50–120	0,3–0,6
Porleválasztás	40–100	0,2–0,5
Víz tisztítás	10	0,1

Az energiaellátásban jó néhány nemkívánatos hatás terheit már érvényesítik a valós költségek között bírságok, adók, termék díjak, környezetterhelési díj, kötelező biztosítás, rehabilitációs alap, hulladékelhelyezési alap formájában, és tulajdonképp a környezetvédelmi berendezések (pl. füstgáz-kénmentesítő, porleválasztó, szennyvíztisztító, hulladékégető) létesítési és üzemeltetési költségei is ilyen jellegűek. Az olyan járulékos költségek is külső költségnek tekinthetők, melyek a közigazgatásnak a károk megelőzése vagy mérséklése érdekében kifejtett tevékenységét (jogalkotás, igazgatás, ellenőrző intézmények és hatóságok működése, mérések, engedélyezés, balesetknél mentés és kárelhárítás stb.) fedezik. Voltaképpen azzal is külső költségeket vesznek figyelembe, ha a munkavállalók egészségkárosodását magasabb bérrel vagy egészségbiztosítással kompenzálják, illetve amikor kártérítést fizetnek az okozott anyagi kárért, a tönkrement javakért, az ingatlanok értékcsökkenéséért.

A környezetvédelmi mozgalmak állandó nyomást gyakorolnak további külső költségek beépítésére az energiaárakba, például a természeti erőforrások igénybevételeért, a táj esztétikai képének rontásáért, a természet eredeti állapotának megbontásáért, a rekreációs potenciál csökkenéséért és hasonló következmények figyelembevételére. A költségek túlzott növelése azonban nemcsak a vállalatok, hanem a társadalom gazdasági érdekeivel is ütközik, ezért a kormányok is óvatosan közelítik meg a kérdést. A kormányok különösen azt kívánják elkerülni, hogy egyoldalú kötelezettségvállalással veszélyeztessék országuk versenyképességét és pénzügyi egyensúlyát, valamint növeljék az állampolgárok terheit. Az EU is fontos követelménynek tartja energiapolitikai irányelveiben a helyes arányok kialakítását a külső költségek érvényesítése és a gazdasági versenyképesség megőrzése között. Érzékelteti a problémákat az üvegházhatás mérséklésére javasolt szén-dioxid-adó körüli huzavona. Nemzetközi fórumok, rendkívüli ENSZ-közgyűlések fulladtak kudarcba a legerősebben érintett országok (USA, Ausztrália, Japán) ellenállása és a jövőben a kibocsátást nagymértékben növelő országok (Kína, India és más fejlődők) tartózkodása miatt.

A 64. táblázatban néhány átlagos költség látható erőművi környezetvédelmi technológiákra, a konkrét értékek az eljárás jellegétől, a tüzelőanyag minőségétől és az emissziócsökkentés kívánt mértékétől függenek.

Árelasztítási görbék



Érdekes fejleménye az üvegházgáz-kibocsátás csökkentésére kötött kiotói megállapodásnak a külső költségek kereskedelme. Globális hatásról lévén szó az országok vállalt kötelezettségének teljesítése nincs helyhez vagy létesítményhez kötve. Ezért meg lehet egyezni a „szennyezési jog” átengedésében, ha az emisszió az egyik létesítménynél eszközölt drága beruházás helyett másutt olcsóbb ráfordítással csökkenthető. Az ilyen ügyletekből egyes fejlődő országok például az erdőtelepítés lehetőségéért remélnék jelentős bevételt a fejlett országoktól.

Az energiaárak változása bizonyos mértékig visszahat az energiahordozók forgalmára, ezt az ε érzékenységgel lehet jellemezni:

14. képlet

$$\varepsilon = \frac{\frac{dE}{E}}{\frac{dA}{A}} = \frac{A}{E} \frac{dE}{dA}$$

ahol az A ár dA változása az E energiafogyasztás dE változását váltja ki. A fogyasztók létfontosságú szükségleteinél az érzékenység kicsi, nagy áremelés is

65. táblázat

Az energia költségrészaránya

Fogyasztói szektor	Az anyagköltségben, %	Az összköltségben, %
Nemfémek ásványipar	27,6	16,3
Kohászat	14,0	11,1
Feldolgozóipar	11,0	7,4
Gumiipar	9,5	6,3
Textilipar	9,5	6,0
Papíripar	5,0	3,2
Élelmiszeripar	3,2	2,4
Lakosság		
– üzemanyag nélkül	10	
– üzemanyaggal	16	

66. táblázat

Technológiák energiaköltsége

Technológia	Energiaköltség/összes ráfordítás, %
Hajtás villanymotorral	90
Térfűtés földgázzal	70
Villamosenergia-fejlesztés földgázzal	70
Villamosenergia-fejlesztés szénrel	50
Kompresszoros hűtőgép	40
Benzinüzemű gépkocsi	30

csak kis fogyasztáscsökkentést eredményez. Könnyebben módosítható igényeknél az áremelkedés erősebben ösztönöz a felhasználás csökkentésére, illetve az áresés a fogyasztás bővítésére (63. ábra).

A termelés szférájában elsősorban azok a fogyasztók érzékenyek az energiaárakra, amelyek költségei között az energia jelentős tétel. Az energiaköltség a termelés önköltségében átlagosan néhány százalék, de egyes szektorokban sokkal többet tesz ki, amire példák a 65. táblázatban láthatók.

A táblázatban szereplő ágazatok átlagértékeitől lényegesen eltérhetnek az egyes vállalatok, illetve technológiák fajlagos mutatói. Kiugróan nagy értékek is előfordulnak, amire néhány példát mutat a 66. táblázat, az energiaköltség és a teljes életciklus – beruházást is magában foglaló – költségének arányára. A nagyon energiaigényes tevékenységek – például nagyolvasztók, alumíniumkohók, egyes vegyipari technológiák, cementgyártás – visszaszorítása gazdaság szerkezetünk átalakításának egyik fő irányzata.

Háztartási energiahordozók átlagos ára 1999-ben

Energiahordozó	Mértékegység	Ár
Darabos kockaszén	Ft/kg	14,9
Gyöngybrikett	Ft/kg	17,4
Koksz	Ft/kg	28,1
Tűzifa	Ft/kg	8,7
Háztartási fűtőolaj	Ft/l	147
Nappali villamos energia	Ft/kWh	20,6
Vezetékes földgáz	Ft/m ³	31,9
Palackos PB-gáz	Ft/kg	143,5
Meleg víz	Ft/GJ	986

Az energiaköltségek csökkentésének legegyszerűbb lehetősége az igények mérséklése, például a felesleges ráfordítások kiiktatásával, a termékszerkezet módosításával kevésbé energiaigényes termékek és tevékenység irányába, vagy szervezési intézkedésekkel (pl. gépkocsihasználat helyett a tömegközlekedés igénybevételével). Nem jár visszalépéssel, de pénzbe kerül a racionalizálás, a veszteségek csökkentésével és a hatékonyság javításával. Műszakilag néha van mód áttérni olcsóbb energiahordozó használatára, például a tüzelőberendezésekben tüzelőanyag-cserével, hőfejlesztésnél más energiahordozóra támaszkodó megoldás alkalmazásával. Vezetékes energiaellátási módoknál számításba jöhet az áttérés önellátásra, üzemekben önálló erőmű vagy kazántelep létesítésével, lakóházak kiegészítése autonóm energiaforrásokkal (pl. napsugárzás vagy szél hasznosítással).

A 65. táblázatban található adat a lakosság fogyasztási kiadásaihoz viszonyított energiaköltségére is, ami természetesen átlagérték, a kis jövedelmű családoknál az arány ennek többszörösét is elérheti. A fogyasztói kosárban a háztartási energia 1999-ben 10%-ot képviselt (az átlagos háztartásban 30-35 kFt/fő,év), a gépkocsi üzemanyagköltsége pedig 7%-ot. A 67. táblázat néhány háztartási energiahordozó átlagos 1999. évi árát mutatja be.

A lakosság reagálása az energiaárak változására erősen függ a jövedelmi helyzetüktől. A kis jövedelműeknek kevés a lehetősége az energiafelhasználás csökkentésére, mivel a civilizált életkörülmények minimumához szükséges energiát használják fel. A legszegényebb rétegek gyakran a fogyasztói számlák kifizetésére is képtelenek, és szociális támogatás híján elesnek az energiaszolgáltatástól. Az áremelkedés ezeknél a rétegeknél súlyos társadalmi probléma, mert a legelemibb létszükségletek kielégítését veszélyezteti, aminek ellen-súlyozása szociálpolitikai feladat. A magas jövedelműek és sok energiát fogyasztók árérzékenysége kicsi. A személyi jövedelem növekedésével a köz-

vetlen energiafelhasználás telítődés felé tart, viszont nő a termékekben és szolgáltatásokban megtestesülő közvetett energiafogyasztás. A tapasztalatok szerint kisebb áremelkedés hatására a lakosság energiafelhasználása csak időlegesen csökken, és egy idő után visszaáll az eredeti mértékre. Csak jelentős áremelkedés készíti a fogyasztókat a felhasználás mérséklésére és az árnövekedést ellensúlyozó lépésekre.

Az ellátási felelősséggel terhelt, állami tulajdonú energiaszolgáltatók működését nemigen befolyásolta az árelaszticitás. A privatizáció és a piaci módszerek előtérbe kerülése új helyzetet teremtett. A szolgáltatott energia mennyiségét csak addig érdemes növelniük, amíg a költségek megtérülésén felül haszon is keletkezik, ezen túl a növekményköltségeket már nem fedezi az ár. Ez elsősorban a kapacitásbővítés üzleti kilátásának megítélésénél jelentkezik valós problémaként. Nyitott kérdés, hogyan fog ütközni az üzleti érdek az ellátás minőségével. Különösen kritikus ez a probléma, ha monopólium érvényesül, akár az állami ármegállapítás miatt, akár az ellátás oldaláról, például ha korlátozott az erőművi kapacitás a rendszerben, vagy az elosztóhálózathoz nincs szabad hozzáférési lehetőség.

A közgazdászok sok évtizedes vitatémája, hogyan kell értékelni a vezetékes ellátási módoknál – különösen a villamos energiánál – a nem szolgáltatott energia okozta kárt. A kérdés vezetékhöz nem kötött ellátási módoknál érdektelen, mivel tüzelőanyagok a piacon más szállítóktól is beszerezhetők. A hiánnyal terhelt tervgazdaságban gyakran a nem szolgáltatottat minősítették a legdrágább „energiának”, de ez a szlogen főleg a szükségesnek tartott fejlesztés alátámasztására szolgált. A számszerű értékeléshez a kieső termelést vagy az elmaradt nemzeti jövedelmet használták. A piacgazdaság körülményei között differenciáltabb a megközelítés, a tényleges kárnak többnyire a fogyasztónál elmaradt hasznot tekintik, de ebből ténylegesen csak a szerződésekben rögzített kötelezettségek teljesítésének elmaradása miatti rész realizálható. De az okok között rendszerint bemutatható a vis major, ami a legtöbb szerződésben mentesítő körülmény, így tényleges kompenzációra ritkán kerül sor. Az ellátási felelősség megszűnte után a szolgáltatók szerződéseikben maximális védelemre törekednek, amit csak nagyon erős tárgyalási pozícióban levő fogyasztók képesek ellensúlyozni.

A beruházások szerepe

A megbízható energiaellátásnak nagy az eszközigénye. Az eszközállomány megújítása szinte folyamatos tevékenység, részben a kimerült források vagy hasznos idejüket letöltött, elhasználódott berendezések vagy létesítmények pótlására, részben az igények növekedését fedező kapacitások megteremtésére. E két cél rendszerint egybeeső, a pótlást a várható fejlődés figyelem-

bevételeivel valósítják meg. A fogyasztók ellátását közvetlenül szolgáló, gyorsabban kivitelezhető és nem nagyon tőkeigényes létesítményeket az illetékes vállalatok „keresetvezérelten”, folyamatosan kiépítik. Ebbe a körbe tartozik a fogyasztók ellátásához szükséges infrastruktúra is az energiahordozók szállítására és elosztására. Hasonló a helyzet a decentralizált energiaellátás eszközeivel, beleértve a megújuló energiák kisebb léptékű hasznosítását is.

Bonyolultabb a helyzet a hosszú idő alatt megvalósítható és tőkeigényes nagyberuházásoknál (bányák, szénhidrogénmezők, erőművek, kőolaj-finomítók, magisztrális csővezetékek és villamos távvezetékek stb.), melyeknek jelentős szerepe van az ország energiasztruktúrájának alakításában is. Ezeket sokéves ráteremtéssel kell tervezni, figyelembe véve a beruházások hosszú átutazási idejét és üzembe helyezésük időzítését. Ha az új kapacitás túl korán lép be, a beruházással indokolatlanul kötődnek le a tőkét, ami növeli az energiaellátás költségét. A túl kései belépés viszont a gazdaság fejlődését lassító energiahiányt idézne elő, aminek elkerülése más relációból történő pótlással többnyire ugyancsak többletköltséget okoz. Az eltérés az optimumtól mindkét esetben nemcsak drágítja az energiaellátást, hanem a tőke optimálistól eltérő befektetése miatt kárt jelent a nemzetgazdaságnak is.

A tervgazdaságban az energetika távlati tervezése és az ellátás bővítéséhez szükséges anyagi eszközök biztosítása állami feladat volt. A piacgazdaságban ezen állami feladatok megszűntek, a beruházások a vállalatok befektetési hajlandóságán múlnak, ami a tőkeerőtől és a várható nyereség megítélésétől függ. A nemzetgazdasági optimum érdekében hasznos a fejlesztési koncepciók és beruházási szándékok állami befolyásolása, nem sértve a társaságok anyagi érdekeit, és nem véve át a döntések felelősségét. Ez elsősorban az energiapolitika (pl. kívánatos energiaszerkezet, geopolitikai megfontolások) és a társadalmi érdekek (pl. környezetvédelem, szociálpolitika, területfejlesztés) érvényesülése érdekében kívánatos. Az állami szervek és a társaságok közötti szerepmegosztás azonban még nem forrott ki, az állami szerepvállalás ellenzői nem veszik figyelembe az energetika nagy időállandóit és a tulajdonosok részrehajló érdekeltiségét.

A nagyberuházásoknál rendkívül fontos körülmény az időtényező. Az elhatározás és az üzembe helyezés között évtized nagyságrendű idő telik el, számításba véve a tervezés, lakossági véleményezés, engedélyezés és kivitelezés időszükségletét. Az engedélyezési folyamat időtartamát a szaporodó előírások és követelmények, valamint a társadalmi beleszólás erősen megnövelte, amit befolyásol a közhangulat bizonytalansága. Bizonytalanságot okoz, hogy egyes országokban a folyamatban levő kivitelezést felfüggesztő ismételt vizsgálatok kezdeményezésére is módot adnak a jogszabályok. A sok évre elhúzódó engedélyezési eljárás könnyen leronthatja a gazdaságosságot, mivel ezalatt a befektetett tőkének nincs hozama (interkaláris hatás), viszont terheli a kamat, és az eljárások kiszámíthatatlansága miatt még a megelőlegezett befektetés megté-

rülése is kétséges. A nagylétesítmények megépítése jelentős időbe telik, ami különösen az erőműveknél kritikus (a létesítési idő atomerőműnél 5-10 év, szénerőműnél 4-8 év, földgázerőműnél 3-5 év). A hosszú létesítési idő során a hitelek kamata a teljes beruházási költség jelentős hányadát érheti el (pl. atomerőműnél 5%-os diszkonttényezőnél ~15%-ot, 10%-os diszkonttényezőnél ~25%-ot). Az eljárásnak ez az elhúzódása jelentősen hozzájárult ahhoz, hogy az atomerőművek több országban gazdaságtalanná váltak.

A létesítést több évtizedes üzem követi, aminek során az elhatározásoknak időtállóknak kell bizonyulniuk. Terjedő gyakorlat az élettartam meghosszabbítása a létesítmény rekonstrukciójával, ami könnyebben járható út, mint egy zöldmezős új beruházás feltételeinek teljesítése (engedélyezés, telephely kijelölése, közmeghallgatás, lakossági elfogadtatás, infrastruktúra biztosítása stb.).

A létesítmények tervezett élettartamának kitöltésére nincsen garancia, a gazdasági környezet változása, az energiapolitika fordulatai, az előírások szigorodása vagy a környezetvédelem nyomása miatt kerülhet sor idő előtti bezárásukra. Erre világszerte szaporodnak a példák szénbányáknál, uránbányáknál, atomerőműveknél és kőolaj-finomítóknál is (Magyarországon szén- és uránbányák esetében). Svédországban és Németországban kormányprogram az atomerőművek korai bezárása. Természetes, hogy az idő előtti bezárás megzavarja a befektetett tőke megtérülését, és egy ilyen kockázat lehetősége elriasztja a további befektetési szándékot. Különösen az erőműépítés területén gyakoriak a voluntarista korlátozások, jó néhány országban moratóriumot vezettek be a nagyobb vízerőművek létesítésére, a környezetvédelem egyes országokban a szénerőmű-építés tilalmát kényszerítette ki, Ausztráliában politikai indokból korlátozzák az uránbányászatot. A következetlen döntések terheit végső soron a társadalom viseli, elmaradt nemzeti jövedelem, vagyonvesztés, munkahelyek megszűnése, termelési kultúrák leépülése, települések pangása, szociális terhek, kompenzáció miatt felmerülő költségvetési kiadások stb. formájában. Világraszóló példája volt ennek a bős-nagymarosi vízlépcsőrendszerrel kapcsolatos dilettáns döntéseink dollármilliárdokra rúgó kára.

A piaczgazdaságban a bizonytalanságok ellensúlyozására a befektetők a kevésbé kockázatos és gyorsabban (5-6 év alatt) megtérülő változatokat preferálják, nem szívesen fektetik pénzüket nagyon hosszú idő (20-25 év) alatt megtérülő vállalkozásokba. A jelentős politikai vagy gazdasági átrendeződések időszaka is ezt az orientációt erősíti. Ezért jelenleg a kisebb egységteljesítményű, gyorsan megépíthető, egyszerűbb és gyorsabban megtérülő létesítményeket preferálják, ami például az erőműépítésnél a földgázbázis, a szénbányászatban a külfejtés, a kőolajtermelésnél az elsődleges kitermelés előnyben részesítését eredményezi. Nem biztos, hogy ezek a prioritások a nemzetgazdaság számára tartósan optimálisak, de jelenleg csak ezekre lehet a beruházásokhoz szükséges tőkét előteremteni.

Az energiavállalatok saját tőkéje külföldön sem elegendő a fejlesztés fedezetére, a prognózisok szerint a 21. század első évtizedeiben a világ energiaellátásának biztosításához évente 500-600 GUSD beruházás szükséges. Ennek finanszírozása a bankok és a magántőke nagymértékű szerepvállalása nélkül elképzelhetetlen. Fokozottan érvényes ez a hazai helyzetre, a magyar energiaellátás fejlesztésében az állami szerepvállalás megszűnt, a saját források minimálisak, így csak külső források bevonására lehet alapozni. Erre többféle megoldás kínálkozik (hitel, privatizáció, részvénykibocsátás, külföldi tőke bevonása, üzemeltetési jog átengedése stb.), a vezetékes ellátási módoknál némileg enyhíti a hiányt a fogyasztók hálózatfejlesztési hozzájárulása, amit a terhelés jelentős növeléséért, vagy új fogyasztók becsatlakozásáért kell fizetniük. Nehezíti a helyzetet, hogy jogszabályaink nem teszik lehetővé a vagyon felértékelését az infláció figyelembevételével, ennek következtében az amortizáció még a befektetett eszközök pótlását sem biztosítja, az energiaipari vállalatok többsége vagyonának jó részét felélte, és nemcsak a fejlesztéshez, hanem az eszközök pótlásához is külső források bevonására van szüksége. A vezetékes energiahordozók esetében a beruházási hajlandóságot csökkenti az energiaárak nyomott szintje.

Nemzetközi tapasztalat, hogy az energetika finanszírozásában elsősorban a biztos befektetésekre törekvő pénzintézetek és befektetési alapok, az ellátásért felelősséget érző állam, valamint önkormányzatok, továbbá a piac megszerzésében érdekelt nagyvállalatok vállalnak részt. A befektetést akkor tekintik vonzónak, ha a lassabb megtérüléssel együtt járó kisebb hozamot ellensúlyozza, hogy kicsi a kockázat. Ennek legfontosabb záloga a hosszú időre tartóan stabil versenyképesség. Ennek hiányát kívánta ellensúlyozni az erőművek privatizációjánál a villamos energia átvételére adott állami garancia, illetve a hosszú időre kötött átvételi szerződések, ezek azonban nem piacconform konstrukciók.

A beruházások révén elért nyereséget megosztják a befektetők jövedelmét biztosító osztalékra, valamint a nem hitelből finanszírozott fejlesztés fedezetére. A fejlesztésnek ez a forrása bizonytalanná válik, ha a külföldi tulajdonosok nem ítélik elég vonzónak a magyarországi befektetést és teljes nyereségüket ki akarják vinni az országból. Megjegyzendő, hogy a jövedelem kivonásának más – közvetett – útjai is vannak, például megrendelések vagy megbízások adása a tulajdonossal pénzügyileg összefonódott külföldi vállalatoknak.

A döntés-előkészítés rendkívül felelősségteljes feladata a létesítmény helyzetét befolyásoló műszaki és gazdasági körülmények jövőbeli alakulásának megítélése a sok évtizedes élettartamra. A kockázat csökkentésére a létesítményeket érintő beruházási döntéseket általában több változat összehasonlítására alapozzák.

A változatok összehasonlításánál a gazdasági versenyképesség esik a legnagyobb súllyal latba. Ennek legmarkánsabb mutatója a termékek fajlagos költsége, aminek vizsgálata történhet egy tipikus évre vagy a teljes élettartamra. Az utóbbi jó közelítéssel a vizsgált időszak alatt eszközölt ráfordítások és

ezen idő alatt értékesített termékek mennyiségének hányadosa. Ennek számítását mutatja a 15. képlet:

$$15. \text{ képlet} \quad f_e = \frac{\sum_{t=0}^T [(k_{tt} + k_{ft} + k_{mt})(1+h)^{-t}]}{\sum_{t=1}^T e_t (1+h)^{-t}}$$

E képletben f_e a t évben e_t energiát szolgáltató létesítmény teljes T élettartamára értelmezett eredő fajlagos költség; k_{tt} a tőkeköltség a t -edik évben, k_{ft} a fűtőanyag (tüzelőanyag, fűtőelem, nyersanyag) költsége t évben és k_{mt} a működtetés költsége (bér, karbantartás, energia önfogyasztása stb.) ugyancsak t évben, h a diszkonttényező.

A versenyképesség vizsgálatánál fontos szempont a ráfordítások hozama. Megítélésének egyik módja a költség-haszon (cost-benefit) számítás, aminél a ráfordításokat (költségeket) állítják szembe az elérhető bevételekkel, és a ket-tő különbségéből származó nyereséggel jellemzik a viszonyokat. A számításokat vagy egy alkalmasan megválasztott jellemző évre végézik el, vagy a létesítmény teljes élettartamára összegzett diszkontált értékeket a kezdő időpontra, vagy az első konszolidált évre vetítve vizsgálják.

A nagy tőkeigényesség miatt lényeges szempont annak megtérülési ideje. Azt mutatja, hogy mekkora időintervallumra kell a diszkontált évenkénti hasznokat összegezni, hogy az megegyezzen a kezdeti beruházás értékével. Néha az élettartamra átlagolt haszonkulcsot is vizsgálják, amihez összegzik a létesítmény élettartama alatt elért hasznok jelen időre diszkontált értékeit, és azt a befektetésekre vetítve nyerik az eszközarányos nyereség mértékét. Hasonló módon az árbevételek ugyancsak jelen időre diszkontált összegére vetítve nyerhető a bevételarányos nyereség mértéke.

A gazdaságosság vizsgálatánál mindig szükség van a különböző időpontokban jelentkező ráfordítások és hasznok átszámítására egy közös időpontra, a kamatos kamatszámítás algoritmusát alkalmazó diszkontálással. A 15. képletben a szummák diszkontált értékek. Diszkontálással lehet a jelenleg eszközölt ráfordításokat a jövőre átértékelni, vagy a jövőben felmerülő kihatások jelenidejű értékét meghatározni. A diszkontálásnak nagy szerepe van az eszközök leírását fedező amortizáció számításánál. A leíráshoz az évente elkülönített összegeket úgy kell meghatározni, hogy az élettartam végére a visszapótlás költsége (eredeti áron) rendelkezésre álljon. Általában lineáris leírást alkalmaznak, ami évente azonos részletek elkülönítését jelenti. Előfordul nem lineáris leírási ütemezés is, például a leírási időszak első éveiben nagyobb összeggel, ha nagy a vállalkozás kockázata, vagy az utolsó időszak nagyobb megterhelésével, ha a jövedelmezőség csak lassan következik be. Az adókedvezmény egyik formája (pl. műszaki fejlesztés, vagy energiatakarékosság ösztönzésére) a gyorsított leírás, amikor az

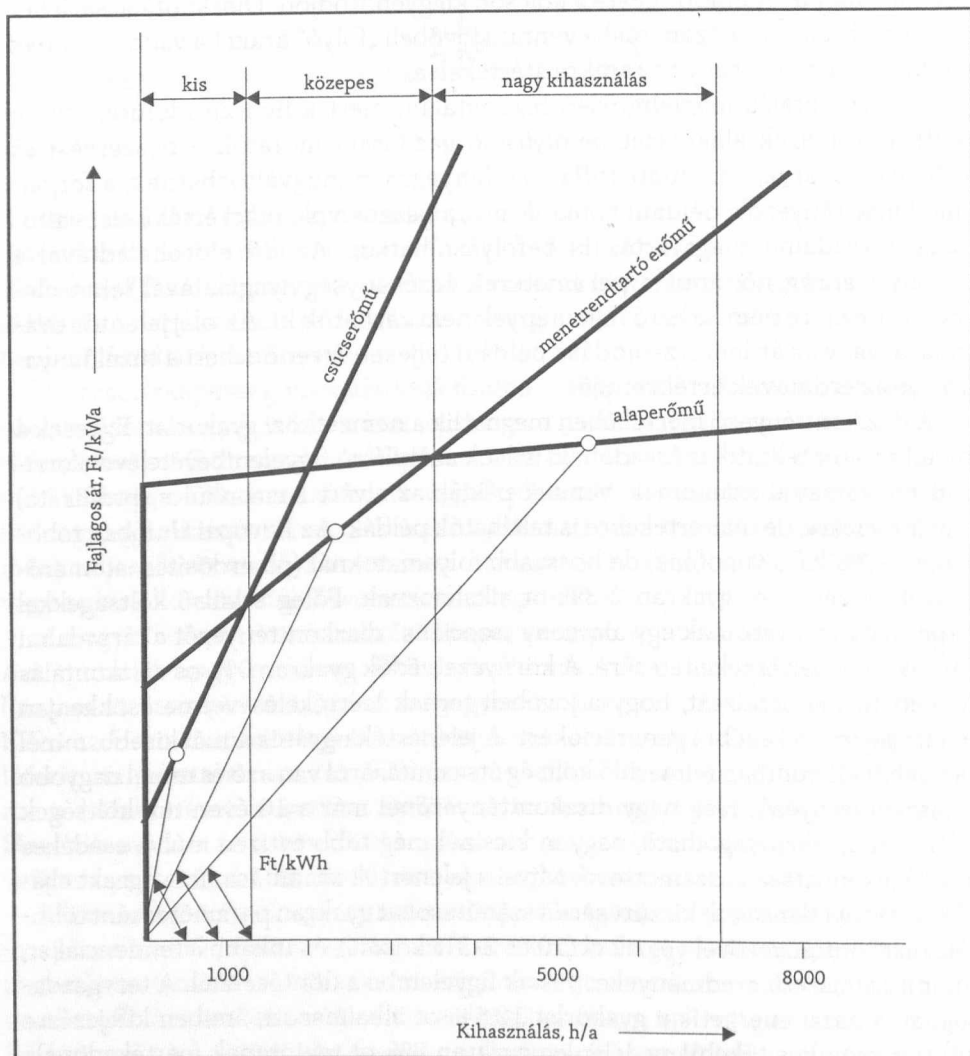
adóhatóság a nyereség terhére az élettartamnál rövidebb idő alatti leírást engedélyez. Ugyancsak diszkontálással határozzák meg a hitelek törlesztésének módját, hogy a futamidő végére a kölcsön kiegyenlítődjön. Diszkontálással lehet az infláció hatását is számításba venni, a jövőbeli „folyó” árakat a változatlanok tekintett jelenlegi (vagy fix) árakra átértékelve.

A diszkontálás meglehetősen bizonytalan, mert a hosszú időintervallum alatt a költségek alakulását befolyásoló gazdasági mutatók – beszerzési és értékesítési árak, kamatláb, infláció – lényegesen megváltozhatnak, a forgalmat külső tényezők, például konjunktúra, jogszabályok, piaci értékítélet változása, társadalmi magatartás is befolyásolhatják. Az idő előrehaladtával a bizonytalanság nő, amit a paraméterek érzékenységvizsgálatával lehet elemezni, de előre nem látható fejlemények nem zárhatók ki. Az olajjelentős drágulása, vagy az ár lemorzsolódása például teljesen átrendezheti a tüzelőanyagok és az erőművek értékrendjét.

A diszkonttényező mértékében megoszlik a nemzetközi gyakorlat. Egyesek a bankkamatot tekintik mérvadónak, mások az infláció figyelembevételével korrigált reálkamattal számolnak, vannak példák az elvárt haszonkulcs (profitráta) alkalmazására, de más értékekre is találhatók példák. Az Európai Unióban többnyire 5-7%-kal számolnak, de hosszabb folyamatoknál (pl. erdősítés, atomerőművek leszerelése) gyakran 2-3%-ot alkalmaznak. Főleg a külső költségekkel kapcsolatban javasolnak egy alacsony „szociális” diszkonttényezőt a társadalmi terhek súlyának érzékeltesére. A környezetvédők gyakran 0%-os diszkontálás mellett törnek lándzsát, hogy a jövőbeli terhek leértékelésével ne csökkenjen felelősségünk a későbbi generációkért. A jelenérték ugyanis annál kisebb, minél távolabbi időpontban felmerülő költség átszámításáról van szó és minél nagyobb a diszkonttényező. Elég nagy diszkonttényezőnél már a 10 éven túli költségek jelenideje is elhanyagolható, nagyon kicsinél még több évtized múlva esedékes költségek kihatása is számottevő. Mivel a jelenérték számítása nem egzakt eljárás, a bizonytalanságok kiszűrésére a számításokat gyakran paraméterként többféle diszkonttényezővel végzik el (10 és 2-3% között), és inkább a tendenciákat, mint a számszerű eredményeket veszik figyelembe a döntéseknél. A tervgazdaságban a hazai energetikai gyakorlat 12,5%-ot alkalmazott, amiben kifejezésre jutott a krónikus tökehiány. Jelenleg gyakran 8%-ot tekintenek mértékadónak, azzal összhangban, hogy energiaipari privatizációs megállapodásaink 8% körüli tőkearányos nyereséget tartanak méltányosnak és a vezetőkes energiahordozókkal kapcsolatos árszabásaink is ilyen haszonkulcsot ismernek el.

A létesítményekkel kapcsolatos döntésekkel egymással kölcsönhatásban levő gazdasági, műszaki, ökológia, társadalmi, stratégiai és politikai követelményeket kell kielégíteni, nemritkán nemzetközi kölcsönhatások figyelembevételével (pl. nemzetközi egyezmények, európai uniós követelmények, államközi megállapodások). A paraméterek jó részét nem lehet pénzürtékkel jellemezni, sőt gyakran számszerűsíteni sem. Ilyenkor a sokféle jellemző egy-

Erőművek kihasználásának befolyása az önköltségre



idejű összehasonlítására különféle döntési eljárások jöhetnek számításba, a legrugalmasabb a többparaméteres hasznosság vizsgálata, amelynél a jelentőségük alapján súlyozott követelmények teljesülésének mértékére adott értékjegyeket összegzik a soroláshoz (16. képlet):

16. képlet

$$S = \sum_{i=1}^n w_i y_i$$

Villamosenergia-fejlesztés fajlagos beruházási költségei

Villamosenergia-fejlesztés módja	USD/kW
Gáztubínás csúcserőmű	400–500
Kombinált ciklusú erőmű földgázra	600–800
Kondenzációs szénhidrogén-erőmű	900–1 200
Kondenzációs szénerőmű	1 000–1 400
Szénerőmű elgázosítással	2 000
Ligniterőmű	1 400–1 600
Kondenzációs gőzturbina biomasszára	1 600–3 000
Nyomottvizes atomerőmű	1 800–2 200
Vízerőmű	2 000–2 500
Termikus naperőmű	2 500–3 000
Napelem	10 000
Szélerőmű	1 500
Geotermikus erőmű	2 000
Tüzelőanyag-cella	1 600–2 000

A képletben az n számú követelmény i -edik elemére adott y_i osztályzat (hasznosság) és az i -edik követelmény fontosságát jellemző w_i súlyozó tényező figyelembevételével számított összeg szolgáltatja az eredő S hasznosságot.

Bonyolítja a változatok összehasonlíthatóságát, hogy a létesítmények élettartama és azok időbeli kihasználása eltérő. A 64. ábra az erőművek kihasználásának befolyását tükrözi az önköltségre, aminek a két legfontosabb tényezője a tüzelőanyag-költség és a kamatláb. Az alaperőművek a magas tőkeköltséget is elviselik, mivel az – a tartós terhelésnek megfelelően – nagy mennyiségű energiára terhelődik szét, ugyanakkor nagyon érzékenyek az energiaköltségre. A csúcserőműveknél pont ellentett a helyzet: olcsó létesítményeket követelnek meg, de az energiaköltségre érzéketlenek, tekintettel az üzemeltetés rövid idejére. A közepes kihasználású terheléskövető erőművek köztes helyet foglalnak el a két szélsőség között.

Az energetikai létesítmények beruházási költségét befolyásolják a helyi körülmények, a terep- és talajviszonyok, az infrastruktúra helyzete, a szállítási lehetőségek, a munkaerő felkészültsége és ára, a hatósági előírások, a lakossági követelmények stb. Ezek hatására, a megvalósítás helyétől függően, ugyanolyan létesítmények költsége nagyon eltérő lehet. Még nagyobbak a különbségek a műszaki megoldás módja szerint, amit villamosenergia-fejlesztésre a 68. táblázat példáz tájékoztató átlagértékek alapján.

A beruházási költségeket csökkenti a berendezések sorozatgyártása, illetve a létesítmények ismételt kivitelezése. Számottevő a mérethatás sze-

repe, az energetikai berendezések egységteljesítményének növekedése csökkenti a fajlagos beruházási költséget. Ezért jöttek létre sok száz MW-os teljesítményű hőerőművi blokkok és több GW hőteljesítményű atomreaktorok, évente sok Mt kapacitású bányák és kőolaj-finomítók. A mérethatás telítődés felé tart, az egységteljesítmény növelését műszaki és gazdasági körülmények korlátozzák. Ezek között említendő a berendezések szállításának korlátai (vasúti úrszelvény, közúti műtárgyak mérete és teherbíró képessége, kikötői daruk teherbíró képessége), valamint a bonyolultabb nagy berendezések sérülékenysége és ezért kisebb rendelkezésre állása. Jelentős körülmény, hogy az üzemzavar vagy karbantartás miatt kieső berendezések helyettesítésére azonos teljesítményű tartalékot kell biztosítani, ami többletköltséget okoz.

A mérethatásnak a legnagyobb jelentősége az erőműépítésben volt, a kisebb összteljesítményű rendszerekben – amilyen a mi villamosenergia-rendszerünk is – azt nem is lehetett teljes mértékben kiaknázni, mert gazdaságilag a tartalékolásnak csak bizonyos mértéke viselhető el (az egységteljesítmény célszerű határa a csúcsterhelésnek kb. 10%-a). Ugyancsak korlátozza a lehetőséget a terhelés éves növekményének mértéke, ennél sokkal nagyobb új kapacitás nagyon lassan térülne meg, ha nem biztosítható annak garantált leterhelése (pl. áramexporttal vagy öreg létesítmények selejtezésével).

Az utóbbi évek új fejleményei is mérséklék a nagy egységteljesítményű blokkok vonzerejét. A gázturbinák ugrásszerű fejlődése, a kapcsolt hőszolgáltatás előtérbe kerülése és a tüzelőanyag-cellák kilátása támasztja alá a kis egységteljesítményű blokkok versenyképességét. Felerősödött a kis teljesítményű autonóm ellátás pozíciója is, ezt erősíti a megújuló energiák hasznosítása, a fontos fogyasztók igénye saját tartalék energiaforrásra, az üzemi erőművek vonzereje (amit a piaci viszonyok is ösztönöznek), és ami a legfőbb ígéret: a fejlődő országok hálózattól távol fekvő területeinek ellátása energiával. Jelentős fejlemény az irányítástechnikának nagyon rugalmas üzemvitelt lehetővé tevő fejlődése is. Egyes zöld szervezetek a vezetékes ellátás helyett a fejlett országokban is a decentralizált ellátást tartják a jövő ígéretének, ami szerintük az egyéni politikai és gazdasági függetlenség egyik tényezője. Valószínűtlen, hogy a vezetékes ellátás előnyei (kényelem, biztonság, minőség, rendelkezésre állás, központi karbantartás, környezetbarátság stb.) belátható időn belül háttérbe szorulnának a városokban és agglomerációkban. Decentralizált ellátás elsősorban a centrumoktól távol fekvő és ritka népsűrűségű térségekben ígéretes.

Az utóbbi évtizedben jelentős költségfelhajtó hatása volt a környezetvédelmi követelményeknek. Ez nemcsak a létesítést érinti – ami például a beruházási költségének negyedét-harmadát okozhatja – hanem a létesítmény felszámolását is, ami a működés befejezte után esedékes. Az utóbbi az eredeti beruházás 10-20%-os nagyságrendjében mozog, terjedő gyakorlat a leszerelés költségének összegyűjtése évenkénti költségelemként – az amortizációhoz

hasonlóan – így a hosszú időtartamra kiterjesztett diszkontálás következtében néhány százaléknál nem jelent többet az önköltségben.

Beruházás nem csupán az energiaellátáshoz szükséges feltételek megteremtését jelenti, hanem nagy üzleti lehetőséget is a beszállítóknak, akár kisebb értékű, de nagy darabszámban alkalmazott eszközökről van szó, akár a nagyberuházásokról. Az energetikai beruházások megrendelést jelentenek a gyártó és kivitelező vállalatoknak, munkaalkalmat az ott foglalkoztatottaknak, élénkülést, valamint az infrastrukturális szolgáltatások javulását az érintett településeknek, többnyire műszaki fejlődést a szakmai megoldásokban, és gyakran többletterhelést a környezetnek. E sokszálú érdekháló szükség-szerűen markánsan megnyilvánuló érdekütközéseket is kivált, küzdelmet a megrendelésekért és a munkalehetőségekért, alkut a költségek körül, vetélkedést a települések előnyeiért, fellépést az egyéni érdekekért és a környezet védelméért stb.

A fejlesztés műszaki megalapozásához szerteágazó kutató-fejlesztő tevékenység folyik az energetika területén. Ennek zömét az érdekelt vállalatok finanszírozzák, de a fejlett országokban jelentős az állami szerepvállalás is. Állami feladat a vállalatok látókörét meghaladó kutatások támogatása, például a fúzió kutatása, egyes közvetlen energiaátalakítási eljárások fejlesztése, vagy a hidrogéngazdaság kialakítása. Indokolt az állam hozzájárulása a vállalatok teherviselő képességét vagy kockázatvállalási lehetőségét meghaladó fontos feladatok finanszírozásához, új atomreaktor-típusok kialakítása, szintetikus tüzelőanyag-előállítási eljárások fejlesztése, megújuló energiák hasznosításának újszerű megoldásai példázzák ezt. Vannak olyan kifejezetten társadalmi igények is, mint a nukleáris biztonság fokozása, az üvegházhatás mérséklése, a radioaktív hulladék elhelyezése, melyek központi kezelést igényelnek. A K+F-munka néha az energiapolitika lényeges módosulására vezetett, erre példa az atomenergetika, a tengeri kőolajtermelés, a cseppfolyósított földgázszállítás, a szénhidrogén-kutatásban a ferde fúrási technológia, vagy a baktériumos uránércbányászat kifejlesztése. Az energetikai célú K+F-ráfordítások az utóbbi évtizedben világszerte csökkentek, a magyarországi visszaesés egyenesen drámai mértékű volt.

Szállítási feladatok

Az energiaellátáshoz nagy volumenű szállításra van szükség, s ennek költsége jelentős tétel az energiaellátás árában. Egyrészt biztosítani kell az energiahordozók továbbítását a források helyétől a fogyasztói súlypontokba, gyakran nemzetközi forgalomban, esetleg több országon keresztül. Másrészt a fogyasztói súlypontokból el kell juttatni az energiát minden fogyasztóhoz. A világkereskedelemnek mennyiségben és értékben egyaránt a legnagyobb

tétele az energiahordozók hihetetlenül megnőtt – több milliárd tonnára rúgó – forgalma, aminek bonyolításához mindennapos gyakorlattá vált hatalmas mennyiségű fosszilis energiahordozók szállítása, akár több ezer kilométeres távolságra is mind szárazföldön, mind a tengereken. A világtengereket szinte uralják a sűrű forgalmat bonyolító olajtankerek, ezek a szállítások kötik le a világ tengeri hajóparkjának több mint harmadát. Jelentős a szénszállító teherhajók és újabban a cseppfolyós földgázt továbbító tartályhajók forgalma is. A szárazföldön kontinenseket átszelő, nagy átmérőjű csővezetékben áramlik a kőolaj és a földgáz. Az ellátásbiztonság növelésére a magisztrális vezetékek idővel hálózatokba kapcsolódtak össze, földrészeket átszövő kőolaj- és földgázszállító csőhálózatok, valamint villamosenergia-rendszerek alakultak ki, melyek üzemeltetése az országok szoros gazdasági és műszaki együttműködését igényli.

Nemritkán szállítási optimalizáció dönti el az energiaellátás jellegét. Előnyösebb-e a kőolaj-finomítókat a tengeri olajkikötők közelébe telepíteni és azok termékeit szállítani a fogyasztókhoz, vagy célszerűbb-e a fogyasztói centrumban végezni a kőolaj-feldolgozást, odaszállítva a kőolajat? Olcsóbb-e a fogyasztói súlypontban levő erőműbe szállítani a szenet, vagy a bánya mellé telepített erőműből villamos vezetékeken továbbítani az energiát? Sok éve vizsgálják például, hogy Közép-Ázsia energiavagyonát gazdaságos-e egészen nagy feszültségen villamos energia formájában eljuttatni Nyugat-Európába, vagy olcsóbb a primer energia szállítása?

Az energiahordozók nemzetközi forgalmának legfőbb hajtóereje az energiaforrások egyenlőtlen eloszlása a Föld országai között, különösen a szénhidrogének tekintetében. E mellett gazdasági szempontok is szerepet játszanak, például az olcsó tengerentúli szén európai importjában. Az energiaellátás stratégiai jelentősége miatt nagy súlya van a politikai szempontoknak. A nagyléptékű energiaszállítások a KGST-tagországokba jelentős szerepet játszottak a Szovjetunió befolyásának növelésében. A több országot átszelő energiaszállító vezetékek létesítése és üzeme körül a gazdasági érdekelletéken túlmenően nemritkán nemzetközi politikai konfliktusok is kialakulhatnak. Nemcsak a gazdasági szempontok, hanem a hatalmi érdekek is mozgatták az éveken keresztül zajló vitát, milyen útvonalon szállítsák Európába az olajat a Kaszpi-tenger körüli országok, és nem véletlenül kellett több állam elnökének parafálni a csővezeték nyomvonalára kötött szerződést. A magyar döntéseket is sokszor a szállítási lehetőségek és feltételek motiválják, hogyan lehet diverzifikálni szénhidrogénimportunkat, milyen kockázatok terhelik az erőművi szénimportot, hogyan alakítsuk villamosenergia-külkereskedelmünket stb.

A jelentős energiaforrások kiaknázásához szükséges beruházásokra és az energia nagy távolságú szállítására gyakran alakulnak nemzetközi konzorciumok. Az alapvető szállításokat többnyire hosszabb időre kötött magánjogi kereskedelmi szerződések szabályozzák, de gyakran állami garancia, vagy kor-

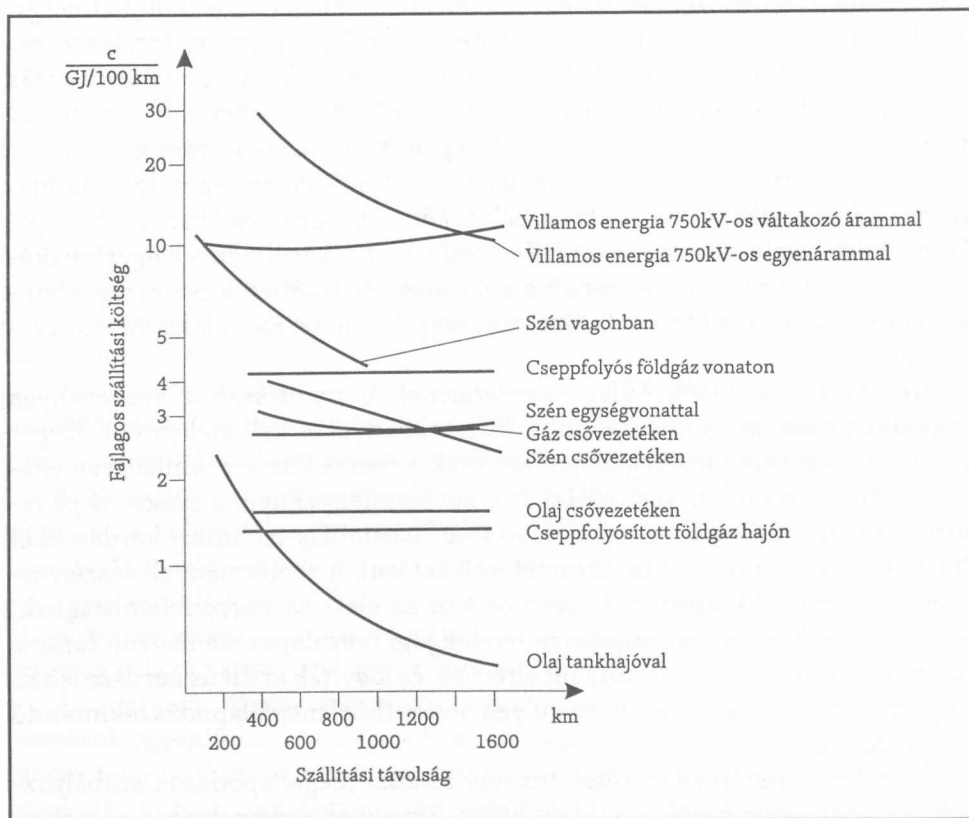
mányközi megállapodás támogatásával. A nagy horderejű kereskedelmi konstrukciókat néha a legmagasabb szintű gazdaságdiplomáciai tárgyalásokkal is alátámasztják. A sokéves egyeztetés után 1994-ben megkötött *Energia Karta Egyezmény*nek is alapvető rendeltetése a kelet–nyugati energiakereskedelmi és -szállítási feltételek megteremtése. Az egyezmény a piaci magatartás szabályait határozza meg, azzal a céllal hogy a FAK területén található hatalmas energiavagyont hozzáférhetővé tegye az OECD-országok számára. Magyarország érdekelt az egyezmény megvalósulásában, egyrészt energiatranzitáló országgént, másrészt beszállítóként a beruházásokban. Az Európai Unió előírányozta a karta továbbfejlesztését a piaci körülmények egységesítése érdekében. Energiaellátásának stabilizálása érdekében a Bizottság államközi megállapodásra törekszik Oroszországgal a tartós energiaszállítások biztosítására.

Az energiahordozók külkereskedelmének bonyolításához szövevényes műszaki, gazdasági, jogi és politikai követelményeket kell kielégíteni. Eleget kell tenni a nemzetközi megállapodásoknak, kereskedelemtechnikai, vámeljárási, szállítástechnikai, biztosítási stb. követelményeknek, a szokásos pénzügyi megállapodások kiegészülnek sajátos elszámolás-technikai kérdésekkel (tarifák, szállítás ütemezése, paraméterek hatása). A szállítmányok veszélyessége miatt megkülönböztetett szerepe van az élet- és vagyonbiztonságnak. A szerződésekben a szerteágazó feltételek jogi megalapozása nagyon fontos, mivel a jogszabályok országonként eltérőek, és jogviták kritikus kérdése lehet, hogy mely ország törvényei vagy milyen nemzetközi megállapodás tekintendő mértékadónak.

A szállítási feltételeket részletes nemzetközi megállapodások szabályozzák, az energiahordozók esetében külön figyelmet érdemelnek a veszélyes anyagokra vonatkozó kikötések. A veszélyes anyagok közúti szállítását szabályozó nemzetközi megállapodás (ADR – European Agreement concerning the international carriage of dangerous goods by road and protocol of signature. 1957, Geneva; 1996, New York) Magyarországon is érvényes. A vasúti szállítás szabályozó nemzetközi egyezménynek (COTIF – Convention relative aux transports internationaux ferroviaires, Nemzetközi Vasúti Fuvarozási Egyezmény) is részesei vagyunk, végrehajtását a nemzetközi előírások változásainak megfelelően időnként módosítják. Vannak egyezmények a vízi és a légi szállítási feltételekről is, de ezek energiaellátásunkat kevésbé érintik. Megerősítés alatt áll a bázeli egyezmény, mely a veszélyes hulladékok országok közötti szállítását és tárolását szabályozza. Különleges előírásokat követel meg a radioaktív és nukleáris anyagok szállítása.

Energiaimportunk nagy részaránya miatt számunkra különösen fontos a nemzetközi szállítások nemritkán változó feltételeinek ismerete. Földrajzi helyzetünkéből adódik, hogy rendszerint több országon keresztül kell a különféle energiahordozók tartós tranzitálásának politikai, műszaki és gazdasági

Szállítási költségek összehasonlítása



feltételeit biztosítani. A nemzetközi szállításoknak vannak kockázatai is, például a balkáni háborúk több évre ellehetetlenítették az Adria-vezeték üzemét és időnként a dunai szállítást is megbénították. Ukrajnával is voltak viták, főleg a csővezetékes szállítások tranzitdíjai és a nukleáris anyagok szállításának biztonsága és fizikai védelme körül.

A 65. ábra néhány szállítási módnak az egységnyi energiára és távolságra vetített fajlagos költségét mutatja a távolság függvényében. Amelyik szállítási módnál a beruházási és az üzemeltetési költségek közel arányosak a távolsággal, ott az egységköltség nem, vagy alig változik az úthossz függvényében, ellenkező esetben a szállítás egységköltsége csökken a távolsággal. A 69. táblázat néhány szállítási mód jellemzőit mutatja be, az átlagos szállítási sebességet, a fajlagos energiafelhasználást és az állóeszközterhet a költségek százalékában.

Az energiahordozók 1998. évi nemzetközi forgalmáról ad képet a 70. táblázat. Különösen az utolsó két oszlop figyelemreméltó, ami érzékelteti egyrészt

Szállítási módok jellemzői

Szállítási mód	Átlagos sebesség, km/h	Energiafelhasználás, MJ/tkm	Állóeszközteher, %
Vasút	50	0,15	5
Közút	50	1-3	15
Tankhajó	10-30	0,3-1	20-30
Csővezeték	3-8	0,1-0,2	65-75

Energiahordozók világkereskedelme

Energiahordozó	Felhasználás, Mtoe	Import, Mtoe	Import/fel- használás, %	Részesedés az importból, %
Szilárd	2250	320	14	11
Folyékony üzemanyag	2790	490	18	16
Kőolaj	3025	1575	52	53
Földgáz	1865	430	23	15
Egyéb gáz	390	45	12	2
Primer villamos energia	960	75	8	3
Tűzifa	530	-	-	-
Biomassza	430	-	-	-
Új megújulók	175	-	-	-
Világfelhasználás	9000	2935	33	100

az import viszonyát az ellátáshoz, másrészt a különféle energiahordozók szerepét a világ energiakereskedelmében.

Az energia-világkereskedelem több mint felét teszi ki a kőolaj, és ennek nagyobbik hányada tengeren jut el a nagy olajkikötőkbe. A kőolajexport 45%-a a Perzsa-öböl térségéből származik (909 Mt 1999-ben), második helyen szerepel a FÁK (198 Mt), erősen megnőtt Dél- és Közép-Amerika (155 Mt), valamint Nyugat-Afrika (149 Mt) szerepe és jelentős az észak-afrikai export is. Az USA (522 Mt) és Nyugat-Európa (481 Mt) importja teszi ki a forgalom felét, nagy tétel Délkelet-Ázsia (289 Mt) és Japán (264 Mt) importja is.

Sajnos beszerzési lehetőségeink mozgásterét korlátozza, hogy a kőolajforgalom fő európai csomópontjaitól (Rotterdam, Hamburg, Trieszt) távol vagyunk, és csővezetékes kapcsolatunk sincs e kikötőkkel. A hatalmas forgalom erősen ösztönözte a tengerhajózás fejlesztését, a több ezer tartályhajóból álló kőolajszállító hajópark kapacitása sok száz Mt, a legnagyobb kapacitású és a legjobban automatizált teherhajókat, a szupertankereket kőolajszállításra építették. A legnagyobb – 250 kt-nál nagyobb bruttó regiszter tonnájú (BRT – a

teljesen terhelt hajó súlya) – szupertankerek (VLCC – Very Large Crude Carrier, ULCC, Ultra Large Crude Carrier) 400-500 m hosszú, 60-80 m széles, 20-35 m merülésű hajóóriások, melyek között jó néhány kapacitása a 0,5 Mt-t is elér. A legnagyobbak fogadására a hagyományos kikötők többsége alkalmatlan, ezek megközelíthetősége biztosítja a kisebb tankhajók létjogosultságát. Ahol a nagy merülés biztosítható volt, ott bővítették a kikötőket, ahol nem, ott újakat építettek vagy úszó szigeteket létesítettek az átszivattyúzáshoz. A szupertankerek versenyképességét még az sem rontja, hogy a Szuezi- és a Panama-csatornán csak a kisebb merülésű hajók tudnak áthaladni (mintegy 150 kt-ig), így a nagyok például a Perzsa-öbölből csak Afrika megkerülésével juthatnak el Európába. Legnagyobb hátrányuk, hogy a számítógép-irányítású navigálás ellenére mozgékonyaságuk korlátozott (több km-es fékút és hasonló fordulási sugár), ami több katasztrófa oka volt. A 65. ábra szerint az energiaszállítás fajlagos költsége a szupertankerekkel a legkisebb, annak ellenére, hogy a hajókat hajtó 20-25 MW teljesítményű hőerőgépek üzemanyag-fogyasztása nem jelentéktelen. Az 1980-as években a tankhajó-kapacitás kihasználása erősen visszaesett, egy részüket alkalmassá tették az olaj mellett más áruk szállítására is, illetve tárolási célokat is szolgálnak.

A szárazföldön az energiaszállítás legolcsóbb megoldása a kőolaj továbbítása csövön, ha a vezetéket egyenletes és nagy kihasználás jellemzi, mert ilyenkor az önköltség 65-75%-át kitevő nagy állóeszközterhek fajlagos értéke kicsi. A kőolajvezetékek a forráspontokat (kőolajmezők, tengeri fogadó kikötők) kötik össze a nagy fogyasztópontokkal (kőolaj-finomítók, tengeri feladó kikötők). A nagy kőolaj-finomítók többnyire a csőhálózatok csomópontjai, hogy megoldható legyen e stratégiailag fontos létesítmények többirányú nyersanyag ellátása. A fejlődés során elágazásokat alakítottak ki, a biztonság növelésére csomópontokat és párhuzamos szállítási utakat, ami egyre összetettebb csőhálózatok kiépítésére vezet, a nemzeti vezetékhálózatok fokozatosan nemzetközivé kapcsolódnak össze. A Földön lefektetett kőolajvezetékek összesített hossza sok százezer kilométer, a legnagyobb csőátmérő 1,5 m körüli érték. Hazánk kőolaj-importjának zöme egy Oroszország ázsiai területéről induló, több országot átszelő, több mint ötezer km hosszú és 100 Mt/év kapacitású, több országot ellátó magisztrális kelet–nyugati csővezeték két leágazásán keresztül érkezik. Az ellátás tartálékát biztosító Adria-vezeték is több Jugoszláv utódállam területén halad keresztül. A Magyarországon lefektetett kőolajvezetékek hossza kb. 1500 km, ezen továbbítják a feldolgozandó kőolaj 98%-át.

A kőolajtermékek forgalmában is jelentős a kőolaj-finomítók kiinduló, nagyfogyasztókat ellátó szárazföldi csővezetékek szerepe, a kőolajtermékeknek mintegy fele jut csővezetéken rendeltetési helyére, a hazai termékvezetékek hossza kerekén 1000 km.

Az ellátás szempontjából nem közömbös a szállítási sebesség, kőolaj esetére néhány adatot a 71. táblázat hasonlít össze. A csővezetékes szállítást kis

Olajszállítási módok jellemzői

Szállítási mód	Átlagos sebesség, km/h	Fajlagos energiaszükséglet, MJ/t.km
Csővezeték	3–8	0,1–0,2
Tanker	8–30	0,3–1
Vasút	50	0,18

sebesség jellemzi, optimuma 5-6 km/h körül van. Előnye viszont, hogy független az időjárástól és a forgalmi viszonyoktól, így növeli az ellátás biztonságát. Munkaerőigénye is kicsi és a továbbítás fajlagos energiafelhasználása is, ami a költségek 10-15%-át teszi ki. Ha a vezetéken eltérő minőségű folyadékokat kell szállítani, azokat a kétféle közeg keverékéből álló folyadék dugóval választják szét, esetleg golyóval vagy más mechanikai eszközzel jelezve a dugóhatárt.

A folyékony szénhidrogének vasúti szállításának fajlagos energiaszükséglete több mint egy nagyságrenddel drágább, mint a csővezetékes szállítás, a közúti szállításé pedig két nagyságrenddel kerül többbe. A közforgalmú szállítási módoknál különösen fontosak a biztonsági követelmények, a tűz és a robbanás elleni biztonság feltöltésnél és lefejtésnél, a folyadéksúlypont stabil helyzete mozgás közben, ami a 100 tonnát is elérő vasúti és 40-50 m³-es közúti tartályoknál nem jelentéktelen feladat.

A kőolajat és kőolajtermékeket ezer köbméter alatt acéllemezéből, efelett többnyire vasbetonból készült tartályokban tárolják. A könnyen illó folyadékokat úszófedeles, a kevésbé illékonyakat fix tetejű tartályokban helyezik el. Kisebb mennyiségekre – például a töltőállomásokon – földbe süllyesztett 10-100 m³-es tartályokat használnak. Külföldön nagy mennyiségek – például stratégiai készletek – tárolását föld alatti üregekben, bányákban vagy kiselezett hajókban oldják meg. Előfordul, hogy fűtésre is szükség van az alacsony dermedéspontú kőolajfrakciók kiválásának elkerülésére, például tengeri termelésnél vagy az örök fagy övezetében.

Az energiahordozók külkereskedelmében leggyorsabban a földgáz forgalma bővül. A földgáztranszport is általában csővezetékhez kapcsolódik, a nemzetközi szállításokat bonyolító, nagynyomású és nagy kapacitású vezetékek kontinenseket behálózó hurkolt hálózatokat alkotnak. Hazánk földgáz-ellátása is több országot átszelő magsztrális kelet-nyugati csővezetékéről leágazó két szárnyvezetéken történik. Ellátásbiztonságunk növelését szolgálja a magyar és osztrák földgázhálózatokat összekapcsoló vezeték.

A gyorsan bővülő földgázforgalomnak nagy lökést adott a cseppfolyósított földgáz (LNG – Liquefied Natural Gas) szállítási technológiájának kifejlesztése. A cseppfolyósítás legfőbb előnye, hogy folyékony halmazállapotban a térfogat kerekén hatszázad része a gáznak. A földgáz cseppfolyósításához légköri nyo-

máson $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál alacsonyabb hőmérséklet szükséges, ezért a szállítás különleges infrastruktúrát igényel, a feladóállomáson cseppfolyósító, a fogadó állomáson elpárologtató berendezést és a szállító járművön a kriotechnikai feltételek biztosítását. Rövidebb és sekélyebb tengersizakaszok áthidalására a csővezetékes szállítási mód is alkalmas (pl. Algéria és Olaszország között), de nagyobb távolságra a tengeri forgalomban kizárólagos szerephez jutottak a cseppfolyósított földgázt szállító tankerek, ma már a nemzetközi földgázforgalom negyedét így bonyolítják. E szállítási mód kifejlesztése megszüntette azt a korábbi pazarló gyakorlatot, hogy a fogyasztóktól távoli kőolajtermelés kísérőgázát elfáklyázzák. Az ellátásbiztonság növelésére vizsgálják bekapcsolódásunk célszerűségét az LNG-forgalomba egy földközi-tengeri kikötőn keresztül.

A legnagyobb exportőr csővezetéken a FÁK (126 Gm^3), amit Kanada (95 Gm^3), Norvégia (45 Gm^3), Hollandia (35 Gm^3) és Algéria (34 Gm^3) követ. A legnagyobb vételező az USA (96 Gm^3) és a nagy nyugat-európai országok, Németország (73 Gm^3), Olaszország ($46,5\text{ Gm}^3$) és Franciaország (31 Gm^3). A legtöbb cseppfolyósított földgáz Indonéziából származik (39 Gm^3), főbb szállítók: Algéria (26 Gm^3), Malajzia (20 Gm^3), Ausztrália (10 Gm^3), Katar és Brunei $8\text{--}8\text{ Gm}^3$ -rel. Az LNG legnagyobb fogyasztója Japán (69 Gm^3), Dél-Korea (18 Gm^3), Franciaország (10 Gm^3) és Spanyolország (7 Gm^3).

Bővül a szén világkereskedelme is, elsősorban a tengereken keresztül, az olcsó, nagy amerikai, ausztrál és dél-afrikai külfejtésekből. Amerikában a távolsági szénszállítás nagy transzkontinentális irányvonatokkal is versenyképes, az európai vasúti tarifák mellett azonban a költségek nagy távolságra elviselhetetlenek. Ismételten felmerül nálunk is, hogy erőművi célra olcsó tengerentúli szenet importáljunk. Sajnos az Atlanti-óceán európai partján a fő forgalmat bonyolító ARA (Amsterdam, Rotterdam, Antwerpen) kikötőktől távol fekszünk és a továbbszállítás költsége az atlanti-óceáni, vagy balti-tengeri kikötőkből vasúton elviselhetetlenül drága lenne. A Rajna-Majna-Duna hajóút használata nemcsak költséges, hanem bizonytalan is, többek között a magyar szakasz korlátozott hajózhatósága miatt. Ezért elsősorban földközi-tengeri beérkeztetés lenne reális, ahonnan a szenet vasúton lehetne tovább szállítani. Számításba jöhet valamely fekete-tengeri fogadóállomás is dunai továbbszállítással, azonban a Balkánon átvezető vízi út az utóbbi években nem bizonyult megbízhatónak. A lehetőségek mérlegelésével számunkra a legelfogadhatóbb megoldásnak a lengyel szén behozatala tűnik vasúton.

Az ismétlődő nagy mennyiségekre tekintettel az energiahordozók vízi (tengeri, folyami) és vasúti szállítására rendszerint speciális kedvezményes tarifákat alkalmaznak. Gyakran a szállítási infrastruktúra fejlesztése is az energetikát terheli, ami jelentős új technológiák megjelenésére is vezetett. Említhető például az olajszállító szupertankerek, a cseppfolyósított földgáz szállítási technológia, a nagy átmérőjű csővezetéki szállítás szénhidrogénekre és zagyokra, az önürítő szénszállító irányvonatok kifejlesztése.

A kőolaj, a szén és a földgáz világkereskedelmének nagy részét a világten-gereken bonyolítják. A tengeri szállítás viszonylag olcsó, de a szállítási tarifa változékony, amit az üzemanyagárakon kívül befolyásol az útvonal (pl. meg kell kerülni a kontinenst, ha a hajó merülése meghaladja a Szuezi- vagy a Pana-ma-csatorna vízmélységét), a rendelkezésre álló raktér (a hajópark kihasznál-tása a nemzetközi forgalom függvénye), vagy hogy vannak-e rendkívüli ese-mények, például sztrájkok. A váratlan kiadások kiküszöbölésére a vásárlók igyekeznek a kirakó kikötőben jelentkező CIF-áron (Cost, Insurance, Freight, fuvardíjjal és biztosítással számított költség) szerződni a behajózási kikötőben érvényesülő FOB-ár (Free on Board, hajóra rakva szállítási költség nélkül) helyett. A kettő közötti különbség a fuvarköltségen kívül a biztosítási, kiraká-si, tárolási és átrakási költségből tevődik össze. A vasúti szállításnál előszere-tettel szerződnek határparitásos áron, hogy a szállítóra hárítsák a határ-keresztezések terheit és költségeit (vámvizsgálat, vám, illetékek stb.).

Az energiahordozók eljuttatása a térben szétszórtnan elhelyezkedő és idő-ben változó igényű fogyasztókhoz komplex logisztikai feladat. Magyarorszá-gon 4,6 millió háztartást, félmillió vállalatot, háromezer települést, közel 4 millió hazai gépkocsit (és nagyszámú külföldit) kell többféle energiahordo-zóval ellátni. Az energiahordozók teszik ki a hazai áruszállítás igen nagy hányadát, a tonnakilóméterben mért szállítási teljesítmények figyelembevéte-lével az energiahordozók veszik igénybe a vasúti áruszállítás negyedét, a köz-úti szállításnak mintegy tizedét és a csővezetéki továbbításnak 87%-át (az utóbbi az importot is tartalmazza).

A kőolajtermékek legnagyobb fogyasztóihoz (erőművek, vegyi művek, nagy elosztó központok) országon belül is csővezetéken jut el a folyékony energia-hordozó, a közepes fogyasztókat többnyire vasúton látják el, a kisfogyasztók és a több mint ezer töltőállomáson kialakított üzemanyag-kúthálózat igényeit pedig közúton tartálykocsikkal szolgálják ki, ez utóbbi módon fedezik az ország teljes gépkocsi-üzemanyag ellátását. A jelenleg kiépített kúthálózat tartósítja az ellátás módját, más üzemanyag-ellátási módok (földgáz, PB-gáz, alkoholok, növényi olajok, villamos hajtás) elterjedését nehezíti a szükséges infrastruktúra (töltőállomások, szállítóeszközök) kiépítésének nagy tőke-szükséglete.

A földgázelosztás csőhálózathoz kötődik. A hazai földgázhálózat összesí-tett hossza meghaladja a 71 ezer km-t, és folyamatosan bővül. A nagynyomá-sú (64 bar) és 300-900 mm átmérőjű országos gerincvezeték hálózatának hossza 5 100 km, ebből átadó állomásokon keresztül leágazó elosztó vezetéke-ken látják el a nagyfogyasztókat és a településeket. Az elosztórendszer vezeté-kei kereken 66 ezer km-t tesznek ki. Az utóbbiból a főleg nagyfogyasztók és távoli települések kiszolgálására szolgáló nagyközépnomású (<25 bar) háló-zat 12 500 km, Budapestet 40 baros körgyűrű látja el, a többségében 6 bar-on üzemelő középnomású elosztórendszer vezeték-hossza mintegy 36 ezer km,

ezek táplálják a fogadó állomásokat, melyekből a fogyasztókat tápláló, 0,3–3 bar nyomású vezetékek kiindulnak. Az olcsó földgáz korában a települések mindent elkövettek, hogy bekapcsolódhassanak a vezetékes gázellátásba, ám a piaci feltételek kérdésessé tették számos leágazás működtetésének gazdaságosságát. Néhány, a gázvezetésektől távol fekvő település – a földgázra való későbbi áttérés reményében – helyi PB-gázelosztó rendszert épített ki, melyek célszerűségét azonban kérdésessé tette az áremelkedés.

A bányák közelébe települt erőművekbe a szenet szállítószalagon vagy kötélpályán szállítják, nagyobb távolságra önürítő vagonokból álló vasúti cél-szerelvények jelentik a szokásos megoldást. Külföldön szén-szállításra előszeretettel alkalmazzák a belvízi uszályokat is, és az USA-ban még nagy távolságra is üzemben van néhány csővezeték a szén zagy formájában történő továbbítására. Helyközi forgalomban a szenet vasúton szállítják, a lakossági fogyasztók településen belüli kiszolgálása tüzelőanyag-telepekről közúton történik. Ugyancsak telephálózatról kiszolgált közúti szállítás jellemzi a tűzifa és a palackos PB-gáz forgalmát is.

A villamos energiának megkülönböztetett szerepe van az energiaszállításában. Ennek egyik indoka, hogy villamos energiává minden energiatípus könnyen átalakítható és villamos energia fejleszthető az energiahordozók mindegyikére támaszkodva. A 72. táblázat érzékelteti, hogy az erőművek milyen nagyon eltérő jellegű és mértékű hagyományos szállítási tevékenységekre alapozhatók. A táblázat háromféle 1 GW-os alaperőmű éves energiahordozó-felhasználását mutatja be, feltüntetve az egységnyi tömegből fejleszthető villamos energiát is. Ez egyúttal arra is felhívja a figyelmet, hogy az erőműtípusok nagyságrendileg eltérő szállítási tevékenységet igényelnek, a szén-erőműben naponta több – 100 t raksúlyú vagonokból álló – szerelvényt kell fogadni, az olaj-erőmű tüzelőanyag-felhasználása 10 átlagos szupertanker kapacitását veszi igénybe évente, az atomerőmű éves fűtőelem-szükségletének szállítását egyetlen vasúti szerelvényel oldják meg.

Egy további előnye a villamosenergia-szállításnak az energiaátvitel egyszerűsége, ami párosul a felhasználás jó szabályozhatóságával, könnyű kezelhetőségével, tisztaságával, környezetbarátságával. A villamos energiát továbbító vezetékekkel elérhető minden fogyasztó és az épületeken, létesítményeken, berendezéseken belül minden energiát igénylő hely. Elkészültek az első elképzelések a nagy energiamennyiségek vezetékek nélküli átvitelére is, építve az információtechnika gyakorlatára. Magyarországon néhány nagyon távoli, kieső helyen fekvő épülettől eltekintve a villamos hálózat gyakorlatilag minden fogyasztót elér. Az ellátás az erőműveket és a fogyasztói centrumokat összekapcsoló alaphálózatra támaszkodik, ami legnagyobbbrészt 400 kV-os, illetve néhány relációban 220 kV-os vezetékekből és állomásokból áll. Az elosztás gerincét 120 kV-os, valamint kisebb feszültségű (35, 20, 10 kV, 400, 220 V) hálózatok biztosítják. A szállítóképesség bővítéséhez a különféle

Erőművi energiahordozók összehasonlítása

Energiahordó	Fejlesztett villamos energia/kg	Éves mennyiség/GW
Szén*	1–3 kWh	2,6–9 Mt
Fűtőolaj	4 kWh	2 Mt
Urán fűtőelem	50 MWh (3,5 GW ^{**})	30 t

* fűtőértéktől függő

^{**} reprocesszálassal

feszültség szintű vezetékek nyomvonalának és vezeték-keresztmetszetének megválasztása bonyolult gazdasági optimalizáció tárgya. A feladatot újabban erősen bonyolítják a környezetvédelmi követelmények, egyrészt az új nyomvonalak kijelölésének nehézségei, másrészt lakott területeken a félelem a kedvezőtlen élettani hatásoktól és a nemkívánatos látványtól. Az utóbbit a szabadvezetékek helyett kábelek lefektetésével lehet elhárítani, de csak rövid szakaszokon a nagyságrenddel nagyobb költségek miatt.

Nagy mennyiségű villamos energia szállítása nagy távolságra jelentős beruházással és tetemes veszteséggel jár, ezért általában nem gazdaságos. A KGST sajátos árrendszere és energiaforrásainak területi eloszlása mellett azonban ez hatásos megoldásnak bizonyult – nem utolsósorban hatalompolitikai megfontolásoktól is ösztönözve. A legnagyobbbrészt a Szovjetunióból származó villamosenergia-importunk az 1980-as évek végére elérte a teljes hazai felhasználás negyedét. Ehhez jelentős távvezetéki kapacitásokat kellett kiépíteni, gyakran közös beruházásban, kezdetben 220 kV-on, később 400, majd 750 kV-on. Az ellátásbiztonság érdekében a távvezetéki kapcsolatokat a többi KGST-országgal is kiépítettük, a rendszerközi vezetékekre támaszkodva kialakult ezen országok együttműködő villamosenergia-rendszere.

A KGST feloszlását és a Szovjetunió szétesését követően a villamosenergia-import gazdasági és műszaki előnyei megszűntek, a függetlenné vált szomszédos Ukrajna nem is rendelkezett a szállításokhoz szükséges kapacitással. Importunk leépítését megkönnyítette a villamosenergia-felhasználás visszaesése a gazdasági recesszió következtében. Az együttműködő rendszer szétesett, kizárólag négy ország (Lengyelország, Csehország, Szlovákia, Magyarország) kooperációja (CENTREL) maradt működőképes, azzal a célkitűzéssel, hogy csatlakoznak a nyugat-európai országok rendszeréhez, az UCTE-hez, ami meg is valósult. A magyar villamosenergia-rendszer összekapcsolása a nyugati villamosenergia-hálózatokkal nagyon szigorú műszaki és gazdasági követelmények teljesítését követelte meg, mindenekelőtt tartalékapacitások létesítését és szabályozó rendszerek kialakítását. Megjegyzendő, hogy a nyugati együttműködés elsődleges célja a biztonság növelése kölcsönös

kisegítésekkel és nem tartós szállítások bonyolítása, bár az utóbbiakra is van példa, a víztározók feltöltöttségétől függő szezonális szállítások, vagy a francia atomerőművekből teljesített export formájában. Magyarországot minden szomszédjával villamos távvezetékek kötik össze, ami nemcsak bekapcsolódásunkat könnyítette meg az UCTE rendszerébe, hanem komoly lehetőségeket kínál tranzitáló szerep kialakításához, például a kelet–nyugati forgalomban.

A piaci módszerek a villamosenergia-szállításban is teljesen új helyzetet teremtenek, amiben kulcsszerepet játszik a fogyasztó és a termelő közötti átvitelt biztosító hálózatot üzemeltető egy vagy több „szállító” vállalat. Az EU irányelvei két megoldást tartanak elfogadhatónak, az egyik szerint a termelőnek és fogyasztónak szabad hozzáférése van a hálózathoz, a szállító feladata az átvitel műszaki bonyolítása. Ez a változat akkor előnyös, ha a rendszer minden szereplője piaci feltételek szerint működik. A másik megoldásnál a szállítónak – mint kizárólagos vásárlónak – kereskedelmi szerepe is van, megvásárolja a termelőtől az energiát és hálózatáról eladja a fogyasztónak. Ez akkor előnyös, ha a piaci körülmények nem általánosak, a rendszerből közszolgáltatást is biztosítani kell. A piaci ár a termelő és a fogyasztó közötti megállapodástól függ, de természetesen meg kell téríteni a szállító költségeit is. Ez történhet az érintett felek közötti megállapodással, vagy a hatóság által jóváhagyott és közzétett tarifa alapján. A jogszabályok más körülményeket is szabályozhatnak, például a kizárólagos vásárló átvételi kötelezettségét, vagy szabad megállapodási lehetőségét. Ha a szállítás akadályba ütközik, a szállító megtagadhatja az energiaszállítást, ezért célszerű a megállapodások előtt tisztázni a szállítási lehetőséget. Az Európai Unió piacán belül a villamosenergia-import nem korlátozható, így az sem zárható ki, hogy a nyugati vállalatok kihasználatlan erőművi és szénbányászati kapacitásaikból olcsó – csak a folyó költségeket felszámító – exportot kínálva kiszorítják a hazai termelést.

A piaci mechanizmust tovább bonyolítja, hogy a villamosság áramlását nem a kereskedelmi megállapodások szabják meg, hanem az Ohm- és Kirchhoff-törvények. Ezért a szállítónak úgy kell kijelölni a szállítási útvonalakat, hogy az ne veszélyeztesse a hálózat üzembiztonságát, stabilitását, maradjanak tartalékok az üzemzavarok elhárítására, biztosítva legyenek a villamos energia minőségi mutatói (frekvencia, feszültség, hullámalak stb.), és nem utolsósorban minimálisak legyenek a költségek. Mivel egyidejűleg nagyon sok szállítási megállapodást kell teljesíteni, a feladat nagyon bonyolult, a számítógépes optimalizáció sem tud mindig szabatos megoldást szolgáltatni és főleg üzemzavaroknál szükségessé válhat az emberi ítélőképesség igénybevétele. A pártatlanság érdekében a feladatot független rendszerirányító szervezetre bízzák, állami tulajdonlás vagy felügyelet mellett.

Irodalom

- Anderson, R., Taylor, L.: The social costs of unsupplied electricity. *Energy Economics*, 8. (7). 139. 1986.
- Beszámoló a Hivatal tevékenységéről. Magyar Energia Hivatal, Budapest, 1999.
- Electricity generating costs for thermal and nuclear plants.* UNIPED, Paris, 1997.
- European Commission DG XII., *ExternE, Externalities of Energy.* Brussels, 1995.
- International Energy Agency: *World Energy Outlook.* OECD, Paris, 1998.
- Nuclear Energy Agency: *Projected Costs of Generating Electricity.* OECD, Paris, 1998.
- Statisztikai Évkönyv.* Magyar Villamos Művek, Budapest, 1995.
- Statisztikai évkönyvek.* Központi Statisztikai Hivatal, Budapest.
- Vajda Gy.: *Kockázat és biztonság.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 1998.

Jogszabályok

Treaty on the Non-proliferation of Nuclear Weapons, New York, 1968; 1970. évi 12. törvényerejű rendelet az Egyesült Nemzetek Szervezete közgyűlésének XXII. ülészakán, a nukleáris fegyverek elterjedésének megakadályozásáról szóló szerződés kihirdetéséről; 1972. évi 9. törvényerejű rendelet a Magyar Népköztársaság és a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség közötti egyezmény a nukleáris fegyverek elterjedésének megakadályozásáról szóló szerződés szerinti biztosítékok alkalmazásáról Bécsben 1972. március 6-án aláírt egyezmény kihirdetéséről; 2077/1998. (III. 31.) kormányhatározat a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség biztosítéki rendszerének megerősítését szolgáló Kiegészítő Jegyzőkönyvről; 1999. évi XC. törvény a Magyarország és a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség között a nukleáris fegyverek elterjedésének megakadályozására szolgáló szerződésnek megfelelő biztosítékok alkalmazására 1972. március 6-án kötött egyezményhez kapcsolódó, Bécsben, 1998. november 26-án aláírt Kiegészítő Jegyzőkönyv megerősítéséről és kihirdetéséről.

121/1997. (VII. 17.) kormányrendelet a nukleáris export és import engedélyezéséről.

Árszabályozás

- 55/1996. (XII. 20.) IKIM rendelet a közcélú villamos művek villamos energia vásárlási árának megállapításáról, módosítva: 54/1997. (IX. 23.) IKIM, 4/1998. (VII. 23.), 24/1998. (XII. 19.), 33/1999. (VI. 18.), 74/1999. (XII. 20.), 21/2000. (VI. 21.) és 46/2000. (XII. 21.) GM rendeletekkel.
- 1074/1995. (VIII. 4.) kormányhatározat a villamos energia árszabályozásáról és 1997. január 1-jéig terjedő árkiigazításáról, 47/1996. (X. 4.) IKM rendelet a földgáz és a villamos energia árának szabályozásával kapcsolatos egyes miniszteri rendeletek módosításáról.
1990. évi LXXXVII. törvény az árak megállapításáról, módosítva az 1995. évi LVIII. törvénnyel.
- 1075/1995. (VIII. 4.) kormányhatározat a földgáz árszabályozásáról és 1997. január 1-jéig terjedő árkiigazításáról; 43/1994. (XII. 27.) IKM rendelet a földgáz díjának megállapításáról, módosítva az 52/1997. (IX. 23.), 72/1997. (XII. 21.) és 40/1998. (VI. 24.) IKIM rendeletekkel; 59/1995. (XI. 14.) IKM rendelet a földgáz árának szabályozásáról, módosítva a 33/1997. (VI. 25.) IKM és 41/1998. IKIM, valamint a 36/1999. (VI. 25.) GM rendelettel; 11/1999. (III. 19.) GM rendelet a földgáz díjának megállapításáról, módosítva a 37/1999. (VI. 21.), 72/1999. (XII. 20.), 20/2000. (VI. 21.), és 50/2000. (XII. 21.) GM rendelettel.
- 63/1995. (XI. 24.) IKM rendelet a villamos energia, valamint a közcélú villamosművek és hőtermelő létesítményeik (fűtőművek) által értékesített melegített víz és gőz árának szabályozásáról;

- módosítva: 32/1997. (VI. 25.) és 51/1997. (IX. 23.) IKIM, valamint 26/1998. (XII. 19.) GM rendeletekkel; 45/2000. (XII. 21.) GM rendelet a villamos energia hatósági árának, valamint a közcélú villamosművek és hőtermelő létesítmények (fűtőművek) által értékesített melegített víz és gőz árának szabályozásáról.
- 38/1995. (VIII. 25.) IKM rendelet a lakossági fogyasztók részére háztartási célra szolgáltatott villamos energia díjának megállapításáról; módosítva 2/1998. (VII. 23.) és 22/1998. (XII. 19.) GM rendeletekkel; 11/1996. (II. 27.) IKM rendelet a lakossági fogyasztókon kívüli egyéb fogyasztók részére szolgáltatott villamos energia árának megállapításáról, módosítva: 56/1997. (IX. 23.) IKIM, 1/1998. (VII. 23.) és 23/1998. (XII. 19.) GM rendeletekkel; 9/1999. (III. 19.) GM rendelet a lakossági fogyasztókon kívüli egyéb fogyasztók részére szolgáltatott villamos energia árának megállapításáról, módosítva 34/1999. (VI. 21.), 70/1999. (XII. 20.) és 48/2000. (XII. 21.) GM rendelettel; 10/1999. (III. 19.) GM rendelet a lakossági fogyasztók részére szolgáltatott villamos energia árának megállapításáról, módosítva 71/1999. (XII. 20.) és 49/2000. (XII. 21.) GM rendelettel.
- 34/1995. (VIII. 25.) IKM rendelet a közcélú villamosmű és hőtermelő létesítménye (fűtőmű) által értékesített gőz és melegített víz árának megállapításáról, módosítva: 57/1997. (IX. 23.) IKIM, 3/1998. (VII. 23.), 25/1998. (XII. 19.), 35/1999. (VI. 21.), 73/1999. (XII. 20.), 22/2000. (VI. 21.), 34/2000. (X. 11.) és 47/2000. (XII. 21.) GM rendeletekkel.
- 13/1993. (VII. 6.) IKM rendelet a gázüzemű járművek üzemanyagaként felhasznált földgáz díjáról, módosítva 53/1997. (IX. 23.), 73/1997. (XII. 21.) és 42/1998. (VI. 24.) IKIM rendeletekkel; 1997. évi CIII. törvény a jövedéki adóról és a jövedéki termékek forgalmazásának különös szabályairól; módosítva az 1998. évi XXIV. törvénnyel; 35/1997. (XI. 26.) PM rendelet a törvény végrehajtásáról.
- 1003/1996. (XI. 29.) kormányhatározat az energiaár-emelés miatti lakossági terhek részleges ellentételezéséről; 1032/1997. (I. 17.) kormányhatározat az Energia Alapítványhoz történő csatlakozásról.
- 26/1995. (VII. 25.) IKM rendelet a villamoshálózat-fejlesztési hozzájárulásról; 32/1995. (VIII. 8.) IKM rendelet a gázelosztó vezetékekre vonatkozó hálózatfejlesztési hozzájárulásról.

Szállítások

- Energia Charta Egyezmény, Lisszabon, 1994; 1999. évi XXXV. törvény az Európai Energia Charta Konferencia Záróokmánya, az Európai Energia Charta Egyezmény, Döntések az Európai Charta Egyezmény tekintetében, valamint az Energiahatékonyságról és a kapcsolódó környezeti vonatkozásokról szóló Energia Charta Jegyzőkönyv kihirdetéséről.
1979. évi 19. törvényerejű rendelet a Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Európai Megállapodás kihirdetéséről; 20/1979. (IX. 18.) KPM rendelet a Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló európai megállapodás „A” és „B” mellékletének kihirdetéséről és belföldi alkalmazásáról.
1986. évi 2. törvényerejű rendelet a Bernben, az 1980. évi május hó 9. napján kelt Nemzetközi Vasúti Fuvarozási Egyezmény (COTIF) kihirdetéséről; 4/1987. (V. 13.) KM rendelet a Nemzetközi Vasúti Árufuvarozási Egyezményre vonatkozó egységes szabályok (CIM – Convention internationale concernant le transport des marchandises dangereuses par chemins de fer) mellékletének kihirdetéséről; 12/1990. (IV. 30.) KöHÉM rendelet a Nemzetközi Vasúti Árufuvarozási Egyezményre vonatkozó egységes szabályok (CIM) I. Melléklete módosításának kihirdetéséről, valamint a Veszélyes Áruk Nemzetközi Vasúti Fuvarozására vonatkozó Szabályzat (RID – Règlement international concernant le transport des marchandises dangereuses par chemins de fer) belföldi alkalmazásáról.
- Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal. Basel, 1989.

14/1997. (IX. 3.) KHVM rendelet a radioaktív anyagok szállításáról, fuvarozásáról és csomagolásáról; 13/1997. (IX. 3.) KHVM rendelet a kiégett nukleáris üzemanyag biztonságos vasúti szállításáról szóló szabályzat kihirdetéséről.

Energetika és társadalom

A társadalmi fejlődésnek mindig jelentős tényezője volt az energiaellátás módja, befolyásolva a termelőtevékenységeket és az életvitelt. A társadalom intézményeinek állapota és működése viszont az energiaellátás feltételeire és lehetőségeire gyakorol jelentős hatást.

Társadalomformáló szerep

Az energetikai lehetőségek fejlődésének számottevő szerepe volt a társadalmi haladás előmozdításában. Ez megnyilvánult egyrészt az emberi életkörülmények alakításában, másrészt a termelési technológiák befolyásolásában. Az energetika minőségi változásai nemritkán olyan technikai lehetőségek előtt nyitottak utat, melyek lényegesen módosították az emberek életformáját, valamint a gazdaság alakulását.

Az emberiség néhány millió éves történetének legnagyobb részében csak saját fizikai erejére támaszkodhatott. Kőkorszakbeli őseink munkája csak a napi fennmaradásukat biztosította – igaz évezredről évezredre javuló színvonalon. Ebben leleményességük volt a meghatározó, szerszámok kifejlesztésével módosítani tudták az erők nagyságát és irányát, és az egyén erejét meghaladó feladatok elvégzésére megszervezték a csoport együttműködését. De mindezt csak izmaik ereje működtette. Az utolsó évezredektől eltekintve – ami az emberiség teljes pályafutásának elhanyagolhatóan rövid hányada – mindaz, amit az ember alkotott, amit termelt és fogyasztott, legnagyobb részét emberi izmok és idegek működésének terméke. Mai szemmel az ember két keze munkájával szánszálisan kis fizikai teljesítményt tud felmutatni, ennél még konyhai kisgépeink is sokkal többre képesek. Az Egyiptomi Óbirodalom lakosainak összesített ereje sem tudott volna akkora teljesítményt létrehozni, amekkorát egy nagyobb utasszállító repülőgép hajtóműve képvisel. Annál bámulatosabb az elért eredmény, ez a kis energetikai potenciál volt a törzsfelődés háttere az ősembertől a homo sapiensig, ez a kis emberi motor teremtette meg a hatalmas ókori birodalmakat, ez hozta létre a világ akkori csodáit az egyiptomi piramisoktól az alexandriai könyvtárig, ez állította elő az anyagi javaknak és kulturális értékeknek csodálatra méltó gazdagságát.

Ahogy – főleg a fémszerszámok megjelenése nyomán – nőtt a termelékenység, egy ember már többet tudott termelni, mint ami a saját megélhetéséhez

kellett, munkájából mások eltartására is futotta, kialakulhatott a rabszolgatartás. A társadalmi változás egyben energetikai változás is, a rabszolgák fizikai munkája növekvő arányban járult hozzá az ókori társadalmak energiabázisához. Ők művelték a földeket, ők dolgoztak a bányákban, építették a piramisokat, sütötték a kenyeret, hajtották a hajókat. Az eszköznek tekintett rabszolgában ugyan szerencsésen egyesült a munkavégző szerszám a hajtógéppel, használat után regenerálódik, sőt szaporodik is, de használhatóságának jelentős korlátai is vannak. A legfőbb probléma, hogy termelékenységét nem lehet úgy növelni, ahogy azt a fejlődés megkívánná. Kényszerrel csak átmenetileg növelhető a teljesítmény az élettartam rovására, de a felügyeletmentes időszakokban annál nagyobb a visszaesés. A kegyetlen bánásmódban részesülő emberi „erőgép” érdektelen a technológia fejlesztésében és a hatékonyság javításában, több forrás szerint a rabszolgák átlagos teljesítménye fele akkora volt, mint a szabad embereké. Ahogy a rabszolgaszervezés lehetőségei beszűkültek, a rabszolgatársadalmak is zsákutcába futottak. A történelem kegyetlen vargabetűje, hogy az Újvilág meghódításához a munkaerőhiány a korszak úttörő országait a rabszolgamunka felélesztésére készítette.

Kínálja magát az összehasonlítás a rabszolgaerő és a technikai energiafelhasználás között, a világ jelenlegi primerenergia-felhasználását az emberi munkavégző képesség energia-egyenértékére számítva át. A technikai energiafelhasználás olyan járulékos munkavégző képesség igénybevételét jelenti, mintha a Föld minden egyes lakosának tevékenységét – csecsemőtől aggasztányig – 100 fizikai dolgozót helyettesítő robot („rabszolga”) támasztaná alá. Ha még nem is szaladgálnak körülöttünk a sci-fi regények robotjai, elemeik részletekben már bőségesen körülvesznek bennünket. Berendezések tömegét kapcsolgatjuk ki-be otthonunkban, munkahelyünkön, a közlekedésben, és kis számítógépek bonyolult feladatokat vezérelnek helyettünk. A robotok földrajzi megoszlása azonban nagyon egyenetlen, Észak-Amerikában ezeröt-száz robot áll egy család rendelkezésére, ekkora rabszolgasereggel a Római Birodalom leggazdagabb nagybirtokosai közül is csak kevesen dicsekedhettek. Ugyanakkor Fekete-Afrika egyes térségeiben jóval kevesebb a robot, mint az ember.

Ósi törekvés az emberi munka kiegészítése természeti erők bevonásával, ezek egyik lehetősége az állati energia hasznosítása. A rézkorba nyúlik vissza a folyami kultúrák területén a megszelídített állatok alkalmazása igavonóként, majd a bronzkorban megszelídítik a lovat is. A ló fizikai munkavégző képessége tizenötszöröse az emberi teljesítménynek, de a 11. századig, amíg nem jelent meg a célszerű hámiga és a patkó, ennek csak tört részét tudták kiaknázni. A tartósan nagy erő kifejtésére képes lovat malmokban, bányákban gépek működtetésére is használták, de a legjelentősebb szerephez a mezőgazdaságban, a szállításban, a kereskedelemben és a hadviselésben jutott. A hadseregek mozgékonyasága és hatósugara alapvetően a lovakon múlt, s a népván-

dorlás sem kuszálta volna össze két kontinens etnikai térképét, ha a nomád harcosok nem ülnek lóra. A lovon ülő ember nemcsak gyorsabban halad, hanem messzebbre is lát, optikailag is, meg képletesen is. A feudális lovagok szinte lóháton éltek, a ló e társadalmi rend egyik státusszimbóluma volt. Még az első vasutat is lovak vontatták, de a modern kor erőgépeivel nem tudták felvenni a versenyt, a gazdasági életből az állati energia végleg kiszorult, a magyar törpebirtokokon napjainkban újból megjelenő ló vontatta eke reménytelen anakronizmus.

Idővel rá kellett jönni, hogy a gondozást és táplálást igénylő biológiai erőgépek helyett jobb megoldást jelentenek a természeti erőkre alapuló technikai energiaforrások. A vízfolyások erejének hasznosítása őrlésre, vízemelésre már az ókori folyami kultúrákban is megjelent, de a vízimalmok tömeges alkalmazása csak a középkorban indult meg. A 18. században a gyorsan iparosodó országokban a gyáripár csíráit képező manufaktúrák legjelentősebb hajtóereje a nagy erők kifejtésére képes vízikerek, tömegesen használták vashámorok, fonodák, fűrésztelepek stb. működtetésére, kohóknál levegőbefújtatásra. A folyóktól távol a szélmalomok töltötték be hasonló szerepet. A vízi- és szélmalomok konstruktőrei a műszaki kultúra terjesztői is, a kor első kezdetleges munkagépeit is gyakran ők alkották meg.

A szél a tengereken játszotta el főszerepét a történelemben. A víztükrök felett viszonylag tartós széljárás tud kialakulni, mivel útját semmi sem akadályozza. A szél segítette a föníciai és görög hajósokat a földközi-tengeri kolóniák kiépítésében és a virágzó antik világ megteremtésében. És a szél hajtotta a portugál karavellákat a nagy földrajzi felfedezésekhez és szállította a katonákat és kereskedőket a hatalmas gyarmatbirodalmak megteremtésében.

Az energetika legnagyobb vívmánya a tűz meghódítása volt. Aligha létezne ma hírmondó kőkorszakbeli őseink leleményességének méltatására, ha nem képesek szolgálatukba állítani e vad elemi erőt. Vajon hány szénné égett ember árán sikerült kitapasztalni a tűzzel való bánásmód titkait? Prométheusz szenvedése csupán szimbóluma azoknak a küzdelmes évezredeknek, mialatt őseink a félelmetes ellenségből barátot nyertek, a pusztító erdőtüzet pislákoló tábornúzzá szelídítették. A tűzhasználat felgyorsította a faj fejlődését is, hiszen a sült hús rövidebb emésztési ideje révén meggyorsult az agy fejlődése. A barlangok mélyén fényt és meleget biztosító tűz átformálta az életmódot, biztonságérzetet sugallva és megnyújtva a nap aktív idejét. Szervező erő is, hiszen kondenzációs magként maga köré gyűjti az embereket. A tűz fegyver is, őrzi a nyugodt éjszakai pihenést, egy izzó fahasábbal el lehet riasztani a félelmetes ragadozókat, füstje elűzi a gyötrő rovarokat, lángja védelmezi a barlangban hátrahagyott gyermekeket, megnövelve az utódok életben maradásának valószínűségét. A tűz melegének köszönhetően a ridegebb természeti viszonyok sem akadályozták a Föld benépesítését, és ebben még a jégkorszakok sem jelentettek akadályt.

A természeti erők által gyújtott tüzet megszerezve az őseink kezdetben valószínűleg csak fenntartani és táplálni tudta azt, gerjeszteni nem. Őseink minden éghető szerves anyagot eltűzeltek ami a kezük ügyébe került, fadarabokat, trágyát, állati és növényi hulladékot. Iszonyatos munka lehetett a kőkorszak folytonéggő tűzhelyein a falánk lángok állandó táplálása. Nem meglepő, hogy e féktelen, létfontosságú erő szolgálata helyenként még emberáldozatot is megkövetelő tűzimádattá változott. A tűz kultikus tiszteletének nyomai a későbbi vallásokba is átöröklődtek. Elég volt egy kis figyelmetlenség, hogy a tűz kialudjon, semmivé váljon a komfort, és az emberre rászakadjon a sötétség, a hideg, a félelem. A mesterséges tűzgyújtás módja bizonyos anyagok szikrát csiholó dörzsölésével korszakalkotó találmány volt. Bizonyára nagy hatalom is volt a tűz gerjesztésére képes varázslók kezében, a tűz őrzői és csiholói az ősi közösségek legfelelősségteljesebb funkcionáriusai lehettek. A varázslat azonban szétfoszlott, ahogy a tűzgyújtás csodája mindennapos tevékenységgé egyszerűsödött.

A technika történetének jelentős része arról szól, hogyan lehet az égés hőjével feladatokat megoldani. Az első termikus megmunkálás valószínűleg fakopják hegyezése és edzése volt. Annak felfedezése, hogy izzó kődarabok bedobásával egy faedényben fel lehet forralni a vizet, a főzés kifejlődésére vezetett. A neolitik korban néhány tűzbeesett tapasztott kosár árán rájöttek a fazekasság titkára, megszületett az első kézműves mesterség. Használták a tüzet erdőirtásra, hogy bővítsék a termőföldet, később alkalmazták a bányákban is kövek repesztésére. A szó szoros értelmében „korszakalkotó” felismerés volt, hogy a tűz segítségével egyes kövekből fémeket lehet kinyerni, és a meleg megkönnyíti azok alakítását. Ahogy fejlődött a tüzelés technológiája és sikerült magasabb hőmérsékletet elérni, úgy nyílt meg az út a rézkor, a bronzkor, majd a vaskor előtt. Ezzel párhuzamosan tökéletesedtek a szerszámok, a fegyverek, a különféle eszközök, nőtt a termelékenység és javult az élet minősége. Az égetőkemencék fejlődése már a bronzkorban nagy lökést adott a sok hőt igénylő mesterségek fejlődésének, Egyiptomban és Mezopotámiában sok fémöntő, arany- és rézműves, pék, serfőző, mosodás, üvegfúvó, fazekas, téglagyártó műhely jött létre. A réz- és bronzkor eszközei csak lassan terjedtek, a legtöbb használati tárgy még kőből és fából készült, mert a rézérc ritkák és fémtartalmuk kicsi, a kor kohászata pedig kezdetleges volt.

A minőségi változást a vas megjelenése jelentette három-négy évezreddel ezelőtt. A vasérc sokkal nagyobb tömegben és sokfelé fordulnak elő, fémtartalmuk is jóval nagyobb, mint a rézércké. A gödörben történő kiolvasztást idővel felváltotta a kovácsolható vas előállítás faeszes redukcióval, buvakemencékben. A vas széles körű használatának feltétele a redukcióhoz, olvasztáshoz és megmunkáláshoz szükséges magasabb hőmérséklet, amit a gyorsabb égést biztosító levegőbefújtatással lehet elérni. A vas előnyös tulajdonságai ugrásszerű fejlődést tettek lehetővé előbb a fegyverek készítésében,

majd a munkaeszközök tökéletesítésében. A lépéstartás egyben politikai kérdés is, az Egyiptomi Birodalom elbukik, mert nincs elegendő tüzelőanyaga a vaskohászat megalapozásához.

A tüzeléstechnika és a kézműves szakmák fejlődése kéz a kézben haladt, sorra születtek az új termikus technológiák, élelmiszerek, fegyverek, szerszámok, szerkezeti anyagok stb. készítésére. A folyamat még napjainkban is zajlik, szinte naponta jelennek meg új lehetőségek hő segítségével új anyagok előállítására és új eljárások bevezetésére. Az emberek képzelőerejét régóta izgatta a fosszilis anyagok kémiai energiájának átalakulása a tűzben. Az alkimia nagy lökést adott robbanásszerű energiahatásával a puskaapor megjelenése. A mágia és varázslat idővel tudománnyá szelődött, útjára indítva a kémiai energiahasznosításon alapuló vegyipart is. A 17. században a vízikereket is bevonták a fűtatók működtetésébe, a nagyobb légárammal magasabb kemencéket lehetett építeni, megszülettek az igazi kohók. E lépéssel nemcsak nagy mennyiségű öntött vas termelése előtt nyílt meg az út, hanem a selejtnek tekintett nyersvasból egy második olvasztással az acélgyártás is megkezdődött. A következő lökést már a gőzgép adta a fűtatók teljesítményének további növelésével.

A tudományos ismeretek bővülése és a technika fejlődése egyre több célszerű és nagy termelékenységű gépet és mechanizmust hozott létre, mindekelőtt a textil- és gépiparban. A 18. század közepén Angliában minden készen állott az ipari forradalomra, csak működésbe kellett hozni. De az állati teljesítmény kevés a gépek működtetéséhez és a bonyolult berendezések közé nem is valók az állatok, a vízikereket csak a folyók közelében lehet használni, a szél szeszélyes és megbízhatatlan erőforrás, a helyzet szinte követelte a gőzgép megjelenését. Az első ipari forradalom nem alakulhatott volna ki fő erőgépe, a bárhol felállítható, nagy teljesítményű, könnyen szabályozható gőzgép nélkül. Pályafutása példátlan, gyorsan kiszorította minden riválisát, néhány évtized alatt százával került üzembe, összegzett teljesítménye a 19. században 4 nagyságrenddel bővült. Az 1800-as évek közepére Nyugat-Európában és Észak-Amerikában a gőzgépre támaszkodó gépi nagyipar vált uralkodóvá, és alapozta meg máig kiható erővel e térségek ipari vezető szerepét. A gőzgép forradalmasította a közlekedést is, a gőzhajóval és gőzvasúttal elérhetővé vált a Föld minden lakott pontja, az áruszállítás tömegméretűvé bővült, megvalósult a világpiac. Később megjelent a gőzgép szállítható kivitele a mezőgazdaságban és az építkezéseken, ezeken a területeken is megindítva az iparosítást.

A gőzgép világhódító útjának feltétele volt egy olcsó, nagy mennyiségben rendelkezésre álló tüzelőanyag is, át kellett értékelní az addig nemigen használt szén megítélését. A 16. század nagy fellendüléséhez sok iparcikket kellett biztosítani, amihez sok vasra és acélra volt szükség, a kohók mérete és száma Nyugat-Európában szinte állandóan nőtt. Alapvető tüzelőanyaguk, a fa egyre

növekvő felhasználása óriási erdőségek kipusztításával járt, a század végére a fahiány heves faválságot okozott Hollandiában és Angliában. A 17. század derekán az erdők védelmében több országban rendeletekkel korlátozták a kohók létesítését (ezt még nem nevezve környezetvédelemnek), az újabb kohókat az erdőkben bővelkedő Svédországba és Oroszországba telepítették, a vasgyártás révén ezen országokat is bekapcsolva a világgazdaságba. A fa-probléma a figyelmet egy nehezen kezelhető és szennyező, kormozó anyag, a kőszén felé fordította. Angliában és Skóciában külfejtéssel már a rómaiak is bányászgatták, „tengeri szén” megnevezéssel a kontinensre is eljutott, felhasználása azonban szórványos maradt, sőt a középkorban tilalmas is. I. Edward angol király 1273-ban szennyező jellege és ártalmas égéstermékei miatt királyi rendelettel tiltotta meg a széntüzelést Londonban. Az egyik manufaktúra tulajdonosát e rendelet megszegése miatt 1306-ban állítólag le is fejezték. A tűzifa drágulása és a visszatérő faellátási zavarok hatására az iparosodó Angliában utat tört a szénhasználat, az ércbányászati módszerek adaptálásával mélybányászata is megindult. A 17. század közepére az angol széntermelés 3 Mt-t ért el, ami az akkori európai termelés négyötöde. A folyamatot már a kormány is támogatta, az 1600-as évek elején pályázatot írtak ki a faszén helyettesítésére, ennek eredménye a szén kokszosítása, miáltal a fa kiszorult a kohászatból is. A 19. századot a szén fokozatos és állandó térhódítása jellemezte, a szénfelhasználás az ipari fejlődés fokmérője. A gazdaság minden területén a szén vált a fő tüzelőanyaggá, a vegyipar alapanyagává, az ipar és a közlekedés fő hajtóanyagává, az új iparvárosok is a szénbányák körzetében alakultak ki. A szénbányavállalatok a vaskohászattal és a bankokkal összefonódva a gazdaság meghatározó szereplőivé váltak. A szén és a gőzgép energiabázisán néhány nyugati országban rohamtempóban épült ki a modern gyáripár, átrajzolódott a települések arculata (és környezetszennyezése), átalakult a társadalom szerkezete, jogrendje, politikai felépítése, megszületett a modern kapitalizmus.

A 19. század vége felé a gőzgép és a szén egyeduralma megdönthetetlennek tűnt. Még nem sejtették, hogy a hatalmas teljesítményű, bonyolult gőzgépcsodák rövidesen az őcskavastelepekre kerülnek és a szén hatalmát megdöntő energiahordozók már keresik a helyüket. Míg a stabil hajtások szerepéből a villamos motorok szorították ki a gőzgépeket, a mobil erőgépek területén a belső égésű motorok tették ugyanezt. A villamosság első átütő sikereit az információtovábbítás és a világítás területén érte el, amit azonban rövidesen követett a villamos motor és a villamos erőátvitel diadala, a gőzgép utóda, a gőzturbina visszaszorult a villamos erőművek géptermebe. A villamos motorral át lehetett térni a munkagépek egyedi hajtására, felváltva a gőzgépek nehézkes csoportos hajtását. A műhelyek egyszerűbbé, áttekinthetőbbé váltak, a vezérlés és szabályozás sokkal rugalmasabban oldható meg, az út megnyílt a folyamszerű gyártás és automatizálás, vagyis a korszerű tömeggyártás

előtt. A villamosság azonban sokkal mélyebben hatolt be a termelésbe, új elektromechanikai, elektrokémiai, hőfejlesztési, elektrosztatikus, anyagmozgatási stb. technológiai eljárásokkal, és ebből nőtt ki korunk információtechnikai forradalma is. Faraday jóslata beteljesült, „egyszer még adózás tárgya lesz” – mondta Anglia miniszterelnökének, amikor az indukcióval kapcsolatos kísérletek jelentőségét tudakolta. Ám a valóság minden képzeletet felülmúlt, hiszen a villamosítás alapvetően megváltoztatta az emberek mindennapi életvitelét is.

Példaképp említhető, hogy Magyarországon a 2. világháború előtt a települések 28%-a volt villamosítva, a faluvillamosítási program segítségével 1963-ra sikerült az ország minden települését bekapcsolni az ellátásba, az 1960-as évek végére pedig gyakorlatilag minden lakásba eljutott a villany. Ez nemcsak azt jelentette, hogy a lakásokban megjelent a villanyvilágítás, a rádió és a televízió, hanem előmozdította a művelődést, a képzettség növekedését, az informáltságot, a civilizáltabb életvitelt, ami befolyásolta a munkaerő képzettségét, a vállalkozó kedvet és a termelési tevékenységek színvonalát. A villany jelenléte később megteremtette a komfortot biztosító eszközök tömeges használatának lehetőségét is.

A kezdetben szénből fejlesztett világítógázzal, majd petróleummal működtetett belső égésű motoroknak nem jósoltak nagy jövőt. A könnyű, mobil robanómotorok és az autó egymásra találása azonban korszakalkotó fejleménynek bizonyult, ami alapvetően átalakította a közlekedést és a hadviselést, lehetővé tette a mezőgazdasági és építőipari munka nagyarányú gépesítését, megteremtette az emberek mobilitását és az emberi életvitel új formáját alakította ki. Az autó összezsugorította a földi távolságokat, a repülőgép eltüntette azokat, a rakétahajtóművek pedig lehetővé tették az ember kilépését az űrbe. Jelenleg a világ erőgépeinek háromnegyedét belső égésű motorok teszik ki, ezek 80%-a benzin üzemű könnyű Otto-motor, a többi nehezebb frakciókat hasznosító Diesel-motor és gázturbina. Kevés technikai lépésnek volt akkora hatása az életformára és a gazdálkodásra, mint a motorizációnak. Az emberek mobilitása, a szállítás rugalmassága megszüntette a települések elszigeteltségét, az ipar termelési tevékenységeinek decentralizálása, a mobil munkagépek megjelenése, a közlekedés átalakulása, a mezőgazdaság és mélyépítés gépesítése, mind a motorhajtó kőolajfrakciók és a belső égésű motorok szülötte.

A belső égésű motorok a kőolajjal szövetségben hódították meg a világot. Stratégiai jelentősége miatt az olaj történetét gyakran vérrel írták. Az olajforrások birtoklása a világpolitika egyik legfontosabb mozgatórugójává vált, olajforrások felfedezése jelentéktelen térségekből kincsesbányákat varázsolt, melyek kiaknázásáért megindult a gazdasági és diplomáciai versengés és gyakran a katonai hadműveletek is. A nagy olajtársaságok a világ legnagyobb multinacionális vállalataivá fejlődtek. Érdekeik érvényesítéséhez nem válogatók az eszközökben, regényekbe illő fordulatok, intrika, erőszak, korrupció,

csalás kísérte az eseményeket, nem riadtak vissza kormányok megdöntésétől, vagy akár háborúk kirobbantásától sem. Az olajüzlet horribilis jövedelmet biztosít, a világkereskedelem negyedét a kőolajforgalom teszi ki. A viszonyokat tovább bonyolította a függetlenségüket nemrég elnyert fejlődő olajországok fellépése részesedésük növelésére az olajjövedelmekből. A rejtett erővonalak mentén nemzetek közti feszültségek, forradalmak, helyi háborúk alakultak ki, néha a nagyhatalmak közvetlen beavatkozása is bekövetkezett. A kőolaj vált a világ alapvető energiahordozójává, ami mellé néhány évtizedes időkülönbséggel a földgáz is felzárkózott. A szénhidrogének nemcsak az energetikában szorították háttérbe a szenet, hanem abból az alapanyagszerpből is, amit a szerves vegyiparban hosszú ideig betöltött.

Korunk nagy ígérete, az atomenergia, Hirosima és Nagaszaki szörnyűséges elpusztításával lépett a történelem színpadára. Évtizedeken keresztül a nagyhatalmak nukleáris arzenáljában felhalmozott iszonyatos energiák egyensúlyán múltott a világ békéje, és törekeny nemzetközi szerződések segítségével törekednek e feszültség leépítésére. A békés hasznosítás lehetőségének kezdeti eufóriáját megtörte a társadalmi ellenérzés. Csernobil megingatta az atomerőművek biztonságának hitelét, bizalmatlanság kíséri a radioaktív hulladékok elhelyezésére irányuló törekvéseket, és kétségbeesett erőfeszítéseket követel, hogy ez a félelmetes erő ne kerülhessen ártó szándékú kezekbe. Az atomenergia alkalmazása körül szenvedélyes társadalmi viták bontakozódtak ki, ellenzése politikaformáló erővé vált, esetenként kormányok sikerét vagy bukását okozva. Mindezek ellenére nehéz elképzelni, hogy a nukleáris energiának csupán epizódszerep jut az energetika színpadán.

Új remények élednek a „nem hagyományos” megújuló energiák hasznosításához, melyek legtöbbjének évezredekre visszatekintő hagyományai vannak, de a modern kor feltételei között nehezen tudják a versenyképességet kivívni. A zöldmozgalmak lelkesedése kevés a gazdasági realitások áttöréséhez, ami társadalmi konfliktusok forrása. E konfliktusokból az energetika társadalmi kölcsönhatásainak új megnyilvánulásai születnek meg, például a környezetvédelem, a közmeghallgatás, a jogi szabályozás, a döntési mechanizmusok terén. Valószínű, hogy a műszaki fejlődés a megújuló lehetőségek hasznosítására ma még nehezen belátható új horizontokat fog megnyitni.

Az energetika társadalmi háttere

Az energetika fejlődésének mindig göröngyös volt az útja. Az új eljárások kudarcok, szerencsétlenségek, emberáldozatok árán hódítottak teret, sok értetlenséggel és ellenérzéssel kellett megküzdeniük, amíg kiforrott és elfogadott megoldássá váltak. Írországban az ördög műveként tiltották be a villamosítás első kísérletét, az Egyesült Államok kongresszusában a tűzveszélyesség

miatt csak többéves vita után sikerült engedélyeztetni a benzin nyílt árusítását, és sokan az amerikai mezőgazdaságot a tönkremeneteltől féltették, ha az autók kiszorítják a lovakat, Németországban napjainkban az atrocitások megelőzésére sok ezer rendőrrel kell biztosítani az atomerőművi fűtőelem-szállítmányokat. Mindig érvényesülnek visszahúzó erők, a ragaszkodás a megszokotthoz, a félelem az újtól és a járatlan utak kockázatától. Bonyolítja a viszonyokat, hogy a túlhaladott technológia háttérbe szorulása érdekek sérülésével együtt járó keserves folyamat: intézmények pusztulása, vállalkozások bukása, egzisztenciák tömeges elvesztése, zátonyra futott egyéni sorsok kísérik a technika váltását.

Az energiaellátás hatékonyságának feltétele a társadalom aktív együttműködése nemcsak a fogyasztói szerepben, hanem a működéshez szükséges körülmények biztosításában is. Ennek eleme a támogató közvélemény, mivel egy demokratikus társadalomban elengedhetetlen az érintettek egyetértése az energiaellátás létesítményeinek telepítéséhez és működtetéséhez. Része a társadalmi háttérnek a vállalatok működését biztosító infrastruktúra rendelkezésre állása, amibe beletartoznak a tevékenységeket felügyelő intézmények, valamint az azt szabályozó jogi háttér is.

Társadalmi elfogadtatás

A társadalom jelentős része eleve bizalmatlan az energiaellátásban szerepet játszó vállalatokkal szemben, azok gazdasági túlereje miatt. Nálunk az utóbbi években felerősítették ezt a hangulatot az állami vállalatok magánosítását kísérő botrányok, valamint a félelem, hogy az új tulajdonosok érdekei háttérbe fogják szorítani a társadalom érdekeit. Az ellenérzés legfőbb oka azonban az utóbbi egy-két évtizedben kialakult félelem az energiaellátás nemkívánatos hatásaitól, amit az érintett vállalatok kezdetben elbagatelizáltak. Ez csak növelte az ellenérzést, aminek a békés formákon (gyűlések, petíciók, média-kampányok, népszavazások) túlmenően időnként erőszakos fellépésekkel (tüntetések, tömegdemonstrációk, létesítmények megrongálása stb.) is hangot adnak. Az ellenérzés indítéka lehet valós veszélyesség (környezetszennyezés, sugárzás, robbanásveszély), zavaró hatás (zaj, bűz, járműforgalom), gazdasági kár (ingatlan értékvesztése, település vonzerővesztése, használat korlátozása) stb., de kiválthatja vélt veszélyek okozta érzelmekre és indulatokra alapuló közhangulat is.

A társadalmi ellenzés nemcsak új berendezések létesítését akadályozhatja meg, hanem működő létesítmények üzemen tartását is, ha a lakosság mértéktadó többsége osztja az aggodalmakat és támogatja a fellépést a létesítmény ellen. Ezek a vélemények többnyire nem szakmai elemzésekre alapulnak, hanem szubjektív nézetekre és hangulatokra, ezért megkülönböztetett jelen-

tősege van a kockázatok reális megítélését szolgáló törekvéseknek, de ezek gyors térhódítása nem várható. Ezért elkerülhetetlenek rossz döntések is, mert a társadalom hibázhat, de véleményét nem lehet figyelmen kívül hagyni. Erre Magyarországon is van néhány példa meghiúsult létesítmények (erőművek, távvezetékek, hulladéktárolók, akkumulátor-újrafeldolgozó stb.) formájában. Átéltük, hogyan vált például a kis és közepes aktivitású atomerőművi hulladéktároló ügye Ófalu lakosságának ellenérzéséből országos üggyé, ami nemcsak az adott létesítmény megépítését akadályozta meg, hanem hosszú időre visszavetette a hulladéktárolás ügyét bárhol az országban (és – a létesítés elmaradása következtében jelentéktelen mértékben ugyan, de – növelte a lakosság kollektív sugárdózisát).

Egy demokratikus társadalomban a lakosság ellenzését nem lehet adminisztratív vagy jogi eszközökkel közömbösíteni, kizárólag a megnyerés vezethet célhoz. Ehhez elengedhetetlen az őszinte, nyílt és tárgyyszerű tájékoztatás a vitatott létesítmények jellegéről és a működésükkel együtt járó kockázatokról, különös tekintettel a lakosság esetleges veszélyeztetettségére. Ezt szolgálják a veszélyes létesítményekről készített hatástanulmányok, melyekben be kell mutatni a létesítmények környezetében az emberek egészségét és a természeti környezetet érintő hatásokat, és igazolni kell, hogy azok következményei a megengedett határokon belül maradnak. Hatástanulmányok készítése az energetika sokféle létesítményénél a beruházás engedélyezésének feltétele, a hatásvizsgálatot meg kell ismételni a technológia változtatásakor, vagy az előírt időszakos felülvizsgálatokhoz (például atomerőműveknél). Nemzetközi egyezmény biztosítja a szomszédos országok véleményezési jogát az országhatárokon áttérjedő hatások esetében. A hatásvizsgálat azonban önmagában nem elegendő a lakosság ellenérzésének levezetésére, egy demokratikus társadalomban természetes igény, hogy az embereket közvetlenül érintő kérdésekben az érintetteknek bele szólási lehetősége is kell biztosítani.

A lakosság állásfoglalását a tárgyyszerű ismeretekon kívül erősen befolyásolják érdekviszonyok is, és nemritkán különféle nyomásgyakorló NGO-k (Non Governmental Organization, nem kormányzati szervezet) fellépése. A társadalmi nyomásgyakorlásnak a törvényhozásra is hatása lehet (példázzák egyes szakmailag nyilvánvalóan hibás országgyűlési határozatok Bős-Nagymaros ügyében). E meglehetősen bonyolult és ellentmondásos helyzetben a szakmai szempontok egyoldalú érvényesítése nem kapná meg sem a mellőzött érdekcsoportok, sem a lakosság támogatását. Ritkán bizonyulna időtállóan a közhangulatnak, vagy a legerősebb lobbi nyomásának engedő opportunistá magatartás. Optimális megoldást a szakmai megítélés és a társadalmi elfogadtatás munkaigényes egyeztetése ígéri, amihez egyes érdekek közömbösítésének hálátlan feladatát is fel kell vállalni.

A fejlett országokban gyakorlattá vált a lakosság bevonása a döntésekbe, ennek módja az adott ország hagyományain és jogrendjén múlik. Törvények-

ben rögzítik, hogy milyen fórumokon és milyen eljárásrendben lehet a véleményeket és kifogásokat előadni, azokat hogyan kell megvitatni és a vita eredményét hogyan kell a döntésben figyelembe venni. A külföldi gyakorlat a vélemények és ellenvélemények kifejtésének módjára változatos – meghallgatás, vizsgálat, konzultáció vagy egyenesen társadalmi döntés jöhet szóba. A viták sokféle fórumon zajlanak: parlament, önkormányzatok, bíróságok, hatóságok, spontán társadalmi fórumok, tömegtájékoztatás, szervezett meghallgatások, referendum stb. Az Amerikai Egyesült Államokban bírósági eljárásokat lehet indítani, Franciaországban az engedélyező hatóságok tartanak nyilvános vitát, Kanadában kijelölt vizsgálóbiztos előtt szerveznek nyílt meghallgatást. A fórumok jellegétől függően eltérő a szemléletmód és mások a játékszabályok is, ennek megfelelően az érvelésnek jogi, adminisztratív, műszaki, gazdasági, érzelmi vagy szociális aspektusai kerülnek előtérbe. A vélemények ütköztetésével egyrészt tisztázni kell, vannak-e indokolt ellenérvek, másrészt le kell vezetni az indokolatlan szakmai és hangulati aggályokat, viszont biztosítani kell a jogos észrevételek érvényesítését. Fontos, hogy ezek a procedúrák ne torokolljanak végeláthatatlan obstrukcióba (ami az amerikai gyakorlatban nem ritka), hanem véges időn belül sor kerülhessen a döntésre, amire többféle lehetőség kínálkozik: államigazgatási határozat (Franciaország), bírósági állásfoglalás (USA), parlamenti vagy önkormányzati képviselő-testületi döntés (Svédország), helyi vagy országos népszavazás (Svájc) és ezek különféle kombinációi. Fontos, hogy a viták döntőbírája hiteles, részre nem hajló személy vagy testület legyen. Szakmai kérdésekben a népszavazás kockázatos, mert hangulatok vagy másodlagos szempontok könnyen deformálhatják a véleményt, a képviseleti testületekben ennek veszélye valamivel kisebb. A legsokoldalúbb megítélésre egy felkészült közigazgatás képes, de manapság az ilyen eljárást nem tartják elég elfogulatlannak és elég demokratikusnak.

A lakossági beleszólás bonyolult folyamatának világszerte rövid a múltja, az eljárások egyike sem bizonyult sokkal hatékonyabbnak a többinél, esetenként viták is kibontakoztak a társadalmi részvétel hasznosságáról. Egyesek szerint az eddigi tapasztalatok negatívak (a viták ritkán segítik elő a jó döntést, „felesleges nyűg”, a „valóságot elkendőző szemfényvesztés”), sőt új konfliktusokat kreálnak. A többségi vélemény azonban a feszültségek levezetésére más lehetőséget nem lát, mert a társadalmi viták hiánya nemcsak a közhangulatot rontaná, hanem a gazdasági fejlődésben is komoly görcsöket okozna.

Nálunk a társadalmi beleszólás jogilag rendezett formáját kívánja megteremteni a potenciálisan környezetszennyező létesítmények engedélyezési folyamatában előírt lakossági közmeghallgatás, aminek szerepét, lebonyolításának módját jogszabályok rendezik. Például a hazai jogszabály 20 MW-ot meghaladó teljesítményű közcélú és 50 MW-ot meghaladó teljesítményű saját használatú erőművek létesítésénél írja elő szakértő bizottság irányításával a közösségtájékoztatást és a közmeghallgatást. A szakértő bizottság ezek alap-

ján kialakított véleményéről tájékoztatja az illetékes hatóságokat és a Magyar Energia Hivatalt. Erőművek, radioaktív és nukleáris hulladéktárolók területén a hatásvizsgálatokra alapuló közmeghallgatásról már rendelkezünk tapasztalatokkal, ezeknél nyomósan estek latba a települések helyi érdekei.

A hazai körülmények között figyelembe kell venni, hogy a nyílt színi viták jóformán minden kérdésben polarizált felfogást vallók konfrontációjába torokollnak, gyakran politikai töltettel, és a tartós társadalmi feszültségek miatt egyhamar nem várható ennek oldása. Ezért nem elég a viták kereteit kialakítani, annak stílusát is befolyásolni kell, hogy közös útkeresés jellemezze a procedúrát. A vitákat a konkrét kérdések megoldására irányított „becsatornázó” eljárás módjára célszerű, megakadályozandó, hogy a viták ellenséges székértáborok közötti hangulatkeltő hadakozássá fajuljanak. Sok múlik a vitavezetésen, hogy ne presztízsszempontok vagy parciális érdekek kerüljenek előtérbe, a résztvevők a kommunikációt mintegy közös (tanulási) folyamatként értelmezzék, hogy mind a proponensek, mind az opponensek őszintén nyitottak legyenek, készen az ellenérvek mérlegelésére.

Az érintett közösségek véleményének érvényesítését szolgálja, hogy helyi ügyekben az önkormányzatoknak is van engedélyezési hatásköre mind a létesítéssel kapcsolatban, mind operatív kérdésekben, továbbá tagokat delegálnak a közmeghallgatást irányító szakértői bizottságba is. A döntések erejét esetenként helyi vagy a helyinél nagyobb körben rendezett népszavazásokkal is alátámasztják.

A közhangulat alakításában fontos szerepe van a médiának, ami nagyon jelentős a társadalmi elfogadtatást befolyásoló vitákban, az érdekek érvényesítésében, a veszélyek visszaszorításának ösztönzésében, a döntések kialakulásában. A mértéktartó, felelősségteljes orgánumok elsősorban a közérdekű információk tárgyilagos terjesztését tekintik feladatuknak, és fórumot biztosítanak a társadalom figyelmét érdemlő véleményeknek. De a média üzlet is; érdeklődést kiváltó hírértéke főleg a negatívumoknak van – a veszélyeknek, a kedvezőtlen eseményeknek, a károknak. *Only the bad news are good news* (csak a rossz hír a jó hír) – vallja az amerikai sajtó; egy tudósítás egy üzem eseménytelen működéséről nem növeli a példányszámot, egy erdő akkor válik igazán érdekessé, ha kipusztul. Ezért a sajtónak a tárgyilagos és kiegyensúlyozott magatartásra törekvő része is szelektálásra kényszerül, a kedvezőtlen események előtérbe állításával befolyásolva a közhangulatot. A sajtó másik, elsődlegesen az üzleti haszonra törő része a szenzációt hajhássza, forgalmát a veszélyek, katasztrófák, szörnyűségek színes tálalásával igyekszik növelni. Ezen irányzat szélsőséges termékei – a bulvársajtó – a hátborzongató híreknek már a valóságtartalmára sem igazán kényes. Így a média eredőben a frusztrálás, a veszélyek, a következmények túlbecsülésének irányába befolyásolja a közhangulatot. Különösen könnyen befolyásolható és hangolható a színeesebb, szórakoztatóbb, ingergazdag információt igénylő kevésbé

iskolázottak népes rétege. Többnyire a média közvetítésével ismeri meg a nagyközönség a külföldi példákat, aminek – nálunk különösen – megkülönböztetett súlya van a közhangulat formálásában. Veszélyes jelenség, amikor a média nem elégszik meg a kétirányú információközvetítő funkcióval, hanem döntéshozó szerepet igényel, vagy legalábbis erőteljes nyomást gyakorol a döntéshozókra. Ilyen módon – egy-két újságíró személyes felfogásán keresztül felerősítve – felszínes és részrehajló nézetek mint megalapozott, perdöntő érvek kerülhetnek a köztudatba. Előfordul, hogy a sajtó rossz ügy szolgálataiba áll, az állampolgárokat félretájékoztatja, a döntéshozókat pedig megfélemlíti, komoly kárt okozva a társadalomnak. Sajnálatos, hogy a tudomány rangos képviselői ritkán vállalkoznak a szakmai összefüggések közérthető és figyelmet felkeltő megvilágítására.

Ha nincs is akkora hatása, mint a médiának, nem elhanyagolható az energiaellátó vállalatok PR-tevékenysége sem, melynek egyik célkitűzése a lakosság szimpátiájának megnyerése. Ennek középpontjában a társadalom gondjait átérző és felvállaló üzletpolitika ismertetése, az együttműködést előmozdító vállalati szándékok megértetése áll. Az energiaellátó vállalatok felismerték, hogy nehezebb a bizalmat visszaszerezni, mint felépíteni, ezért – főleg a veszélyes hatásokkal kapcsolatban – tevékenységüket átláthatóvá teszik. Ugyancsak fontos feladatuk a technológiák megértéséhez szükséges ismeretek megszerzése, de közérthető terjesztése kiadványok, bemutató központok, médiaprogramok segítségével.

Szellemi háttér

Az energiahordozókra előírt műszaki jellemzők biztosításához, a szolgáltatásoktól megkövetelt színvonal és biztonság teljesítéséhez a vertikumok minden fázisában bonyolult technológiákat kell működtetni, melyek legtöbbje veszélyes is. Az energetikai berendezések gyakran szélsőséges igénybevételeknek vannak kitéve, nem ritkán csúcstechnológiát képviselnek. Mindezek miatt az energiaellátás hatékony működésének elengedhetetlen feltétele, hogy egy magas műszaki színvonalú szellemi háttér álljon rendelkezésre. Ez az oktatási és kutatási intézmények felkészültségétől kezdve a tervezésben, beruházásban és üzemvitelben működő szakemberek tudásán és hozzáértésén keresztül az energiaipar vezetőinek igényességéig sok elemből tevődik össze. Enélkül a legkorszerűbb berendezések sem tudják rendeltetésüket teljesíteni, azok könnyen áldozatává válnak az első komolyabb üzemzavarnak.

A szellemi háttér egyik pillére a szakmunkásképzéstől az egyetemig terjedő színvonalas oktatási hálózat, amely biztosítja a magasan képzett és felelősségtudattal rendelkező szakembereket az energiaiparok feladatköreihez. Az utánpótlás biztosítására a vállalatok szakmailag és anyagilag is támogatják

a középfokú és felsőfokú oktatási intézményeket, aminek kiemelkedő példája a Budapesti Műszaki Egyetem kihelyezett energetikai főiskolai tagozata Pakson az atomerőmű védnöksége alatt. A tehetséges hallgatók szakmai érdeklődését ösztöndíjakkal és pályázatokkal igyekeznek felkelteni. Komoly gond, hogy újabban a felsőfokú oktatásban a tehetséges fiatalok érdeklődése elforult az energetikai ágazatoktól, ami nehezíti a generációváltás folytonosságát. Ez nemzetközi tünet, veszélyét a gyakorlatban is demonstrálta egy a nukleáris energetikában vezető szerepet játszó országban kialakult krízis, amit az ismeretek és tapasztalatok áramlásának ilyen okból bekövetkezett megszakadása váltott ki, és több atomerőmű leállítását kényszerítette ki.

A műszaki fejlődés következtében a technikai ismeretek jelentős része elavul egy évtized alatt, ezért nagy jelentősége van a továbbképzésnek. Bár ezt az oktatási intézmények is feladatuknak tekintik (például mérnöktovábbképzés, szakmérnök- és posztgraduális képzés), a felkészültség szintentartása legnagyobbbrészt magukra a vállalatokra hárul. A munkahely féltése és a szakma veszélyességének tudata a munkavállalók nagy részénél belső igényt ébreszt a szakmai ismeretek korszerűsítésére, gyakran önképzés útján is.

A korszerű információk terjesztésében jelentős a műszaki és természettudományos egyesületek szerepe. Ezek az érdekektől független társadalmi szervezetek egyrészt a szakmai kultúra termőtalaját alkotják, másrészt tagságuk komplexitása a stratégiai elképzelések sokoldalú megítéléséhez ad jó alapot. A szellemi háttér fontos tényezői a független és nemzetközileg elismert szakmai (tervező, fejlesztő, kutató) intézmények. Ezek a kívülállók elfogultatlanságával tudnak közreműködni az energetikai vállalatok tevékenysége során felmerült problémák megoldásában, tárgyilagosan tudnak állást foglalni a lakosság részéről megfogalmazódó félelmek és gondok megítélésében, és az ország tekintélyét növelve be tudnak kapcsolódni a nemzetközi szakmai közéletbe. Egy nyelviileg elszigetelt kis ország részvéttele a nemzetközi szakmai közéletben létfontosságú, enélkül megoldhatatlan lépéstartásunk a külvilággal, valamint az új ismeretek időben történő megszerzése és adaptálása a műszaki fejlesztéshez. Ennek is feltétele a képzett, nyelvtudással rendelkező szakembergárda, arról nem is beszélve, hogy az ország (és benne egy szakma) megítélése, valamint lehetőségei nagymértékben azon múlik, hogy képviselői hogyan szerepelnek a nemzetközi fórumokon és mennyire tudnak cselekvő részt vállalni azok munkájában.

Az energetika területén nagyon sok kormányközi és nem kormányközi szervezet működésében kell aktív szerepet vállalnunk. A hidegháború időszakában a kelet–nyugati kapcsolatok fenntartásában, és nemzetközi egyezmények kezdeményezésében nagy szerepe volt az ENSZ Európai Gazdasági Bizottsága (EGB) szakbizottságainak (szén, gáz, villamos energia), ma már e szervezet jelentősége erősen visszaszorult. Jelenleg az energetika területén az ENSZ legerősebb szakosított szervezete a Nemzetközi Atomenergia Ügynök-

ség (IAEA), politikai súlyát felügyeleti szerepe biztosítja a nukleáris anyagok felett, szakmai tekintélyét az atomenergia biztonságos alkalmazását szolgáló sokoldalú tevékenysége (tapasztalatcsere, irányelvek, nemzetközi szerződések, oktatás, technikai segély stb.) alapozta meg. Összehasonlító elemzései gyakran a nem nukleáris energiakérdésekben is mértékadóak. Esetenként más ENSZ-szervezetek, az Egészségügyi Világszervezet (WHO – World Health Organization) (ártalmak, károsítók határértékei), a Meteorológiai Világszervezet (WMO – World Meteorological Organization) (légműködés, üvegházhatás), az ENSZ Környezeti Program (UNEP – United Nations Environment Programme) (környezetvédelem), a Világbank (prognózisok, projekt-finanszírozás) tevékenysége is érint energetikai kérdéseket.

Kormányzati képvisellel működnek a fejlett országokat tömörítő OECD szervezetei is: az eredetileg a kőolajkrízis megismétlődésének megakadályozására létrehozott Nemzetközi Energiaügynökség (IEA – International Energy Agency) főleg az energiapolitika és energiasztratégia összehangolásával foglalkozik, kivéve a nukleáris kérdéseket, amelyeket az Atomenergia Ügynökség (NEA – Nuclear Energy Agency) gondoz. A környezetvédelmi tevékenységek az illetékes miniszterek tanácsának felügyelete alatt folynak. E szervezetek számos munkabizottsága a szakmai tapasztalatcserén túlmenően irányelveket és ajánlásokat is kidolgoz. Az Európai Uniónak is jó néhány állandó, illetve alkalmi munkabizottsága foglalkozik energetikai kérdésekkel. Speciális feladatai vannak energetikai programok (például a szovjet tervezésű atomerőművek biztonságnövelése) finanszírozásában az Európai Újjáépítési és Fejlesztési Banknak (EBRD), amit időnként a legfelsőbb szintű politikai elhatározások (G7, G24) is befolyásolnak.

Nagy hagyománya van a nemzetközi együttműködésnek a szabványalkotás terén, e tekintetben a Nemzetközi Szabványügyi Szervezet (ISO – International Organization for Standardization), illetve az elektrotechnika területén a Nemzetközi Elektrotechnikai Bizottság (IEC – International Electrotechnical Committee) játszik fő szerepet, anyagvizsgálati kérdésekben gyakran az Amerikai Gépészmérnökök Szövetsége (ASME – American Association of Mechanical Engineers) szabványait tekintik mértékadónak. A nemzetközi gazdasági és műszaki kapcsolatok megkövetelik a termékek és eljárások csereszabátosságát, ezért e szabványosítási szervezetek legtöbb ajánlása beépül a nemzeti szabványokba, melyek közül a biztonságot, környezetvédelmet, infrastruktúrák kompatibilitását, nemzetközi kötelezettségeket és más fontos kérdéseket érintők kötelező erejűek. Szaporodnak az olyan nemzetközileg elfogadott, tekintélyes szakmai szervezetek vagy testületek által kibocsátott nem kötelező erejű ajánlások, amelyeket a nemzeti intézmények kötelező erőre emelnek. A nukleáris biztonsági hatóságok eljárásrendje például nagyrészt a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség által kiadott irányelv-sorozatokra (Nuclear Safety Series) alapul, az ionizáló sugárzás megengedett mértékét

világszerte a Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság (ICRP – International Commission of Radiation Protection) ajánlásai alapján szabályozzák.

Szinte lehetetlen áttekinteni az energetika területén működő nemzetközi egyesületek, szövetségek, szakmai szervezetek és rendszeres rendezvények tömegét. Sok nem kormányközi nemzetközi szervezet célja az energetikai tevékenységek összehangolása, a tapasztalatok terjesztése és időnként energiapolitikai ajánlások kezdeményezése. A legátfogóbb a Világ Energia Tanács (WEC – World Energy Council) tevékenysége, a földgázkérdésekkel a Nemzetközi Gázunió (IGU – International Gas Union), a kőolaj ügyeivel a Kőolaj Világkongresszus (WPC – World Petroleum Congress), a szénbányászatéval a Bányászati Világkongresszus (WMC – World Mining Congress) foglalkozik. A villamos energetika vállalatait az EURELECTRIC (Union of the Electric Industry) fogja össze, de a nagyfeszültségű hálózatoknak külön tudományos szervezete is van, a CIGRE (Conference International des Grandes Resoux Electrique, Nagy Villamos Hálózatok Nemzetközi Konferenciája), az atomerőművek üzemeltetői pedig létrehozták a WANO-t (World Association of Nuclear Operators, Atomerőművek Üzemeltetőinek Világszervezete). Figyelmet érdemelnek a nemzetközivé vált környezetvédelmi szervezetek is, például Greenpeace, WWF (World Wide Fund of Nature, Természetvédelmi Világalap), WWI (Worldwatch Institute, Világfigyelő Intézet).

Viták tárgya, mennyire van szüksége az országnak az energetika területén ütőképes önálló kutató-fejlesztő bázisokra. Kétségtelen, hogy korábbi feladataik nagy része szükségtelenné vált az embargó megszűnte, valamint a privatizáció következtében; a multinacionális vállalatokba olvadt hazai vállalatok zömének műszaki fejlesztése pedig a külföldi központokba helyeződött át. Ám maradtak megoldandó specifikus magyar feladatok, például a környezetvédelem, nukleáris biztonságnövelés, vezetékes ellátási hálózataink topográfiai kialakítása és irányítási rendszere, szeneink eltüzelése stb. stb. területén. A külföldi fejlemények adaptálása is igényes feladat, és a nemzetközi tapasztalatcserében csak az jut új ismeretekhez, aki maga is tud nyújtani valamit a többieknek. Természetesen mindennek csupán akkor van haszna, ha az iparban egy képzett és kreatív értelmiségi gárda biztosítja a fogadókészséget. Intézményeink jelentőségét jól érzékeltette, hogy amikor a Szovjetunió felbomlását követően atomerőművünk mögül elolvadt a szovjet főtervezői, főkonstruktori és főszállítói háttér, hazai intézeteink pótolni tudták ezeket a tevékenységeket. Atomerőművünk biztonságának és atomenergetikai tevékenységünk színvonalának nemzetközi elismertsége nem utolsósorban az erős szellemi potenciál meglétén múlik.

Az energetikában jelentős a magyar tudomány nemzetközi tekintélye, ami tőkét is jelent az országnak. Csak a legnagyobbak szerepét említve: a víz- és hőerőgépekhez Bánki Donát, a hőerőgépekhez Csonka János, Jendrassik György, Fonó Albert, az atomerőművekhez Szilárd Leó, Wigner Jenő, Teller

Ede, a villamos energetikához Jedlik Ányos, Zipernowsky Károly, Déri Miksa, Bláthy Ottó Titusz, Kandó Kálmán, a hűtéstechnikához Heller László és Forgó László, a kőolaj-feldolgozáshoz Varga József és Freund Mihály hozzájárulása közismert. Sok nagy horderejű találmány, például a transzformátor, az árammérő, a gázturbina, az atomreaktor, a kényszeráramlású gőzkazán vagy a légkondenzációs hűtőtorony is növelte tekintélyünket a nagyvilágban. A régi dicsőségből azonban nem lehet megélni, rangos helyet az egyesült Európában csak új sikerekkel lehet kivívni.

Működési feltételek

A megbízható energiaellátás feltétele, hogy a működéséhez szükséges háttér zavartalanul rendelkezésre álljon. A háttér részét képezi a technikai infrastruktúra, a korszerű technológiák működtetéséhez elengedhetetlen közművek szolgáltatásai, a nagy anyag- és energiaforgalom bonyolítására alkalmas szállítási lehetőségek, a biztonságos üzemvitel feltételét jelentő információs hálózatok stb. Az ötvenes években tapasztalhattuk, milyen súlyos energiaellátási zavarokra vezetett, amikor az energiaellátó létesítmények számára nem állt folyamatosan rendelkezésre a szükséges háttér, például a vasút működésében is súlyos zavarokat okoztak a szállítási kapacitás negyedét lekötő szénforgalom csúcsterhelései, a telefónia gyengesége miatt az ellátó vállalatok az üzemzavar-elhárítás gyorsasága érdekében saját telefonhálózatok kiépítésére kényszerültek.

Nem kevésbé fontosak a működést szabályozó funkcionális körülmények (közigazgatás, jogrendszer, közbiztonság, munkamorál, közélet tisztasága stb.). Lényeges, hogy a jogszabályok egyértelműen meghatározzák az energiaellátás szereplőinek jogait és kötelességeit, rendezzék a társadalom ezzel kapcsolatos elvárásait. Ezzel a feladattal jó néhány törvény és számos alacsonyabb szintű jogszabály foglalkozik, az érintett hatóságok további irányelveket és ajánlásokat is kibocsátanak. A követelmények teljesülését ellenőrző hatóságok is részei az infrastruktúrának. Az utóbbi évtizedekben megjelent nemzetközi megállapodások tovább bővítették a követelményeket főleg a határokon áttérjedő hatások (például környezetszennyezés, szállítás) területén. Csatlakozásunk az Európai Unióhoz hatalmas joganyag átvételét igényli, aminek legnagyobb részét már belépésünk előtt hatályba kell helyeznünk. Ezek közül mintegy kétszáz vonatkozik az energiapiac követelményeire és feltételeire.

Az energiaellátás fejlesztése a szükséges erőforrásokkal szemben további követelményeket támaszt. Ezek egy része – stabil gazdasági légkör, elegendő tőke, kedvező hitelfeltételek, garanciák hitelessége, eszközök beszerezhetősége, beszállítók megbízhatósága – a gazdaságot érinti. Más részük a társadalomtól függ – társadalmi elfogadtatás, engedélyek megszerezhetősége és ennek időszükséglete, kellő mennyiségű és felkészültségű munkaerő stb.

Minden természetes személy, minden gazdasági szervezet és minden intézmény energiafogyasztó. A legszélesebb körű szolgáltatásnak, a villamosenergia-ellátásnak Magyarországon 4,6 millió háztartási és közel félmillió egyéb fogyasztója van. A földgázellátás eljut a háztartások háromnegyedébe és a legtöbb ipari üzembe. Az üzemanyagtöltő kúthálózat mintegy hárommillió gépkocsit szolgál ki. Akár piaci verseny, akár közszolgáltatás jellemzi az energiaellátást, a fogyasztók bizonyos fokig kiszolgáltatott helyzetben vannak, mivel – az önellátók kivételével – a szolgáltatás szabályozása nincs a kezükben. Az energiaipari vállalatok gazdasági ereje, a rendelkezésre álló energiaforrások véges kapacitása, a szállítási lehetőségek kötöttségei és gyakran monopolisztikus jellege, a kívülállók számára a technológiai folyamatok és termékek nehéz ellenőrizhetősége, és hasonló adottságok korlátozzák a fogyasztók mozgásterét. A fogyasztóvédelem rendeltetése ezen egyenlőtlen erőviszonyok kiegyenlítése, ami magában foglalja a fizetőképes kereslet előírt minőségű kielégítésének biztosítását, az élet- és vagyonbiztonság megteremtését, a környezet védelmét, továbbá a fogyasztói panaszok kivizsgálását és orvoslását. A feladat jelentősége és bonyolultsága állami szerepvállalást is indokol, aminek egyrészt a követelményeket meghatározó jogszabályok kialakításával, másrészt azok teljesülését előmozdító és ellenőrző intézmények működtetésével (Magyar Energia Hivatal, Fogyasztóvédelmi Felügyelőség, Gazdasági Versenyhivatal, Szabványügyi Hivatal, minőség-ellenőrző intézetek stb.) tud eleget tenni. Fogyasztóvédelemnek tekinthető a lakosság esetében a vezetékes ellátási módok közszolgáltatási jellegének megőrzése és a maximált hatósági árak rendszerének fenntartása.

Különösen fontos a jogi szabályozás az átmenet időszakában, amikor az állam szinte korlátlan szabályozási és utasítási joga már megszűnt, de a konszolidálódott piaci viszonyok még nem alakultak ki. Ilyenkor fennáll a veszélye annak, hogy a társadalmi érdekeket háttérbe szorítja a tulajdonosok érdekvérvényesítése. Ezt megkönnyítik az előírások szövevényes hálózatában mindig fellelhető joghézagok, sőt kötelezettségek megkerülése vagy hiányos teljesítése sem ritka. Ezen az előírások szaporítása sem igen segít, minél sűrűbb a jogszabályok hálója, annál több azon a koordinátlanságból, vagy a kihatások nem teljes körű számbavételéből származó lyuk. Az utóbbi években a sokirányú követelmények kielégítése valóságos jogszabály-alkotási dömpinget váltott ki, az egyre szaporodó előírásoknak nemcsak a teljesítése, hanem már az áttekintése is nehéz feladat elé állítja az érintetteket.

A jogszabályok nemcsak az iránytű szerepét töltik be az érintett tevékenységek folytatásához vagy a vitás ügyek rendezéséhez, hanem hozzájárulnak a közhangulat alakításához is az emberek gazdasági és fizikai biztonságérzetének megteremtésével, ami az energetika területén különösen fontos. A jog-

szabályokon múlik, hogy az állampolgárok ne érezzék magukat gazdaságilag kiszolgáltatott helyzetben az érdekérvényesítésben erős, többnyire monopol-helyzetben levő energiaellátó vállalatoknak. E szempontból is fontos, hogy legyen mód a jogorvoslásra a jogalkalmazás során esetleg előforduló részrehajlás, befolyásolás vagy erőfölény ellensúlyozására. Mivel az energetika technológiai potenciálisan veszélyesek, az emberek életének, testi épségének, egészségének, életkörülményeinek, környezetének és anyagi javainak védelme is megköveteli a jogi szabályozást. A tényleges veszélyek ellen védő jogszabályok ugyanakkor hozzájárulnak az indokolatlan félelmek oldásához, ami feltetele a célszerű technológiai megoldások társadalmi elfogadtatásának.

A jogszabályok időnként korszerűsítésre szorulnak, az időszerűtlen és túlhaladott elemeket hatályon kívül kell helyezni, viszont figyelembe kell venni az új lehetőségeket és fejleményeket, valamint az azokkal együtt járó új problémákat és veszélyeket, továbbá a jogszabályokkal illeszkedni kell a társadalmi és gazdasági körülmények változásaihoz is. Különösen bonyolult feladat illeszkedésünk az Európai Unió szövevényes jogrendjéhez, ami nem csupán jogszabályalkotást követel meg, hanem a követelményeknek meg nem felelő technológiák és berendezések korszerűsítését, vagy selejtezését is.

A fogyasztóvédelemnek lehetnek szociálpolitikai elemei is. Nő azok köre, akiknek anyagi teherviselő képességét meghaladja energiaszámlájuk kifizetése. Az ilyen nem fizető fogyasztókat a szolgáltató vállalatok kikapcsolhatják a vezetékes (villany, gáz, távfűtés) ellátásból, megfosztva őket elemi létfeltételeiktől. Ennek elkerülésére, az önhibájukon kívül elesettek támogatására pénzügyi alapok vagy speciális tarifák szolgálnak.

Minőségbiztosítás

A fogyasztók folyamatosan és megfelelő választékban rendelkezésre álló, megfelelő minőségű és olcsó energiaellátást igényelnek. Ennek legfőbb biztosítója a jól működő piac, ahol az eladók versenyeznek a vevőkért, és minőségi szolgáltatással igyekeznek azok megelégedését kivívni. Az ilyen ideális állapot azonban nem mindig teljesül, különösen, ha az eladó monopolhelyzetben van. Ez lehet műszaki vagy gazdasági adottságokból fakadó természetes monopólium, amikor nincs vetélytárs, vagy származhat erőfölényből, amikor a fogyasztó kiszolgáltatott helyzetben van. Az utóbbi főleg a lakosságnál áll fenn, mivel sem felkészültsége, sem technikai lehetősége nem elegendő a szolgáltatás ellenőrzésére (ami a vállalati fogyasztók nagy részénél is csak ritkán teljesül). Ellenőrzés nélkül csupán érzékelik, hogy a gépkocsi nem jól gyorsul a vásárolt benzinnel, a tv nem működik az alacsony hálózati feszültség miatt, a fűtőtestek nem elég melegnek. Többnyire csak utólag derül ki, hogy a vásárolt benzin tartalmaz-e motort károsító anyagokat, hogy a villanyszámla helyesen

tükrözi-e a fogyasztást és annak tarifális megoszlását, hogy a leszállított tűzifa nem vizes-e stb. Gyakran nem is veszik észre a minőségi hiányosságokat, és jogaikról és felszólamlási lehetőségeikről is tájékozatlanok. Az is többnyire csak jelentős időkeséssel derül ki, hogy az energiaellátással összefüggő hatások veszélyeztették az emberek egészségét, életkörülményeit vagy károsították anyagi javait.

Újabb az energiaellátásban is terjed a minőségbiztosítás, aminek módjával nemzetközi szabványok foglalkoznak. Az ezekben lefektetett eljárási és ellenőrzési követelményeknek megfelelő vállalatok tevékenységének és termékeinek jó minőségét az erre feljogosított intézmények szavatolják.

Az energiaellátás műszaki jellemzőit kötelező erejű szabványokban írják elő. Így szabályozzák a kereskedelmi forgalomban értékesített tüzelőanyagok és motorhajtó üzemanyagok megkívánt fizikai és kémiai jellemzőit (fűtőérték, összetétel, szennyezők megengedett koncentrációja, nedvességtartalom, oktánszám, cetánszám stb.). Azonban nehézséget okoz, hogy a decentralizált forgalmazás (kúthálózat, tüzelőanyag-kereskedők) egyedi ellenőrzése keresztülvihetetlen, így a fogyasztók szándékos vagy véletlen megkárosítása nem zárható ki. Ezek feltárásában nagy szerepe van a fogyasztóvédelem szűrőpróbaszerű ellenőrzéseinek. A tudatos minőségrontás törvénybe ütközik, de előfordulnak véletlen esetek is: a fejtett szén hamutartalma megnő, a földgáz kiterjed a melegben, a tűzifa nedvesedik, a villamos feszültség hullámalakját elektronikus fogyasztók torzítják.

Ugyancsak szabványok írják elő a vezetékes energiahordozók jellemzőit és azok megengedett tűrését, például a villamos energia frekvenciáját, feszültségét, a hullámalak eltéréseit, a földgáz nyomását, fűtőértékét, szennyezettségének határértékeit, a gőz és a meleg víz paramétereit.

Jogsabályok és szabványok tárgya a fogyasztóberendezések minőségi követelményeinek szabályozása is, terjed egyes tulajdonságok – például energiafogyasztás – kötelező feltüntetése címkéken is. A vezetékes ellátási módoknál újabb az a fogyasztók megelégedettségét is vizsgálják, elsősorban a kapcsolattartás minőségén keresztül (hibaelhárítás sebessége, panaszok elintézésének módja, új igények kielégítése stb.). A vezetékes energiát szolgáltató vállalatok felelősségét törvények, a fogyasztókkal kapcsolatos üzleti magatartás követelményeit rendeletek, a szolgáltatás feltételeit hatósági jóváhagyást igénylő üzemi szabályzatok írják elő. A piaci nyomás viszont költségeik csökkentésére szorítja a vállalatokat, nem kizárt, hogy ezt a minőség, a rendelkezésre állás, a hibaelhárítás, a kapacitástartalékok rovására teszik. A hírnevük megőrzésére kényes energiaszolgáltató vállalatoknak fontos a lakossági bizalom megőrzése, ezért feladatuknak tekintik a minőségi szolgáltatást, a nagyobbak külön részlegeket működtetnek a fogyasztói panaszok kivizsgálására.

Az energiaellátás sajnos veszélyeket is rejt magában. Balesetek, egészségkárosodás, életkörülmények zavarai, környezeti ártalmak, természetkárosodás, anyagi károk stb. következhetnek be. A kedvezőtlen hatások visszaszorítása állandóan újratemetendő feladat, mert az új technológiák gyakran új jelenségekkel járnak együtt. A veszélyeket a legkörülményesebb magatartással sem lehet tökéletesen kiküszöbölni, csökkentésük lehetséges mértéke a védekezés technikai lehetőségétől és a társadalom gazdasági teherbíró képességétől függ. Így a társadalom biztonsága tulajdonképp egy a műszaki és gazdasági körülményektől függő társadalmi megállapodás függvénye, e kompromisszumra támaszkodnak a jogszabályok és előírások is. A társadalom adminisztratív, jogi, gazdasági és tudatformáló eszközökkel törekszik a nemkívánatos következmények korlátozására, ezek között különösen fontosak az emberi egészség és biztonság követelményei.

A veszélyek nem teljes körű kiküszöbölése azt is jelenti, hogy egyes emberek – különösen a veszélyforrások közelében lévők – kismértékben ugyan, de veszélyeztetve lesznek. E helyzet burkoltan azt a morális problémát is magában rejt, hogy a társadalom biztonsága fontosabb-e, mint az egyéneké. Van-e joga a társadalomnak elvárni, hogy egy indokolt szükséglet – például villamosenergia-ellátás – kielégítése érdekében egyesek veszélyeket viseljenek el, vagy milyen alapon lehet ezeknek másoknál kisebb védekezést biztosítani? Az erkölcsi dilemmák sora azonban nem ér ezzel véget. A biztonság megítélését szolgáló legtöbb kockázatvizsgálat az életvesztésre van exponálva. Vajon a társadalmi optimum néhány elhalálozás elkerülésében, és nem a sokkal több embert érintő egyéb következmények visszaszorításában van? Egy emberélet elvesztése nagyobb kár-e, mint sok ember súlyos megbetegedése? A jogszabályok alkalmazása, a társadalom erőforrásainak allokációja során olyan nehéz kérdéseket is meg kell válaszolni, hogy mekkora ráfordítást érdemel egy emberélet elvesztésének megakadályozása, hány ember veszélyeztetése indokol társadalmi beavatkozást, véges erőforrásainkat melyik veszély csökkentésére célszerű koncentrálni? Az új technológiák engedélyezéséhez szükséges hatásvizsgálatok megítélésében burkoltan benne foglaltatik az ártalmaknak kitett áldozatok „megengedhető” száma is. Néha azzal is szembesülni kell, hogy a jelen vagy a jövő kockázatainak van-e nagyobb súlya?

Az emberek egészségét, testi épségét, életét érintő kockázatokra csak akkor tudunk megnyugtató választ adni, ha veszélyeztetettségük az energiaellátás káros hatásai miatt sokkal kisebb, mint amit a természetes eredetű hatások okoznak. Ha ez a követelmény nem teljesül, vagy kielégítését nem lehet bizonyítani, az egyéni és a társadalmi érdekek harmonizációja kilátástalan. Ilyenkor a veszélyes hatás mérséklése vagy a veszélyforrás megszüntetése jelenthet megoldást. Az életkörülményeket rontó vagy anyagi kárt okozó

következmények miatt kialakuló konfliktusokat kártérítéssel lehet enyhíteni, de az csak jogi és nem morális rendezése az ügyeknek, amit egyes társadalmi mozgalmak érvrendszerükben ki is aknáznak.

Egyénileg mindenki maximális védetségét igényel a technikai eredetű veszélyekkel szemben. Ez azonban megvalósíthatatlan, mivel emberi vagy műszaki hibákból mindig lesznek balesetek, a környezeti hatásokat sem lehet mindig és mindenütt maradéktalanul kiküszöbölni, az áttételes gazdasági és társadalmi hatásokat pedig nem is lehet mindig előre megítélni. Annak az igénynek a maradéktalan kielégítésére, hogy a veszélyeknek legjobban kitett, legkedvezőtlenebb helyzetben levő és legkisebb ellenálló képességű személyek sohase károsodjanak, a legfejlettebb társadalmak gazdasági teherbíró képessége sem elegendő.

Az élet- és vagyonbiztonsággal kapcsolatos követelményekkel és teendőkkel sok jogszabály foglalkozik. A legfontosabb feladatokra az energiaellátással kapcsolatos alapvető törvények és azok végrehajtási utasításai is kitérnek. A lakosságot közvetlenül a fogyasztókészülékek biztonságával kapcsolatos követelmények és azok teljesülésének ellenőrzési rendjét szabályozó rendeletek és szabványok érintik. A fogyasztókészülékekhez csatolandó minőségi tanúsítványban a fontosabb üzemi jellemzők mutatóin kívül a biztonság ellenőrzését is igazolni kell. A biztonságvédelemmel kapcsolatos – foglalkozás körében elkövetett – mulasztásokat szigorúan szankcionálják, súlyos kimenetek (személyi sérülés, nagy anyagi kár) esetében jogi úton történő személyi felelősségre vonásra is sor kerül. Az élet- és vagyonbiztonság, valamint a környezetvédelem érdekében szükséges teendők legnagyobb részét a termékeket gyártó, a berendezéseket, valamint hálózatokat szerelő, illetve az ellátást biztosító vállalatokra hárulnak. Azonban a használat kötelező gondosságát, a fogyasztóberendezésekhez mellékelt kezelési utasítások betartását a magánfogyasztóktól is el lehet várni. A vállalatok irányában az is fegyelmező erő, hogy az ártalmakat nyilvántartásba kell venni, a baleseteket be kell jelenteni az illetékes szerveknek, azok okát ki kell vizsgálni a felelősség megállapítása mellett. A biztosítóintézeteknek is van bizonyos befolyásoló szerepe, mivel a kártérítés mértéke függ az alkalmazott biztonságvédelmi intézkedésektől és a biztosított magatartásától.

Különösen veszélyes létesítményeknél részletes biztonsági jelentéseket is kell készíteni, melyek igazolják a biztonsággal kapcsolatos követelmények maradéktalan teljesülését. Például az atomerőműveknél ilyen jelentést kell készíteni a létesítés engedélyezéséhez, az üzembe helyezéshez, valamint a legalább tízévente esedékes időszakos biztonsági felülvizsgálathoz.

Az 1980-as években felerősödött a társadalom nyugtalansága a környezeti ártalmakkal kapcsolatban. Ennek nyomán a fejlett országokban fokozatosan szigorodó előírások születtek a kibocsátások visszaszorítására, amit a hazai előírások csak jó néhány éves késéssel követtek. Nem véletlen, hogy a környe-

zetvédelmi követelések váltak a rendszerváltást megelőzően a politikai elégetlenség burkolt kifejezésének egyik eszközévé. Jogszabályaink fokozatosan felzárkóznak az EU előírásainak szintjére, ami feltétele is csatlakozásunknak. A kibocsátások visszaszorításához jelentős beruházásokra van szükség, ezért egyes kérdésekben moratóriumot is kell kérnünk (derogáció).

A társadalom joggal várja el, hogy a biztonság ne korlátozódjék a létesítmények működési idejére, hanem az ezt követő időszakra is terjedjen ki. Ennek érdekében a jogszabályok előírják, hogy a működés során megfelelő pénzalapokat kell képezni a terület rehabilitációjára, az okozott károk felszámolására, a hulladékok végleges elhelyezésére stb. A környezet védelmét nemcsak hazai jogszabályok szolgálják, hanem számos nemzetközi megállapodás is.

A legerősebb társadalmi ellenérzést az atomerőművek ébresztik. Szélsőségesen ellentétes vélemények nyilvánulnak meg arról, hogy lehet-e az atomenergetikát a „fenntartható fejlődés” elemének, illetve az üvegházhatást korlátozó megoldásnak tekinteni. Ezt a vitát csak a jövő fogja eldönteni, feltételezhetően pozitív irányban. A közhangulat a legtöbb nyugat-európai országban jelenleg az atomenergetikai programok feladását és az erőművek fokozatos leállítását kényszerítette ki. E lényegében politikai álláspont azok megnyerésére irányul, akik félnek az ionizáló sugárzás ártalmaitól. A nukleáris opció mellett főleg azon országok tartottak ki, amelyek ellátásbiztonságuk érdekében az energiahordozók terén a túlzott importfüggést így kívánták csökkenteni (például távol-keleti országok). Néhány államnál a nukleáris fegyverfejlesztés szakmai és szellemi háttérének biztosítása is közrejátszik az atomerőmű-építés folytatásában. A félelem gyökerei Hirosimához és Nagaszakihoz nyúlnak vissza, amit a hidegháború időszakában felerősített a rettegés a nukleáris fegyverkezés miatt, és azután Csernobil tett rá egy nagy lapáttal. Az atomenergia alkalmazásának alapvető feltétele a társadalmi elfogadtatás, amihez ki kell küszöbölni a félelem okait. A társadalmat főleg három kérdés nyugtalanítja: egy második csernobili katasztrófa lehetősége, a radioaktív hulladékok veszélyessége, és az erőművi fűtőelemek felhasználhatósága nukleáris fegyverek gyártására.

Már az amerikai TMI baleset (1979) is az atomerőművek biztonságának újraértékelésére és megnövelésére kényszerített világszerte. Ebben a nyomottvizes atomerőműben (PWR) az operátorok hibájából bekövetkezett a rettegett zónaolvasás, de a konténment megvédte a környezetet a radioaktivitás kijutásától, csupán a pánik és a kaotikus intézkedések jártak káros következményekkel. Ennek nyomán ártértékelték az atomerőművek tervezési filozófiáját, a hatóságok szerepét és a balesetelhárítás módját. A csernobili katasztrófa (1986) után pedig meghatározódtak a biztonságnövelési erőfeszítések. Különösen erős a félelem a szovjet tervezésű atomerőművekkel kapcsolatban, ezért ezek biztonsági színvonalának megemelését a nyugat-európai erőművek szintjére az Európai Unió csatlakozási feltételnek tekinti. Erős a nemzetközi nyomás a kevésbé biztonságos – különösen az RBMK típusú (amilyen a csernobili) és az elsőgenerációs VVER erőművek –

leállítására. A Paksi Atomerőmű Rt. nagyon jelentős összegeket költ a nyugati biztonsági követelmények teljesítésére, és szinte állandóan igazolni kényszerül, hogy megfelel azoknak, amit nagyszámú nemzetközi vizsgálat támaszt alá. A számos nemzetközi felülvizsgálat (IAEA, NEA, EC, WANO, WENRA stb.) az atomenergia alkalmazásával kapcsolatos jogszabályainkat korszerűeknek, a biztonsági hatóság működését színvonalasnak és függetlennek minősítette, atomerőművünkről pedig deklarálták, hogy a folyamatban levő biztonságnövelő intézkedések hatására egyenértékű lesz a hasonló korú nyugati létesítményekkel. A katasztrófa, valamint a nemzetközi egyezmények hatására oly mértékben megnövelték a működő atomerőművek biztonságát – egy-két kivételtől eltekintve –, hogy a környezetben élők egyéni kockázata egy erőművi baleset során nem nagyobb, mint bármely ipari baleset kockázata, és hasonló a helyzet az egészségi ártalmak terén is. A most épülő atomerőművek védelmi rendszereinek köszönhetően a környezetet érintő balesetek valószínűsége rendkívül kicsi, és a beépített gátak az esetleg kikerülő aktivitás mértékét csekély értékre korlátozzák. Az erőművek következő generációjának kialakításánál pedig alapvető célkitűzés, hogy – lehetőleg a rendszerek a működési módból fakadó, inherens tulajdonságai révén – gyakorlatilag kizárják a környezet veszélyeztetését.

A világméretű aggodalom szülte a nukleáris biztonsággal kapcsolatos nemzetközi egyezményeket. Az államok számonkérhető kötelezettséget vállaltak a biztonságért a nukleáris biztonsági konvenció keretében. A konvenció első felülvizsgálati értekezlete 1999-ben kedvezően ítélte meg a magyarországi helyzetet mind az erőmű biztonsága, mind a biztonsági hatóság működése szempontjából. A csernobili katasztrófa hatására az IAEA égisze alatt létrejött multilaterális gyorsértesítési egyezmény egy nukleáris baleset esetében gyors tájékoztatásra kötelezi az aláíró országokat. Hasonló rendeltetésű kétoldalú egyezményeket is kötöttünk a szomszédos, valamint más érdekelt országokkal. Ugyancsak az IAEA koordinálásával működik az atomerőművi balesetekre vonatkozó kölcsönös segélynyújtási megállapodás is. Az atomerőművi vagy sugárzó anyagok szállítási balesete során bekövetkezett károkért viselt felelősség és kártérítés rendezésére két nemzetközi konvenciót hoztak létre, az OECD-országok párizsi és az ezen kívüli országok bécsi megállapodását. Magyarország az utóbbinak részese, részben a mi kezdeményezésünkre jött létre a két egyezményt összekapcsoló megállapodás is. A magyar atomtörvény az atomkárárt az atomerőmű kárfelelősségének határát 100 millió SDR-ben (Special Drawing Right, különleges lehívási jog, az IMF értékszámítási mértéke) jelöli ki (150-re fog később nőni), amit az állam – összhangban a nemzetközi megállapodásokkal – 300 MSDR-re egészíthet ki. Tekintettel a kárfelelősség nagy összegére, fedezetére a biztosítóintézetek nemzetközi hálójával szoktak szerződni, Magyarországon is ezt az utat követjük. Az ezt meghaladó jogos kártérítési igény kielégítésére tervezik egy az atomerőműveket üzemeltető országok közös pénzalapjának létrehozását is.

Az atomerőművektől megkívánt biztonságra irányelvek kiadása is megindult. Az IAEA a reaktor zónaolvadásának valószínűségére állított fel régi erőműveknél 10^{-4} /év, újaknál 10^{-5} /év kritériumot. Az Egyesült Államok biztonsági hatósága (NRC – Nuclear Regulatory Commission, Nukleáris Szabályozó Bizottság) azt igényli, hogy az erőmű egymérföldes környezetben a lakosság nukleáris eredetű halálos baleseti kockázata egy nagyságrenddel legyen kisebb minden más eredetű halálos baleset eredő kockázatánál, és hasonló arányt kíván meg a tízmérföldes környezetben az erőművi kibocsátás miatt feltételezett rákos megbetegedés valószínűsége és minden más eredetű rák gyakorisága között. Az Egyesült Királyságban erőmű és más veszélyes létesítmény okozta halálos egyéni kockázat 10^{-6} /év alatt elfogadható, efelett 10^{-5} /évig megítélésfüggő a tolerálhatóság (TOR – Tolerable Risk, elviselhető kockázat). Hollandiában az áldozatok számától függő egyéni kockázatokat mérlegelnek, 10 kimenetnél 10^{-5} /év, 100 kimenetnél 10^{-7} /év, 1 000 esetben 10^{-9} /év fogadható el, a finn gyakorlatban a jelentős emisszió valószínűségének küszöbértéke $0,5 \cdot 10^{-6}$ /év. A véglegesen megnyugtató megoldást azok a konstrukciók fogják jelenteni, melyek kizárják az erőművön kívüli hatásokat, amire már megjelentek az első megvalósítható megoldások.

Fokozódik a társadalmi nyugtalanság a veszélyes hulladékok hatása miatt. Számos energetikai technológia hulladékai tartalmazznak veszélyes, nem radioaktív alkotókat – üledékek az olajfinomítók és a füstgáz-kénmentesítők zagyából, a kazánok mosófolyadékából, salak a tüzelőberendezésekből stb. A legtöbb veszélyes anyag tartósan megmarad, így a nehézfémek (arzén, higany, kadmium, króm, nikkel), az azokból baktériumok hatására képződött metilének, egyes szerves anyagok, például PCB-k. Viszonylag kevés veszélyes szerves vegyület (benzol, toluol, vinilklorid) bomlik el bizonyos idő után. Szigorodnak a követelmények a veszélyes, nem radioaktív hulladékok elszigetelt elhelyezésére, de nem világos, hogyan lehet a tartósan fennmaradók hatását véglegesen közömbösíteni.

Megkülönböztetett figyelem irányul a radioaktív hulladékok elhelyezésére. Ezekkel, valamint a kiégett fűtőelemekkel kapcsolatos teendőkről nemzetközi konvenció is született. Atomtörvényünk – a külföldi gyakorlathoz hasonlóan – a hulladékokat létrehozók befizetéseiből pénzügyi alap feltöltését írja elő, a radioaktív hulladékok elhelyezésével, valamint a nukleáris létesítmények lebontásával kapcsolatos összes költség fedezésére, az operatív teendőkre pedig közhasznú társaságot hoztak létre. Megjegyzendő, hogy radioaktív hulladékok nemcsak a nukleáris létesítményekből származnak, mivel bányatermékek is tartalmazhatnak természetes eredetű radioaktív anyagokat. Ilyen eredettel a hagyományos erőművek salakjában is található urán és tórium, valamint az azok bomlásából származó leányelemek, ezek hatására egyes erőművek zagyterén a sugárzás dózisa meghaladhatja a megengedett 1 mSv/év értéket is.

A radioaktív hulladékokat addig kell biztonságosan elszigetelni a környezettől, amíg a spontán bomlás következtében aktivitásuk jelentéktelen mérékre nem csökken. Többnyire a felezési idő húszszorosát tekintik mértékadónak, ennyi idő alatt az aktivitás milliomod részére csökken. Ez a legtöbb hulladéknál néhány évtized alatt bekövetkezik, egy kis mennyiségnél néhány száz év, és vannak nagyon hosszú felezési idejű izotópok is. A kis aktivitású és nem túl hosszú (<30 év) felezési idejű hulladékok végleges elhelyezésére világsszerte számos jól bevált felszíni vagy felszín alatti létesítmény működik. A Püspökszilágyon működő magyar tároló közel három évtizedes problémamentes múltra tekint vissza.

A nagy aktivitású és hosszú felezési idejű hulladékok – melyek leglényegesebb részét a kiégett fűtőelemek jelentik – végleges elhelyezésére a legjobb megoldásnak a temetés tűnik néhány száz méter mélyen, stabil földtani formációkba. Egy ilyen létesítmény katonai hulladékokra már megvalósult az Egyesült Államokban, atomerőművi hulladékokra is több tárolóra készültek tervek, de tényleges kivitelezésre még sehol sem került sor. Ennek oka, hogy a kiégett fűtőelemekben néhány alkotó felezési ideje nagyon hosszú, és ezért a hulladékot 10 ezer évre, vagy még tovább kell a környezettől elszigetelni. Nagy kérdés, hogy ilyen időtartamra lehet-e létesítményekkel számolni, illetve létük nem merül-e feledésbe. Jelenleg az általános gyakorlat – amit Pakson is követünk – a kiégett fűtőelemek átmeneti tárolása, 50-100 évre, megfelelő biztonságot nyújtó létesítményekben, mialatt a végleges megoldások kialakulnak. Ennek egyik lehetősége a fűtőelemek ismételt feldolgozása, a kinyert hasadó- és tenyészanyagokat visszavezetik az energiatermelésbe, és csak a 4%-nyi maradékot kell eltemetni. Ígéretes új lehetőség a hosszú felezési idejű izotópokat neutronbesugárzással rövid felezési idejű, vagy stabil atomokká alakító transzmutáció. Az is megoldás lehet, hogy a kéreg természetes sugárzási szintjét nem növelve csak annyi aktivitást temetnek vissza, amennyit kitermeltek a hasadóanyagércekkel.

A félelmeket táplálja az is, hogy a kiégett fűtőelemekből kinyerhető plutónium felhasználható nukleáris fegyverek előállításához, így az atomerőművek előmozdítják az atomfegyverek elterjedését. A fegyvergyártásnak nem ez a legegyszerűbb és leggyorsabb útja, a fűtőelemben lévő plutónium izotóposzététele sem megfelelő, az erőművek hasadóanyag-készletének szigorú nemzetközi ellenőrzése pedig jól bevált.

Az atomfegyverek elterjedésének megakadályozására született 1968-ban az Atomsorompó Egyezmény (NPT – Non Proliferation Treaty), melyben az atomfegyverrel nem rendelkező államok lemondanak ilyen fegyverek birtoklásáról és fejlesztéséről. Ennek ellenőrzésére a részes államok a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség felügyelete alá helyezik a területükön található nukleáris anyagokat és létesítményeket, köztük az atomerőműveket is, az ellenőrzés módját szabályozza a biztosítéki egyezmény. A NAÜ ellenőreit 1997-ben

egy kiegészítő jegyzőkönyvvel a be nem jelentett tevékenységek vizsgálatára is felhatalmazták a titkos fegyverfejlesztés felderítése érdekében. Súlyosabb esetek nemzetközi szankciókat is kiválthatnak, az atomsorompó-szerződés megszegése miatt az ENSZ Biztonsági Tanácsa élt ezzel a lehetőséggel Irak és Észak-Korea esetében. Az ellenőrizhetőség érdekében az államoknak részletes nyilvántartást kell vezetni a nukleáris (és radioaktív) anyagokról, és a nemzetközi megállapodásoknak megfelelően biztosítaniuk kell a hasadó anyagok fizikai védelmét. A nukleáris fegyverfejlesztéshez használható anyagok, eszközök, technológiák és ismeretek exportjára képes országok (Nuclear Suppliers Group) együttműködést alakítottak ki a fegyverek terjedésének megakadályozására. Rendszeresen felfrissített listákat állítanak össze a kényes tételekről, ezekre engedélyezési rendszert vezettek be és a nemzetközi megállapodásokat nem vállaló államokba korlátozzák a nukleáris technológia exportját. Az újabban terjedő hasadóanyag-csempészés területén is kialakult az illetékes szervek nemzetközi együttműködése.

Érdekérvényesítés

Az energetikai megoldások megítélésének hátterében burkoltan vagy nyíltan jelentős érdekek is szerepet játszanak. Sokféle érdek érvényesítése kavarg az energetika körül, személyes törekvések, megélhetésük biztosítására törekvő szakmai (szenes, olajos, atomos, vizes stb.) „lobbik”, haszonra törekvő gazdasági társaságok, munkavállalói érdekképviselések (szakszervezetek, kamarák), piacra éhes szállítók, szavazatokra vadászó politikai pártok, nagyobb nézettségre vagy olvasottságra törő média, nyomásgyakorló szervezetek (zöldek, jogvédők, antinukleárisok stb.), befolyásra vágó szakértők stb. stb. nézetei és ütköző javaslatai között kell eligazodni. Ez nemcsak a laikus állampolgár számára nehéz feladat, hanem az illetékes döntéshozóknak is. Elég utalni az energiaipar privatizációja körül kavargó többéves, kegyetlen – gyakran becsületbe gázoló – vitákra, amelyek következtében szinte reménytelen az eligazodás a részérdekek között, és kilátástalan a társadalmi optimumot megtalálni.

Személyes érdekek

Egy demokratikus társadalom működésének legfőbb célja, hogy minél nagyobb mértékben előmozdítsa az állampolgárok jogos érdekeinek érvényesülését, az emberek jólétét, biztonságát és kényelmét. Természetesen mindenkinek az igényeit maradéktalanul nem lehet kielégíteni, hiszen az egyéni vélemények és törekvések az érdekektől és nézetektől függően nagyon eltérőek lehetnek. Erre bőszeges példákat lehet találni az energetikában is. Egy új ener-

giaellátó vezetéktől egyesek a szolgáltatás biztonságának és minőségének javulását várják, mások viszont veszélyek megjelenésétől, környezeti ártalmaktól, birtokháborítástól tartanak. Egy erőműépítéstől sokan munkaalkalmat, a település fellendülését és az infrastruktúra javulását remélik, de lesznek aggódók a környezetszennyezés, a zavaró hatások, a tájkép változása, a betelepülő idegenek miatt is.

Az emberek magatartását a legerősebben személyük és családjuk életbiztonságának és egészségének veszélyeztetése motiválja. Az energetika területén aktív ellenzést gerjesztenek a veszélyes hatások, valamint a kényszerűen elviselt környezeti kibocsátások, beleértve a hulladékok elhelyezését is. Természetesen a vagyonsbiztonság sem közömbös, nemcsak a közvetlen károk váltanak ki reakciót, hanem a terület használhatóságának korlátozódásából, a térség vonzerejének csökkenéséből, az ingatlanok leértékelődéséből fakadó anyagi veszteség is, és irritál a kiszolgáltatottság érzése az ellátóvállalatok természetes monopóliuma vagy gazdasági erőfölénye miatt is.

Az érdekérvényesítés lehetőségét korlátozza, hogy az egyéni érdekek gyakran ütköznek a közösségi érdekekkel, a gazdasági lehetőségek korlátot szabnak az igények kielégíthetőségének, a különféle érdekcsoportok tényleges erőviszonyai deformálják a mozgásteret. Ezek a körülmények az energetika területén nagyon sok embert érintenek, ezért a lakosság érdekeinek védelméhez állami szerepvállalásra is szükség van. Ez elsősorban az energiaellátásban szerepet játszó vállalatok működését szabályozó jogszabályokban, valamint azok teljesülését ellenőrző hatóságok tevékenységében érvényesül. De ezen túlmenően az egész államapparátus fontos küldetése az örködés a személyiségi jogok és a jogos érdekek érvényesülése felett. Ennek lényeges tényezője az energiaipari vállalatok működésével érintett közösségek beleszólási lehetőségének biztosítása a döntésekbe.

Nem könnyű a szétartó érdekek összerendezése, és egy optimális többségi vélemény kialakítása. A közhangulatot gyakran nem a valós érvek, hanem érzelmek és indulatok befolyásolják. A közvélemény-formálásban nagy befolyása van kisebb településeken a helyi értelmiségnek (polgármester, tanító, orvos, pap), országos vonatkozásban a közszereplőknek (politikusok, államférfiak, művészek, tudósok, sportolók), és mindenütt a médianak.

Az egyéni és a közérdek ütközéséből származó feszültségek mélyén sokszor morális dilemmák húzódnak meg. Mennyire van joga a társadalomnak arra, hogy korlátozza az egyént érdekeinek védelmében, életkörülményeinek alakításában, személyiségjogainak érvényesítésében, vagy hogy kockázatok vállalására kényszerítse? A jól kialakított közösségi érdek az egyéni érdekek eredőjének optima, ennek érvényesítéséhez azonban a társadalom személyes lemondást vagy áldozatvállalást kívánhat meg egyesektől. Ám hol ér véget az egyén joga, hogy érdekeit érvényesítse a társadalom érdekeivel szemben? A probléma feloldására nincs általános recept, a mértékadó arányok kialakítá-

sa politikai feladat, a társadalom szervezetségének, gazdasági erejének és a demokrácia szerepének függvényében. Minél erősebb a politikai vezetés hatalmi helyzete, annál nehezebb a személyes érdekek érvényesítése, és fordítva a demokratikus módszerek megkönnyítik azt. A jelenlegi magyar viszonyokat az jellemzi, hogy az erős pozícióban levők érdekeiket erőszakosan és kíméletlenül képviselik. Ez az energetikában például abban is megnyilvánul, hogy sokan magukat és másokat veszélyeztetve figyelmen kívül hagyják a balesetvédelmi és környezetvédelmi előírásokat, vagy hogy az állampolgárokat valós érdekeikkel ellentétes állásfoglalásra presszionálják.

Sajnos a hatalom közelében nem kizárt, hogy befolyásos személyek egyéni érdekeiket is érvényesíteni tudják, de az átlagembernek csak valamilyen szervezet (politikai, érdekvédelmi, tömegtájékoztatási) révén van erre kilátása. Miután a szervezetek ereje támogatottságuk függvénye, vetélkedés folyik az emberek megnyeréséért. Ennek eszközei és módszerei nem mindig feddhetetlenek, ezért nem biztos, hogy a kevésbé tájékozott személyek valós érdekeik képviselőibe helyezik a bizalmukat – az érdekérvényesítés deformálódhat. Az sem biztos, hogy az egyének egyáltalán felismerik valós érdeküket, és nem becsülik többre a rövid távú anyagi hasznot a tartós előnyöknél.

A települések érdekei

A regionális politika legfontosabb célkitűzése az adott település vagy vidék optimális fejlődése és az ott élők boldogulása. Munkahelyteremtés, környezet- és egészségvédelem, infrastruktúrafejlesztés, kellemes lakáskörülmények és hasonló igények befolyásolják az önkormányzatok törekvéseit. Ezek a kérdések hangszerelik a lokális-regionális politizálást is, ami sikeres érdekérvényesítés esetén betagozódik a pártok országos politikai vonalvezetésébe is.

Az energiaellátó rendszerek az egész országot behálózzák, alig akad olyan település, melyben ne lenne található valamilyen termelő vagy szolgáltató részlegük. A munkalehetőségek szempontjából különösen fontos, hogy ezek nagy része vidéken található, gyakran más ipari munkalehetőséggel nem is rendelkező településeken. A tevékenység színvonala és szolgáltatói jellege, a vállalat anyagi ereje, a munkavállalók felkészültsége kitüntetett szerephez juttatják a vállalatokat a kisebb települések életében. Erősíti a vállalatok befolyását, hogy sok képviselőjük (kirendeltségvezetők, kútkezelők, mérőleolvasók, pénzbeszedők, hibaelhárítók stb.) közvetlen kapcsolatban áll a lakossággal. Kis településeken élő kvalifikált munkavállalók igényesebb fogyasztói szokásaikkal és magatartásformáikkal húzó hatást fejtenek ki környezetükre, előmozdítva a település szellemi és kulturális fejlődését.

A tervgazdaságban kivételesen bőséges anyagi forrásaikból az energetika nagy termelővállalatai – bányák, erőművek, kőolajfinomítók, elosztó vállala-

latok – betöltötték a térség mecénásának szerepét, támogatva az egészségügyet, a sportot, az oktatást, a kultúrát, a hitéletet stb. Az energiaipari vállalatok azért voltak érdekeltek a település szellemi és anyagi infrastruktúrájának fejlesztésében, hogy vonzó környezetet biztosítsanak saját képzett és begyakorlott munkavállalóik megtartásához. Az anyagi és szellemi infrastruktúra korszerűsítésével jelentősen hozzájárultak a környező települések felemelkedéséhez. A jó minőségű közlekedés, víz- és csatornarendszer, energiaellátás, hírközlés nem csupán a munkavállalók komfortérzetét javította, hanem egyben a település anyagi felemelkedését és gazdasági vonzerejét is előmozdította. A kikapcsolódás és regenerálódás lehetőségei (kulturális, sport és rekreációs létesítmények), az egészségügyi ellátás, a gyermekintézmények, a továbbképzés nyújtotta előnyök a munkavállalókon és családjukon túlmenően az egész település életkörülményeire kihatottak. Számos városunk köszönhetette fellendülését energiaiparoknak, például Tatabánya, Paks, Dorog, Tiszapalkonya, Szászhalmobatta stb. A munkavállalókat vagy a környező településekből szerződtették, vagy oda települtek le, megindítva a lakosság ártéregződését, igényesebbé válását, megnövelve a térség vonzerejét.

Az a kor, amikor az energetika vállalatai voltak a térség kegyurai, finanszírozva a templomépítéstől a sportklubokig és a bölcsődéktől a tűzoltóságig minden közösségi szükségletet, véget ért. A piaci verseny nyomása a költséggazdálkodásra visszavetette, a bajba jutott vállalatoknál meg is szüntette a patronálási lehetőségeket. A hatékony gazdálkodás kényszere nem viseli el a mecénási szerepet, mert áldozni csak olyan tevékenységekre lehet, amelyek valamilyen módon előmozdítják a vállalat sikerét. A privatizált vállalatok új tulajdonosainak érdekeltsége is ezt az irányzatot erősítette. A szénbányák csődje, majd bezárása nyomán közintézmények sorát kellett felszámolni, mindez a munkanélküliséggel tetézve a bányavárosok és bányászfalvak katasztrofális elszegényedéséhez és leépüléséhez vezetett.

A közösségi szükségletek bizonyos mértékű támogatását azonban a megváltozott körülmények között ma is vállalniuk kell a vállalatoknak. Az energiaipar vállalatai egyrészt a helyi adókkal járulnak hozzá környezetük fejlesztéséhez, másrészt a finanszírozás új, szerényebb formája jelent meg, a vállalatok érdekében álló tevékenységek szponzorálása. Ennek a települések együttműködési készségének erősítése is célja, mert a vállalatoknak – zavartalan működésükhöz – nagyon fontos a jó kapcsolat a településsel, illetve annak lakosságával. Az energiaellátás szolgáltató jellege, valamint a közvetlen kapcsolat a lakosság széles rétegeivel megkívánja a fogyasztók érdekeinek figyelembevételét. A stabil üzletpolitika feltétele, hogy a vállalatok súlyt helyezzenek a közvélemény megnyerésére is, amibe beletartozik a kooperatív kapcsolat a hatóságokkal és önkormányzatokkal, és beletartozik olyan, az együttműködést erősítő nem energetikai feladatok felvállalása, mint a településfejlesztés, az infrastruktúra bővítése, a közintézmények felkarolása, az

iparfejlesztés támogatása, szociális feszültségek enyhítése (például a tartós foglalkoztatás, a fizetésképtelen fogyasztók támogatása) stb.

A településeknek egyrészt nagyon fontos a munkaalkalmak teremtése. Másrészt anyagi hasznuk származik a létesítményekből az iparüzési adó, a környezethasználati díj, a kereskedelem fellendülése, az infrastruktúra javulása és különféle szponzorálások révén. Ezen előnyöket főleg a szegényebb településeken értékelik nagyra, módosabb településeknél gyakran más érdekek (tisztta környezet, idegenforgalom, termékeik márkanéve, táj vonzereje) nagyobb súllyal esnek latba, és ha ez félelmekkel párosul, kialakulhat az energetikai tevékenységet ellenző többség. Az érdekek ilyen ütközése a leggyakrabban energetikai létesítmények építésének vagy működésének engedélyezése körül bontakozódik ki. A többségi vélemény perdöntő, minden településnek szuverén joga meghatározni, hogy területén milyen létesítmények működéséhez járul hozzá. Az önkormányzatok energiapolitikai szerepe nemcsak az engedélyezési hatáskör révén fog nőni, hanem a helyi energiaforrások kiaknázási koncepcióinak kialakításával is.

Előfordul, hogy egy kisebb közösség (település, városrész, néhány falut felölelő régió) nem tartja kívánatosnak olyan létesítmények – például közlekedési útvonalak, energiaszállító vezetékek, veszélyes üzemek, hulladéklerakók – telepítését vagy működésének fenntartását, melyek léte magasabbrendű, akár országos érdek. A példa azonban ragadós, kifejlődhet az amerikai zsargonban „NIMBY”-nek (not in my backyard, ne az én hátsó kertemben) nevezett effektus. Konfliktus keletkezik, ha a kérdéses létesítményt minden alkalmas település (vagy az egyetlen alkalmas település) elutasítja, mert valahol vezetni kell a nyomvonalat, valahová telepíteni kell erőművet vagy radioaktív hulladéktárolót. Van-e módja a társadalomnak jogi vagy adminisztratív eszközök alkalmazásával hatalmi úton felülbírálni a település(ek) döntését, ha az ütközik az állami társadalmi érdekekkel, és kényszeríteni a létesítmény befogadására? Elvileg jogi vagy adminisztratív eszközökkel kényszeríteni lehet az ellenkező települést, hogy vesse alá magát a nagyobb közösség érdekének, de ezt egy demokratikus társadalom erkölcsi érzéke aligha viseli el. A legvonzóbb kiút a megegyezés az illetékes közösséggel a létesítmény befogadására, az érdekek figyelembevételével. Az egész társadalom érdekében vállalt többletkockázatért nyújtott kompenzáció – például munkaalkalmak biztosítása, az infrastruktúra fejlesztése, kártalanítás, részesedés a nyereségből – tehát valamilyen tényleges anyagi vagy erkölcsi hátrány ellensúlyozása, ezért a kompenzációt korrupciónak minősítő morális aggályok nem indokoltak.

Ha nem sikerül megegyezni, el kell tekinteni a vitatott létesítmény megvalósításától vagy üzemeltetésétől. Nem építenek atomerőművet, másfelé vezetik az autópályát, a környezetszennyező üzemet leállítják, nem kötik be a földgázt, a veszélyes hulladékot a keletkezés helyén gyűjtik stb. Ez a megoldás rendszerint drágább, néha társadalmi veszélyessége is nagyobb, de a

vita nyugvópontra jut, a társadalom – az érintett települést is beleértve – megnyugszik.

Nehezen uralható helyzet alakul ki, ha a terület szerint illetékes település hajlandó befogadni a vitatott létesítményt, de a szomszédos települések kifogásolják ezt a döntést. Jogos a kifogás, ha a hatástanulmány szerint a szomszéd érintett, ilyenkor azonos elbírálást érdemel a területileg illetékes településsel. Ellenkező esetben jogilag az illetékes település, valamint a mértékadó hatóság döntése elegendő, és kívülállóknak abba nincs beleszólása. A társadalmi igazságérzet mégis azt kívánja meg, hogy a közvetlen környezetben élőkkel valamiféle megállapodás jöjjön létre, esetleg anyagi érdekeltséggel (a radioaktív hulladék elhelyezésével kapcsolatban információkat terjesztő társulást alakítottak). Egy esetleges kompenzáció azonban nehezítheti is ezt a kibontakozást, mert problematikus, hogyan lehet az igénylők körének határát megvonni (például egyre nő a Mátrai Erőmű környezetszennyezési bírságából részese-dést kérő települések száma).

A nagy horderejű kérdésekben megjelennek a nagyobb térség regionális érdekei is. Borsod-Abaúj-Zemplén megye a munkahelyek teremtése érdekében erősen lobbizik a bükkábrányi ligniterőmű létesítéséért, Tolna – jövedelmeinek megőrzésére törekedve – Paks bővítését pártolja, jóformán minden szénerőművünk rekonstrukciós törekvéseit támogatja az érintett megye, bízván a létszámleépítés elkerülésében. Egy-egy nagyberuházás esetében a változatok kiválasztása és a telephely kijelölése körül a háttérben működésbe lépnek különböző politikai és gazdasági erők. A kijárást a munkahelyteremtésért ösztönözte a tapasztalat egyes iparok (szénbányászat, kohászat) visszafejlesztése nyomán munkanélküliséggel, szegénységgel, devianciák terjedésével küszködő válságövezetek kialakulásáról. A válságövezetekben megindul a lakosság szociális átstrukturálódása, csökken a közösség teherviselő képessége, romlik az infrastrukturális ellátottság és az épületek állaga, a környék elhanyagolttá válik, romlik a közbiztonság, megkezdődik a települések lepusztulása. Az ilyen térségek a foglalkoztatás érdekében elnézőbbek a kockázatokkal kapcsolatban, viszont a jómódú területekről még a veszélytelen tevékenységeket is kiszorítják, főleg ha az befolyásos személyiségeket irritál.

A működő létesítmények elleni tiltakozást elvileg rendezni lehet az érvényes jogszabályok alapján, de a jogi eljárás helyett az együttélést ilyenkor is jobban szolgálja a megegyezés. Segíti a konfliktusok levezetését, ha biztosítják a kifogásolt tevékenység társadalmi ellenőrzését.

Gazdasági érdekek

Az érdekháló legerősebb szálait a gazdaság alkotja. A piacgazdaság kiteljesedése az energiaellátásban is versenyt eredményezett. A korábban gyakran

emlegetett, jelentős anyagi erővel és befolyással rendelkező szakmai lobbik szétestek, és a gazdasági élet főszereplőivé a vállalatok léptek elő. A privatizáció következtében jó néhány energetikai vállalatunk olyan nagy külföldi társaságok tulajdonába került, amelyek anyaországukban is jelentős tényezők. Ezek kifinomult módszerekkel, de következetesen és határozottan képviselik érdekeiket, nemigen viselve el beleszólást üzletpolitikájukba. Az ilyen vállalatok tevékenységét lényegében csak a jogszabályokban rögzített keretek között lehet kívülről befolyásolni. Ha a hazai gazdasági klímát nem tartják elég vonzóknak, rejtve maradt utakon tőkéjük repatriálásának is megtalálják a módját. A kívülállók előtt rejtve maradnak a magyarországi vállalat szakmai és gazdasági kapcsolatai külföldi anyavállalatával, valamint annak tulajdonosi érdekeltségeivel külföldön, ami nagy mozgási szabadságot biztosít e vállalatoknak. Ez nemcsak a pénzmozgásokat, a megrendeléseket és a műszaki döntéseket érintheti, hanem az európai piac kialakulása után az energiaáramlásokat is, például az anyavállalat kapacitásainak kihasználására vagy olcsó erőforrásokkal való ellátása érdekében. Energiaipari vállalataink szinte észrevétlenül hatalmas holdingok (VIAG+VEBA, Vivendi, RWE+VEW, EDF International stb.) tulajdonába kerültek, nagy kérdés, hogy e multinacionális mamutok mennyiben fognak eleget tenni az EU liberalizált piaci elképzeléseinek. Nagyobb befolyást lehet érvényesíteni a részben állami tulajdonban maradt társaságokra, melyek irányító testületeiben az állam képviselői is helyet foglalnak, a többségi állami tulajdon pedig kizárólagos szerepet biztosít.

Ugyan a vállalatok alapvető célja a nagyobb nyereség, a piacnövelés és tevékenységük bővítése, de emellett – mint emberekkel napi kapcsolatban lévő szolgáltatóknak – fontos az imázs is az emberek érdekeit, szükségleteit szolgáló szerepükről, a szimpátia megnyerésére. A piac bővítéséért, az értékesítés növelése érdekében megnő a marketing szerepe, fokozódik a kapcsolattartás jelentősége a fogyasztókkal, illetve vevőkkel, a vállalati politika ismertetésére, a szolgáltatások bemutatására. A forgalmat növelő megoldások – például villamos hajtású vagy földgázüzemű autók, újfajta szolgáltatásokat nyújtó háztartási készülékek – fejlesztésének támogatása is belefér a marketingbe. A tőkeerős multinacionális cégek nagy súlyt fektetnek arra, hogy felkészüljenek a jövőbeli lehetőségekre is. A „tisztaszén-technológiák” K+F-programjainak többségét a nagy kőolajipari társaságok bonyolítják, a megújuló energiahasznosítás fejlesztésében a villamos energetikai vállalatok járnak az élen, a hidrogéngazdaság megalapozásáért a szénhidrogénipar teszi a legtöbbet.

A gazdaság szereplői érdekeik érvényesítéséhez keresik a hatalom támogatását, az együttműködés lehetőségeit. A nagyvállalatoknak kifinomult technikája van a politikusok és a döntéshozók megnyerésére – kapcsolatok és barátságok teremtése, hasznos információk szolgáltatása, a személyes karrier elősegítése, szívességek és anyagi juttatások példái a sokszínű eszközrendszernek. A nagy korporációk – különösen külföldi piacszerzésnél – az állami

szervek támogatására is számíthatnak, állami garanciák, kormányhitelek, a gazdasági diplomácia, a külképviseletek imázsteremtése révén, jelentős ügyekben gyakran az ország legmagasabb rangú vezetői is szerepet vállalnak az érdekérvényesítésben.

Figyelemre méltó változás következett be a gazdasági szféra és a politikai hatalom hazai kapcsolatrendszerében. Míg régen érdekeik érvényesítésére a szakmai lobbik minél erősebb képviselőt elérésére törekedtek a döntéshozó politikai testületekben, addig most a politika igyekszik híveit a társaságok irányító testületeibe bejuttatni. Eltekintve e személyi juttatások elkötelezettségét erősítő hatásától, a politika ilyen módon egyrészt befolyásolni tudja a vállalati magatartást, másrészt nyílt vagy burkolt anyagi támogatást tud szerezni politikai céljaihoz.

Az áttérés a piacgazdaságra megváltoztatta a munkaerő-foglalkoztatási politikát is. Az állami tulajdonú, monopolisztikus helyzetű vállalatok költség- és létszámgazdálkodása meglehetősen liberális volt, nagy belső tartalékokkal. A piacgazdaság sokkal feszelesebb gazdálkodást kényszerít ki, a költségcsökkentés fontos eszköze a létszámleépítés, amire jóformán minden privatizált energetikai vállalatnál sor került. Az energetikai vállalatok erős nyomást gyakorolnak a beszállító- és szolgáltatóvállalatoknak teljesített kifizetések visszaszorítására is, ami ezen vállalatoknál is létszámcsökkentéshez vezet.

A költséggazdálkodás racionalizálása más tekintetben is a csökkentés irányába hat, például a kapacitástartalékok, a karbantartás, a pótlólagos beruházások terén. Állami felügyeletre van szükség, hogy ez ne menjen az ellátásbiztonság (például erőmű- és vezetéképítés), a minőség (például hibaelhárítás, szolgáltatás színvonala), a biztonság (például nukleáris biztonságnövelés, környezetszennyezés) és más társadalmi követelmények rovására.

Érdekérvényesítő szervezetek

Míg a regionális érdekérvényesítés többnyire konkrét létesítményekhez kapcsolódik, az érdekvédelmi szervezetek tevékenysége rendszerint általánosabb és tartósan napirenden lévő ügyeket érint. Sokféle szerveződés sorolható ide: a munkavállalók szakszervezetei, a munkaadók képviselői szervezetei, kamarák, szakmai szövetségek, társadalmi egyesületek, környezetvédelmi, egészségügyi, szociális mozgalmak, célorientált szerveződések (például a Duna-kör) stb. E szervezetek rendeltetésüknek megfelelően a képviselt tagság érdekeinek vagy törekvéseinek érvényesítésében részrehajlók, nehezen bírhatók rá az ellenvélemények mérlegelésére. Egyesek fellépése nagyon türelmetlen – a Duna-kör például hazaárulóknak minősítette a más véleményen lévőket, papírtigrisnek deklarálta a szlovák elterelési szándékot –, sőt militáns mozgalmak is akadnak (például Greenpeace). Természetesen a szervezetek

súlya nagyon eltérő, taglétszámuktól, anyagi erejüktől és a képviselt ügyek jellegétől függően.

A piacgazdaságban megnőtt a dolgozók érdekvédelmének jelentősége. A szakszervezeti tagság erősen lecsökkent, különösen a kis cégeknél és a külföldi tulajdonban lévő vállalatoknál. A szakszervezetek a legtöbb eredményt a munkafeltételek rendezésénél tudják felmutatni. Gyakran alakulnak ki szenvedélyes viták a bérek és juttatások körül, az érdekegyeztetés ezekről a kérdésekről nem mindig sikeres, mert az igények keresztezik a munkaadók érdekeit és az állami gazdaságpolitika törekvéseit. A munkavállalói érdekvédekezésben mind gyakrabban jelenik meg a sztrájk is, de a vezetékes energiaszolgáltatásban, mint létfontosságú tevékenységben, a törvény korlátozza a sztrájkjogot egy „elégős szolgáltatás” biztosításának követelményével. Arra is kell gondolni, hogy a figyelmet megosztó szervezkedés, az ezzel együtt járó zaklatott légkör az emberi hibák, tévedések, rossz döntések melegágya, aminek kritikus feladatokat ellátó embereknél beláthatatlan következményei lehetnek. Ezért kijelölték azokat a nélkülözhetetlen személyeket, akik nem sztrájkolhatnak, amiktől viszont a „nélkülözhetők” bizonytalanná válnak munkaviszonyuk tartósságában. A munkáltatói és munkavállalói érdekek polarizálódása csökkenti a szolidaritást a vállalattal, és azt néha a politikai érvényesülés szándéka is gyengíti. Kényes területeken (például atomerőmű) ez a biztonság rovására mehet.

A munkahelyek megőrzésében a szakszervezetek csak átmeneti sikereket tudnak elérni (például a bányász szakszervezet harca a bányabezárások késleltetéseért), mert a vállalatoknál a költségek csökkentésére szorító verseny kikényszeríti a létszámcsökkentést. A tapasztalatok szerint a külföldi tulajdonosok kevésbé toleránsak a munkavállalók érdekeivel kapcsolatban. Némileg enyhítik ezt a feszültséget az állam vagy az önkormányzatok munkahelyteremtő akciói. A villamosenergia-iparban sikerült a privatizációs bevételekből elkülönített alap létesítését kiharcolni a leépített munkavállalók segélyezésére. A szénbányászat leépítésénél nagy siker, hogy tíz év alatt különösebb konfliktusok nélkül a bányászlétszámot a tizedére csökkentették, nem utolsósorban a szakszervezet által kikényszerített körütekintő szociálpolitikai intézkedéseknek köszönhetően.

Az érdekek szövetvényes hálójának néhány szálát politikai tényezők alkotják. A politikai szervezetek fő célja a hatalom megszerzése vagy megőrzése, ami a szavazóbázison múlik. A szavazatszerzéshez hasznos eszköz meghirdetni az emberek egészségének védelmét, kedvező életfeltételek biztosítását, a környezet védelmét, a fellépést a veszélyek ellen, ha azok a figyelem előterében vannak. A pártok óvakodnak olyan ügyek felvállalásától, amelyek szavazatok vesztesével fenyegetnek, például amelyek környezetszennyező vagy egészségkárosító hatása körül társadalmi vita bontakozott ki. Különösen érvényes ez a választások előtti időszakban, ezért az energetika neuralgikus kérdéseinek képviselőit ritkán vállalkoznak ebben az időszakban. Jó néhány

energetikai elképzelés vált ilyen körülmények áldozatává (például vízerőmű építése, atomerőművi hulladék elhelyezése).

Természetes, hogy az energetika problémái a politikában is megjelentek, a politikai csatározások nemegyszer energetikai kérdések körül zajlanak. Az energiaipari vállalatok privatizációjának ellentmondásai és anomáliái a pártvitákban is tükröződtek, az egyik oldal a követett gyakorlat előnyeit igazolva, a másik a hibákra koncentrálna igyekezett népszerűségét növelni. Gyakran bontakoztak ki parlamenti és sajtóviták az energiapolitika átfogó, valamint vállalati döntései körül. Az energiaárak emelése, a csoportos elbocsátások, az átszervezések, a munkahelyi viták, a szolgáltatás zavarai hálás témái a politikai konfrontációnak is. Tanulságos, hogy a közhangulat nyomására, vagy társadalmi konfliktusoktól félve a kormányzat nemegyszer kényszerült elvszerű megoldások helyett rossz döntésekre (például rekonstrukciós program öreg szénerőművekre, a Bős-Nagymaros körüli huza-vona, szénbányák integrálása, ellentétes döntések az uránbánya bezárásáról).

A pártoknak anyagi és szellemi támogatásra is szükségük van. Ellentételként kénytelenek támogatóik érdekeinek képviselését is felvállalni. Az erőviszonyoktól függően a nagyipar, a pénzügyi körök, a zöldek, a társadalmi rétegek szervezetei, a területi régiók, az ideológiai intézmények stb. juthatnak érdekérvényesítéshez a hatalmon levő párt(ok) útján. Nehéz elhatárolni, hogy az aktuális döntésekben hol ér véget a valós társadalmi érdek képviselése és hol kezdődik a politikai taktika. E tekintetben örök mementó az eredetileg politikai erőpróbanak szánt 1978. évi osztrák népszavazás, amely 50,47:49,53 arányban elvetette a már teljesen felépült atomerőmű üzembe helyezését. A szavazást a kormányellenes nyugati tartományok döntötték el, amelyek sokkal közelebb vannak a szélfelőli oldalon működő svájci atomerőművekhez, mint a szavazás tárgyát képezőhöz. Ennek azóta is érvényesülő következménye Ausztria önigazoló harcos antinukleáris politikája.

A politika nemcsak az érdekek képviselőjévé, hanem azok foglyává is válhat. Különösen közhangulat-alakító ügyek vezethetnek ilyen szituációhoz: a szénbányászok tömeges fellépése a bányabezárások ellen, nyugtalanság a hulladékelhelyezés miatt, nagy létszámú iparágak sztrájkja stb. A politikai mozgáster korlátai nehezen ellensúlyozható nyomást jelentenek a döntéshozókra, amit gyakran a döntés elodázásával hidálnak át. Ám a halasztás is a döntés egy – többnyire jelentős anyagi veszteséggel járó – módja. A közhangulat romlásától féltő politikai vezetés kényszerhelyzete nemcsak az optimumtól eltérő kompromisszumra vezethet, hanem rossz döntést is kikényszeríthet. Az amerikai politikai gyakorlatban az elodázást „NIMTO”-effektusként (not in my turn of office, ne az én hivatali ciklusomban) is emlegetik. Valamennyi hazai politikai pártunk például nagy ívben elkerüli az állásfoglalást az atomerőművi kérdésekről.

A politikai kényszer tipikus példája a Bős-Nagymaros vízlépcsőrendszer ügye. Nagymaros ellenzése a rendszerváltás előtt a politikai ellenzékiég szim-

bólumává vált, a hatalom elvesztésétől féltő vezetés eleget tett a létesítmény ellenzők kívánságának. A rendszerváltás első, magabiztos lendülete a Bőst is magában foglaló teljes vízerőműrendszer megvalósításának egyoldalú megakadályozását nemzeti üggyé léptette elő. A magyar lehetőségeket erősen túlbecsülő – sok vonatkozásban nacionalista – felfogást törvényekbe foglalták. A kormány a szlovák elkötelezettséget alábecsülő politikát követett, miközben Szlovákia megépítette és üzembe helyezte a bősi erőművet. Hiába teremtette meg a Hágai Nemzetközi Bíróság a kompromisszum lehetőségét, a szerencsétlen országgyűlési határozatokkal és néhány szerveződés hangulatkeltésével bekorlátozott magyar mozgástérben nem sikerült reális kiutat találni a problémák megoldására és a nemzetközi bonyodalmak elkerülésére. Mindez nekünk súlyos anyagi, környezeti, belpolitikai és nemzetközi károkat okozott.

Meglepően intenzívvé vált a szakmai érdekképviselés, különösen a privatizáció kérdésében. Egyesületek és társaságok, bizottságok és vezető szakemberek szálltak vitába a nem mindenben átgondolt magánosítás módjával. Az ellenvéleményeket az állami szerepvállalás visszaszorulása, az ellátási felelősség csökkenése, a hazai értelmiség háttérbeszorulása, a magyar érdekérvényesítés gyengülése váltotta ki, és nagyon megoszlóak a nézetek a gazdasági konzekvenciák körül is. Az energetika nagy kérdőjele, hogyan fogja befolyásolni az ellátás biztonságát és költségét a privatizáció és egyes szektorokban a külföldi tulajdon túlnyomó mértéke. Erre a szenvedélyes politikai vitákat kiváltó kérdésre a választ csak jó néhány év múlva fogjuk megkapni.

Az ütköző érdekek között többnyire a szakmai intézményektől igénylik a mértékadó véleményt. Állásfoglalásuk valóban vitathatatlan, amíg az a tudomány törvényeinek érvényességi területén belül mozog. E területen kívül a szakértők tapasztalatára és ítélőképességére alapuló szakvélemények lehetnek nagyon meggyőzőek, de azokat mégsem lehet tudományosan bizonyítottnak tekinteni. Szubjektív vélemény, sejtés, prognózis nem válik tudománnyá, bármilyen tekintélyes tudós képviseli is azt. Egy szakvélemény akkor kompetens, ha abban elkülönül a tudományosan megalapozottól a szakmailag vélelmezett érvelés, rámutatva, hogy hol ér véget a tudományos bizonyítás, mi bizonytalan és mi feltételezés. Sok zavar származik abból, hogy a szakvéleményekből nem tűnik ki ezek elhatárolása és nem egyértelmű, mi a személyes vélemény. Különösen kényes ez a kérdés a jövőre vonatkozó prognózisokkal kapcsolatban, amikről a jeles szakértők gyakran fejtenek ki véleményt. Érthetően e bizonytalan kérdésekben eltérő nézetek nyilvánulnak meg, az ebből származó viták megzavarják a közvéleményt, néha még a tudomány tekintélyét is csökkentik a nagyközönség szemében.

A társadalmi viták sodrában elmosódott a szakértelem határa. Szakértő szerepében gyakran lépnek fel alapos szakmai tudás nélkül, de nagy hangerővel és szuggesztív fellépéssel rendelkező személyek. Ez az érdemi megítélés helyett érzelmi és indulati síkra tereli át az állásfoglalást. A kompetencia tiszt-

tázása társadalmi érdek, ami senkinek a véleménynyilvánítási lehetőségét sem korlátozza, de bemutatja, hogy kinek a véleménye támaszkodik megalapozott ismeretekre. Annak a megítélése is bizonytalanná vált, hogy a szakértők közül ki tekinthető függetlennek. Sajnos a legtöbb szakértő kötődik valamilyen irányzathoz, munkáját gyakran anyagilag is támogatja valamelyik érintett vállalat vagy szervezet. Bármilyen kényes is a függetlenség vizsgálata, el nem kötelezettként csak érdekektől és előítéletektől nem befolyásolt, szervezetiileg és anyagilag független személyt vagy intézményt lehet elfogadni.

A tudomány első jelzéseit a természet regenerálódó képességének határáról, a lakosság egészségi állapotának romlásáról, a környezet visszafordíthatatlan változásának veszélyeiről még indokolatlan aggodalmaskodásnak minősítették. A közvetlenül érzékelhető, frusztráló következményeket azonban már nem lehetett figyelmen kívül hagyni. A nyugtalanságot fokozta az időnként előforduló, nagy mennyiségű veszélyes anyag kiszóródásával járó ipari katasztrófák sokkoló hatása. A jelenségekre természetesen a média is felfigyelt, a hírek komoly társadalmi aggodalmat és esetenként tiltakozó akciókat váltottak ki a fejlett országok egészségüket és környezetüket féltő lakosai között. Az 1970-es években jelentek meg a különféle zöldmozgalmak, gyakran politikai mezben – ezzel a környezetvédelem jó néhány országban a nagypolitika részévé vált. Magyarországon az érdekérvényesítés lehetőségeinek korlátai miatt a lokális lakossági fellépések csak az 1980-as évek közepén kezdtek megnyilvánulni, a zöldmozgalmak pedig csak az évtized végén jelentkeztek, a politikai ellenzékiesség burkolt megjelenítéseként (Duna-kör). Egyes környezetvédő szervezetek nemzetközivé váltak (például Greenpeace, Worldwatch) és jelentős anyagi erőre támaszkodva komoly befolyásra tettek szert.

A zöldmozgalmak egyes konkrét létesítmények ellenzésén túl átfogóbb kérdések felé is fordultak. Kezdetben az egészségre ártalmas anyagokat és a természetet károsító hatásokat vették célba. Idővel néhány nehezen áttekinthető technológia is támadásaik középpontjába került. A legszenvedélyesebb konfliktus az atomenergia hasznosítása körül bontakozott ki, de a technika más területein is kialakultak éles ellentétek: a vízerőművek és hőerőművek, a vegyészet anyagai és gyártási eljárásai, a géntechnika alkalmazása, a közlekedés egyes válfajai, a mezőgazdaság kemizálása, sőt még az információtechnika káros következményei miatt is.

A pokolba vezető út jó szándékkal van kikövezve, amikor egy energetikai létesítmény ellen meggyőződésből demonstráló polgár a jól végzett munka örömeivel hazatér, nem gondol arra, hogy követelésének teljesülése esetleg több kárt okoz, mint hasznot. Szemléletes példáját szolgáltatta ennek az a hatalmas kár, amit a Duna-kör demonstrációinak sikere okozott az országnak. Lelki ismeretünk csak akkor lehet nyugodt, hogy jó ügyért léptünk sorompóba, ha az energetika szövevényes kölcsönhatásainak ismeretében, a lehetséges megoldásokat mérlegelve alakítottuk ki véleményünket. Ez a követelmény azonban

az ellentáborra is vonatkozik, a kockázatokkal kapcsolatban van némi igazság Murphy törvényében: ha egy zavar bekövetkezhet, be is fog következni.

A hazai zöldmozgalmak közül egyedül a Duna-kör tudott jelentős lakossági támogatottságra szert tenni, nem utolsósorban politikai érzelmekre építve. A többi – nagyszámú – környezetvédő szervezet társadalmi bázisa nem jelentős, de egyes politikai pártok szívesen szerepeltetik azokat a közhangulat befolyásolására. Néhány erőtlen rendezvényük jellege inkább happening volt, mint közvélemény-formáló demonstráció. Arra azonban nincs garancia, hogy a nagy anyagi háttérrel rendelkező, erős nemzetközi nem kormányzati szervezetek (NGO) idővel nem építenek ki magyar bázist is. A mindenkori kormányzat ambivalens helyzetben van a zöldmozgalmakkal kapcsolatban, a demokrácia megköveteli a tiszteletben tartásukat, a gazdasági körülmények viszont többnyire gátolják javaslataik figyelembevételét.

Sajátos területe az érdekérvényesítésnek a közigazgatás. A különféle állami intézmények prioritása jogosítványaiknak megfelelően eltérő. Így a veszélyeket és a következményeket is más szemszögből ítéli meg a pénzügy vagy az egészségügy, mást tart fontosnak az igazságszolgáltatás, mint a kereskedelem stb. Ezek egyeztetése a kormányzatnak nem mindig sikeres feladata – a döntést a részérdekek (környezetvédelmi igények, nemzetközi érdekek és kötelezettségek, a költségvetés vagy az adópolitika szempontjai, a honvédelem igényei stb.) eltéríthetik az optimumtól.

Irodalom

- Convention on Environmental Impact Assessment in a Transboundary Context.* Espoo, 1991.
International Nuclear Safety Advisory Group: *Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants.*
IAEA, Vienna 1988.
1990 Recommendation of the ICRP. ICRP Publ. No 60, Oxford, 1991.
Safety Series Fundamentals, Safety Series Guides, Safety Series Standards, Safety Series Practices,
IAEA, Vienna.
Vajda Gy.: *Energia és társadalom.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 1975.
Vajda Gy.: *Kockázat és biztonság.* Akadémia Kiadó, Budapest, 1998.

Jogszabályok

Környezetvédelem

- 152/1995 (XII. 12) kormányrendelet a környezeti hatásvizsgálat elvégzéséhez kötött tevékenységek köréről és az ezzel kapcsolatos hatósági eljárás részletes szabályairól; módosítva a 172/1999 (XII. 6.) kormányrendelettel; 73/1996. (V. 22.) kormányrendelet a természeti, társadalmi és gazdasági környezetre jelentős hatást gyakorló erőművek létesítésének és üzembe helyezésének engedélyezéséhez szükséges községtájékoztatási, közmeghallgatási és

szakértői bizottsági eljárásról; MSZ EN ISO 14010. A környezeti audit; 20/2001. (II. 14.) kormányrendelet a környezeti hatóságvizsgálatról.
107/1995. (IX. 8.) kormányrendelet az erőművek létesítési és üzembe helyezési eljárásáról.

Fogyasztóvédelem

1997. évi CLV. törvény a fogyasztóvédelemről.
1003/1996. (XI. 29.) kormányhatározat az energiaár-emelés miatti lakossági terhek részleges ellentételezéséről; 1032/1997. (I. 17.) kormányhatározat az Energia Alapítványhoz történő csatlakozásról.
20/1998. (IV. 17.) IKIM rendelet a gáznemű vagy folyékony tüzelőanyaggal üzemelő melegvízkazánok hatások követelményeiről és megfelelőségének tanúsításáról, módosítva 3/2000. (I. 31.) GM rendelettel.
77/1999. (XII. 22.) GM rendelet a háztartási mosógépek energiafelhasználásának ismérveiről való tájékoztatásról; 78/1999. (XI. 22.) GM rendelet a háztartási elektromos szárítógépek energiafelhasználásának ismérveiről való tájékoztatásról.
MSZ EN ISO 9000-9003 Minőségirányítás és minőségbiztosítás, minőségügyi rendszerek 1994-1997.

Biztonságvédelem

79/1997. (XII. 31.) IKIM rendelet az egyes villamossági termékek biztonsági követelményeiről és az azoknak való megfelelésértékeléséről; 15/2000. (V. 3.) GM rendelet az egyes villamossági termékek ellenőrzéséről és minősítéséről szóló 8/1984. (VII. 1.) IpM rendelet módosításáról.
22/1998. (IV. 17.) IKIM rendelet egyes gázfogyasztó készülékek kialakításáról és megfelelőségének tanúsításáról, módosítva a 28/2000. (VIII. 29.) GM rendelettel; 26/2000. (VII. 28.) GM rendelet a gázszerek nyilvántartásáról.
21/1998. (IV. 17.) IKIM rendelet a gépek biztonsági követelményeiről és megfelelőségének tanúsításáról.
43/1999. (VIII. 4.) GM rendelet a Hegesztési Biztonsági Szabályzat kiadásáról szóló 31/1994. (XI. 10.) IKM rendelet módosításáról.
45/1999. (VIII. 4.) GM rendelet a Vas és Fémipari Szerelési Biztonsági Szabályzat kiadásáról szóló 31/1995. (VII. 25.) IKM rendelet módosításáról.
46/1999. (VIII. 4.) GM rendelet az Építőipari Kivitelezési Biztonsági Szabályzat kiadásáról szóló 32/1994. (XI. 10.) IKM rendelet módosításáról.
47/1999. (VIII. 4.) GM rendelet az Emelőgép Biztonsági Szabályzat kiadásáról.

Nukleáris biztonság

67/1997. (XII. 18.) IKIM rendelet a Központi Nukleáris Pénzügyi Alap működéséről és eljárásrendjéről; 240/1997. (XII. 18.) kormányrendelet a radioaktív hulladékok és kiegészítő üzemanyag elhelyezésére, valamint a nukleáris létesítmények leszerelésére kijelölt szerv létrehozásáról és tevékenységének pénzügyi forrásáról; 2414/1997. (XII. 17.) kormányhatározat a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Társaság létesítéséről.
1972. évi 9. törvényerejű rendelet a Magyar Népköztársaság és a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség közötti egyezmény a nukleáris fegyverek elterjedésének megakadályozásáról szóló szerződés szerinti biztosítékok alkalmazásáról Bécsben 1972. március 6-án aláírt egyezmény kihirdetéséről; 2077/1998. (III. 31.) kormányhatározat a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség biztosítéki rendszerének megerősítését szolgáló Kiegészítő Jegyzőkönyvről; kiegészítve az 1999. évi XC. törvénnyel.

- 39/1997. (VII. 1.) IKIM rendelet a nukleáris anyagok nyilvántartási rendszeréről, nemzetközi ellenőrzéséről és a velük kapcsolatos egyes hatósági jogkörökről; 25/1997. (VI. 18.) IKIM rendelet a radioaktív anyagok és készítmények nyilvántartásáról.
- 121/1997. (VII. 17.) kormányrendelet a nukleáris export és import engedélyezéséről.
- 17/1996. (I. 31.) kormányrendelet a talált, illetve lefoglalt radioaktív vagy nukleáris anyagokkal kapcsolatos intézkedésekről; módosítja a 122/1998. (VI. 17.) kormányrendelettel.
- Convention on Assistance in the Case of a Nuclear Accident or Radiological Emergency, Vienna, 1986; 29/1987. (VIII. 9) MT rendelet a Bécsben, 1986. szeptember 26-án aláírt, a nukleáris baleset, vagy sugaras veszélyhelyzet esetén való segítségnyújtásról szóló egyezmény kihirdetéséről.
- Convention on Early Notification of a Nuclear Accident, Vienna, 1986; 28/1987. (VIII. 9) MT rendelet a Bécsben, 1986. szeptember 26-án aláírt, a nukleáris balesetekről adandó gyors értesítésről szóló egyezmény kihirdetéséről.
- Convention on Nuclear Safety, Vienna, 1996; 98/1995. (IX. 28.) OGY határozat a nukleáris biztonságról szóló egyezmény megerősítéséről.
- Convention on the Physical Protection of Nuclear Material, Vienna, 1987; 1987. évi 8. törvényerejű rendelet a nukleáris anyagok fizikai védelméről szóló egyezmény kihirdetéséről.
- Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, Vienna, 1997; 21/1998. országgyűlési határozat a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség keretében a kiégett fűtőelemek kezelésének biztonságáról és a radioaktív hulladékok kezelésének biztonságáról létrehozott közös egyezmény megerősítéséről.
- Treaty on the Non-proliferation of Nuclear Weapons, New York, 1968; 1970. évi 12. törvényerejű rendelet az Egyesült Nemzetek Szervezete Közgyűlésének XXII. ülészakán, a nukleáris fegyverek elterjedésének megakadályozásáról szóló szerződés kihirdetéséről.
- Vienna Convention on Civil Liability for Nuclear Damage (1963); Paris Convention on Third Party Liability in the Field of Nuclear Energy (1960); 24/1990. (II. 7.) MT rendelet az atomkártól való polgári jogi felelősségről Bécsben 1963. május 21-én kelt nemzetközi egyezmény kihirdetéséről; 130/1992. (IX. 3) kormányrendelet az atomkártól való polgári jogi felelősségről szóló Bécsi Egyezmény és az atomenergia területén való polgári jogi felelősségről szóló Párizsi Egyezmény alkalmazásáról szóló, 1989. szeptember 20-án aláírt közös jegyzőkönyv kihirdetéséről; 227/1997. (XII. 10.) kormányrendelet az atomkár felelősségre vonatkozó biztosítási vagy más pénzügyi fedezet jellegéről, feltételeiről és összegéről.

Állami szerepvállalás

A rendszerváltás előtt az energiaellátás kiemelt állami feladat volt. Az ebben szerepet játszó, állami tulajdonú vállalatokat állami szervek irányították és fejlesztették, a feladatokat és a gazdálkodás kereteit az irányító szervek jelölték ki. Az energetikai iparágak legfontosabb termelési mutatóit törvénybe iktatott tervek határozták meg.

Ha nem is ilyen teljeskörűen, de sokban hasonló viszonyok jellemezték az energetika több szektorában a hagyományosan piaci viszonyok között gazdálkodó országok jelentős részét is az 1980-as évekig. Számos nyugat-európai országban államosították a szénbányákat, több ország nemzeti olaj- vagy szénhidrogén-társaságokat alapított, a vezetékes energiaellátást gyakran monopolhelyzetű állami vállalatok látták el. Érzékelteti a viszonyokat, hogy a magyar villamosenergia-rendszer szervezetének és működési módjának kialakítása az 1950-es években a francia példát követte.

Az állami tulajdonú vállalatok nehézkesek, pazarolnak az erőforrásokkal és nem elég érzékenyek a költségekre. A hatékonyság növelése érdekében az 1990-es években a fejlett tőkés országokban általános törekvéssé vált az energiapiac liberalizálása, ami szükségszerűen együtt járt az állami szerep visszaszorulásával. Véletlen, hogy a rendszerváltást követően ezzel egy időben zajlott Magyarországon a tulajdonviszonyok átrendeződése, ami a monopolhelyzetek leépülésével és egymással elvileg versenyezni képes társaságok kialakulásával járt. Az új körülmények között kiforratlan az állam szerepe is, sokan minden probléma megoldását a piactól várják, ezt az irányzatot erősíti az államapparátus is, mert így a legkisebb a reá háruló felelősség. A piac nagyon hatékony rendezőerő az energiaellátás operatív tevékenységeiben, a gazdasági, kereskedelmi, műszaki kérdésekben, azonban a kereslet és kínálat viszonyára alapuló megítélés nem mindig mértékadó. Egyrészt a mérlegelést az érdekek gyakran eltérítik az objektivitástól. Különösen érvényes ez az átmeneti időszakra, amikor a tényleges verseny feltételei csak fokozatosan alakulnak ki, előre nem mindig látható problémákkal terhelten. Másrészt a piacnak csak rövid távra van eligazító ereje, értékítélete a fejlesztési elképzelések több évtizedes időhorizontjára nem iránymutató, az energiapolitika hosszabb távra vonatkozó elképzelései más körülmények figyelembevételét követelik meg. Ezért az energiapolitika alakításában az állam nem térhet ki a szerepvállalás elől, annak összehangolása a piaci mechanizmusokkal a siker kulcsa.

Az energiapolitika az energiaellátás stratégiája. Ebbe beletartozik az energiaellátás és az energiagazdálkodás feltételrendszerének kialakítása, a jövőbeli energiaigények és a számításba vehető energiaforrások tartós összhangjának biztosítása, továbbá a társadalmi érdekek érvényesítése. Stratégiai elképzeléseket az energiaellátásban szerepet játszó nagyvállalatok is kialakítanak a saját működési területükre, de az energiapolitika formálására igazi lehetősége az államnak van, mivel látóköre átfogja az egész országot és társadalmat, és politikai felhatalmazás alapján teljeskörűen rendelkezik a szükséges eszközökkel.

Az energiapolitika egyik legfontosabb feladata az energiaellátás feltételrendszerének, a jogoknak és köteleességeknek a rendezése jogszabályokkal. Az 1990-es években a fejlett országok jogszabályalkotása az energetika területén a liberalizált piaci verseny kialakítását célozta, amitől az energiaárak csökkenését és az ellátás minőségének javulását várják. Ennek érdekében egyrészt a szabályozás csökkentésével minimalizálják az állami befolyást (dereguláció), másrészt visszaszorítják a természetes monopolhelyzetet a nagyvállalatok felbontásával és az állami tulajdon privatizációjával. Ilyen irányú átalakulásra törekszik az Európai Unió politikájával összhangban Magyarország is. A hazai privatizáció visszavonhatatlan elmozdulást eredményezett ezekben az irányokban, az energetikával kapcsolatos magyar jogszabályokban is érvényesülnek a privatizáció és dereguláció szempontjai, de a piaci viszonyok teljes körű kialakítása – szem előtt tartva csatlakozásunk követelményeit az EU-hoz – a jogszabályok további módosítását igényli.

Az energiaellátás piaci módszereinek erősítése érdekében követett deregulációt sokan úgy értelmezik, hogy az állam szerepét az elengedhetetlenül szükséges jogszabályok megalkotására kell korlátozni, az ezen túlmenő viszonyokat elrendezi a piac. Ez a szemlélet azonban figyelmen kívül hagyja, hogy a piacon csak a számszerűsíthető gazdasági érdekek érvényesíthetőek, a társadalom számos, pénzben nem kifejezhető érdeke nem. Ezeket az államnak kell képviselni, például a fogyasztóvédelmet, az ellátás biztonságát, a nemzetközi kötelezettségeket, a környezetvédelmet stb. Mindezeket a kövekezményeket egy konzisztens energiapolitikában célszerű összerendezni.

Az energiapolitika érvényesítésére az állam kezében hatásos eszköz a gazdasági szabályozás. Az eszköztár sok lehetőséget tartalmaz: adók, vámok, illetékek, bírságok megállapítása, preferenciák és diszpreferenciák alkalmazása, kedvezményes hitelek nyújtása, engedélyezési rendszer bevezetése, árszabályozás stb. Mindezen lehetőségekkel élve piacgazdaságokban is érvényesülnek állami preferenciák, például protekcionizmus (a hazai szénbányászat vagy a gyártóipar érdekében), szociálpolitika érvényesítése (munkahelyek megőrzése, elbocsátások szankcionálása, fizetéseképtelenek támogatása), energiapolitikai ösztönzés (hazai energiahordozók, illetve megújulóknak alkalmazása, kapcsolt

hőfejlesztés előmozdítása), környezetszennyezés korlátozása stb. érdekében. Az eltérítés a reális értékviszonyoktól azonban csak átmenetileg lehet hatásos, a piac idővel kikényszeríti a valós értékrend helyreállítását. Voluntarista beavatkozás a piaci mechanizmusba súlyosan megbosszulja magát: energetikai szempontból hibás döntéseket szül, gazdasági kárt okoz a társadalomnak, nem beszélve a visszás helyzetet kijátszó visszaélésekről.

Az energiapolitika alapvető rendeltetése, hogy az ország indokolt energiaszükségletének kielégítését kellő előrelátással megalapozza. Ebbe beletartozik az igények és a számításba vehető források távlatának felmérése, az energiaimport geopolitikai körülményeinek megítélése, a célszerű nemzetközi együttműködés gazdaságdiplomáciai előkészítése. A távlati elképzelésektől függ az ország optimális energiahordozó szerkezete, az erőműépítés preferenciái, az energetikán kívüli prioritások figyelembevétele (gazdaságpolitika, honvédelem, területfejlesztés, környezetvédelem, szociálpolitika, munkaerő-foglalkoztatás, nemzetközi kötelezettségek).

A távlati elképzelések kialakításához meg kell becsülni a társadalmi perspektívákat (életmód, urbanizáció, mobilitás, foglalkoztatottság stb.), a műszaki fejlődés kilátásait és a gazdaság legfontosabb jellemzőinek várható alakulását (növekedési ütem, szerkezetváltozás, életszínvonal, olajár, kamattényező, infláció stb.). A technika fejlődése különösen sok meglepetéssel fog szolgálni az új eszközök és technológiák megjelenésével. Nem lehetetlen, hogy az informatika fejlődése a vezetékes energiaellátás és a más infrastrukturális szolgáltatások szervezeti összekapcsolódására vezet, beleértve magát az információ-átvitelt is. A megújuló és a helyi energiaforrások hasznosítása is integrálódhat egy komplexebb ellátási rendszerbe.

Sok tapasztalatra és ítélőképességre van szükség az energetika helyzetét befolyásoló távlati kilátások és lehetőségek megítélésére, a politikai, társadalmi, gazdasági, műszaki, ökológiai eredetű bizonytalanságok megbecsülésére. Ebben támaszkodni lehet tudományos előrejelzésekre, nemzetközi analógiákra, politikai programokra és célkitűzésekre, állami szándékokra és tervekre, de a legfontosabb a mértékadó szakmai műhelyek ítélőképessége és kreativitása. A tekintélyes szakértők véleménye óhatatlanul szubjektív, de a tapasztalatokra alapuló szakmai ítélőképesség, előrelátás és kreativitás nem lebecsülendő érték. A személyes nézetek gyakran eltérőek, a véleménykülönbségek oldására hasznos azok ütköztetése tárgyszerű vitában.

Az energiapolitika kialakításához sok szakma ismeretanyagát kell ötvözni. Az ásványi energiahordozók felkutatásában és a lehetőségek megítélésében a földtudományok, kitermelésükben a bányászat illetékes, a technikai lehetőségek felméréséhez a fizika és a kémia ad segítséget, az energiaátalakítások technológiái a gépészet, elektrotechnika és vegyipar ismereteit igényli, a rendszerek áttekintéséhez és irányításához az információtechnikára van szükség, a fogyasztóberendezések jóformán minden alkalmazott szaktudomány ismere-

teit hasznosítják, a környezeti hatások uralásához a meteorológiától a biológiáig számos tudományág közreműködésére szükség van. A reálszféra ismereit ötvözni kell a közgazdaságtan, a jog, a szociológia fegyvertárával, az optimalizáció néha bonyolult matematikai feladvány. Mindezt a világgazdaság radikális átalakulása, a tulajdonviszonyok világméretű mobilitása és átrendeződése közepette kell megoldani, a globalizálódás erősen érinti az energiaszektor is, zajlik a meghatározó nagyvállalatok fúziója, a különféle infrastrukturális szolgáltatások integrálódása, a hagyományos értékviszonyokat új értékrend váltja fel.

Ilyen körülmények között nem könnyű feladata az államnak a társadalmi érdekek érvényesítése. Az energiaellátás mindenkit érintő jellege, befolyása a társadalom lehetőségeire, a gazdaság működésére és a magánéletre, a technológiák veszélyessége, az energetikai nagyvállalatok gazdasági ereje és hasonló körülmények indokolják, hogy a társadalom sajátos követelményeket támaszson az energiaellátás szereplőivel szemben. Beletartozik ebbe az energiaárak leszorítása egy reális minimumra, akár a versenyt korlátozó akadályok elhárításával, akár a közszolgáltatás területén hatósági árak megállapításával. Általános igény a fogyasztók érdekeinek védelme, hogy azokat a gazdasági verseny az energiaellátásban ne szorítsa háttérbe, és beletartozik a minőségbiztosítás, valamint az élet- és vagyonbiztonság megteremtése is. Az érdekek ütközése nem ritka, mivel a vállalatok saját parciális érdekeiket képviselik, ami nem mindig esik egybe a társadalom érdekeivel. Különösen így van ez a piacgazdaságba való átmenet időszakában, amikor az energiaellátás közszolgáltatásból kereskedelmi tevékenységgé válik, s a korábbi felelősséget a fogyasztók ellátásáért üzleti megállapodások váltják fel. Ennek során a vállalatokat saját érdekeik vezérlik, látószögüket is ez határozza meg. Ezek a körülmények indokolják, hogy az állam a gazdasági életben szokásnál nagyobb szerepet vállaljon a közérdek és egy átfogóbb szemlélet érvényesítésére az energiaellátásban. Nehezíti a közérdek képviselését, hogy energiaipari vállalataink külföldi tulajdonosai saját vállalati érdekeiket nyilván a lokális nemzeti érdek elé helyezik. A külföldi tulajdonosok között megtalálhatóak Európa legnagyobb energiaellátó holdingjai, melyek nagyon erős gazdasági és szakmai háttérre, valamint óriási tapasztalatra tudnak támaszkodni, aminek ellensúlyozása nem egyszerű feladat, és gazdaságdiplomáciai készséget is megkíván. A kapcsolat ugyanis nem korlátozódhat a jogalkalmazásra és a hatósági felügyeletre, mert harmonikus együttműködésre is szükség van, hogy e vállalatokat megnyerjük a hazai energiapolitika érdemi érvényesítéséhez. Társadalmi érdek megnyerésük a nem energetikai prioritások (pl. iparpolitika, munkaerő-foglalkoztatás, településpolitika) érvényesítésének, melyek között megkülönböztetett jelentősége van a környezetvédelemnek. Állami feladat az energiapolitika harmonikus összeegyeztetése az általános gazdaságpolitikával, valamint az energetikával kölcsönhatásban lévő gazdaságon kívüli követelményekkel.

módját, a háztartás gépesítettségének mértékét, vagy a saját gépkocsink és a tömegközlekedés igénybevételének arányát. Hasonló feladatok minden vállalat és intézmény tevékenységében előfordulnak, az energiaigényes technológiákat működtető nagyvállalatoknál a döntéseknek néha nagy kihatása van, például létesítenek-e saját erőművet, igényelnek-e hőszolgáltatást más vállaltól, vagy maguk állítják elő a hőt és milyen energiabázison, áttérnek-e új – energiatakarékos – technológiára stb. A tervgazdaságban regionális és országos energiagazdálkodás is folyt (tervutasítások, kiutalások, mérlegek, engedélyek, ármegállapítás stb. segítségével), a piacgazdaságban ilyen léptékű tevékenység csak kivételes körülmények között szükséges, például néhány országban alkalmazták az 1973. évi olajkrízis idején.

Az energiagazdálkodás nem igényli az állam közvetlen szerepvállalását, befolyásolását elég a piaci hatásokra bízni, azonban teljesen nem kerülhet ki az állami szervek látóköréből, mert épp piaci hatásokra előfordulhatnak az energiapolitika érvényesülését akadályozó operatív lépések. Ezt többnyire informális módszerekkel akadályozzák, aminek sokféle gyakorlata van. Egyes országokban ez a kulcsszerepet játszó vállalatok teljes körű állami tulajdonlásával biztosítják (pl. Franciaországban, Spanyolországban, Belgiumban, Görögországban), ilyenkor az irányító szerep egyszerűen valósul meg. Más országokban sokszereplős, kevert tulajdon alakult ki, részleges állami részvétellel (pl. Németországban, Svédországban, Kanadában, Hollandiában, Dániában, Finnországban), ilyenkor a szabályozással lehet befolyásolni a viszonyokat. Szövetségi államstruktúránál (USA, Kanada, Németország stb.) a regionális szempontok közvetlenebb érvényesítése érdekében a tagállamok játszanak tulajdonosi szerepet. Nemritkán az állami szervek tisztségviselőit delegálják az energiaellátás vállalatainak irányító testületeibe, ez a magyar gyakorlat is. Főleg a vezetékes energiaellátás területén gyakran az önkormányzatok gyakorolnak tulajdonosi vagy befolyásoló szerepet. Nem lebecsülendők az olyan informális eszközök sem, mint a vállalatokkal szembeni elvárások megfogalmazása, preferenciák biztosítása, állami megrendelések stb.

A múlt tapasztalatai

A magyar energiaellátás erős importfüggése miatt fokozottan ki vagyunk téve a külvilág hatásainak. Az elmúlt fél évszázadban a világpolitikai és világ gazdasági körülmények változásai szinte évtizedenként a magyar energiapolitika radikális módosítását kényszerítették ki. Tanulságos erre visszatekinteni, mert a tapasztalatok hasznosításával csökkenthetjük az előretekintés bizonytalanságait.

A 2. világháború kárainak helyreállítását követő hidegháborús időszakot a kényszerű gazdaságpolitika egészéhez hasonlóan az energiapolitikában is az

Az energetikai nagylétesítményekkel kapcsolatos döntések a hosszú élet-tartam, a nagy tőkeigény, a környezeti hatások, a gazdasági és társadalmi körülmények változékonysága miatt kockázatosak. A bizonytalanság oldását célozta az erőműépítésben – ami a legköltségesebb beruházás – a termelt áram garantált átvétele. Ennek megszüntetése nemcsak visszamenőlegesen okoz gondot, hanem a jövőt is befolyásolja, mert a tőketulajdonosok saját kockázatukra nemigen akarnak nagy beruházásokat vállalni, az erőmű-építési hajlandóság elapadt. Az erőműépítés elmaradása jelentősen kockáztatja a jövőbeli ellátásbiztonságot. A kialakult helyzetbe való belenyugvásra adott magyarázatok – nincs is szükség sok új kapacitásra, a nyugati áramkínálat olcsóbb a hazai termelésnél, az EU piaca megfelelő ellátásbiztonságot jelent számunkra is – inkább a döntéshozók felelősségének elhárítását szolgálják, mint a szükséges elhatározások elmaradásának indoklását.

Vannak feladatok, melyeket jogi, adminisztratív vagy gazdasági eszközökkel nem lehet megoldani. Az energiatudatos és energiatakarékos szemlélet kialakítása, a társadalmi részvétel a döntésekben és hasonló ügyek az állampolgárok felkészült és felelősségteljes hozzáállását, valamint aktív közreműködését igénylik. Ezért az energiapolitika eszközei között nem elhanyagolható a tudatformálás, a szükséges ismeretek oktatása az iskolákban, a színvonalas ismeretterjesztés ösztönzése, a vállalatok tárgyilagos tájékoztatási tevékenységének megkövetelése. Az állam sokat tud tenni ezen tevékenységek előmozdítására.

Míg az energiapolitika célja a tartós, stabil és a társadalom számára optimális energiaellátás biztosítása, az energiagazdálkodás tárgya az operatív tevékenységek koordinálása és racionalizálása. A társadalom az energiaellátás sokféle módjára támaszkodik, szüksége van tüzelőanyagokra, motorhajtó üzemanyagokra, villamos energiára, vezetékes gázellátásra, hordozható áramforrásokra, esetenként vezetékes hőszolgáltatásra vagy helyi energiaforrások hasznosítására stb. Az energiaellátás minden válfaja sokféle tevékenység összehangolt együttműködését követeli meg: az energiahordozók kitermelését, átalakítását és szállítását, a technológiai folyamatokhoz szükséges létesítmények és berendezések tervezését, megvalósítását és működtetését, a hulladékok elhelyezését, a környezet védelmét, és mindezek gazdasági, szervezési, kereskedelmi, jogi stb. összehangolását. E tevékenységek koordinálása is az energiagazdálkodás tárgya, azzal a rendeltetéssel, hogy a rendelkezésre álló energiahordozókat eljuttassa a fogyasztókhoz és biztosítsa azok optimális felhasználását. Az energiagazdálkodásnak kiemelt feladata az energiaköltségek minimalizálása és az energiaveszteségek csökkentése a gazdasági racionalitás keretein belül. Az energiatakarékosság hozzájárul ellátásunk stabilitásához is, mivel csökkenti szénhidrogénimportunk mértékét.

Bár nem szoktuk energiagazdálkodásnak nevezni, de elemeit saját háztartásunkban is fel lehet lelteni, például amikor mérlegeljük, hogyan lehetne csökkenteni áramfogyasztásunk költségét, amikor eldöntjük lakásunk fűtésének

módját, a háztartás gépesítettségének mértékét, vagy a saját gépkocsink és a tömegközlekedés igénybevételének arányát. Hasonló feladatok minden vállalat és intézmény tevékenységében előfordulnak, az energiaigényes technológiákat működtető nagyvállalatoknál a döntéseknek néha nagy kihatása van, például létesítenek-e saját erőművet, igényelnek-e hőszolgáltatást más vállaltól, vagy maguk állítják elő a hőt és milyen energiabázison, áttérnek-e új – energiatakarékos – technológiára stb. A tervgazdaságban regionális és országos energiagazdálkodás is folyt (tervutasítások, kiutalások, mérlegek, engedélyek, ármegállapítás stb. segítségével), a piacgazdaságban ilyen léptékű tevékenység csak kivételes körülmények között szükséges, például néhány országban alkalmazták az 1973. évi olajkrízis idején.

Az energiagazdálkodás nem igényli az állam közvetlen szerepvállalását, befolyásolását elég a piaci hatásokra bízni, azonban teljesen nem kerülhet ki az állami szervek látóköréből, mert épp piaci hatásokra előfordulhatnak az energiapolitika érvényesülését akadályozó operatív lépések. Ezt többnyire informális módszerekkel akadályozzák, aminek sokféle gyakorlata van. Egyes országokban ez a kulcsszerepet játszó vállalatok teljes körű állami tulajdonlásával biztosítják (pl. Franciaországban, Spanyolországban, Belgiumban, Görögországban), ilyenkor az irányító szerep egyszerűen valósul meg. Más országokban sokszereplős, kevert tulajdon alakult ki, részleges állami részvétellel (pl. Németországban, Svédországban, Kanadában, Hollandiában, Dániában, Finnországban), ilyenkor a szabályozással lehet befolyásolni a viszonyokat. Szövetségi államstruktúránál (USA, Kanada, Németország stb.) a regionális szempontok közvetlenebb érvényesítése érdekében a tagállamok játszanak tulajdonosi szerepet. Nemritkán az állami szervek tisztségviselőit delegálják az energiaellátás vállalatainak irányító testületeibe, ez a magyar gyakorlat is. Főleg a vezetékes energiaellátás területén gyakran az önkormányzatok gyakorolnak tulajdonosi vagy befolyásoló szerepet. Nem lebecsülendők az olyan informális eszközök sem, mint a vállalatokkal szembeni elvárások megfogalmazása, preferenciák biztosítása, állami megrendelések stb.

A múlt tapasztalatai

A magyar energiaellátás erős importfüggése miatt fokozottan ki vagyunk téve a külvilág hatásainak. Az elmúlt fél évszázadban a világpolitikai és világgazdasági körülmények változásai szinte évtizedenként a magyar energiapolitika radikális módosítását kényszerítették ki. Tanulságos erre visszatekinteni, mert a tapasztalatok hasznosításával csökkenthetjük az előretekintés bizonytalanságait.

A 2. világháború kárainak helyreállítását követő hidegháborús időszakot a kényszerű gazdaságpolitika egészéhez hasonlóan az energiapolitikában is az

autarkiaira való törekvés jellemezte. Más források híján az ellátást csak szénre lehetett alapozni, ami a gyenge minőségű hazai szén mélyműveléses bányászatainak erőltetett fejlesztését igényelte, tekintet nélkül annak költségére és kedvezőtlen következményeire (egészségi ártalmak, környezetszennyezés, vasút túlterhelése stb.). Mindent megelőzött az erőltetetten fejlesztett ipar energiaigénye, a lakossági szükségletek kielégítése háttérbe szorult. Abban az időben elképzelhetetlennek tűnt, hogy ne szénre alapuljon az ország energiaellátása a távoli jövőben is. Azonban a széntermelés gyors növelésével sem sikerült az erőltetett energiaigényes iparfejlesztés szükségletét fedezni, a krónikus szénhiány miatt akadozott az ipari termelés, a tüzelőanyag-hiány és az erőműépítés elmaradása 1952–1953-ban kritikus helyzetet okozott a villamosenergia-ellátásban is. Az esti csúcsidőszakban időnként még Budapest egyes részeit is ki kellett kapcsolni az áramszolgáltatásból, ilyenkor leálltak az üzemek, megbénult a közlekedés, megszűnt a világítás, elnémultak az akkori információáramlás fő eszközei, a rádiók. A hatalmas gazdasági kár az életkörülmények mostohaságával párosult.

Az 1960-as évek elejére nyilvánvalóvá vált, hogy mind az autarkia, mind a szén monopolhelyzete elviselhetetlen gazdasági terheket jelent. A nemzetközi helyzet enyhülésének hatására az energiaimportot többé nem tekintették szentségtörésnek, az olajbehozatal fokozatosan növekvő szerephez jutott az energiaellátásban. A szénhidrogén-tüzelés jobb hatásfoka energia- és költségmegtakarítást, egyszerűbb tüzelőberendezései olcsóbb és könnyen kezelhető létesítményeket, csővezetékes szállítása az erősen túlterhelt vasút tehermentesítését, tisztább égéstermékei a környezet terhelésének csökkenését eredményezte. A népgazdasági tervek az energiaigények dinamikus növekedésével számoltak, amit az olcsó és szinte korlátlan mennyiségben beszerezhető szovjet olaj importjával kívántak fedezni. Egy idő múlva a földgázimport lehetősége is megnyílt, tovább növelve a szénhidrogén-felhasználás eufóriáját. A távlati tervekben az olajfelhasználás előirányzata 2000-re többszöröse volt annak, ami ténylegesen bekövetkezett. Országos program szolgálta a jövő alapvető tüzelőanyagának és vegyipari alapanyagának tekintett szénhidrogének felhasználásának bővítését. Döntés született a drága és balesetveszélyes szénbányászat visszafejlesztésére, jelentősen csökkent a bányák száma, termelése és dolgozóinak létszáma, a megmaradó bányák gépesítése viszont lényegesen javította a munkafeltételeket. Az olcsó energiaellátás, a tisztább levegő, a jól szabályozható és automatizálható, korszerű tüzelőberendezések az általános technikai fejlődés ismérveivé váltak. A tüzelőberendezéseket tömegesen térítették át szénről földgázra, tüzelőolajra vagy fűtőolajra. Épültek a nagy kőolaj-finomítók, azok lepárlási maradékának eltüzelésére pedig megkezdődött a nagy szénhidrogén-erőművek építése. Az új körülmények között felmondtuk egy korábban atomerőmű létesítésére kötött szerződésünket, mivel az versenyképtelennek minősült az olajerőművel szemben. Kiépültek az energiaimportot biztosító nagy olaj-

és földgázszállító csővezetékek és villamos távvezetékek. A magyar gazdaságpolitika egyik alappillére volt az energiaigényes termékek exportja nyugatra a keletről importált olcsó energia bázisán, ami komparatív előnyhöz juttatta az országot. Ugyanakkor az energiabehozatal ellentételezése jelentős gépipari és mezőgazdasági exportot tett lehetővé keletre. A külkereskedelem bővülése felvetette az olajjal történő ellentételezés lehetőségét a fejlődő országokból, a tengeri beszállíthatóság érdekében kiépült a földközi-tengeri Koperből kiinduló Adria-vezeték. A villamosenergia-import erőteljes növelése nemcsak beruházást takarított meg, hanem a helyettesített erőművek környezetszennyezését is. Az energiasztruktúra átalakulása számottevően csökkentette a tüzelőberendezések légszennyezését, ugyanakkor a motorizáció térhódítása új típusú légszennyezés megjelenésével járt – különösen a rossz hatásfokú, szennyező keleti gépkocsitípusok miatt.

Az 1970-es években az arab olajországok fellépése váltott ki drámai helyzetet az egész világ energiaellátásában. Kezdetben a közel-keleti háború elfojtása érdekében alkalmazott szankcióik, később az olajjövendelmek újrafelosztásáért vívott küzdelmük sokszorosára növelte a kőolaj árát. Már az első akciók órákon belül súlyos ellátási válságot váltottak ki a világban, a fejlett országokban állami kényszerintézkedésekkel szabályozni kellett az ipar energiaellátását, korlátozták a gépkocsik közlekedését, egyes országokban bevezették a benzinjegyet, betiltották a hétvégi magánautózást (vagy csak rendszám szerint szelektíven engedélyezték), korlátozták a közintézmények fűtési hőmérsékletét stb. Az energiaárak ismételt megugrása gazdasági válságot indított el, ami átjárta az egész világot, meglódult az infláció, romlott az életszínvonal, Nyugat-Európában is megnőtt a munkanélküliség, annak ellenére, hogy a vendégmunkások egy részét hazaküldték. Míg az olajimportáló országok az 1970-es években fizetési mérleghiánnyal küszködtek, az exportőröknél hatalmas olajjövendelem halmozódott fel (1974-ben 20 GUSD-ról 100 GUSD-ra, ugrott), ezen „olajdollárok” olcsó hitellehetőséget teremtettek amit később a kamatok emelkedése súlyos teherré konvertált.

Erős állami beavatkozással új irányba kellett terelni az energiapolitikát az olajimport csökkentése, az ellátás függetlenségének növelése és az energiatakarékosság érdekében. Az érintett országok lényegében azonos energetikai prioritásokat jelöltek ki, ezek realizálására sokszínű adminisztratív, jogi, tudatformálási és technikafejlesztési eszköztárat alakítottak ki. Az 1970-es évek közepén úgy tűnt, hogy az olajárrobbanás, valamint ennek a világ politikai és gazdasági stabilitásának megbomlásával fenyegető kihatása világviszonylatban összerendezi az energiapolitika távlati elképzeléseit és kikényszeríti a legígéretesebb új technológiák bevezetését. Nagyléptékű fejlesztési programokat indítottak a szénhidrogének helyettesítésére, sok prognózis az olajhelyettesítő eljárások közeli áttörésében bízott, szénbázison, biomasszából vagy nem konvencionális szénhidrogén-előfordulásokból. A fejlett országokban sokat

áldoztak a szén kevésbé környezetszennyező technológiáinak kifejlesztésére (Clean Coal Technology – tisztaszén-technológia), az atomenergia és a megújuló energiafajták hasznosítására, az energetikailag hatékonyabb technológiák fejlesztésére. Egyes prognózisok a megújuló energiák gyors térhódításával, valamint 20 éven belül a fúziós és a naperőművi fejlesztések sikerével is számoltak.

A legfejlettebb országok energetikai hatékonyságuk nagyarányú javításával alkalmazkodtak a megváltozott helyzethez, és a legenergiaigényesebb gazdasági tevékenységek visszafejlesztésével viszonylag gyorsan ellensúlyozták veszteségeiket. A legsúlyosabban az olajra utalt szegény fejlődő országok sínylették meg a fejleményeket, képtelenek lévén a cserearányok romlásának ellensúlyozására, ezeket évekig elhúzódó súlyos eladósodás vetette vissza a fejlődésben. Magyarország a két szélső helyzet közötti csoportba tartozott, ahol az erőforrások szűkössége és a technikai színvonal elmaradása korlátozta az alkalmazkodás mértékét.

Az 1973. évi olajárrobbanás után még évekig az volt a hivatalos álláspont, hogy a KGST-együttműködés megóv bennünket a magas energiaárak „begyűrűzésétől”. Az olajfelhasználás tovább nőtt, folytatódtak az olajipari beruházások, bővült a szénhidrogén-bázisú erőműpark. A KGST-együttműködés azonban nem bizonyult védőernyőnek, az ország néhány éven belül a fizetési képtelenség határára sodródott. A fejlemények a magyar gazdaságot alapvetően megrázták, kiélezve annak belső feszültségeit (eladósodás, versenyképtelenség, energiaigényesség, rossz struktúra). Többéves késéssel az energiapolitika gyökeres átalakítására irányuló lázas programmódosítás következett. Adminisztratív, gazdasági és műszaki intézkedések tömege vált szükségessé az energiatakarékosság ösztönzésére, a kőolaj-felhasználás visszaszorítására. Az 1960-as évek szénhidrogén-programját rövidlátó és káros könnyelműségnek minősítették, a nem teljesen kihasznált létesítményeket (finomítók, erőművek, csővezetékek) pedig elpocsékoltnak, pénzkidobásnak. A fókuszba ismét a szén került, a széntermelés hatékonyabbá tételét célzó korábbi határozatokat felelőtlennek és kártékonynak tekintették. Ambiciózus programok (eocénprogram, liászprogram) születtek a szénbányászat reneszánszára, a szénfelhasználás növelése érdekében elkezdődött az öreg szén-erőművek elavult technikáját konzerváló rekonstrukciója. A kapkodás az erőműépítésre is áttért, sorozatos irányváltások történtek, félbehagyott beruházásokkal (bicskei erőmű, bükkábrányi bánya és erőmű). Az atomerőmű-építés elhalasztása hibás döntésnek bizonyult, a magas olajárral végzett gazdaságossági számítások egy nagyívű atomprogramot indokoltak. Az atomerőmű-építés előrehaladása kritikus kérdéssé vált, mert az ország megrendült fizetési mérlegének egyensúlyát kőolajtermék-exporttal lehetett helyrebillenteni, amit az atomerőmű villamosenergia-termelése váltott ki.

Az 1980-as éveket a világ gazdaságba való fokozatos bekapcsolódásunk jellemezte, s előtérbe kerültek a gazdaságosság szempontjai. Az ország növekvő

gazdasági nehézségei elbizonytalanították az energetika fejlesztését. Sok közgazdász az ország súlyos helyzetét arra vezette vissza, hogy a drága energetikai beruházások elvonták a tőkét a nagyobb jövedelemtermelő képességű ágazatoktól. A széntermelés fellendítését célzó programok az 1980-as években műszaki és gazdasági szempontból egyaránt kudarcot vallottak, a gazdasági követelmények előtérbe kerülése megakadályozta az ország energiaszerkezetének voluntarista átalakítását. Az egy évtizeden keresztül folytatott sorozatos átszervezésekkel és szanálásokkal sem sikerült a szénbányák versenyképességét elérni, a mélyművelés visszafejlesztése elkerülhetetlenné vált. Ennek gondját az állam a vállalati körre terhelte át azzal, hogy az 1990-es évek elején a szénerőműveket összevonta a tüzelőanyag-bázisukat jelentő bányákkal. A szénbányászat kapacitásának 95%-a, a produktív munkaerő 80%-a ment át az erőművekhez. A gyenge minőségű szenet drágán termelő bányák házassága a rossz hatásfokú, öreg és környezetszennyező erőművekkel nem bizonyult versenyképes megoldásnak. A gazdasági nehézségek nyomán a nagy beruházási terhek miatt nemcsak a szénerőmű-építés, hanem az atomerőmű-létesítés is kritika tárgyává vált. A közben apadó olajárak következtében ismét a szénhidrogének váltak vonzóvá, erősítve a jól szabályozható szénhidrogén-erőművek pozícióját is. A politikai elégedetlenség gyakran a környezetvédelem mezében nyilvánult meg, a társadalmi ellenérzés elsodorta a folyamatban levő vízerőmű-építést, a csernobili katasztrófa hatása, valamint a nukleáris biztonsággal és a hulladékok elhelyezésével kapcsolatos aggodalmak az atomerőmű-program alól húzták ki a talajt, a környezetvédelmi követelmények pedig a szénerőművi terveket elbizonytalanították. Az ellentmondásos helyzet szétzilálta a korábbi energiapolitikai elképzeléseket.

Az 1990-es években a hazai rendszerváltást és a szocialista tábor széthullását követő nagy horderejű politikai és gazdasági fejlemények az energiapolitika radikális változását is kikényszerítették. A gazdaság nagyarányú visszaesése és a nagy energiafogyasztó iparágak piacvesztése erőteljesen csökkentette az energiafelhasználást, és bizonytalanná vált az igények jövőbeli alakulása is. A korábban előírányzott energetikai nagylétesítmények időszertlenné váltak, a kisebb teljesítményű és olcsóbb megoldások kerültek előtérbe, rugalmas, adaptív energiastratégiára kellett áttérni. Az erőműrendszer fejlesztésében az igények alakulásához rugalmasan illeszthető, rövid idő alatt létesíthető gázturbinás blokkok kaptak preferenciát. A felzárkózás szándéka Európához meghatározó követelmény rangjára emelte az energetikai döntésekben a környezetvédelmet, elkerülhetetlenné téve az erősen szennyező energiahasznosító technológiák korszerűsítését. Az öreg, kis egységteljesítményű szénerőműveink sorsa is megpecsételődött, mivel gazdaságilag elviselhetetlen lenne a füstgáz-kénmentesítők utólagos beépítése, leállításuk következtében az érintett szénbányák is elvesztik fogyasztójukat. A KGST szétesése nyomán áttértünk a dollárelszámolásra, s ez az olcsó energiainportot drága áruvá változtatta, ami egész nemzetgazdaságunk

költségszintjét és versenyképességét kedvezőtlenül érintette. A FÁK országainak belső bizonytalanságai, valamint politikai és gazdasági kapcsolataink jellegének átalakulása Oroszországgal problematikusabbá tette energiainportunk egyoldalúságát, stratégiai feladattá vált ennek relációs diverzifikálása. Az Adria-vezeték – mint az olajbeszerzés útvonalának alternatívája – felértékelődött, de üzemét a jugoszláviai háborúk évekre ellehetetlenítették. Földgáz- és villamosenergia-hálózatunkat összekapcsoltuk a nyugat-európai rendszerekkel, erre célszerű törekednünk a kőolaj esetében is. Az energetikai hatékonyság javítása nagyobb hangsúlyt kapott, de sajnos az energiaracionalizálásban ma is főleg a nagy energiafelhasználó iparvállalatok érdekeltek, a kisfogyasztók kevésbé, mert a veszteségszökkentő beruházások lassan térülnek meg.

A rendszerváltás következtében az energetika politikai, társadalmi, jogi és gazdasági feltételrendszere alapvetően átalakult, az energiaellátás állami irányítását az állami szabályozás váltotta fel. Az áttérés a piacgazdaságra és az energiaipari vállalatok privatizációja lényegesen megváltoztatta az energiaellátás módját. Energiaellátásunk jellegének ezen radikális változásai egybeesnek a fejlett országokban zajló, a piaci módszerek általánossá tételét célzó privatizációs és deregulációs folyamatokkal. Nagy energetikai trösztjeink (Magyar Villamos Művek Tröszt, Országos Kőolaj- és Gázipari Tröszt, Szénbányászati Tröszt) önálló társaságokra bomlottak, a szervezeti függés és hierarchikus irányítási kapcsolatok helyébe piaci viszonyok léptek. A privatizáció átrendezte a tulajdonviszonyokat, és miután az erőművek, valamint a gáz- és villamosenergia-ellátást biztosító vállalatok körében dominánssá vált a magántulajdon (az összes jegyzett tőkének több mint fele – egyes társaságoknál közel 100% – külföldi vállalatok kezébe került), magától értetődően felerősödtek a parciális érdekek. Megszűnt az állam szerepe a fejlesztések elhatárolásában és finanszírozásában, a döntések jórészt az új tulajdonosok érdekeitől és anyagi helyzetétől függenek. A primer és szekunder energia szerkezetének alakulása nem központi döntéseken múlik, hanem a piaci viszonyokon, a magyar szénbányászat leépülése válságövezetek kialakulására vezetett. Az energiaipar privatizációja és az energiaárak alakulása a magyar gazdasági, szociális és politikai viszonyok legneuralgikusabb kérdéseivé váltak, körülöttük szenvedélyes viták bontakoztak ki. A demokratikus közéletben elengedhetetlen a társadalom véleményének figyelembevétele az energetika területén is, mind a konkrét létesítményeknél, mind a stratégiai elképzelések formálásánál. Ennek következtében a döntési folyamatok bonyolultabbá, időigényesebbé és az érdekütközések miatt kiszámíthatatlanabbá váltak, ami esetenként az optimálistól eltérő kompromisszumokra vezet. A tulajdonviszonyok megváltozása a vállalatok szemléletének változását is magával hozta, a korábban domináns műszaki orientáció helyébe a gazdaság prioritása lépett.

Az energiapolitika múltbeli alapvető irányváltozásaival szükségszerűen együtt járt elképzeléseink módosítása a jövőről is. A szén, az olaj, a földgáz, az

atomenergia prioritásának váltakozása nem elhanyagolható társadalmi veszteségeket okozott, kihasználatlan kapacitások mentek veszendőbe, jelentős tőkét kötött le a berendezések átalakítása, az irányváltásokat előmozdító voluntarista árszerkezetért pedig – a kialakult torz energiafelhasználási szerkezet korrekciója során – később kellett drágán megfizetni. Egyedül az energiatakarékosság volt mindvégig gazdaságpolitikai prioritás, aminek érdekében a maguk idejében születtek sikeres konstrukciók is (magyar timföldből alumínium kohósítása külföldön, energiaigényes termékek importjának ösztönzése hazai gyártás helyett, munkaigényes termékekkel ellentételezett villamosenergia-import erőműépítés helyett stb.). Ennek tudható be, hogy a volt szocialista országok között az energetikai hatékonyság Magyarországon volt a legmagasabb, de elmaradásunk a fejlett országokhoz viszonyítva így is nagyon nagy maradt.

Magyarország jelenlegi energiaigényeinek kétharmadát fedezi behozattal, és az import aránya – hazai források híján – a jövőben még nőni fog, ezért energiagazdálkodásunk különösen érzékeny a külvilág változásaira. A múlt elemzésének legfőbb tapasztalata, hogy a korábbiakhoz hasonló változásokat bizonyosan ki fognak váltani a jövőben is a világpolitika, a világgazdaság, a technika ma előre nem látható fejleményei. Jó néhány potenciális veszélyforrás már most is említhető. Nem zárható ki egy kiterjedt fegyveres konfliktus a világ olajvagyonának nagyobbik felét birtokló, szociális, nemzetiségi és vallási ellentétekkel terhelt Közel-Keleten. A világnak a következő két évtizedben közel megkétszereződő földgázfelhasználásában kialakulhatnak regionális ellátási feszültségek és bekövetkezhet az ár jelentős emelkedése, különösen ha stabilizálódik a magas kőolajár. A tartósan magas gázár a jelenlegi energiapolitikai prioritások átértékelését vonná maga után. Lényegesen redukálni kell a fosszilis tüzelőanyag felhasználását, ha beigazolódnak a modellek következtetései az üvegházhatás következményeiről. A nukleáris energetika társadalmi elfogadásának végét jelentené egy újabb atomerőművi baleset bárhol a világon, még ha annak kihatása csupán az erőmű közvetlen környezetére korlátozódna. Energiaimportunk szállítási útvonalai is sebezhetőek, mert a FÁK országain és a Balkánon vezetnek keresztül, e politikailag és stratégiailag bizonytalan helyzetű régiókban nem ritkák az etnikai zavargások, határviillongások, fegyveres felkelések, sőt háborús összecsapások sem. És még sok váratlan fordulat lappang a jövő mélyében, ezek ellen csak minden reális lehetőséget hasznosító, több lábra támaszkodó energiapolitika nyújt védelmet, diverzifikálva az importot mind energiafajták, mind beszerzési relációk tekintetében. Mindez arra utal, hogy adaptív – néhány évente az időközben bekövetkezett változásokhoz igazítandó – energiapolitikát kell kialakítanunk, amiben egyaránt helye van a szénhidrogéneknek, a szénnek, az atomenergiának, és a realitásoknak megfelelően a megújuló energiáknak is.

A jogi háttér

A kiszámítható és hiteles energiapolitika legfontosabb feltétele a konzisztens jogi háttér. Ennek biztosítása azonban nem korlátozódik jogszabályok alkotására. Egyrészt a jogalkotáson túl a jogalkalmazás terén is van feladata az államnak, mivel a jogszabályok csak akkor igazán hatásosak, ha betartásukat megfelelő felhatalmazással rendelkező hatóságok ellenőrzik, és az előírások megszegését adminisztratív eszközökkel szankcionálják. A hatóságoknak többnyire szüksége van a vitás kérdések tisztázására felkészült intézmények szakmai háttérére is. A jogszabályalkotást tehát megfelelő intézményrendszer működtetésével kell párosítani. Másrészt a jogalkotás nem egyszeri tevékenység, a jogszabályokat időnként igazítani kell az élet bonyolult és állandóan változó körülményeihez. De minden részletre így sem lehet kitérni, minél részletesebbek a jogszabályok, annál valószínűbb, hogy valaminek a figyelembevétele kimarad: „minél sűrűbb a háló, annál több benne a lyuk”. A kibukkanó joghézagok megszüntetéséhez jogértelmezésre felkészült államapparátusra van szükség.

Az ország társadalmi, gazdasági és politikai viszonyainak alapvető megváltozása a rendszerváltás következtében hatalmas jogalkotási munkát követelt meg. Az energiaellátás jogi környezetének kialakítását különösen erősen befolyásolta az áttérés a piacgazdaságra, az állami vállalatok nagy részének magántulajdonba kerülése és az állami szerepvállalás radikális megváltozása. Az állam tulajdonosi és igazgatási jogai legnagyobb részének megszűnése rendezetlen helyzeteket is eredményezett, például megoldatlan, hogy ki felelős az ellátás biztonságáért vagy a távlati tervezésért. Az átalakulást széles körű társadalmi és politikai viták kísérték, melyekben sokféle (állami, érdekképviselői, üzleti, regionális, szakmai, politikai stb.) érdek ütközött. A folyamat még nem zárult le, mert a kialakult kompromisszumok nem mindig optimálisak, ami későbbi korrekciók szükségességét rejtje magában. Már eddig is sok módosítást kellett eszközölni a legfontosabb új jogszabályainkban is, egyrészt az összehangolás érdekében más törvényekkel, másrészt a nemzetközi kötelezettségek érvényesítésére. Sok jogszabály módosítását követeli meg a jogharmonizáció is az Európai Unióval.

Az energetika tevékenységét nagyon sok jogszabály érinti. A legjelentősebb teendőket az Országgyűlés törvényekben szabályozza, a napirendjére tűzött, de jogszabályt nem igénylő ügyekben határozatokat hoz. Az Országgyűlés határozatban jelölte ki az energiapolitika legfontosabb céljait: az igények biztonságos és gazdaságos kielégítését, a környezet védelmét, az energiahatékonyság javítását és az egyoldalú importfüggés oldását. Az energetika területén több törvényt is alkottak, és azok egyes, a közhangulatot vagy a nemzetbiztonságot érintő kérdésekben a konkrét döntéseket is az Országgyűlés hatáskörébe utalják (pl. atomerőmű-építés). Az alacsonyabb szintű jogszabá-

lyokat nagy horderejű kérdésekben, vagy több tárcát érintő ügyekben a kormány, szűkebb területet érintő feladatokban vagy részletkérdésekben a miniszterek adják ki. Részletes számszerű követelményeket és szakmai módszereket gyakran szabványokba foglalnak, melyek azonban csak akkor joghatályosak, ha kötelező alkalmazásukat az illetékes miniszter elrendeli, illetve ha az érintettek alkalmazásukban megegyeznek. Tekintettel az energiaellátás jelentőségére az Országgyűlés az energiapolitika végrehajtásának helyzetéről két évente beszámoltatja a kormányt, az atomenergia alkalmazásának kérdéseiről évente az Országos Atomenergia Bizottság (OAB) elnökét, továbbá ugyancsak évente jelentést igényel a Magyar Energia Hivatal működéséről.

A bányászat kérdéseit rendező 1993. évi XLVIII. törvény célja az ásványi nyersanyagok bányászatának, a geotermikus energia kitermelésének, a szénhidrogén-szállító vezetékek létesítésének és üzemeltetésének, továbbá az ezekhez kapcsolódó államigazgatási és jogi kérdéseknek a szabályozása. Rögzíti, hogy a föld mélyében található ásványvagyon és geotermikus energiahordozó természetes állapotában állami tulajdon, kitermelésükkel a vállalkozó tulajdonába mennek át, de ezért bányajáradék illeti meg az államot. Fontos része a törvénynek az élet, az egészség, a biztonság, a környezet és a tulajdon védelme, rendezi a tevékenységek gyakorlásának feltételeit, gondoskodik a bányászati tevékenység befejezése után szükséges tájrendezés (rekultiváció) és a kívülállóknak okozott bányakárok ellentételezésének pénzügyi fedezetéről. Kitér az ásványvagyon kutatására és kitermelésére adható koncessziók rendjének szabályozására is, de ennek részleteivel az 1991. évi XVI. törvény külön foglalkozik. A bányászati tevékenységbe vonható térséget, valamint a föld alatti gáztárolót a hatóság által megállapított bányatelekkel határolják be. A bányatörvény végrehajtását, valamint a hatósági engedélyezés és felügyelet részletkérdéseit kormányrendelet szabályozza. A jogszabályok kitérnek a hatósági feladatokat ellátó Magyar Bányászati Hivatal (MBH) és annak területi szervei (a bányakapitányságok) feladataira és hatáskörére is.

Az éghető gázok biztonságos és gazdaságos szolgáltatásának szabályait az 1994. évi XLI. (gáz-) törvény és ehhez csatlakozó végrehajtási utasítás szabályozza. A kormányrendelet melléklete a technikai részletkérdésekkel foglalkozó Gázszolgáltatási közüzemi szabályzat. A verseny előmozdítására a gáztörvény előírta a gázszolgáltató (elosztó) szervezetek elválasztását a termelést, importálást, tárolást és az országos gázhálózatot üzemeltető gázértékesítő vállalattól (MOL Rt.). A tényleges verseny feltételeinek érvényesítése a hazai jogszabályokban még a jövő feladata, e tekintetben még az Európai Unió szempontjai sem teljesen kiforrottak. A gáztörvény rendelkezett a Magyar Energia Hivatal (MEH) létrehozásáról is. A hivatal hatásköre a jogi, gazdasági és műszaki követelmények teljesülésének vizsgálata alapján a vállalatok és üzemek létesítési és működési engedélyének kiadása, a jogszabályok megsabta kereteket meg nem haladó tulajdonváltozások engedélyezése, és az árképzés jogszerűségének elbí-

rálása. A MEH hagyja jóvá a villamosenergia-rendszerben együttműködő társaságok műszaki kapcsolatait megszabó üzemi szabályzatot, a társaságok és a fogyasztók kapcsolatában érvényesíthető jogokat és kötelezettségeket meghatározó üzletszabályzatokat, valamint a közüzemi szolgáltatás körülményeit és feltételeit meghatározó közüzemi szerződéseket. Ugyancsak a MEH hatásköre az energetikai vertikum vállalatai közötti kapcsolatokat rendező kereskedelmi szerződések felülvizsgálata, valamint jóváhagyása is. Az engedélyezéseken és ellenőrzéseken túlmenően a MEH feladata a monopolhelyzet korlátozása, a szolgáltatás színvonalának biztosítása, és a fogyasztók védelme is.

A villamos energetika kérdéseit is törvény (1994. évi XLVIII. törvény a villamosenergia-termelésről, -szállításról és szolgáltatásról; rövidítve: VET), valamint kormányrendelet szabályozza, kitérve az erőművek és hálózatok legfontosabb jogi, műszaki és engedélyezési kérdéseire. A kormányrendelet melléklete a műszaki és kereskedelmi részletkérdésekkel foglalkozó Villamos energia közüzemi szabályzat. Az 1994-es VET a MEH hatáskörét a villamos energetika területére is kiterjesztette. A jogszabályoknak az is a feladata, hogy fokozatosan oldják a természetes monopóliumokat és egyengessék az átérés útját a piaci viszonyokra. Ennek érdekében folyamatban van egy új VET kodifikálása, de véglegesítése elhúzódik, mert nem sikerül kompromisszumot létrehozni a piac liberalizálását sürgető és késleltető érdekek között. A teljes villamosenergia-ipari vertikumot átfogó egységes hierarchikus szervezetet már az 1990-es évek elején formailag önálló részvénytársaságokra bontották, majd az 1990-es évek derekán megteremtették tényleges önállóságuk feltételeit, és megszüntették az állami tevékenység kizárólagosságát. A villamos energetikában a vállalatok három típusa különböztetendő meg: a villamos energiát termelő (erőművek), az átvitelt biztosító hálózatokat működtető szállító-, és a fogyasztókat kiszolgáló elosztó vállalatok. Az erőművek között megkülönböztetnek közcélúakat és magánerőműveket, attól függően, hogy a villamos energiát kereskedelmi célra termelik-e, és azt az együttműködő villamosenergia-rendszerbe táplálják-e be, vagy nem. Az 50 MW-nál nagyobb teljesítményű erőművek engedélykötelesek, atomerőművi blokk, valamint radioaktív hulladéktároló létesítéséhez országgyűlési döntés szükséges. Bár a vállalatok közötti kapcsolatokat magánjogi szerződések szabályozzák, a törvény a független magánerőművek kivételével kötelezően előírja az erőművek és hálózatok együttműködését, és a vállalatok egységes, összekapcsolt rendszerben történő üzemeltetését. Az együttműködő rendszer operatív irányítása a független Országos Rendszerirányító feladata. A villamosenergia-ellátás sajátosságai miatt a létesítmények megvalósítását és működtetését a törvény hatósági engedélyhez köti. Rendezi a törvény a szolgáltatók ellátási kötelezettségét és annak feltételeit is, a távolabbi cél a villamosenergia-piac teljes liberalizálása. A villamos energia beszerzési forrásának szabad megválasztására feljogosított fogyasztók fokozatosan bővülő körét a kormány fogja megszabni. A feljogosi-

tott fogyasztók energiaszükségletüket vagy meghatározott időre kötött kereskedelmi megállapodásokkal, vagy a keresletet a kínálattal szembesítő villamosenergia-tőzsdén biztosítják. Ugyanakkor a közszolgáltatási jelleg (hatósági árakkal) a lakosság és a kisfogyasztók ellátásánál valószínűleg még hosszabb ideig fennmarad.

Az atomerőmű működési feltételeivel az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény is foglalkozik. Alapvető követelménye, hogy e potenciálisan veszélyes technológiánál ne következhesen be szabályozatlan láncreakció és ne érhesse az embereket megengedhetetlen mértékű ionizáló sugárzás. A törvény részletesen megszabja mind az üzemeltetőket, mind az állami szervek kötelezettségeit, egyrészt a veszélyes hatások kialakulásának megelőzésére, másrészt a visszaélések megakadályozására a hasadóanyagokkal. A törvényhez nagyszámú kormány- és miniszeri rendelet csatlakozik a hatósági követelmények (nukleáris biztonság, sugárvédelem, kibocsátások korlátozása, hulladékelhelyezés, nukleáris fegyvergyártásra való felhasználás kizárása, fizikai védelem, szállítási biztonság, baleset-elhárítás stb.) valamint az engedélyezési és ellenőrzési eljárások rendezésére. A hatóságok tevékenységének koordinálása az Országos Atomenergia Hivatal feladata, a kormány szintű koordináció az Országos Atomenergia Bizottság szerepvállalásával történik. A hazai jogszabályok megalkotásánál nagy figyelmet kell fordítanunk a sokirányú nemzetközi kötelezettségekre, aminek a külvilág is megkülönböztetett jelentőséget tulajdonít. A nukleáris biztonság színvonalát az EU kiemelt csatlakozási feltételnek tekintik. Az atomenergetika alkalmazásával kapcsolatos jogszabályainkat számos nemzetközi felülvizsgálat korszerűnek és a nemzetközi gyakorlattal összhangban levőnek minősítette.

Kényes probléma rendezését célozta meg a távhőszolgáltatásról szóló 1998. évi XVIII. törvény, mivel a dotáció megszüntetésével uralhatatlanná vált a panellakások távfűtésének költsége. A cél egyrészt a költségek reális megosztása, másrészt a lakossági fogyasztóknál az átalánydíjas elszámolás helyett a mérések meghonosítása. Kérdéses azonban a törvényben előírt ütemezés betarthatósága, az ehhez szükséges jelentős beruházás pénzügyi fedezetének hiánya miatt. Különösen fontos eleme e törvénynek az önkormányzatok felületei szerepének meghatározása.

A gazdasági átalakulás legneuralgikusabb kérdése az állami vállalatok magántulajdonba adása volt. A törvényekben lefektetett általános elveken túlmenően az energetika privatizálásának módjával és feltételeivel számos jogszabály foglalkozott. A privatizáció következtében sok villamosenergia-ipari és gázipari vállalat irányítása is külföldi kézbe került. Mind az energiaipari vállalatok értékesítésére vonatkozó állami elképzelések, mind a tényleges gyakorlat ádáz szakmai és politikai viták tárgyává vált. Ezek hatására az értékesíthető vagyon jellegét és mértékét, az állami tulajdon arányát és funkcióját szabályozó törvényeket és rendeleteket időnként módosították is. Olyan

kérdések körül koncentráálódtak a nézeteltérések, hogy a külföldi tulajdonosok nagy aránya miatt nem került-e az ország külföldi érdekeknek kiszolgáltatott helyzetbe, az értékesítés a vagyon tényleges értékén történt-e, biztosítva lesz-e az energiaellátás optimális fejlesztése, maradnak-e eszközök az állam kezében a társadalmi érdekek érvényesítésére stb. A választ e kérdésekre csak az energiaellátás árának, minőségének és biztonságának jövőbeli alakulása fogja megadni. Nehezíti a tisztánlátást, hogy az értékesítés előkészítését és bonyolítását (vagyonebecslés, piackutatás, eladási ár megszabása, értékesítési feltételek, ajánlatok értékelése, szerződéskötés) a magyar körülményeket és érdekeket nem teljesen ismerő külföldi cégek végezték. A vállalatok működési feltételei (energiaárak, amortizáció módja, anyagi terhekkel járó kötelezettségek, környezetvédelmi kárfelölősség, energiapolitikai követelmények, fejlesztési igények) sem voltak előzetesen megszabva, a vevők kiválasztása nagyon gyorsan történt, mert sürgető volt az ország fizetési mérlegének javítása. Az ország megromlott gazdasági egyensúlyának javításán túl a gyors privatizáció védelmezői arra is hivatkoznak, hogy a fejlesztést csak külföldi tőke bevonásával lehet finanszírozni, erre az állami vállalatok önerőből nem lettek volna képesek, az állami beruházások pedig megszűntek.

Az új helyzetben a társadalom érdekének érvényesítésére sokat várnak az állam tulajdonában maradó, szavazatelsőbbiséget biztosító „aranyrészvény”-től. Vitatható, hogy jogilag és gazdaságilag elegendő súlya van-e egy ilyen részvénynek a kormányzat akaratának érvényesítésére az alapvető vállalati döntéseknél. A közérdek képviselőjében többet lehet remélni az energiapolitikai kérdésekben szabályozási és felügyeleti hatáskörrel felruházott MEH szerepétől.

A piaci verseny általános elvei (1993. évi LVII. törvény) az energetikára is érvényesek, sok további jogszabály vonatkozik az energiaellátás feltételeire és követelményeire (biztonság, vagyonvédelem, környezetvédelem, minőségi követelmények, fogyasztóvédelem stb.), melyeket a korábbi fejezetek már érintettek.

Ellátásbiztonság

A gazdaság hatékony működésének és a civilizált életkörülményeknek alapvető feltétele, hogy az ezekhez szükséges energia megfelelő minőségben és választékban, valamint elfogadható áron mindig rendelkezésre álljon. Az energiapolitika egyik legfontosabb célkitűzése ennek a biztosítása. Az ellátásbiztonsággal kapcsolatban a honvédelem szempontjait is mérlegelnünk kell, hiszen energia nélkül nem lehet biztosítani sem a hadsereg mobilitását, sem a működéséhez szükséges szállítási, hírközlési, ellátási, termelési stb. tevékenységeket.

A társadalom megszokta, hogy energiára magától értetődően mindig számíthat, csak akkor ébred rá ennek jelentőségére, amikor a folyamatosság

megszakad. Már rövidebb idejű zavarok is sokkolólag hatnak, amikor a lakás sötétbe borul, leáll a fűtés, elakad a közlekedés stb., egy nagyobb kiterjedésű és hosszabb idejű ellátási zavar pedig már komoly társadalmi megrázkódtatást okoz. Sokféle hatás befolyásolhatja kedvezőtlenül az energiaellátás biztonságát, műszaki, gazdasági, társadalmi zavarok, természeti erők, fegyveres konfliktusok stb. A rövid idejű, lokális ellátási zavarok elhárítása az energia-ellátó vállalatok feladata, arra azok a szükséges anyagi eszközökkel és szakmai hozzáértéssel rendelkezve fel is vannak készülve. A hosszabb időre kiható és országos gondok megelőzése az energiapolitika feladata, az esetleg bekövetkező kritikus helyzet uralása az állam és a vállalati szféra együttműködését igényli.

Az energiaellátásban a leggyakrabban műszaki jellegű üzemzavarok okoznak fennakadást. Ezek nagy többsége lokális kihatású, ritkán regionális kiterjedésűek, de kivételesen országos méretűvé nőhetnek. A következmények lehetséges léptékét példázták a villamosenergia-ellátó rendszer szétesései néhány ipari országban, amikor nagyszámú fogyasztó vált ellátatlanná (pl. az USA-ban, Kanadában, Franciaországban, Németországban). Az utóbbit iskolapéldaszerűen tanúsította az eddigi legnagyobb kihatású villamos üzemzavar, az 1965. évi „nagy New York-i black out” (áramkimaradás), ami két napon keresztül 30 millió ember életkörülményeit lehetetlenítette el, és következményeiben felért egy természeti katasztrófával.

Berendezések meghibásodása vagy téves működése következtében megszakadhat bányák, erőművek, kőolaj-finomítók, fűtőművek termelése, üzemképtelenné válhatnak szállítórendszerek vagy szállító vezetékek, meghibásodhatnak elosztó központok stb.). A műszaki üzemzavarok túlnyomó többségét (80-90%-ot) a tervezés, gyártás, szerelés, karbantartás vagy üzemvitel során elkövetett emberi hibákra lehet visszavezetni, a többi műszaki okok (pl. anyaghiba, öregedés), vagy természeti erők idézik elő. Berendezések meghibásodása, vagy téves működése miatt kiesett létfontosságú funkciókat automatikus védelmek működése többnyire nagyon gyorsan helyreállítja. A kevésbé sürgőseket is viszonylag rövid idő alatt rendezik, a sérült elemeket megjavítják, vagy kicserélik, ami a feladat jellegétől függően néhány órát, vagy legfeljebb egy-két napot vesz igénybe. Hosszabb időtartamú, vagy nagyobb kihatású ellátási zavarok műszaki okokból ritkán fordulnak elő. Az ilyen kihatású problémákat inkább természeti erők okozzák, a leggyakoribb tényező a zord időjárás, például szélvihar, vagy zúzmaraterhelés következtében leszakadnak a villamos szabadvezetékek, befagynak a csővezetéki armatúrák, összefagy a tárolt nedves szén, villámcsapás, felhőszakadás, hőhullám tesz tönkre berendezéseket. Egyes elemi csapások – például bányaomlás vagy vízbetörés – következménye tartós is lehet. A nagy természeti katasztrófák – árvíz, földrengés – következményei az ellátásban hosszabb időre és nagyobb területre terjednek ki. A jelentősebb kiesések áthidalására egyrészt tartalék-

kapacitások szolgálnak az energiahordozók termelésére és a szállítási lehetőségekre. Másrészt tüzelőanyagokból az ellátó vállalatok üzemzavari és a jogszabályok által meghatározott mértékű stratégiai készleteket halmoznak fel.

Hosszabb ideig érvényesülő és összetett következményei lehetnek a gazdasági zavaroknak, például ha felborul az energiakereslet és -kínálat egyensúlya, megbolydulnak az árak, váratlanul módosulnak a szállítási feltételek, ellehetetlenülnek alapvető tüzelőanyag-források, vagy importlehetőségek, energiaellátást érintő embargót vezetnek be stb. A gazdasági eredetű zavarok kihatásának súlyosságára szolgáltatott példát a hazai szén- és villamosenergia-ellátás egyensúlyának megbomlása 1953–54-ben. Az olajárak megugrása az 1970-es években egyes térségekben valós tüzelőanyag-hiányt okozott, másutt a magas beszerzési ár miatt váltak vállalatok működésképtelenné, de legnagyobb kihatása a makrogazdaságot érintő következmények (gazdasági válság, munkanélküliség, eladósodás, energiapolitika átértékelése) voltak. Reális veszély, hogy a vezetékes ellátásban a piaci versenyképesség érdekében egyes vállalatok költségcsökkentése már az ellátásbiztonság rovására megy (az ilyen eredetű üzemzavarok sűrűsödése az Egyesült Államokban külön vizsgálóbizottság felállítását indokolta).

Jogszabályok változása is okozhat gondot, például a környezetvédelmi követelmények szigorítása miatt erőműveket zártak be, mert nem tudták biztosítani a szükséges költségeket. Az orosz törvények módosítása a kiégett nukleáris fűtőelemek végleges visszaszállításának feltételeiről kikényszerítette a nukleáris üzemanyagciklussal kapcsolatos műszaki és gazdasági stratégiánk megváltoztatását.

Ellátási zavarok társadalmi feszültségek miatt is előfordulhatnak. Ezek egy részét az érdekegyeztetés kudarca válthatja ki tüntetések, sztrájkok, bojkott formájában, melyek néhány hét, legfeljebb egy-két hónap alatt többnyire rendeződnek (bár előfordult közel egy évig tartó angol szénbányászsztrájk is). Ugyan az energiaellátás létfontosságú technológiáinál a sztrájktörvény megköveteli egy feltétlenül szükséges mértékű ellátás biztosítását, célszerűbb a kompromisszumokra törvő egyeztetéssel kiküszöbölni a konfliktusokat. A társadalmi nyomásgyakorlásnak tartósabb kihatásai is lehetnek, például lakossági tiltakozás hatására üzemek működésének betiltása, beruházások leállítása vagy az engedélyezés elnyújtása; minderre a legtöbb példát a nukleáris energetika területéről lehet említeni. Energetikai létesítmények vagy tevékenységek már hazánkban is estek politikai csatározások vagy médiakampányok áldozatául (pl. energiatermelés a Bős-Nagymaros vízlepcsőrendszerrel, radioaktív hulladék tárolása Ófalun).

A legnehezebb a politikai és katonai konfrontációk okozta zavarok ellensúlyozása. A 20. század történelmét átszövik a nyílt háborúk és titkos összeesküvések az olajforrások birtoklásáért. Mindkét világháborúban meghatározó stratégiai célkitűzés volt az olajellátás biztosítása, illetve az ellenségnek annak megakadályozása. Az utóbbi évtizedben is sok példát láthattuk arra, hogy regionális krízisek, politikai és katonai konfrontációk, helyi háborúk

– főleg a Közel- és Közép-Keleten – hogyan befolyásolják a világ energiaellátását és az olajárakat. Politikai feszültségek miatt jó néhány magisztrális olajvezetékot iktattak ki a Perzsa-öböl, Kis-Ázsia és a Kaszpi-tenger térségében is. Éveken keresztül, ismételt és tartósan közvetlenül érintett bennünket az Adria-vezeték üzemének lehetetlenülése a Jugoszláv utódállamok háborúi miatt. Az energiaszállítások korlátozása már a nemzetközi nyomásgyakorlás eszközeként is megjelent, például Irak olajexportjának engedélyezését az ENSZ politikai feltételekhez kötötte, a NATO embargó alá helyezte a tüzelőanyagok szállítását Jugoszláviába, az USA embargót vezetett be Líbia és Irán olajára. A mi energiaimport-diverzifikálási stratégiánk hátterében is olyan aggodalom húzódik meg, hogy a FÁK-országok belső feszültségei, valamint ezen országok politikai kapcsolataiban érzékelhető bizonytalanságok veszélyeztethetik energiaellátásunkat.

Az állam a tervgazdaságban közvetlen eszközökkel törekedett az ellátásbiztonság növelésére. Állami döntések szabták meg az itthon termelendő és az importálandó energiahordozók mennyiségét, a nagyfogyasztóknak a hatóságok jelölték ki a felhasználható energiahordozók jellegét és mértékét, tervelőírások jelölték ki a fontosabb energetikai beruházásokat, ellátási kötelezettség terhelte az energiaszolgáltató vállalatokat. A piacgazdaságban ilyen eszközökkel csak kivételesen, válságos helyzetekben élnek. Az állam tulajdonosként az energiaellátás maximális biztonságára törekszik, ami együtt jár a túlbiztosítással az ellátáshoz szükséges kapacitások terén. A magántulajdonosok gazdasági optimumra törekednek, csak a feltétlenül szükséges beruházások fedezésében érdekeltek, ami a túlbiztosítást ugyan kiküszöböli, de növeli az ellátás hiányának kockázatát.

Az állam a piacgazdaságban sem mentesül az ellátásbiztonság megteremtésének felelőssége alól. A közvetlen intézkedések szerepét azonban a közvetett eszközök veszik át, mindenekelőtt a jogi és gazdasági szabályozás. Különösen az 1970-es évek olajválsága nyomán világszerte jogszabályok készültek az ellátásbiztonság előmozdítására, a tüzelőanyagok stratégiai készletezésére, a beszerzési politika befolyásolására, a fogyasztást mérséklő hatékonyság növelésére. Az ellátásbiztonságot növeli az energiaszerkezet diverzifikálása, ennek érdekében az állam adó – import esetében vám – növelésével mérsékelheti a bizonytalanabbul beszerezhető primer energiahordozók használatát, illetve kedvezményekkel terelheti a felhasználókat biztonságosabban rendelkezésre álló energiák hasznosítása felé. A kockázat számszerűsítésére javasolják a diverzitás jellemzésére a

17. képlet

$$H = - \sum_i p_i \ln p_i$$

mutató alkalmazását, ahol p_i az i -edik energiatípus aránya az energiaszerkezetben.

Stratégiai jelentősége miatt a legkritikusabb a folyékony szénhidrogén-ellátás biztonsága. Az 1970-es évek olajkrízisekor tapasztaltuk, hogy bár az ú menti töltőállomásoknál az olajtársaságok vetélkednek a fogyasztók kegyeiért és a tőzsdéken elvileg tetszőleges mennyiségben lehet kőolajat és olajtermékeket vásárolni, e nagyon kötetlenül forgalmazott energiahordozóból is előfordulhatnak súlyos ellátási válságok. A világ kőolajellátásának stabilitását a legnagyobb mértékben a vagyoni egyenlőtlen regionális eloszlása veszélyezteti (30. ábra a 87. oldalon), mivel annak mintegy kétharmada a Közel- és Közép-Keleten található. Az egyenlőtlenséget némileg ellensúlyozza, hogy nőtt az e térségen kívüli olajtermelők szerepe, és hogy a nagy olajexportőrök könnyen növelni tudják termelésüket, ha hiányokat kell pótolni. Ezt igazolja, hogy a közel-keleti háborúk során az olyan jelentős olajországek, mint Irak, Irán, Kuvait olajszállításainak kiesése sem okozott fennakadást az ellátásban, csupán az árak alakulását befolyásolta. Az ellátásbiztonság növelésére hozták létre az olajkrízis hatására a Nemzetközi Energia Ügynökséget (IEA) mely szervezet feladata a fejlett országok energiapolitikájának koordinálása és olajellátási krízisek áthidalása kiegészítő szállítások szervezésével a tagországoknak (ami a gyakorlatban még nem fordult elő).

Folyékony szénhidrogén-szükségletünk túlnyomó többségét importból fedezzük, a viszonylag szerény hazai termelés fokozatosan csökken. Az import legfőbb forrása Oroszország, ahonnan olcsó a beszerzés és a szállítás. Ugyan több évtizede megbízhatóan áramlik az olaj az orosz kőolajmezőkről kiindulva Barátság-csővezetéken, az ellátásnak ez az egyoldalúsága sebezhető. Olaj békeidőben korlátlanul beszerezhető a világpiacon, de nagy mennyiség behozatalához szállítási infrastruktúra szükséges. Ellátásunk megoldható tengeri beszállítással is, mivel az Adria-vezeték alkalmas olajszükségletünk nagy részének átvitelére, de nyugtalanító precedens a vezeték többéves üzemképtelensége a jugoszláv háborúk miatt. Ezért célszerű lenne bekapcsolódásunk a nyugat-európai kőolajvezeték-hálózatba, és hasznos lenne tartós szállítási megállapodást kötni valamelyik politikailag és társadalmilag stabil kőolajtermelő országgal. A kőolajnak a beszerzési forrás szerint eltérő tulajdonságai a helyettesíthetőséget nem zavarják, mert a kőolaj-feldolgozás technológiáját illeszteni lehet a nyersanyaghoz. A nyersanyag eltérése módosíthatja a kőolajfrakciók kihozatalának arányát, de a kőolajtermékek előírt minőségét biztosítani lehet. Kőolaj-feldolgozó kapacitásunk (~11 Mt/év) elegendő a hazai szükséglet kielégítésére.

Kőolajtermékekből a legtöbb felhasználó csak rövid idejű ellátási zavarokat áthidaló mennyiséget tárol, csupán a nagyfogyasztóknál (kőolaj-finomítók, erőművek, termékforgalmazók) vannak nagyobb készletek. A kormányok minden országban felkészülnek egy krízishelyzet szükségintézkedéseire (az üzemanyag-ellátás adagolására, jegyrendszer bevezetésére, forgalmi korlátozásokra) is. Az ellátásbiztonságot szolgálják a tüzelőanyagok minimális

készleteire vonatkozó előírások is. A hazai jogszabály (az 1993. évi IL. törvény a behozott kőolaj és kőolajtermékek biztonsági készletezéséről, módosítva az 1997. évi CXVII. törvénnyel) a forgalmazókat társulás (Kőolaj és Kőolajtermék Készletező Szövetség) létrehozására kötelezi, hogy együttesen minimális stratégiai készletként – összhangban az IEA követelményeivel – a kőolaj és kőolajtermékek éves importjának 90 napra eső mennyiségét tárolják. Ez a stratégiai készlet független a felhasználók saját készletétől, ezek figyelembevételével az EU követelményét is teljesítjük ami az éves felhasználás 90 napi mennyiségének tárolását kívánja meg. Növeli biztonságunkat tagságunk az IEA-ban is.

A földgázellátás energiahelyzetünk legsebezhetőbb pontja. A világ művealó földgázvagyonra ugyan sok évtizedre elegendő, és ezen túlmenően vannak helyettesítési megoldások is, de regionális feszültségek kialakulását nem lehet kizárni, különösen a felhasználás gyors bővülése közepette. A földgázvagyon eloszlása is elég egyenetlen a világon, a források jelentős hányada esik a FÁK területére (32. ábra a 94. oldalon), ahonnan a behozatalt az oroszországi infrastruktúra leromlása és a szállítási kockázatok terhelik. Az Európai Unió földgázpiaca csak lassan bontakozódik ki, a szállításokat általában hosszú időre kötött szerződések biztosítják, melyek rendezik a technikai infrastruktúra kihasználását is. A világ földgázfelhasználásának gyors felfutása miatt az árak prognózisa is bizonytalan, egy radikális drágulás lényegesen átrajzolná a felhasználás szerkezetét. Jelenlegi energiapolitikánknak ez a legkényesebb kockázati tényezője.

Belföldi földgáztermelésünk visszaesőben van, és az igények mind nagyobb hányadát biztosítjuk importból. Növekvő importunk legfőbb forrása Oroszország, hosszú ideig az orosz földgázmezőkről induló Testvériség-vezeték volt az egyetlen szállítási lehetőségünk. Földgázhálózatunkat 1997-ben összeköttöttük az osztrák és ezen keresztül a nyugat-európai rendszerrel (HAG vezeték 4,5 Gm³ kapacitással), amin rövid idejű kiegészítést, valamint francia és német vállalatokkal több évre kötött megállapodásoknak megfelelő Gm³/év nagyságrendű tartós szállítást kapunk Nyugatról. Ez egyelőre csupán műszaki tartaléka az orosz szállításnak, mivel Nyugat-Európa keleti területei is onnan importálják a földgázt, és a nyugati cégek is tulajdonképp orosz földgázt szállítanak nekünk. Ellátásbiztonságunk növelésére indokolt a beszerzés diverzifikálása, aminek költsége a drágább szállítás miatt meghaladja az orosz földgáz árát, ugyanakkor a monopolhelyzet oldása javítja ártárgyalási pozíciónkat. Azonban nem lenne haszontalan az üzletpolitikán túlmenően más (pl. észak-afrikai, norvég) forrásra támaszkodó valódi diverzifikáció sem. A különböző eredetű földgázok helyettesíthetőségét megfelelő előkészítő és tisztító műveletekkel biztosítani lehet.

Az ellátás jelenlegi egyoldalúsága és az árat terhelő kockázat óvatosságra int a földgázigények túlzott növelésében. A fogyasztás jelentős szezonális

különbségének áthidalását szolgáló üzemviteli tartalékok befogadására föld alatti tárolókat alakítottuk ki letermelt gázmezőkben, melyek összesített kapacitása az éves felhasználásnak mintegy harmada (4 Gm^3). Ezenfelül szükséges lenne a szállítások zavarán átsegítő stratégiai tartalék biztosítására is, aminek mértékére az Európai Unió irányelve a fogyasztás 25%-át ajánlja.

Ellátásbiztonság szempontjából a legstabilabb forrás a hazai termelésű szén. A legnagyobb tartalékot a bányák szénvagyonára képviseli, szükség esetén a műszakszám növelésével és szervezési intézkedésekkel a mélybányák termelése viszonylag könnyen növelhető 20-30%-kal is. A külfejtések termelését a gépi technológia adottságai szabják meg, ami sokkal rugalmatlanabb. Régebben fontos szerepe volt a lakosság téli tüzelőanyag-szükségletét fedező „pincekészletnek” is, ami azonban vesztett jelentőségéből. Ennek egyik oka a lakossági szénfelhasználás erős visszaesése (10 év alatt ötödére csökkent), a másik a fogyasztói szokások módosulása, mert az éves szükségletet nem egyben, hanem több részletben szerzik be. Főleg a felhasználás szezonális különbségeinek kiegyenlítését szolgálják a bányáknál, a tüzelőanyag-telepeken és a nagy felhasználóknál felhalmozott készletek. A legjelentősebbek az erőművi készletek (összesített mértéke a tél elején megatonna nagyságrendű), melyek a nyári és téli szénfelhasználás közötti nagy különbség kiegyenlítését teszik lehetővé a nyári félévben összegyűjtött szénnel, miközben a bányák egyenletesen termelhetnek az egész évben. Gyenge minőségű szeneink használati értéke tartós tárolás közben csökken (porlanak, nedvességet szívnak magukba, öngyulladásra hajlamosak), ami a készletezés lehetőségét behatárolja. A nagy nedvességtartalmú szén (pl. lignit) erős hidegben összefagyhat, lehetetlenné téve a szállítását. A tartalékolásnak az is korlátot szab, hogy a szenek egymás között csak korlátozottan helyettesíthetők, mivel a tüzelőberendezéseket meghatározott szénminőségre tervezik, és a paraméterektől csak kismértékben lehet eltérni, amit csak bizonyos fokig lehet enyhíteni különböző minőségű szenek keverésével. Jogszállályaink az átlagos termelést figyelembe véve 8 napos üzemviteli és további 8 napos biztonsági tüzelőanyag-készlet tárolását írják elő a hagyományos hőerőművekben (az EU 30 napot ajánl). Az előírás folyékony tüzelőanyagokra nem vonatkozik, mivel azokból központi stratégiai készletek vannak.

Jó minőségű szén békeidőben mindig beszerezhető külföldről, de az importszén alkalmazása a jelenlegi – alacsony fűtőértékre tervezett – tüzelőberendezésekben csak adalékként jöhet számításba, alacsony fűtőértékű szenet pedig gazdaságtalan behozni. Szénimportunknál figyelembe kell venni, hogy a több országon keresztül történő vasúti vagy vízi szállítást műszaki, gazdasági, politikai, stratégiai és a Dunán vízjárási (árvíz, jégképződés, alacsony vízállás) bizonytalanságok terhelik. A világ szénpiacának destabilizálódása valószínűtlen, a csökkenő kereslettel jelentős túlkínálat áll szemben, és a világ szénvagyonának regionális eloszlása is sokkal egyenletesebb (33. ábra a 95.

oldalon), mint a többi tüzelőanyagé. Kedvező árviszonyok esetén nem elképzelhetetlen egy erőmű építése importált jó minőségű feketeszénre sem.

Az uránércbányászatot beszüntettük, ezért atomerőművi fűtőelem-ellátásunk teljes mértékben importra szorul. Ennek ellenére az atomerőmű növeli az ellátásbiztonságot, mivel hosszú időre stabilizálja a viszonyokat. Egyrészt a reaktorba helyezett fűtőelemek kiégetése 3-4 évig tart, másrészt további néhány évi üzemre elegendő friss fűtőelem tárolása is könnyen megoldható. Jogszábllyunk az atomerőműben egyéves üzemhez szükséges friss üzemanyag tárolását írja elő üzemviteli készletként, és további egyéves mennyiséget biztonsági tartalékként. Az atomerőművek fűtőelem-ellátásában belátható időn belül nehézségek nem várhatók. A katonai felhasználás csökkenését követően a hasadóanyagércpek piaci termékekké váltak és az erőműépítés visszaesése miatt erős túltermelés következett be az uránbányászatban, számos bányát be is zártak. A világ uránércvagyona hosszú időre fedezi a szükségleteket, technológiai lépésekkel nagyságrendekkel lehet növelni e vagyon élettartamát, és a tóriumércpek is számításba jöhetnek nukleáris energiatermelésre. Világszerte jelentős izotópdúsítási és fűtőelem-gyártási kapacitások is felszabadultak, a polgári hasznosításért verseny alakult ki. Kereskedelmi megállapodás kérdése, hogy az orosz reláció helyett máshonnan szerezzünk be fűtőelemeket. Az ellátásbiztonság növelésére egy finn atomerőművel közösen megállapodtunk az angol BNFL-céggel, hogy felkészülnek a VVER reaktorok fűtőelemeinek gyártására.

A vezetékes rendszereknél a biztonságos energiaellátás feltétele, hogy egyrészt a betáplált energia fedezze a fogyasztói terheléseket, másrészt üzemzavarok ne szakítsák meg az energiaszállítást. Különösen kényes ez a feladat a nem tárolható, váltakozó áramú villamosenergia-ellátásnál, ahol folyamatosan szabályozni kell az erőművek termelését és esetenként a hálózati feszültséget is, hogy követni tudják az állandóan és véletlenszerűen változó fogyasztást. Ebben nagy szerepe van a teljesítmény gyors változtatására képes gázturbinás és vízerőművi blokkoknak. Az üzemvitel fontos feladata az üzemzavarok megelőzése, illetve elhárítása is, amit intelligens védelmek és automatikák segítenek. Az összehangolt üzemvitel és üzemzavar-elhárítás biztosítja a villamosenergia-szolgáltatás optimumát és jó minőségét, mindezek eredménye, hogy az üzemzavarok miatt nem szolgáltatott villamos energia hazánkban a teljes felhasználás tizedezrelékét sem éri el, ami nemzetközi összehasonlításban is kiemelkedően jó arány. Nagy kérdőjel, hogy a privatizált vállalatok biztosítani fogják-e az ellátásnak ezt a színvonalát, kifizetődőnek fogják-e tartani a karbantartás és hibaelhárítás ehhez szükséges szintjét. Fontosak az erőművek véletlenszerűen meghibásodott berendezéseinek helyettesítésére szolgáló tartalékok, a nagy villamosenergia-rendszerekben a csúcs-terhelés 20%-a a szokásos minimális erőművi tartalékkapacitás.

Ritkán előfordulhatnak olyan üzemzavarok is, melyeket nem sikerül elhárítani az automatikákkal és az egyensúly helyreállításához nem elegendőek a tartal-

létkapacitások. Az ilyen helyzetek megszüntetésére, és az ellátási zavarok továbbterjedésének elkerülésére a jogszabály felhatalmazza a szolgáltatókat a fogyasztók meghatározott körének lekapcsolására, hogy megteremtsék a termelés és fogyasztás új egyensúlyát. Ehhez az üzemzavarok mértékétől függő korlátozási sorrendeket készítenek, amiket a MEH hagy jóvá. Hasonló felhatalmazás érvényes tartós tüzelőanyag- vagy erőművi kapacitáshiány esetére is.

Létfontosságú fogyasztók (élet- és vagyonvédelem érdekében, nélkülözhetetlen szolgáltatás vagy honvédelmi fontosság miatt) gyakran építenek ki 100%-os autonóm kapacitástartalékot a hálózati ellátás kiesésének ellensúlyozására. Bizonyos fokig növeli az ellátásbiztonságot a decentralizált ellátás térhódítása, ha az kapcsolódik az együttműködő rendszerhez, például üzemi erőművek, kapcsolt hőszolgáltatás vagy helyi ellátás esetében. Az utóbbiak gyakran kis áramforrásokra (dízelgenerátor, mikroturbina, tüzelőanyagcella), megújuló energiára (napelem, szélmotor) vagy hulladék hasznosítására támaszkodnak.

A villamos hálózatok nemzetközi távvezetési összeköttetései növelik az ellátás biztonságát, mivel a szomszédos rendszerektől kiegészítést lehet kérni üzemzavarok áthidalására, és megállapodások alapján tartós import is lehetséges. Magyarországnak minden szomszédos országgal van szabadvezetési összeköttetése, és bekapcsolódtunk a nyugat-európai országok együttműködő villamosenergia-rendszerébe, az UCTE-be (Union for the Coordination of Transmission of Electricity). Belépésünk érdekében nemcsak gazdasági és jogi feltételeket kellett kielégíteni, hanem komoly műszaki követelményeket is, hogy a mi üzemzavaraink ne veszélyeztessék a többi tag ellátásának biztonságát és minőségét. Ehhez teljesítenünk kellett a szervezet szigorú követelményeit rendszerünk szabályozására, amihez megfelelő erőművi tartalékokra és automatikus szabályzóberendezésekre volt szükség.

Korábban villamosenergia-rendszerünk túlzottan nagy mértékben támaszkodott a nemzetközi együttműködésre, áramimportunk elérte a teljes fogyasztás negyedét, és erőművi tartalékok képzése helyett import üzemzavari kiegészítésre számítottunk. A KGST szétesésével ez a lehetőség megszűnt, szerencsére a fogyasztás erős visszaesése módot adott az import fájdalommentes leépítésére. Az ellátásbiztonság érdekében a kormány a villamosenergia-behozatalt az ország éves felhasználásának 5%-ára korlátozta, azonban ez nem egyeztethető össze az EU piaci mechanizmusával, a korlátozást legkésőbb csatlakozásunk során meg kell szüntetni (ugyancsak hatálytalanítani kell a villamosenergia-import monopóliumát). Az utóbbi időben mértékadó hazai szervezetekben felerősödött a nézet, hogy ellátásbiztonságunkat az EU szintjén kell értelmezni, és ezzel összhangban hazai erőműépítés helyett nagyobb mértékben támaszkodjunk az importra. Az importtal kapcsolatban érdemes felidézni a múltbeli tapasztalatokat, hogy ne kerüljünk ismét kiszolgáltatott helyzetbe. Ehhez hozzáfűzhető, hogy villamos energetikai vállalata-

ink jó része olyan nyugati nagyvállalatok kezébe került, melyek saját országukban jelentős kapacitásfelesleggel rendelkeznek, és azokból az export Magyarországra többlethasznót jelent, még olcsó áron is. Az importár idővel azonban drágulni fog, egyrészt a jelenlegi nyugat-európai kapacitásfeleslegek fel fognak szívódni, másrészt az erőművek önköltsége meg fog emelkedni, mert nő a földgáz ára, és mert az olcsón termelő atomerőművek egy részét leállítják. További gond, hogy a szükséges – és egyre hosszabb – távvezetési átviteli utak létesítésének engedélyezése és költsége is komoly nehézségekkel fog járni. Az UNIPEDE véleménye szerint a tartós villamosenergia-szállításokat indokoló gazdasági körülmények idővel ki fognak egyenlítődni Európában, főleg szezonális energiacserék lesznek jellemzőek, például a vízerőművek lehetőségeitől függően.

A többi vezetékes ellátási módnál a folyamatos egyensúly megteremtését megkönnyíti a tárolhatóság. A gázfelhasználás téli csúcsa és a nyári minimum közötti szezonális különbséget nemcsak a föld alatti tárolók jelentős kapacitásával lehet ellensúlyozni, hanem az alternatív fogyasztók áttérítésével is más energiahordozóra. Rövid időre a csőhálózatban lévő gázmennyiség és a nyomás csökkentése is segíti a szabályozást. A hőszolgáltatásnál átmenetileg a hőhordozóban tárolt energiát is fel lehet használni szabályozásra.

A megújuló energiahasznosítás – mint belföldi energiaforrás – növeli az ellátásbiztonságot. Ez – a vízerőművektől eltekintve – elsősorban tüzelőanyag-megtakarításban jelentkezik, mivel a rendelkezésre állás ingadozása miatt a megújuló források teljesítményére nem mindig lehet számítani. A megújuló energiafajták nagy problémája a rendelkezésre állás időszakossága. A napsugárzást közvetlenül csak nappal lehet hasznosítani, teljesítménye a Nap járásának megfelelően folyamatosan változik, azt nagymértékben módosítják a légköri viszonyok és jelentősek az évszakok szerinti eltérések is. Kevés helyen lehet tartós széljárásra számítani, nemcsak szélmentes időszakban, hanem túl kis és túl nagy szélerősség idején sem lehet a szélenergiát hasznosítani, ráadásul a szélesebb Magyarország szeszélyesen ingadozik. A vízenergia kiaknáozhatósága a vízgyűjtő terület csapadékviszonyaitól és a vízjárást befolyásoló más körülményektől (hóolvadás, jégzajlás, aszály) függ.

A megújuló energiafajták szezonálisát energiatárolással vagy kapacitás-tartalékolással lehet áthidalni, de mindkét út többletköltséget okoz. Az együttműködő villamosenergia-rendszerbe bekapcsolt vízerőművekkel – különösen ha víztárolásra is van mód – jól lehet követni a terhelésváltozásokat és a tartalékolást a rendszer biztosítja. Közvetve a víztározók képviselik jelenleg az egyetlen reális lehetőséget nagy mennyiségű villamos energia tárolására. A szélerőművek is beiktathatók a villamosenergia-rendszerbe, viszont a szélmentes időszakok miatt teljes mértékű tartalékkapacitásra van szükség. A napenergia hasznosításánál a napsütésben gazdag területeken viszonylag kismértékű tárolással át lehet hidalni a napszaki változásokat. A hosszabb

periódusú változások már nehezen kezelhetők, a hosszú, borult téli időszakok miatt a mérsékelt égövön csak kivételesen oldható meg (pl. használati meleg víz készítése csak nyáron üzemeltetett létesítményben). A decentralizált energiaellátási módoknál költségnövelő, hogy elesik az olcsóbb közös tartalékolás lehetősége és többbe kerül a karbantartás is.

Az Európai Unió követelményei

A következő évtizedben elképzeléseinket növekvő mértékben az illeszkedés fogja meghatározni az Európai Unió energiapolitikájához. Az unió stratégiai célkitűzése a gyártóipar versenyképességének biztosítása az amerikai és japán iparral, aminek fontos feltétele az olcsó energia. Ennek érdekében az energetika minden szektorában meg kívánják szüntetni a monopóliumokat, és piaci viszonyokat akarnak kialakítani, beleértve a vezetékes ellátási módokat (villamos energia, földgáz) is. Elhatározták, hogy egy fokozatosan csökkenő mértéknél többet felhasználó nagyfogyasztók számára biztosítják a szabad hozzáférés lehetőségét az energiaszállító hálózatokhoz, és a „feljogosított” fogyasztók szabadon dönthetnek, honnan vásárolják a villamos energiát vagy földgázt az unión belül. Csatlakozásunk számos kérdésben energiapolitikai gyakorlatunk felülvizsgálatát követeli meg. Például nem tartható fenn a földgáz- és villamosenergia-import jelenlegi monopóliuma, a villamosenergia-behozatal mértékének állami korlátozása, a szénbányászat dotációja, a keresztfinanszírozás a vezetékes ellátási módoknál (az alacsonyabb kisfogyasztói tarifa kompenzálása a magasabb nagyfogyasztói tarifával). Kiutat kell találni azokból a több évtizedre kötött megállapodásokból, melyekben az MVM Rt. garantálta a villamos energia átvételét nemcsak a működő erőművektől, hanem egyes építeni tervezett létesítményektől is. Árpolitikánkat is újra kell gondolni, elsősorban a villamos energetika területén, mivel árszínvonalunk 40-70%-kal alacsonyabb a nyugat-európai értékeknél. Elkerülhetetlennek tűnik, hogy felzárkózásunk az Európai Unió gazdasági és környezetvédelmi követelményeihez egy átmeneti időszakban a fogyasztói energiaárak emelkedését fogja kikényszeríteni, elsősorban a vezetékes ellátási módoknál. Nagy kérdés, hogy ezt a folyamatot mennyire fogja ellensúlyozni a verseny, különösen amikor a nagy közös piac részeseivé válunk. A torz árak következtében az áramimport tőlünk vonzó lehet a nyugat-európai feljogosított fogyasztók számára, egyúttal hozzánk helyezve át a környezetvédelemnek és a társadalmi elfogadtatásnak az erőműépítéssel együtt járó gondját. Az sem kívánatos, hogy a hazai feljogosított fogyasztók kössék le az olcsó villamosenergia-forrásokat, és a lakosság a drágább források megfizetésére kényszerüljön.

Az Európai Unió a társadalmi stabilitás érdekében az energiapolitikában is nagy jelentőséget tulajdonít a környezetvédelemnek. Ez nálunk is indokolt, de egyben súlyos gond is, mivel energetikai létesítményeink és energiahordozó-

ink jelentős része gyakran az enyhébb hazai előírásoknak sem felel meg. A felzárkózás költségei szinte valamennyi energiahordozó árszínvonalát meg fogják növelni. Szigorítani kell a légszennyezésre és vízszennyezésre megállapított emissziós határértékeket, újra kell gondolni hulladékelhelyezési gyakorlatunkat (meddőhányók, zagyterek, hulladéktárolók stb.), a motorhajtó üzemanyagok minőségére vonatkozó előírások betartásához részben már módosítottuk a kőolaj-feldolgozás technológiáját.

Az unió energiapolitikája függ a nemzetközi helyzettől is. Kiegyensúlyozott, stabil és békés viszonyok kedveznek a piac liberalizálásának és nyitott energiapolitikának, építve az olcsó energiaimportra. Regionális feszültségek, konfrontálódó tömbök, labilis társadalmi vagy etnikai viszonyokkal terhelt szomszédállamok esetében megnő az állami szerepvállalás jelentősége, a viszonyok az import mérséklésére ösztönöznek, felértékelődnek az unió belső erőforrásai. Bizonyos védeettséget jelent majd tagságunk az unió nagy közösségében, de ez nem ment fel saját nemzeti energiapolitikánk kialakítása alól. Kritikus helyzetekben saját magunknak kell megtalálni a feszültségek levezetésére az optimumot, mind állami, mind vállalati szinten. Energiahordozókból az unió is jelentős importra szorul, ami 20 éven belül a teljes felhasználás 70%-át is meghaladhatja. Behozatalának zöme politikailag és stratégiailag labilis térségekből (Közel-Kelet, Észak-Afrika, FÁK) származik, ezért az unió energiagazdasága is ki van téve a világgazdaság és világpolitika váratlan fejleményeinek, energiapolitikája függ a környező térség geopolitikai viszonyainak alakulásától. Nem szerencsés törekvés a felelősség áthárítása az EU-ra országunk ellátásbiztonságáért, nem csak a csatlakozás késedelve miatt, kritikus helyzetben minden tagország csak a saját gondjainak megoldása után hajlandó a mások problémáival törődni.

Az EU politikájának célja, hogy az energiaellátó vállalatok versenye lépje át az országhatárokat, ilyenkor a piac még a saját kapacitások leépítésének árán is ösztönzi a hazai ellátásnál olcsóbb behozatalt, még a villamos energia területén is elképzelhető, hogy az import kiszorít hazai termelést. Nem árt azonban átgondolni, milyen arányban célszerű villamosenergia-importra támaszkodni hazai erőműépítés helyett, mivel a jelenlegi nyugat-európai kapacitástöbblet idővel fel fog szívódni, a tranzitköltségek pedig a növekvő szállítási távolsággal arányosan fognak nőni. Egyszer már végigjártuk az indokolatlan mértékű villamosenergia-import útját, aminek a végén a szállítások ellehetetlenülésének súlyos konzekvenciáitól csak az energiafelhasználás nagy visszaesése mentett meg bennünket.

Csatlakozásunk az Európai Unióhoz merőben új helyzet kezdetét jelenti az energetikában is. Vállalataink egy óriási, soknemzetiségű piac tagjaivá válnak, mely minden résztvevő előtt nyitott. Átalakulnak a gazdálkodás és a kereskedelem módszerei, egységesednek a szakmai követelmények, a változások kihatnak az emberek személyes életvitelére és magatartására is. A csatlakozás meg-

kívánja a jogszabályok illeszkedését (jogharmonizáció) is, ami meglehetősen sok változást igényel joganyagunkban. Az unió három olyan szervezetet integrált, melyek eltérő módon kezelték az energetika ügyeit. A Szén- és Acélközösség (Montanunió, 1952) részletesen szabályozta a szén és széntermékek termelésének és forgalmazásának kérdéseit, beleértve a bányaberuházásokat és a szállítást is. A Montanunió 50 évre létesült, így e kérdések újraszabályozásra várnak az unión belül. Az Európai Gazdasági Közösség (EGK, Közös Piac, 1957) a piaci mechanizmusok oldaláról közelítette meg a többi energiahordozó (kőolaj, kőolajtermékek, földgáz, villamos energia) ügyeit. Az Európai Atomenergia Közösség (Euratom) szoros felügyeletet lát el a tagországok nukleáris létesítményei felett, ellenőrzi a nukleáris fegyverek terjedését akadályozó atomsorompó-szerződés teljesülését, szervezi a hasadóanyagok forgalmazását és részben tulajdonosa is azoknak. Az unió az egységesség irányába fejleszti a mechanizmusokat, de az összecsiszolás átmeneti helyzeteket kíván meg. A Római Egységokmány (1987) célul tűzte ki a termékek, szolgáltatások és a munkaerő szabad áramlását a közösségen belül, a maastrichti szerződés (1992) pedig továbblépett a közös pénzügy, külügy és biztonságpolitika megteremtése felé.

Az EU jogszabályai meglehetősen bonyolult rendszert alkotnak. A rendeletek megelőzik a nemzeti jogszabályokat, minden természetes és jogi személyre kötelező erejűek, a közzétételt követő huszadik napon automatikusan hatályba lépnek, az országok ratifikációjára nincs szükség. Az irányelvek kötelező erejű célokat és irányokat jelölnek ki, de a megoldás módjában a tagállamoknak választási lehetősége van, az adaptálás módját az országok önállóan fogalmazzák meg. Az ajánlások és állásfoglalások nem kötelezőek, de figyelembe veendőek. Vannak egyedi döntések is, amelyek csak a címzettre kötelezőek. Az unió kormányának szerepét betöltő Bizottság meghatározó szerepet játszik a gyakorlati tevékenység irányításában és a jogalkotás előkészítésében.

Az Európai Unió energiapolitikájának alapelveit a Bizottság COM(95) 682. számú Fehér Könyvében tette közzé. A legfőbb cél az integrált piac megteremtése és a verseny kialakítása az energiaellátás területén. Versenyképességének javítására az Európai Unió stratégiai feladatának tekinti az energiaárak leszorítását, mindenekelőtt piaci módszerek kialakításával az energiaellátás minden területén. Fontos szempont az ellátásbiztonság, a jelenlegi kiegyensúlyozott energiaellátás nem garancia e helyzet tartósságára a jövőben. Az energiaellátás optimalizálása érdekében előirányozták két évenként a helyzet és a teendők felülvizsgálatát. A jövőbeli ellátásbiztonságot leginkább veszélyeztető tényezők: az unió energiaimportjának növekedése, a földgáz erőteljes térhódítása, a vezetékes ellátás részarányának bővülése. A végső felhasználás szerkezetét a technológia fejlődésén kívül befolyásolhatja a klímaváltozás, az ellátás liberalizációja és a megújuló energiafajták térhódítása. A fenntartható fejlődés elvét elsődlegesnek tekintik, hangsúlyozzák a környezetvédelem fontosságát, de a versenyképesség megőrzése érdekében kiegyensúlyozott módon. Az energia-

ellátás deregulációját alapvetőnek tartják, és nagy jelentőséget tulajdonítanak az energetikai hatékonyság növelésének is.

Bár az EU szervei, a tagországokban választott képviselők Európa Parlamentje, a nemzeti kormányok képviselőiből álló Tanács és a végrehajtó hatalmat gyakorló Bizottság ajánlásai, állásfoglalásai, irányelvei, előírásai, szabályzatai és döntései gyakran érintenek energetikai kérdéseket, ezek többnyire csak a fő irányokat szabják meg és a tényleges jogi szabályozást az unió tagállamaira bízzák, aminek két alapvető oka van. Az egyik, hogy a tagállamokban az energetika helyzete és irányultsága meglehetősen eltérő és nehéz a közös nevezőt megtalálni. Egyes országokban az energiaellátás területén állami tulajdonban levő centralizált nagyvállalatok működnek, másokban több kisebb vállalat többféle tulajdonformával. Vannak az atomenergiára támaszkodó országok és vannak annak heves ellenzői. Egyesek még állami támogatás árán is a hazai szénbányászat fenntartására törekszenek szociálpolitikai és ellátásbiztonsági okokból, mások leépítették azt a versenyképtelenség miatt. Más a szemlélete a szénhidrogéneket exportáló országoknak és más az importőröké stb. A másik ok, hogy óvakodnak a tervutasításra emlékeztető, dirigista iparpolitikai beavatkozásoktól. Az utóbbi időben azonban kötelező erejű döntésektől sem riadtak vissza az energiaellátás meghatározó jelentőségére hivatkozva. Fordulatot sejtet a Bizottság 2000 végén megjelentetett „zöld könyve”, melyben közös energiapolitika kidolgozását igénylik. Ennek legfőbb indoka a félelem az ellátásbiztonság romlásától az energiaimport gyors növekedése miatt. A közös cselekvés szükségességét a Bizottság azzal is alátámasztja, hogy fontos elhatározásoknál (hatékonyságjavulás, üvegházgáz-kibocsátás csökkentése, megújuló energiák hasznosítása) a kitűzött célok teljesülése elbizonytalanodott.

Néhány lényeges kérdésben a szabályozás túllép az általános elveken és az érdemi működést is befolyásolják. Ilyen kérdéscsoport az energiaellátás biztonsága, tekintettel az unió jelentős mértékben importfüggő energiaegyensúlyára. A kőolaj és kőolajtermékek minimális stratégiai készleteire vonatkozó követelmények különösen a kőolajkrízis időszakában szigorodtak és kiegészültek az erőművekben megkívánt tartalékokra vonatkozó előírással. A kőolajtermékekből minden országban minimálisan 90 napos stratégiai készletet kötelező felhalmozni, az erőművekben pedig legalább 30 napos tüzelőanyag-készletet kell tartalékolni. A biztonságnövelést célozza a tájékoztatás a fontosabb energiaipari beruházásokról, valamint az energiaimporttal kapcsolatos információk gyűjtése. Több állásfoglalás foglalkozik az energetikai hatásfoknöveléssel, egyes termékeknél követelmények születtek a minimális értékekre. A háztartási készülékeknél bevezették a minősítés rendszerét és a címkéken az energiafogyasztás mértékének kötelező feltüntetését. Irányelvek születtek az épületek hőszigetelésére és az energetikai hatásfoknövelés fontosabb lehetőségeire. Az unióban kötelező a kapcsolt hőtermelés és a megújuló energiák alkalmazásának előmozdítása, az utóbbiak arányát 2010-ig 12%-ra

kívánták növelni. Az EU nagyon sok szabványt alkotott, melyeknek jelentős szerepe van a termékekkel kapcsolatos követelmények és a minősítési eljárások egységesítésében. A Bizottság a szabványosítási munka erősítése érdekében külön energetikai munkacsoport létrehozását kezdeményezte, a legfontosabb feladatoknak a hatásfokjavítást, az energiaszállítás kérdéseit és a megújuló energiák fejlesztését jelölve meg.

A magas szintű állásfoglalások és döntések, valamint a szabványok jelentős része a piaci verseny feltételeinek a biztosítását szolgálják, hogy az árakat a kereslet és kínálat alakítsa ki, és ne érvényesülhessen erőfölény. A Bizottság irányelveket is kiad, amikor a piaci mechanizmusoktól eltérő hatások érvényesülnek az árak alakulásában, például a széntarifák képzésének célszerű módjára, vagy a vezetékes ellátási módok árainak átláthatósága érdekében. Az állami támogatások visszaszorítása általános igény, de egyedi esetekben meghatározott időre még engedélyeznek kivételt, például szociálpolitikai okokból Németország és Spanyolország szénbányászatának. Vizsgálják, hogy nem célszerű-e a kőolajtermékekhez hasonló adózás alkalmazása más energiahordozóknál is.

Visszatérő követelmény a verseny torzításának tilalma, a szabályzatokban részletezik a tiltott megállapodások körét (árak, piacfelosztás, előny a beszerzésnél, korlátozás a termelésnél, műszaki fejlesztésnél, beruházásnál). Következésképpen törekednek a monopóliumok fellazítására, illetve újak kialakulásának megakadályozására, például bizonyos piaci részesedésen felül a fúziók engedélyezési eljárásával. Az állam szerepét a közérdek képviselőjére kívánják korlátozni, a polgárok jólétének előmozdítása, a fogyasztóvédelem, a fenntartható fejlődés biztosítása, a társadalom szociális és gazdasági kohéziójának megőrzése a legfontosabb teendők.

Az energetika területén a piaci viszonyok kialakulásának legfőbb akadálya a vezetékes ellátási módok természetes monopóliuma, mivel egy terület ellátására párhuzamos hálózatok kiépítésének nincs értelme. Az unió már az 1980-as évek közepén kinyilvánította szándékát a monopólium megtörésére, hogy verseny alakulhasson ki. Az 1990-es évek elején irányelvek születtek az európai villamos és gázhálózatok koncepciójára és a tranzitálás feltételeire, 1997-ben – sokéves egyeztetések után – döntöttek a közös villamosenergia-piac létrehozatalával kapcsolatos követelményekről és szabályozásának módjáról. A határozat értelmében a tagállamokat kötelezték a közös villamosenergia-piac működéséhez szükséges nemzeti törvények, szabályzatok és közigazgatási rendelkezések megalkotására. Az egységes villamosenergia-rendszer megteremtésére egyrészt igénylik – legalább számvetélesen – az integrált vertikumok felbontását termelő, szállító és ellátó vállalatokra (ami Magyarországon már megvalósult). Másrészt olyan helyzetet kívánnak kialakítani, hogy mind az energiatermelők, illetve beszállítók, mind a fogyasztók szabadon férjenek hozzá a szállítóhálózatokhoz. Így bármely feljogosított nagyfogyasztó bármely az

unió területén működő termelővel tetszőleges szállítási kapcsolatokban állapodhat meg, ennek révén megvalósulna a villamos távvezetéseken az energia-hordozók szabad áramlása és a piaci verseny. Első lépésben (1999-ben) a szabad választást az évente 40 GWh-nál többet felhasználó fogyasztók számára kellett biztosítani, a küszöbértéket 6 év alatt 9 GWh-ra kell csökkenteni. A számítások szerint ez kezdetben a teljes felhasználás negyedét érinti, ami 6 év alatt egyharmadra nő, de egyes tagországok már az első évben a teljes fogyasztásra kiterjesztették a piaci viszonyokat. Hosszas viták után sikerült a vezetékes gázellátásban is megállapodásra jutni, de hosszabb, 10 éves átmeneti időt előíranyozva. A 2000-ben indult gázpiacnyitás a fogyasztás 20%-át érinti, a küszöbérték 25 Mm³/év, 10 év alatt a minősített fogyasztók alsó határa 1 Mm³/évre csökken, miközben a piac harmada válik liberalizálttá.

Az új erőművi kapacitások létrehozásának módjára az unió két piacconform eljárást tart lehetségesnek: vagy az ajánlattevők versenyeztetését, vagy egy kijelölt állami szerv engedélyezési eljárását. Az első esetben az ajánlattevők közül a kijelölt szerv pályázat alapján választja ki a legelőnyösebb ajánlatokat. A második esetben a beruházni szándékozók saját kockázataikra határozzák el a létesítést, de természetesen eleget kell tenniük az erre felhatalmazott állami szerv műszaki, gazdasági, környezetvédelmi, biztonsági és energiapolitikai követelményeinek. Az EU-tagállamok többnyire a befektetői kezdeményezésen alapuló hatósági engedélyezési eljárást választják. Mi tendert írtunk ki egy nagyvonalú erőmű-építési programra, de az áramvásárlási szerződésekkel kapcsolatos felfogás revíziója miatt az elképzelések legnagyobb része megghiúsult.

A közösség kohéziójának erősítését célozzák különféle információszolgáltatási kötelezettségek is, így az unió területén kívülről származó energiaimportról, a külföldi bányászati koncessziókról, a nagyobb energetikai beruházások projektjeiről, a nagyobb vállalati egyesülések terveiről. Egységesen szabályozták a geológiai kutatások feltételeit és követelményeit. Több programot indítottak az energia-takarékosság előmozdítására, a SAVE az energiamegtakarítást, a THERMIE határfokjavító technológiai megoldásokat, az ALTENER a megújuló energiák hasznosítását támogatja, az ETAP az energiapiac közös megfigyelésére és elemzésére törekszik, a SYNERGY a diverzifikálást ösztönző együttműködés előmozdítója, a CARNOT célja pedig a tisztaszén-technológiák terjesztése. Az atomenergia-hasznosítás biztonságának növelésére is terveznek közös programot. A környezet védelmét szolgálja az átfogó EPEFE-program, ami határértékeket szab a gépkocsi-motorok kibocsátásaira és előírja annak ellenőrzési módját, továbbá szabályozza az üzemanyagokban megengedett szennyezőanyag-koncentrációkat. Ennek végrehajtására részletes előírások születnek az egyes energiahordozókra és a különféle járműtípusokra. Közös vállalat született a CO₂-kibocsátás csökkentésére, de kényszerítő erejű előírások bevezetésében nem sikerült megállapodásra jutni. Az összetartás erősítésében jelentős erőt képviselnek az unió különféle kiadványai, konferenciái, szemináriumai és közös kutatási programjai.

Az atomenergiát az ellátásbiztonság és a környezetvédelem fontos elemének tartják, de hasznosításának kérdését az unió az országok belügyének tekinti. A szellemi bázis megőrzését viszont közös kutatási programokkal is támogatják. Kötelező erejű döntéseket csak a hasadóanyagok ellenőrzéséről és a nukleáris biztonságról hoznak. Részletesen szabályozzák viszont a sugárvédelem és sugáregészségügy követelményeit. Az unió kezdeményező szerepet játszik a nemzetközi megállapodások, így a nukleáris biztonsági konvenció, a radioaktív hulladékokról és a kárfelelősségről kötött egyezmények létrejöttében. Elsőként vezették be az ICRP 60 szigorú sugárvédelmi határértékeinek, valamint az IAEA biztonsági irányelveinek kötelező alkalmazását. A szovjet tervezésű atomerőművek biztonságának növelésére nagyléptékű programot kezdeményeztek, kerekén 1 GECU anyagi ráfordítással és jelentős szellemi kapacitások közreműködésével. Az új tagok csatlakozásánál kiemelt követelménynek tekintik a nukleáris létesítmények megfelelő biztonságát, a jogi és hatósági háttér színvonalát. Az unió biztonsági hatóságainak vizsgálata a magyar jogrendet és hatósági tevékenységet a nyugat-európai gyakorlat-hoz hasonlóan minősítette, a folyamatban lévő biztonságnövelő intézkedések megvalósítása után atomerőművünk biztonságát egyenértékűnek fogják tekinteni a hasonló korú nyugati erőművekével.

Irodalom

- An Energy Policy for the European Union.* European Commission (95) 682 of 13. 12. 1995.
COM (2000) 769. Commission of the European Communities: Green Paper Towards a European strategy for the security of energy supply, 2000. nov. 29.
Directorate General for Energy: *Energy in Europe. Compendium of legislation and other instruments relating to energy.* European Commission DG XVII, Brussels, 1995.
European Commission, DG XII. Science, Research and Development: *ExternE, Externalities of Energy.* Office for Publ. of the EC, Brussels, 1995.
External Costs and Benefits of Fuel Cycle. Oak Ridge, 1994.
Hirschberg, S. et al.: *Comprehensive Assessment of Energy Systems.* Invited Paper, Jahrestagung Kerntechnik, Stuttgart, 1994.
Stirling, A.: Diversity and Ignorance in Electricity Supply Investment. *Energy Policy*, 1994. (3). 195.
Vajda Gy.: *Kockázat és biztonság.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 1998.

Jogszabályok

Alapvető jogszabályok

- 21/1993. (IV. 9.) OGY határozat a magyar energiapolitikáról.
1993. évi XLVIII. törvény a bányászatról; módosítva és kiegészítve az 1997. évi XII. törvénnyel;
115/1993. (VII. 12.) kormányrendelet a bányászatról szóló 1993. évi XLVIII. törvény végrehajtásáról; módosítva 203/1998. (XII. 19.) kormányrendelettel.

1991. évi XVI. törvény a koncesszióról.
1994. évi XLI. törvény a gázszolgáltatásról; módosítva az 1997. évi XX. törvénnyel; 3/1995. (I. 20.) kormányrendelet a gázszolgáltatásról.
- 2076/1994 (VIII. 6.) kormányhatározat a Magyar Energia Hivatalról.
1994. évi XLVIII. törvény a villamosenergia-termelésről, -szállításról és -szolgáltatásról (VET); 34/1995. (IV. 5.) kormányrendelet a VET végrehajtásáról.
- 107/1995. (IX. 8.) kormányrendelet az erőművek létesítési és üzembe helyezési eljárásáról; 2220/1995. (VIII. 4.) kormányhatározat a villamosenergia-ipari társaságok erőmű fejlesztési célkitűzéseinek programjáról, valamint az erőművi és hálózati áramszolgáltató vállalatoknál bevezetésre kerülő szavazatszöbbségi részvnyekhez rendelt jogokról, módosítva: 1115/1995. (XI. 29.) kormányhatározattal.
1996. évi CXVI. törvény az atomenergiáról.
- 87/1997. (V. 28.) kormányrendelet az Országos Atomenergia Bizottság feladatáról, hatásköréről, valamint az Országos Atomenergia Hivatal feladat- és hatásköréről, bírságolási jogköréről, módosítva 122/1998. kormányrendelettel.
1998. évi XVIII. törvény a távhőszolgáltatásról; 1/1999. (I. 1.) kormányrendelet a törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról.
1995. évi XXXIX. törvény az állam tulajdonában lévő vállalkozói vagyron értékesítéséről, módosítva az 1995. évi LXIX. törvénnyel.
- 1112/1994 (XII. 2.) kormányhatározat a MOL Rt. privatizálásáról, módosítva: 1066/1995. (VII. 6.), 1072/1995. (VIII. 4.) kormányhatározatokkal; 1113/1994. (XII. 7.) kormányhatározat a gázszolgáltató rt.-k privatizálásáról; 1065/1995. (VII. 6.) kormányhatározat a gázszolgáltatók privatizációs pályázatának alapvető feltételeiről; 1114/1994. (XII. 7.) kormányhatározat a villamosenergia-ipari társaságok privatizációjáról, módosítva: 1063/1995. (VII. 6.), 1115/1995. (XI. 29.) kormányhatározatokkal; 1131/1996. (XII. 23.) kormányhatározat a villamosenergia-ipari társaságok privatizálásáról szóló egyes kormányhatározatok módosításáról; 1064/1995. (VII. 6.) kormányhatározat a villamosenergia-ipari társaságok privatizációs pályázatának alapvető feltételeiről.
1996. évi LVII. törvény a tisztességtelen piaci magatartás és a versenykorlátozás tilalmáról.

Európai unió szabályok

- 68/414/EEC: Council Directive of 20 dec. 1968 imposing an obligation on Member states of the EEC to maintain minimum stocks of crude oil and/or petroleum products 368L0414 OJ L 308, 23. 12. 1968;
- 73/238/EEC: Council Directive of 24. July 1973 on measures to mitigate the effects of difficulties in the supply of crude oil and petroleum products 373L0238, OJ L 228, 16. 8. 1973; 77/706/EEC Council Decision of 7 Nov. 1977 on the setting of a Community target for a reduction in the consumption of primary sources of energy in the event of difficulties in the supply of crude oil and petroleum products 377D0706 OJ L 292, 16. 11. 1977; 79/639/EEC: Decision of 15 June 1979 laying down detailed rules for the implementation of Council Decision 77/706/EEC OJ L 183, 19. 7. 1979.
- 75/339/EEC: Council Directive of 20 may 1975 obliging Member states to maintain minimum stocks of fossil fuels at thermal stations 375L0339, OJ L 153, 13. 6. 1975
- 78/170/EEC: Council Directive of 10 dec. 1982 amending Directive 78/170/EEC on the performance of heat generators for space heating and the production of hot water in new or existing non-industrial buildings and on the insulation of heat and domestic hot-water distribution in new nonindustrial buildings 382L0885, OJ L 378, 31. 12. 1982.
- 91/565/EEC: Council Decision of 29 Oct. 1991 concerning the promotion of energy efficiency in the Community 391D0565 OJ L 307, 8. 11. 1991.
- 92/42/EEC: Council Directive of 21 May 1992 on efficiency requirements for new hot-water boilers fired with liquid or gaseous fuels 392L0042 OJ L 167 22. 6. 1992.

- 92/75/EEC: Council Directive of 22. Sept. 1992 on the indication by labelling and standard product information of the consumption of energy and other resources by household appliances 392L0075 OJ L 297, 13. 10. 1992.
- 93/500/EEC: Council Decision of 13 Sept. 1993 concerning the promotion of renewable energy sources in the Community 393D0500 OJ L 235, 18. 9. 1993.
- 90/377/EEC: Council Directive of 29 June 1990 concerning a Community procedure to improve the transparency of gas and electricity prices charged to industrial end-users 390L0377 OJ L 277, 10. 11. 1990.
- 3632/93/ECSC: Commission Decision establishing Community rules for State aid to the coal industry 393D3632 OJ L 239, 30. 12. 1993.
- 86/7468/EEC: Council Resolution of 16 sept. 1986 concerning new Community energy policy objectives for 1995 and convergence of the policies of the Member States 386Y0925 (01) OJ C 241, 25. 9. 1986.
- 90/547/EEC: Council Directive of 29 Oct. 1990 on the transit of electricity through transmission grids 390L0547 OJ L 74, 12. 6. 1990.
- 91/296/EEC: Council Directive of 31 May 1991 on the transit of natural gas through grids 391L0296 OJ L 147, 12. 6. 1991.
- 93/76/EEC: Council Directive of 13 Sept. 1993 to limit carbon dioxide emission by improving energy efficiency 393L0076 OJ L 237, 22. 9. 1993.
- Commission Regulation (EEC) No. 3025/77 of 23 Dec 1977 applying Regulation No 1056/72 on notifying the Commission of investment projects of interest to the Community in the petroleum, natural gas and electricity sectors 377R3025 OJ L 358, 31. 12. 1977.
- Commission Regulation (Euratom) No 213m/76 of 19 Oct. 1976 concerning the application of the provisions on Euratom safeguards 376R3227 OJ L 363, 31. 12. 199
- Directive 98/30/EC of the European Parliament and of the Council concerning common rules for the internal market in gas.
- Directive 96/92/EC of the European Parliament and of the Council of 19 December 1996 concerning common rules for the internal market in electricity OJ EN No L 27/20 30. 1. 1997.
- Directive on emissions from heavy goods vehicles – in preparation; Directive on emissions from light commercial vehicles – in preparation; Directive on sulphur content of liquid fuels – in preparation; Directive setting limit values for sulphur dioxide, nitrogen oxides, particulates and lead – in preparation; Directive on air pollution by emissions from motor vehicles – in preparation; Directive concerning the quality of petrol and diesel fuels – in preparation.
- Official Journal of the European Communities Commission, az Európa Unió Bizottságának hivatalos lapja.*

Energiahordozók

1993. évi IL. törvény a behozott kőolaj és kőolajtermékek biztonsági készletezéséről, módosítva az 1997. évi CXVII. törvénnyel; 1099/2000. (XI. 29) kormányhatározat a kőolaj és kőolajtermékek stratégiai készletezéséről és azok beszerzéséhez kapcsolódó állami kezességvállalásról.
1999. évi XXXIX. törvény a Nemzetközi Energia Programról Párizsban, 1974. november 18-án kelt Egyezmény és annak Jegyzőkönyvei, valamint a Gazdasági Együttműködési és Fejlesztési Szervezetnek a Nemzetközi Energia Ügynökséget létrehozó (74)203 (végső) határozatának kihirdetéséről.
- 66/1997. (XII. 17.) IKIM rendelet az erőművek energiahordozó készletének legkisebb mértékéről és a készletezés rendjéről; módosítva 15/1999. (IV. 7.) GM rendelettel.
- 95/1995. (VIII. 24.) kormányrendelet a villamosenergia-szállítás és -szolgáltatás korlátozásáról és szüneteltetéséről.
- 29/1995. (VII. 25.) kormányrendelet a villamos energia behozatalának és kivitelének szabályozásáról.

GEORGE VAJDA

Energy policy

Summary

More than two third of energy needs of Hungary is covered by import due to limited energy resources. Therefore, the security of the country's energy supply is vulnerable. Creating our energy policy, it is essential to take into account the main international trends and options in energy production and consumption, and to consider the main impacts influencing the possibilities of action. The task of this book is to review the conditions and options of energy policy, in order to support the decisions of policy makers. The world energy use increased continuously throughout the 20th century, only severe conflicts resulted in temporary stagnation or decline. Energy demand has increased 20-fold in the last 100 years according mainly to needs of developed countries. In the 21st century a significantly slower increase is expected and the major part of it will be originated by the developing countries. The most important driving forces in this respect are the population increase and the immense handicap in economic power and in living standards. Two methods are used to forecast the future of energy supply; the global approach is based on macro economic indices whereas the synthetic procedure uses a detailed analysis of energy consumption. After the change of Hungary's political system the drastic decrease of economic output caused a similar setback of energy demand. In the middle of the 90's a period of economic stagnation came into force followed by an economic upswing, therefore, a moderate increase of energy needs can be expected. Despite the predicted moderate development the entire cumulative world energy demand will reach an immense order of magnitude – 10^{23} J – in the 21st century and it will be difficult to cover these needs. The dominating role of mineral fuels will persist for a long time since the exhaustion of fossil sources is still not threatening, especially if the non-conventional hydrocarbon sources will also be utilised. However, the costs will increase along with depleting the most favourable resources and starting to exploit the more expensive ones. An even more serious obstacle is the pollution of the environment, particularly the carbon dioxide emission, if the presumed consequences of the greenhouse effect will be justified. Renewable energy sources represent an attractive option, however, their exploitable potential is limited, since their role in natural processes must not be disturbed. Therefore, they cannot cover the global energy demand of the world alone. Though present nuclear techniques are not

suitable for long-term solutions, an immense potential is offered by reprocessing the spent fuel and by the exploitation of thorium resources. Long-term demands of the world energy supply cannot be satisfied without utilisation of nuclear energy with the precondition that its economical competitiveness is solved as well as the problems hindering its social acceptance (nuclear safety, disposal of radioactive wastes, etc.). Requirements of sustainable development can best be met by utilising renewable sources since this does not limit the conditions of future generations and the accompanying pollution is relatively low. The nuclear option is nearly as advantageous because the application of fossile materials in other – non-military – fields of economy and the environmental pollution are negligible. Fossil fuels are highly polluting, besides, burning the limited resources of hydrocarbons would deprive future generations of valuable raw materials. Making decisions in energy field, the multiple interaction of energy production with nature, economy and society have to be taken into account. Energy consumption has an essential influence on the life of people, by fulfilling all sorts of needs and, on the other hand, by inducing dangers and causing harmful effects. To compare the

different energy options all phases of the energy chains should be investigated, starting with fuel production up to utilisation and waste disposal. Also the establishing and utilisation of facilities in the chain has to be taken into consideration. Different technologies represent different burdens on the natural surroundings by exploiting natural resources and by causing environmental pollution. Natural resources involve not just the energy carriers but also the exploitation of land, water, and raw materials. Examining of the entire energy chain leads sometimes to surprising results. Thus, e.g. specific use of energy carriers and mineral raw materials are lowest for nuclear-based electricity production. Utilisation of renewable energy sources, due to the low power density, require large – raw material consuming – facilities and this leads to increased environmental pollution and high capital cost. Building and operating some facilities of renewable energy consume more energy than they can produce during their total lifetime.

Environmental aspects have become a decisive concern of energy policy. Energy production plays the most important role in several areas of environmental pollution (e.g. release of CO_2 , SO_x , NO_x , O_3 , slag and flying ash; smog, acid rain, greenhouse effect), and complying with international conventions often depends on the performance of energy industries. The most severe problem is the air pollution caused by fossil fuels.

There are sound techniques to limit emission of most pollutants (aerosols, sulphur dioxide, nitrogen oxides, volatile organic substances) which have local and regional consequences. It is, however, a question, if the developing countries will have sufficient economical strength to introduce them whereas

it is there where energy consumption will increase dynamically in the future. Research is in progress aiming at repression of carbon dioxide emission but an economically suitable solution has not been found yet. If the predictions of greenhouse models will become justified, radical reduction in applying carbon-containing fuels will be inevitable. Energy chains based on renewable sources have air-polluting effects too, but in a much lower degree. Minor air pollution is caused by the nuclear power chain, emission of radioisotopes in normal operation is negligible. Only in severe accidents of nuclear power plants can considerable amounts of radioactivity be emitted. The probability and the extent of such accidents is drastically reduced by increasingly strict safety regulations, and by retrofitting of the existing plants. For the next generation of nuclear power plants it is a prerequisite that the environment must not be endangered.

Solid wastes represent a serious burden too. The refuse dumps of coalmines, the slurry of preparatory and processing facilities (coal separators, coke ovens, petroleum refineries, ore milling, etc.), the solid combustion products and the desulphurisation residues on sludge depositories have to be isolated from the environment. Otherwise not only soil and water sources but also human health will be jeopardised, especially by poisonous heavy metals and by natural radioactive isotopes. Special attention is given to radioactive wastes of nuclear facilities, and their safe management is one of the preconditions of public acceptance. Numerous facilities for storage and disposal of low and intermediate level radioactive wastes are operating around the world without any problem. A feasible and secure solution for deposition of high level radioactive wastes into stable geological formations has been demonstrated by the Nature itself but the society is sceptical in this respect because of the long decay life. Transmutation, i.e. transforming long-lived isotopes into short-lived or stable ones by means of neutron irradiation, is a promising new possibility.

Earlier a major concern was the water pollution induced by chemical technologies (e.g. coal processing, petroleum refinement, uranium ore separation) but as a consequence of strict regulations these problems have been solved. Thermal pollution of waters originates mainly from thermal power plants with fresh water-cooling. Coal mining is the most disturbing activity concerning the subsurface water balance.

Energy effects (e.g. light, noise, vibration, and electromagnetic radiation) may also harm the environment. The main attention is given to the effects of ionising radiation, investigating all the possible transport routes (external and internal radiation, inhalation, intake with food, etc.), to measure the radiation load on man and nature.

The biggest amount of energy is released in the course of catastrophes. The nuclear accident in Chernobyl was a disaster of greatest consequence in the history of technology. A lot of distorted and exaggerated reports have

appeared about the consequences that make its realistic assessment difficult. The veritable knowledge of the consequences is also important to avoid similar events. The most frequent energy related disasters are mine accidents also in Hungary. Severe damages can also originate from dam bursting in waterpower stations, from natural gas explosions as well as from great fires initiated by burning oil. Accidents of oil tankers seriously endanger the wildlife of the seas. Risk assessment studies may be of great help in professional evaluation of these effects.

Energy production technologies and facilities may represent danger for human health or even life. To evaluate the risks it is suitable to differentiate between occupational and public exposure. In the former case the professional staff accepts the dangers of their free will and have a possibility to protect themselves. However, the civil population has to endure the harmful effects involuntarily and is hardly in position to reduce the risks involved. Major part of severe accidents threatens the staff members only; still the harmful effects endured by civil population are not negligible either (electric shocks, gas explosions, accidents in energy carrier transfer, accidents caused by household appliances). Most of the population is affected by environmental hazards that cause the biggest public concern. Various air pollutants are harmful to respiratory organs and – *via* inhalation or food chain – may damage other organs as well. Since continuous air pollution takes place due to fossil fuel combustion, large numbers of population are suffering from these effects.

The fear of the mysterious ionising radiation is the origin of antinuclear feeling. Already it has been acknowledged that normal operation of nuclear facilities does not have any manifest harmful effects, only accidents may initiate the dangerous emission. Acute radiation disease can only be caused by big radiation doses, similar to those received by people remaining at the close proximity of the Chernobyl reactor during the accident. Contradictory opinions have been expressed concerning the late radiation effects – cancer, genetic consequences – since only working hypothesis and no scientifically confirmed theory exists for evaluation of this aftermath. It is likely that the moderate estimations considering the late consequences of the Chernobyl accident are more realistic but the extent of psychosomatic damages is significant. The quantification of health hazards is a difficult task, especially if various consequences of different factors have to be taken into account. Among proposed methods the multiattribute utility appears as the most appropriate one. The society is limiting the risks to human health, life and security by implementing legal regulations, and by supervising their realisation through regulatory authorities. Environmental pollution and diminishing of habitats are the main factors damaging Nature. Most of the information is gained on the decrease of crop yield and on forest extinction,

much less is known about the response of animal world. The biggest damage is caused by air pollution of combustion (aerosols, acid rain, soil acidification, ozone production etc.).

Due to the extent of energy consumption energy supply has a significant macroeconomic impact (GDP, balance of payments, balance of foreign trade, tax revenue, level of investments, etc). Energy costs are incorporated in the prices of all products so they have a crucial influence on the economy. Beside natural resources and market conditions prices of energy are also motivated by non-economic factors (monopolies, cartels, and governmental interventions). Recently OPEC has regained its decisive influence on oil market and the present high prices are likely to remain. Oil prices have a directing influence on prices of all other energy carriers as well. Pricing of consumption is also influenced by tax policy and – in some extent – by the social politics of the government.

Investments in the energy field have a significant impact on the economy. The present circumstances in the investment field do not promote the goal of sustainable development, especially the power plant construction, what is the most costly investment. The liberalisation of the electricity and gas market is often connected with privatisation of the plants. Therefore, the private capital becomes the main investor, and since the private financing is interested in the fast return of capital, it prefers the low capital cost. Specific capital cost for renewable energy is high, because relatively large – material consuming – facilities are needed, due to the low power density. The costs are further increased by the necessary energy storing facilities or reserve capacities according to the intermittent character of availability. On the other hand, investments in nuclear power plants are burdened with the additional expenses necessary for nuclear safety – rising up to nearly half of the total investment – as well as with high interests due to long licensing and construction time. It is possible that the present dominating role of natural gas in power plant investments will be driven back, should the oil prices remain high.

Energy producing facilities have extended connections with the companies supplying them with necessary materials, equipment and other services and, therefore, they can strongly influence the activity of the latter's, not only by actual orders but also by expressing demands which inspire technological development. New possibilities in the energy field often reflect on essential scientific and hightechnological achievements (e.g. nuclear power, offshore hydrocarbon production, liquefied natural gas technique, clean-coal technology, environmental industries, etc.).

The transport of energy carriers represents the biggest part of the world trade. Decisions on energy policy often depend on transport possibilities and optimisation of transport is often a decisive factor. This aspect is especially

important for Hungary because of the high import ratio, and the delicate geopolitical situation of import routes.

Energy production and supply has always played an essential role in technical innovations and hence in the development of society. To accomplish this has never been an easy task since the society usually does not willingly replace old techniques by new and still unfamiliar solutions. Public acceptance has become especially crucial with the formation of democratic societies, where the possibility to express opinion about energy decisions for local communities and individuals concerned has become a basic right. This situation has given rise to many social strains and moral problems, and the solutions are not easy to reach, sometimes by making compromises that are far from being optimal. There are confrontations between numerous different interests concerning energy decisions: individual and collective ambitions, regional interests of communities, economic competition, activity of trade unions and other societies, political parties trying to gain votes, etc., etc. Media plays also an important role and its affinity to bad news often suppresses the obligation to produce objective information. It is not easy to find one's way among these expectations and to produce optimal solutions for the whole society.

Similarly to worldwide tendencies liberalisation of energy supplies takes place also in Hungary. Earlier experiences have to be taken into account: in the past half of the century unexpected changes in world economy and politics forced radical changes in the Hungarian energy policy nearly every decade. Similar changes are likely to happen also in the future, and only a diversified supply system can assure protection in this respect, regularly adopting it to the global developments. The market is an efficient tool to control operational matters of energy supply but the government also has obligations. It is the duty of the government to create the legal background of the market and operate the regulatory authorities to inspect the fulfilment of the requirements. State responsibility is the representation of social interests, consumers' and environmental protection as well as life and property security. Long-term goals (geopolitics, energy structure, import dependence) are also to be determined by the government since the market takes into account only the short-term impacts. Some non-economic priorities (international obligations, economic policy, environmental protection, national defence, development of settlements, social politics etc.) also have to be enforced using governmental influence. Since Hungary intends to join the European Union in the near future, the sophisticated legal system of the EU has to be adopted, which makes a considerable change in the present Hungarian legal system necessary. An especially delicate task is to decide the speed of liberalisation of electricity and gas market. The effectiveness of energy policy depends on successful harmonisation of governmental role with the market forces.

A kötet szerzője

VAJDA György

gépészmérnök, a Magyar Tudományos Akadémia
rendes tagja, a Magyar Mérnök Akadémia tagja, a
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
címzetes egyetemi tanára, Állami és Széchenyi-díjas



A demokrácia intézményrendszere

A magyar agrárgazdaság jelene és kilátásai

Sárközy Tamás: Rendszerváltozás és a privatizáció joga

Az agrártermelés tudományos alapozása

Népegészség, orvos, társadalom

Egészségügy és piacgazdaság

Biotechnológia – lépéstartás Európával

Környezetpolitika és uniós csatlakozás

Termelés, piac, természeti környezet

Losonczi Ágnes: Utak és korlátok az egészségügyben

Budapest – nemzetközi város

A cigányok Magyarországon
Bp. 1999. 270 oldal, ára: 700 Ft

Minőség és agrárstratégia
Bp. 1999. 408 oldal, ára: 900 Ft

A magyar nyelv az informatika korában
Bp. 1999. 195 oldal, ára: 550 Ft

A NATO és a magyar politika
Bp. 1999. 214 oldal, ára: 620 Ft

Magyarország településkörnyezete
Bp. 2000. 496 oldal, ára: 920 Ft

Az információs társadalom
Bp. 2000. 245 oldal, ára: 700 Ft

Területfejlesztés és közigazgatás-szervezés
Bp. 2000. 245 oldal, ára: 700 Ft

Közlekedési rendszerek és infrastruktúráik
Bp. 2000. 241 oldal, ára: 700 Ft

A cigányok Magyarországon
Utányomás. Bp. 2001. 270 oldal, ára: 700 Ft

Egészségügy Magyarországon
Bp. 2001. 368 oldal, ára: 920 Ft

Ára: 950 Ft