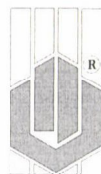


307696



Lapunk jelen számának megjelenését
a Paksi Atomerőmű Rt. támogatta

Magyar Tudomány

101

**ENERGIA,
KÖRNYEZET,
GAZDASÁG**

Vendégszerkesztő:
VAJDA GYÖRGY

2001/11

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA FOLYÓIRATA. ALAPÍTÁS ÉVE: 184
CVIII. kötet – Új folyam, XLVI. kötet, 2001/11. szám

Főszerkesztő:

CSÁNYI VILMOS

E szám vendégszerkesztője:

VAIDA GYÖRGY

Vezető szerkesztő:

SZENTGYÖRGYI ZSUZSA

Olvasószerkesztő:

ELEK LÁSZLÓ

Szerkesztőbizottság:

ÁDÁM GYÖRGY, BENCZE GYULA, CSÁSZÁR ÁKOS, ÉNYEDI GYÖRGY,
KOVÁCS FERENC, KÖPECZI BÉLA, LUDASSY MÁRIA, NIEDERHAUSER EMIL,
SOLYOSI FRIGYES, SPÁT ANDRÁS, SZENTES TAMÁS, VAMOS TIBOR

A lapot készítették:

CSATÓ ÉVA, GAZDAG KÁLMÁNNÉ, HALMOS TAMÁS, MATSKÁSI ISTVÁN,
PERECZ LÁSZLÓ, SPERLÁGH SÁNDOR, SZABADOS LÁSZLÓ, F. TÓTH TIBOR

Lapterv, tipográfia:

MAKOVECZ BENJAMIN

Szerkesztőség:

1051 Budapest, Nádor utca 7. • Telefon/fax: 3179-524
matud@helka.iif.hu • www.matud.iif.hu • www.mta.hu
Kiadja az Akaprint Kft. • 1115 Bp. Bártfai u. 65
Tel: 2067-975 • akaprint@matavnet.hu

Előfizethető a FOK-TA Bt. címén (1134 Budapest, Gidófalvy L. u. 21.);
a Posta hírlapüzleteiben, az MP Rt. Hírlapelőfizetési és Elektronikus
Posta Igazgatóságánál (HELP) 1846 Budapest, Pf. 863,
valamint a folyóirat kiadójánál: Akaprint Kft. 1115 Bp. Bártfai u.65

Előfizetési díj egy évre: 3.500 Ft

Terjeszti a Magyar Posta és alternatív terjesztők
Kapható az ország igényes könyvesboltjaiban

TARTALOM

Energia – környezet – gazdaság

Szentgyörgyi Zsuzsa: Előszó	1264
Vajda György: Egy energiára (is) éhes világ jövőképe	1266

Technikai trendek és kilátások

Nagy Béla: Energiavagyon és kiaknázhathóság	1274
Magyari Dániel - Tihanyi László: A szénhidrogénhelyzet.....	1280
Reményi Károly: A szénhasznosítás új lehetőségei	1287
Szatmári Zoltán: A jövő atomerőművei.....	1292
Horváth Gábor - Tóth László: A szélenergia hasznosítása	1300
Puppán Dániel: Bioüzemanyagok.....	1306
Büky Gergely: Áttörések az erőműtechnikában	1310

Környezeti hatások – a környezet védelme

Mészáros Ernő: Éghajlatváltozás – természet vagy emberi hatások	1315
Bárdossy György: A radioaktív hulladékok elhelyezése	1320
Veres Árpád: A hosszú életű nukleáris hulladékok átalakítása és hasznosítása.....	1324
Szabényi Imre: Környezetkárosítás, és a védekezés lehetősége	1331

Gazdasági összetevők és társadalmi válaszok

Czelnai Rudolf: Korasoff herceg ötvenhárom levele	1336
Kapolyi László - Lengyel Gyula: Villamosenergia-rendszerek; ellátásbiztonság és árak	1343
Sztanyik B. László: Az energetikai környezetszennyezés élettani hatásai	1348
Katona Tamás - Rátkai Sándor - Jánosiné Bíró Ágnes - Gorondi Csaba: A Paksi Atomerőmű jövője	1355
Kováts Balázs: A nukleáris ipar és a társadalom	1364
Ámon Ada: Több fényt!	1368
Magyar feltaláló a világmemóriában	1371

Új levelező tagok

Ádám Veronika	1373
Ginsztler János.....	1374
Görömbei András	1375
Márton Péter.....	1376
Orosz László	1378
Simonovits Miklós	1379
Patkós András	1380
Vajda Mihály.....	1381

Könyvszemle

Vajda György: Energiapolitika	1383
<i>Energiagondok a világban és nálunk</i> (Kerényi A. Ödön)	1386
Antal - Járó - Somogyi - Várallyay: <i>A XIX. századi folyószabályozások</i> <i>és ármentesítések földrajzi és ökológiai hatásai</i> (Vágás István)	1387
István Lakatos (ed.) <i>Progress in Mining and Oilfield Chemistry</i> . (Berecz Endre) ...	1389
Michael Shermer: <i>Hogyan hiszünk</i> (Bencze Gyula)	1391

<i>Energy – Environment – Economy</i> • Angol nyelvű tartalomismertető	1394
--	------

Energia – környezet – gazdaság

Szentgyörgyi Zsuzsa

ELŐSZÓ

A kötet vendégszerkesztője Vajda György, a MTA rendes tagja; szerkesztője Szentgyörgyi Zsuzsa.



Jelen számunkat a huszonöt éves Paksi Atomerőmű Rt. támogatta, amiért ezúton mond köszönetet

a szerkesztőség.

Az energetika – pontosabban: az elegendő mennyiségű, a környezet szempontjából elfogadható, viszonylag nem drága energiaelőállítás és -ellátás – a 21. századi emberiség egyik legfontosabb problémája lesz. A *Magyar Tudomány* ezért határozta el, hogy – évek óta következetesen folytatott gyakorlatát követve – a nagy társadalmi hatású, széleskörű érdeklődésre számot tartó tematikus számai sorában most ennek a kiemelkedő jelentőségű problémakörnek ad helyet. Áttekintésünkben a nemzetközi trendek, irányzatok bemutatásán túl mindenkor nyomtatékosan szerepeltetjük a hazai helyzetet, gondokat és megoldási lehetőségeket. Hangsúlyozzuk, hogy a címben szereplő hármas témacsoport: az energetika, a környezeti hatások, és mindezek gazdasági vonzatai, voltaképpen egyetlen probléma-komplexumnak egymással szorosan összefüggő metszetei mentén haladnak, anélkül, hogy mereven szétválaszthatók lennének. A fejezetek szerinti felosztások tehát a tárgyalhatóságot és a szakmai részletek szerinti mélyebb behatolást szolgálják, de a résztémák szerzői mindenkor figyelembe vették a kölcsönhatásokat is.

Az energetikával kapcsolatos gondokra már az előző század második felében is számos intő jel hívta fel a figyelmet. Mindenekelőtt a légkör elszennyeződése, a valószínűleg antropogén hatású felmelegedés tekinthető valóban globális veszélynek. Nem kevésbé súlyos prob-

lémákat okozhatnak azonban a lokális gondok is. Ezek egyik legszembeötlőbb példája a kaliforniai sorozatos áramhiány (ennek során a világ egyik legfejlettebb, leggazdagabb államában, az USA-ban tavaly hét alkalommal is előfordult több napra kiható villamosenergia-kimaradás), vagy idesorolható az állandósult braziliai energiaválság (aminek megoldására a brazil kormány most radikális, kötelezően és büntetődően érvényes 20 százalékos fogyasztási redukción írt elő, a megelőző évi átlagához képest). Hazánk is élesbe fordulható energetikai állapot határán mozog, aminek enyhítésén, vagy akár elhárításán is jó eséllyel segíthet atomerőműveink teljesítménynövelése és élettartamhosszabbítása.

Jelen összeállításunk öt részből tevődik össze. A bevezetőben kötetünk vendégszerkesztője, Vajda György az alaphangot adja meg, amikor az általános helyzetet, összefüggéseket, trendeket és lehetséges teendőket vázolja föl. *Technikai trendek és kilátások* fejezetünkben a különböző energetikai erőforrásokat, illetve előállítási technológiákat járjuk körül. Nagy Béla elsődlegesen a hazai szén- és uránkészletekről szól, némileg vitatkozó felhanggal. Magyarai Dániel és Tihanyi László napjaink és a közeljövő egyik legfontosabb, egyúttal a világpolitikai és -gazdasági mozgásokból adódóan egyik legtöbb aggodalomra okot adó erőforrásról, a szénhidrogénekről ad kiváló elemzést. Reményi Károly, valamint Szatmáry Zoltán két különböző, egymással versengő, de az energia-előállítás szempontjából a közeli egy-két évtizedben meghatározó szén- és nukleáris erőművek új technológiai lehetőségeit mutatja be, míg Büki Gergely az erőmű-technológiákban várható áttörésekről szól. A megújuló energiaforrások közül Horváth Gábor és Tóth László tanulmánya a szélenergia, Puppán Dániel pedig a bio-üzemanyagok hasznosítását elemzi.

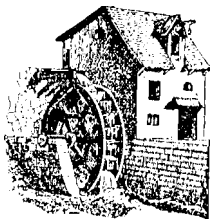
Kötetünk következő fejezete a mindinkább előtérbe kerülő *környezeti hatásokat* veszi

szemügyre. Mészáros Ernő elsődlegesen azt vizsgálja, hogy az elmúlt évek éghajlatváltozásait természeti folyamatok, vagy pedig az emberi tevékenység okozza-e. Bárdossy György, valamint Veres Árpád egy-egy tanulmányban rendkívül fontos, a társadalmakat erősen foglalkoztató, sőt izgalomban tartó kérdéskört: a nukleáris hulladékok kezelését, elhelyezését, esetleges hasznosítását tekinti át, különböző metszetek mentén. Szabényi Imre ugyancsak a környezettel kapcsolatos kérdésekhez szól hozzá.

Meglehetősen összetett és sokrétű kérdéskört ölel át a következő fejezet. Czelnai Rudolf kiváló esszéjében a környezettel és a *társadalom* befolyásolásával kapcsolatos, igen bonyolult, sokszorosan visszacsatolt problémákat elemzi. Kapolyi László és Lengyel Gyula a villamosenergia-rendszerek gazdaságossági, árkérdéseit járja körül, eredeti közelítéssel. Sztanyik B. László az energetikai környezeti hatásoknak a társadalmat és az egyéneket egyaránt foglalkoztató élettani hatásait, kimeneteleit vizsgálja. A magyar villamosenergia-ellátást alapvetően befolyásoló kérdést tárgyal a Katona Tamás-Rátkai Sándor-Jánosiné Bíró Ágnes-Gorondi Csaba szerzőnégyes, a paksi atomerőmű teljesítmény- és élettartam-növelése kapcsán. Kovács Balázs adatokkal alátámasztva, többéves felméréssorozat alapján elemzi a társadalom véleményét a nukleáris energiatermeléssel kapcsolatban, míg

Ámon Ada a zöldek energetikafelfogásáról értekezik, inkább érzelmi, mint tárgyi közelítéssel. A könyvszemle két, energiával kapcsolatos áttekintést tartalmaz Kerényi A. Ödön, illetve Berényi Dénes írásaival.

Végül egy mentegetőző megjegyzés. Joggal hiányolhatja az Olvasó, hogy e kötetben nem szerepelnek olyan fontos megújuló energiaforrások, mint amilyen a napjainkban egyre erőteljesebben fejlesztett, sokrétűen alkalmazható tüzelőanyag-cellás áramforrások, a napenergiát közvetlenül hasznosító rendszerek vagy a megújuló források legjelentősebbike, a vízenergia. Hiányzanak emellett kevésbé fontos, nem túl gazdaságos vagy egyéb okok miatt jelentéktelenebb megoldások is, mint például a geotermikus energia hasznosítása vagy a hazánkban aligha szóba jöhető árapályerőművek. Egy ilyen folyóirat-összeállítást azonban (amely nem aspirál kézikönyv-jelleg elérésére) csak lezárni lehet, befejezni nem, ráadásul a terjedelmi korlátok is behatárolták szándékainkat. Ígérjük viszont, hogy – más összeállításainkhoz hasonlóan (mint például az *Információs társadalom* című korábbi kötetünk esetében, amelynek témáira, első megjelenése óta, többször is visszatértünk) – a jelenlegit is folytatni fogjuk, részben a most felsoroltakkal, részben újabb felfedezésekkel, megvalósításokkal, esetleg akár „bizarr” ötletek bemutatásával is.



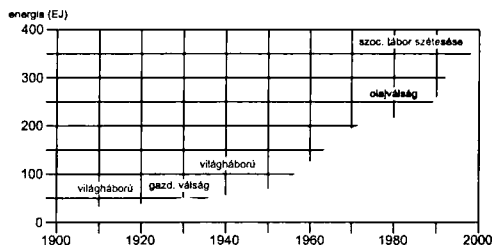
Vajda György EGY ENERGIÁRA (IS) ÉHES VILÁG JÖVŐKÉPE

Erőltetett menet

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. Az energia folyamatos és lehetőleg olcsó rendelkezésre állása a fejlett társadalmak működéskéességének és a személyes élet-szükségletek kielégítésének elengedhetetlen feltétele. Ezek biztosításához a múltban szinte folyamatosan nőtt az energiaigény, napjainkra az emberiség energiaszükséglete hatalmas mértéket ért el, a világ primer energiafelhasználása 2000-ben kerekén 4×10^{20} J volt. Az igények fedezésére az előző évben 3,4 milliárd tonna kőolajat, 4,5 milliárd tonna szén, 2500 milliárd m^3 földgázt kellett kitermelni, a víz- és atomenergia-ból fejlesztett villamos energia is megfelelt az energiamérlegben 1,2 milliárd tonna kőolajnak [1]. A megújuló energiaforrások a szükségletek tízegynéhány százalékát fedezték, 1,2–1,5 milliárd tonna olajjal egyenértékű $50\text{--}65 \times 10^{18}$ J értékben, amiből 25×10^{18} J-t a vízenergia, $25\text{--}40 \times 10^{18}$ J-t a bioenergia – legnagyobbbrészt tűzifa – tett ki. A reményteljesnek tekintett egyéb energiatípusok (nap-, szél-, geotermikus, tengeri stb. energia) 1×10^{18} J-t (24 millió tonna kőolaj-egyenérték) sem értek el. A megújuló energia hasznosításának számbavételét nehezíti, hogy egyes energiahordozók (pl. tűzifa, mezőgazdasági hulladékok) hasznosítását csak becsülni lehet, mivel számottevő hányaduk nem kerül kereskedelmi forgalomba, valamint az egyéb megújuló energiák kis léptékű helyi hasznosítására sem terjed ki a statisztikai adatgyűjtés.

A múltban az emberiség energiaszükségletének szinte folyamatos növekedésében csak nagyon súlyos krízisek – pl. háborúk, gazdasági válságok – okoztak átmeneti visszaesést vagy stagnálást (1. ábra). Az 1970-es évek olajválsága felerősítette az energiatakarékos szemléletet, ennek hatására lényegesen lassult az energiafelhasználás növekedési üteme. Feltételezhető, hogy ez a 21. század energiaszükségletének az alakulásában is érvényesül, és jóval lassabban nő a világ energiafelhasználása, mint a 20.

században. Fele akkora növekedési ütemmel a 2100-as szükséglet „csak” néhányszor 10^{21} J lesz, de ez a „szerény” energiamennyiség a szárazföldre jutó napsugárzás mintegy fél százalékának felel meg. Az emberiség energiaszükséglete a 21. század végén körülbelül annyi lesz, amennyi a fotoszintézissel a biológiai élet fenntartásához kell a Földön.

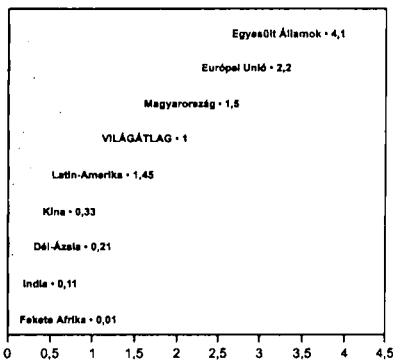


1. ábra • A világ összesített energiaszükségletének alakulása a 20. században

A 20. században az energiaszükséglet a fejlett országokban növekedett a leggyorsabban, a 21. században a fejlődő világ fogja a főszerepet játszani, a növekmény 80 %-át ott várják [2]. Egy ilyen növekedés elkerülhetetlenségét több körülmény támasztja alá. A demográfusok szerint a Föld lakossága a jelenlegi 6 milliárdról 2050-ig mintegy 8–10 milliárdra nő, 50 év múlva számos fejlődő ország (Brazília, Indonézia, Nigéria, Pakisztán, a 1,5 milliárdos Kínáról és Indiáról nem is beszélve) népessége külön-külön is meg fogja haladni az Európai Unió vagy az Egyesült Államok lakosságának a számát. Ez óhatatlanul maga után vonja az energiafelhasználás növekedését is, hiszen Földünk minden új lakosának életszükségeit csak energiabefektetés árán lehet kielégíteni. Tovább növeli a szükségletet, hogy az emberiség egyre nagyobb hányada választja a városi életmódot, az urbanizációval együtt jár a köz-művek, a közlekedés, az áruellátás, a lakásviszonyok fokozott energiaigénye.

A különböző régiók egy főre eső energiafelhasználását a 2. ábra mutatja be. Egyes térségek alacsony energiafelhasználása tükrözi

azok katasztrofális elmaradását gazdasági fejlettségben, életkörülményekben, életszínvonalban. A fajlagos 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. Jelenleg a Föld lakosságának harmada él olyan térségben, ahol nincs villany, és ahol nem hozzáférhetőek korszerű energiahordozók. Tüzelőszükségletüket ősi módszerekkel fedezik biomasszából, előidézve azt a veszélyt, hogy a növényzet kiirtása idővel lakhelyük elsvatagosodásához vagy elkarsztosodásához vezet. A hatalmas elmaradás csökkentése nemcsak az érintett 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 – akár egy nagy világégés – veszélyének elkerülésére, aminek csírái a fundamentalizmus leple alatt, valamint a regionális konfliktusok formájában már megjelentek. Mementó egy arról beszámoló újsághír, hogy a Csendes-óceán egyik kis szigetének éhes lakossága átevezett a szomszédos szigetre, ott mindenkit legyilkoltak, hogy élelmiszerhez jussanak. A gazdasági és a politikai feszültségek enyhítéséhez az elmaradt országok energiagazdaságának minél gyorsabb fejlődésére is szükség van, ami jó néhány térségben (pl. Kínában, Indiában) már meg is indult az átlagos növekedési ütem többszörösét kitevő sebességgel.



2. ábra • Régiók egy főre eső energiafelhasználásának aránya [3]

A 21. század 100 évre kumulált energiafelhasználása 10^{23} J nagyságrendűre becsülhető, ami 2,5–3 billió tonna olaj energiaértékének felel meg. Fedezni lehet-e ezt az iszonyatosan nagy energiaszükségletet – még hozzá a fenntartható fejlődés követelményének szem előtt tartásával? A Brundtland-bizottság megfogalmazása [4] szerint a jelen indokolt szükségleteit úgy kell kielégíteni, hogy ne korlátozzuk az utánunk jövő nemzedékek lehetőségeit. Az energiaellátás kulcsszerepet játszik e követelmény teljesítésében, hiszen ehhez a tevékenységhez kell a legtöbb természeti erőforrást igénybe venni, és ez jár a legtöbb környezetszennyezéssel. Az erőforrások tekintetében a fenntartható fejlődés elve megkívánja, hogy az energiaellátás ne vezessen a kimerülő energiaforrások tényleges elfogyásához, és ne korlátozza a megújulókat újratermelődését. A környezetszennyezés minimalizálása pedig az energiagazdálkodás meghatározó követelményévé vált.

Jelenleg az igények mintegy 85 %-át fosszilis ásványi tüzelőanyagokkal, kőolajjal, földgázzal, szénnel fedezzük. A világ 100 évre kumulált szüksége 2,5-3-szor annyi, amennyit a jelenleg művealóként* nyilvántartott kőolaj-, földgáz- és szénvagyon összesítve fedezni tudna. Az ásványi tüzelőanyagok közeli kimerülésétől tartva azért még nem kell a harangokat félrevernünk, mostanában a művealó vagyon gyorsabban nő, mint a felhasználás. Bővítik a vagyont a földtani kutatás által feltárt új lelőhelyek, és sok még a megkutatatlan ígéretes medence. A termelési technológia fejlődése is növeli a hozzáférhetőséget, pl. több ezer méter mély tengerek alól is tudunk már olajat és földgázt kitermelni. Növeli a kiaknázásra érdemes vagyont a gazdaságosság határköltségének az emelkedése is. Ennek tudható be, hogy az ellátottság" kőolajból a sok évtizeden keresztül érvényesülő 30 év körüli értékről 45 évre nőtt, földgázból pedig 40 évről 62 évre.

A feltételezett és reménybeli előfordulások figyelembevételével elvileg az ásványi tüzelőanyagokkal fedezhető a 21. század szükséglete

*a földtanilag részletesen megkutatott, és a jelenlegi technológiával gazdaságosan kitermelhető előfordulásokat minősítik művealónak

** a művealó vagyon és a jelenlegi termelési szint hányadosa

[5]. Ehhez azonban a kőolaj- és földgáz- vagyon maximális kitermelése mellett a meglehetősen költséges nem konvencionális lehetőségek kiaknázására is át kellene térni. A kőolaj pótlására az olajpalák és bitumenes homokok kitermelése, valamint a szén cseppfolyósítása jöhet számításba. A földgáz helyettesítésére a szénlencsékben található metán, valamint a geonómos zónákhoz és más földtani formációkhoz kötött földgáz kiaknázása, a szén elgázosításával szintetikus földgáz gyártása, esetleg a hideg tengerekben található metánklatrátok (jégkristályszerkezetbe ágyazott metánhidrátok) hasznosítása jöhet szóba. A nagy szénvagyon közvetlen kiaknázásának feltétele a kutató-fejlesztő munka sikere a környezetet nem szennyező, „tisza szén” technológiák kialakítására.

Fenntartható-e a fenntartható fejlődés?

Az erőltetett menet az ásványi tüzelőanyagok kiaknázására aligha egyeztethető össze a fenntartható fejlődés követelményével. Nem vitatható, hogy ez a tüzelőanyag-vagyon véges, és annak felélése – különösen a szénhidrogéneké – értékes és nehezen pótolható vegyipari alapanyagoktól fosztja meg utódainkat. Az intés az önmérsékletre azonban jámbor óhaj marad, ha kemény gazdasági kényszer nem támasztja alá. A gátlástalan kitermelést két körülmény fogja korlátozni, az egyik a tüzelőanyagok fokozatos drágulása, ahogy a legkedvezőbb lelőhelyek kimerülésével a drágább előfordulásokat kell termelésbe venni. A különféle olajtermelési lehetőségeket összehasonlító 1. táblázatból kitűnik, hogy a változatok önköltsége között nagyságrendi különbségek is vannak. A másik korlátot a környezetszennyezés, kivált a légszennyező égéstermékek és a szilárd hulladékok hatása okozza. A védekezés ma már nem a fejlett világ luxusa, a környezetkárosítás különféle következményei már a szegény országokat is elérték, a környezetszennyezés egészségi ártalmi tömegesen szedik áldozataikat a fejlődő világban is. A nagy megapoliszok katasztrofális egészségi helyzetéért nagyban felelős az energetika lég- és vízszennyezése, Indiában a legtöbb halálos légzőszervi megbetegedés a beltéri tüzelések miatt lép fel, Dél-Ázsiában a kéndioxid-kibocsátás okozta gyakori savas esők már a természet hozamokat veszélyeztetik. A legtöbb

légszennyező kibocsátásának korlátozására vannak bevált módszerek, a víztisztításra is vannak kiforrott eljárások, és a szilárd hulladékok szakszerű kezelése is megoldható [5]. Mindez természetesen jelentős többletköltséggel jár, tovább drágítva a tüzelőanyagok használatát. Nagy kérdés, hogy a fejlődő országok szerény anyagi lehetőségeiből mennyire tudják vállalni a környezetvédelem költségtöbbletét, különösen a széntermelés erős növelését tervező országok (Kína, India), amikor a szén a legnagyobb környezetszennyező. Jelenleg a legnagyobb aggodalmat a klímaváltozással fenyegető üvegházgázok – mindenekelőtt a széndioxid – kibocsátása okozza a füstgázban. A CO₂ leválasztására és közömbösítésére vannak ugyan elképzelések [6], de ezek távol vannak a realizálhatóságtól és a gazdaságilag elviselhető költségektől. Ha az üvegházhatás feltételezett következményei beigazolódnak – amit egyre több ismeret valószínűsít – akkor az a fosszilis tüzelőanyagok felhasználásának nagyon erős korlátjává válik. Ennek érvényesítésére gazdasági eszközök (pl. széndioxid-adó, bírságok) és adminisztratív beavatkozások (kontingensek, engedélyezés) egyaránt szerephez juthatnak.

olajforrás	relatív önköltség
Perzsa-öböl, Észak-Afrika	1
Nigéria	3
Venezuela	6
Egyesült Államok	9
Alaska, Északi-tenger, Szibéria	12
olajpala, bitumenes homok	24
szén cseppfolyósítása	36

1. táblázat • Néhány olajforrás önköltségének becslött aránya

A szükségletek fedezésére a fenntartható fejlődés követelményeinek jobban megfelelő, vonzó lehetőséget képviselnek a megújuló energiák. Jelenleg nagy léptékben hasznosítják a vízenergiát és a tűzifát, és sok fejlődő országban a szerves hulladékot is, a többi megújuló energiafajta szerepe egyelőre marginális. A megújuló energia hasznosítása nehezen tör utat, mert versenyképességét rontja a viszonylag nagy fajlagos beruházási költség. Ez jórészt azon múlik, hogy a megújuló energiák teljesítménysűrűsége kicsi (2.

táblázat). Ezért viszonylag nagy méretű, sok anyagot igénylő berendezésekkel kell az energiát összegyűjteni. Tovább növeli a beruházási terhet az időszakos rendelkezésre állás, nagy léptékű hasznosítás esetén energiátárolót, vagy más energiára támaszkodó háttérkapacitást kell létesíteni azokra az időszakokra, amikor nem süt a nap, nem fúj a szél, kevés a vízhozam stb. A tüzelőanyagok drágulása javítani fogja a megújuló energiák versenyképességét, addig is fejlesztésüket és hasznosításukat ösztönözni és támogatni kell, hogy minél jobban tehermentesítsék a tüzelőanyag-használatot. E tekintetben lehetőségeink – a közhiedelemmel ellentétben – nem korlátlannak, mert a megújuló energiáknak csak egy kis hányadát lehet az energiaellátásra elvonni. Az üvegházhatás, az ózonlyuk, a savas eső, a szmog tanúsította, hogy viszonylag kis emberi beavatkozásokkal is súlyos zavarokat lehet előidézni a természeti folyamatokban, és a megújuló energiák hasznosításánál ezt is figyelembe kell venni. A napsugárzás például hőt és fényt biztosít bolygónknak, fenntartja az élet alapját jelentő fotoszintézist, működteti az időjárást, előidézi a víz körforgását stb.; vajon mennyire szabad e funkciókat mérsékelni az energiaellátás érdekében? A megújuló energiák összességének hasznosítható hányada a világ jelenlegi energiaszükségletét bizonyosan meghaladja, de a 21. század végi igény fedezésére valószínűleg már nem lenne elegendő [3]. Az átalakítási hatások jelentős javítása is elengedhetetlen, ugyanis az – a víz-erőművek kivételével – nagyon alacsony, ezért azonos szolgáltatáshoz sokkal több energiára van szükség megújuló forrásokból, mint tüzelőanyagokból. A környezetszennyezéstől a megújuló energiák sem szabadítanak meg teljesen, specifikus hatásai is vannak, de a perdöntőek az emissziók a szükséges nagymennyiségű szerkezeti anyag gyártása miatt.

energiaforrás	területigény m²/kW
hőerőmű (bánya nélkül)	1-4
vízierőmű	10-30
termikus erőmű, napelem	20-60
szélenergia	50-150
energiaültetvény	4000-6000

2. táblázat • A villamos energia fejlesztésének fajlagos területigénye

Atomenergia: lehet-e nélküle?

Minél távolabbi jövőt vizsgálunk, annál valószínűbb, hogy az atomenergia hasznosítása nélkül nem lehet megoldani a világ energiaellátását. A termikus reaktorokra alapuló jelenlegi atomerőmű-technikával azonban nem megyünk sokra, mert így a világ művevaló uránvagyonának energetikai potenciálja alig haladja meg a művevaló kőolajét. Ezek az erőművek alapvetően az urán 235-ös izotópjának hasadását hasznosítják, amely izotóp aránya a természetes uránban csupán 0,72 %. Bár az energetikai potenciál növelésére a jelenlegi technikában is vannak lehetőségek (pl. a ²³⁵U nagyobb mértékű kinyerése az ércből, vagy annak nagyobb arányú kihasználása a reaktorban), a perspektívát két másik út jelenti. Az egyik az urán több mint 99 %-át kitevő 238-as izotóp átalakítása neutronbesugárral hasadóképes 239-es plutóniummá (tenyésztés), amivel az uránvagon energetikai potenciálja 70–80-szorosára nő. Ennek a technológiának a megvalósíthatóságát több szaporító reaktoros erőműben sikeresen igazolták. Az ilyen erőművek létesítése azonban lekerült a napirendről, egyrészt az urán iránti alacsony kereslet, másrészt a magas beruházási költség, és az erős társadalmi ellenállás miatt. A másik út az uránvagyont jóval meghaladó tóriumérc hasznosítása, mivel neutronbesugárral a 232-es tóriumizotóp átalakítható hasadóképes 233-as uránná. A tóriumbázisú reaktorok fejlesztés alatt állnak, nagy előnyük, hogy a magreakciók során nem keletkezik veszélyes és fegyvergyártásra alkalmas plutónium. Ezekkel a lehetőségekkel az atomenergia potenciálja nagyságrenddel haladja meg a fosszilis és a megújuló energiaforrásokét. A még nagyobb lehetőséget a fűző jelentené, aminek üzemanyaga a vízben lévő deutérium, valamint a másik hidrogénizotóp, a trícium lehetne. Sajnos ez egyelőre nagyon távoli remény, még a lehetőséget demonstráló kutatások sikere is várta magára, az ipari megvalósítás pedig sok évtizedes további kutatást igényelne.

Az atomenergia alkalmazásának legnagyobb akadálya a társadalmi ellenszenv. Hiroshima, Nagaszaki, a hidegháború, a csernobili katasztrófa mély félelmet ébresztett az emberek jelentős részében az atomenergiától. Az ellenérés jó néhány országban az atomenergiát eluta-

sító politikai döntésre vezetett, sőt néhol a kedvező tapasztalatok ellenére a működő atomerőművek leszerelését is kezdeményezték. E negatív döntések nem érdemi elemzéseken alapulnak, hanem politikai szavazatokra konvertálható érzelmekre és indulatokra. Jó néhány – főleg energetikai önellátásra képtelen ország – azért kitart atomprogramja mellett, energetikai ellátásának biztonságáért érdekelében.

Az atomenergia hasznosítása nem szándék vagy izlés kérdése, hanem szükségszerűség, aminek felismerése csupán idő kérdése, ahogy a gazdasági és környezeti körülmények ezt kikényszerítik. Bár sokan vitatják, ez jól megfelel a fenntartható fejlődés követelményeinek is. A szerencsére zsugorodó katonai igényektől eltekintve a hasadóanyagok energetikán kívüli polgári hasznosítása jelentéktelen, ezért kiaknázásuk utódaink mozgásterét nem befolyásolja. Környezetszennyezése is csekély, a nem radioaktív kibocsátások mértéke még a megújuló energiahasznosításénál is kisebb a szükséges szerkezeti anyagok volumenének megfelelően. A radioaktív emisszió is jelentéktelen, egyedül a súlyos atomerőművi baleseteknél kerülhet ki jelentősebb mennyiségű radioaktív anyag a környezetbe, ami a csemobili katasztrófa miatt az ellenzést fő oka.

Részben e katasztrófa tapasztalatai alapján a legtöbb üzemelő atomerőmű biztonságát oly mértékben megnövelték, hogy környezetében az egészségi kockázat nem nagyobb, mint más ipari létesítményeké. Ennél kisebb a biztonsági szint két régi szovjet erőműtípusnál (VVR 230 és RBMK), de a korszerűsítések hatására ezekenél is kizárható a nagyon súlyos katasztrófák lehetősége, ennek ellenére indokolt a mielőbbi leállításuk, hogy kisebb kibocsátással járó üzemzavarokat se idézhessenek elő. Az atomerőművek következő generációjával szemben pedig követelmény, hogy lehetőleg inherens tulajdonságaik zárják ki a környezet veszélyeztetését.

A másik, ellenzést kiváltó kérdés a radioaktív hulladékok sorsa. A kis és közepes aktivitású hulladékok végleges elhelyezése ma már rutinfeladat, több mint 100 erre alkalmas létesítmény működik a világon (Magyarországon Püspökszilágyiban). A nagy aktivitású hulladékok végleges elhelyezése stabil geológiai formációkban biztonságos megoldásnak ígérkezik. Bár maga

a természet igazolta ennek realitását (Gabonban egy a földtörténeti ókorban zajlott spontán láncreakció termékeit a transzportfolyamatok nem hordták szét), a hosszú felezési idejű hulladékok – mindenekelőtt a kiégett fűtőelemek – esetében a társadalom szkeptikus az elszigetelés hosszú időigénye miatt. Ezért az átmeneti tárolás honosodott meg 50–100 évre, haladékok adva a társadalom megnyerésének. Újabb nagy reményeket fűznek a hosszú felezési idejű izotópokat neutronbesugárással rövid felezési idejű vagy stabil izotópokká alakító transzmutációhoz.

Természetesen az atomenergia csak gazdasági versenyképesség esetén hódíthat teret, ami alapvetően a fajlagos beruházási költségek csökkentésén múlik. Erre sok lehetőség kínálkozik, a tipizálástól az önellenőrző intelligens berendezések alkalmazásán keresztül az építési technológia egyszerűsítéséig.

Energia és világpolitika

A világpolitika és a világgazdaság 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. Az energiapiacok liberalizálására világszerte megindult privatizációs és deregulációs hullám átszabja a vezetőkes energiaellátási rendszerek struktúráját és működési módját, az ellátási felelősséggel terhelt szolgáltatásból nyereségorientált kereskedelmi tevékenység válik. A külvilág változásai úgy évtizedenként a magyar energiapolitika radikális átrendezését kényszerítették ki. Ez ellen csak a több lábra támaszkodó, rugalmas energiapolitikával lehet védekezni, mely minden reális energiaforrást figyelembe vesz.

Az energiahelyzet vissza is hat a politika és a gazdaság alakulására. A kőolajforrások birtoklása jó néhány háború indítékai között szerepelt.

Az olajárak eszkalációja a 70-es években alapjaiban rázta meg a világgazdaságot. 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, s ez visszavetette az alternatív megoldások versenyképességét. Az olaj újabb drágulása megkérdőjelezi az energiapolitikai elképzelések stabilitását, például a földgáztermelőkkel kapcsolatos elfőriát.

Magyarországon a rendszerváltással együtt járó gazdasági visszaesés és átrendeződés a 90-es évek első felében 25 %-os csökkenést idézett elő az energiafelhasználásban. Az évtized közepén a gazdaság hanyatlása stagnálásba, majd növekedésbe ment át. Gyakran hangzik el, hogy a növekedéshez nem lesz szükség az energiaforrások bővítésére, mert energetikai hatékonyságunk* a fejlett országokénak mintegy harmada, elég tehát a hatalmas veszteségek felszámolása a szükséges energiabázis megteremtésére. Ez a nézet a hatékonyság és a hatások fogalmainak félreértéséből fakad, mert elmaradásunknak csak kis hányadáért felelős az energetikai berendezések hatásfoka, a nagy tétel az ország nemzetijövedelem-teremtő képessége, amiben a fejlett országok utoléréséhez évtizedek kellene. Ezért tartósan kizárólag energiatakarékosságból nem lehet megélni. A gazdaságilag megtérülő energiatakarékosság természetesen energiapolitikánk legfontosabb célkitűzése, ami nemcsak gazdasági megtakarítással jár, hanem javítja a fizetési mérleget, mérsékli a környezetszennyezést, a tőkeshükségletet, sőt még a társadalmi konfliktusokat is.

A magyar energiapotenciál nem ad alapot derűlátásra. Szénelőfordulásaink nem jelentéktelenek, de gazdaságtalanságuk miatt folyik a mélyműveléses szénbányák bezárása; egyedül a külfejtéses lignit ígér versenyképességet. Az uránbányászatot is be kellett fejezni a termelés magas költsége miatt. Kőolaj- és földgáztermelésünk a hazai szükséglet 20, illetve 40 %-át fedezi, a csekély vagyon azonban 1-2 évtizeden belül kimerül, és a geológusok nem reménykednek újabb jelentős szénhidrogén-előfordulá-

sok felderítésében. Megújuló energialehetőségeink is szerények, a napenergia, a biomassa és lokálisan a geotermikus energia hasznosítását érdemes ösztönözni, támogatásokkal segítve át a versenyképesség küszöbén. Ilyen körülmények között különösen fontos, hogy figyeljük az energetika nemzetközi fejlődését, és időben honosítsunk meg minden számunkra előnyös új megoldást. Az energetika magyar tudósai és mérnökei mindig aktív szerepet játszottak a nemzetközi szakmai közéletben, sok új ismerettel és konstrukcióval járultak hozzá a fejlődéshez és a hazai ipari szakmakultúra magas színvonalához. Szellemi tőkénk egyben belépő is abba az új világba, melyben elmosódnak a nemzeti határok és az ismeretek és tevékenységek is nemzetközivé válnak. Nem véletlen, hogy a privatizáció első hullámában a multinacionális vállalkozások a magyar energiaszolgáltató, valamint az energetikai berendezéseket gyártó ipar vállalatainak a megszerzésére törekedtek.

Az energiaellátás a globalizálódás egyik úttörője. A villamos energia és a szénhidrogének szállítóvezetékei sűrűn behálózzák a fejlett országokat, átlépték az országhatárokat és kontinenseket átszövő rendszereké fejlődtek. Az ásványi tüzelőanyagok szállítása meghaladja az összes áruforgalom felét mind a kontinenseken, mind a világtengereken. A villany eljut minden szervezetbe, intézménybe, lakásba, sok területen hasonló a helyzet a földgázzal is. Alig van olyan település, amelyikben ne lenne üzemanyagtöltő állomás. Az energiaellátás különféle formáit nagyléptékű, jól szervezett vállalatok biztosítják, melyek képviselői jóformán minden településen megtalálhatók. Nem véletlen, hogy a világ tíz legnagyobb multinacionális vállalatából hét a kőolajiparban működik, és további kettő tevékenysége ezekhez kapcsolódik. Befolyásuk növelésére megindult az olajmultik fúziója (Exxon+ Mobil, BP+Amoco, Chevron+Texaco stb.), és tevékenységük kiszélesítése nemcsak az energiatermelés és -szolgáltatás más területein, hanem más hálózatszerű infrastrukturális szolgáltatásokban (víz, csatorna, informatika stb.) is. Hazai energiaellátó vállalataink új tulajdonosai „csak” Európa legnagyobbjai közé tartoznak (pl. a Veba+Viag konglomerátumnak a világranglista 38. helyével

* a GDP és az ország energiafelhasználásának hányadosa

kell megelégednie, az RWE az 53. helyet foglalja el, de fúzióval már megelőzte a 36.-at). Hatalmas anyagi és szellemi erővel, valamint sokévtizedes érdekérvényesítési gyakorlattal rendelkeznek, tőkájük és éves bevételük a magyar nemzeti jövedelem nagyságrendjében mozog. Nagy dilemma, mire fog vezetni az energiapiac liberalizálását egyengető államunk és a monopóliumhelyzetre törekvő multik viaskodása. Az állrendszer, a szolgáltatási feltételek és működési körülmények voluntarista torzítása bizonyosan rossz megoldás, sokszor tapasztalhattuk, hogy az súlyosan visszaüt, gyakran pont azokra, akik érdekében történt.

Vajon a globalizáció felment-e bennünket az önálló nemzeti energiapolitika kialakítása alól? Sokan úgy vélik, az energiaellátás alakulását a piac értékítélete automatikusan meghatározza. Kétségtelen, hogy a piac hatékonyan tudja szabályozni az operatív energiagazdálkodást, az ennek érdekében szükséges gazdasági, kereskedelmi, műszaki döntéseket. Az árak és költségek lényeges szerepet játszanak a lehetséges jövőbeni változatok megítélésében is, de hátrányuk, hogy alapvetően csak a jelen viszonyairól tájékoztatnak. A piaci mechanizmus még a legfontosabb gazdasági paraméterek (pl. kamatláb, infláció, olajár) távlati alakulásának becsléséhez sem tud kapaszkodókat kínálni, nem beszélve a gazdaságon kívüli körülményekről. A jövőre vonatkozó döntésekkel egymással kölcsönhatásban levő műszaki, gazdasági, környezeti, társadalmi, stratégiai és politikai követelményeket kell kielégíteni, nemritkán nemzetközi kölcsönhatások figyelembevételével, amire a piaci mechanizmusok önmagukban elégtelenek.

Az állam szerepe

Stratégiai jelentősége miatt az energiapolitika alakításában jelentős feladat hárul az államra, de ennek hazai gyakorlata még nem igazán alakult ki. Az energiapolitika sikere azon múlik, hogyan lehet összehangolni az állami szerepvállalást a piaci mechanizmussal. 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. Az új körülmények között az állam

szerepében a társadalmi érdekek képviselete vált elsődlegessé. Ennek csupán egy része a működési feltételek meghatározása jogszabályokkal és a felügyeletet gyakorló független hatóságok működtetése a fogyasztói érdekvédelem, a minőségellenőrzés, az élet és vagyonvédelem, a munkavédelem, az árellenőrzés, a közszolgáltatásnál az ármeghatározás és hasonló feladatok érdekében. Állami feladat marad az energiapolitika fő irányainak meghatározása, a geopolitikai adottságok figyelembevételével, az energiaszerkezet optimális alakítása, a távlati célok meghatározása, a környezetvédelem követelményeinek érvényesítése. Gondoskodni kell a nem energetikai nemzeti prioritások (honvédelem, iparpolitika, szociálpolitika, területfejlesztés stb.) figyelembevételéről is az energetikai döntéseknél. Mindezt hosszú időre előre tekintve kell teljesíteni, figyelemmel az alapvető létesítmények több évtizedes élettartamára és a berendezések generációváltásának ugyancsak nagy időállandójára.

Kritikus kérdés az energetikai ellátásbiztonság megeremtetése, mert a költségek és beruházások csökkentésére szorító piaci hatások nem mindig mozdítják ezt elő. Hazánk ellátásbiztonsága különösen sérülékeny, mert egyrészt energiaszükségletünk közel 70 %-át importtal fedezzük, és ez az arány tovább fog nőni, másrészt az energiaszállítási útvonalak bizonytalan térségeken (FÁK, Balkán) keresztül vezetnek. Újabban olyan nézetek is megjelentek, hogy ellátásbiztonságunkat nem nemzeti keretekben kell megítélni, hanem az Európai Unió léptékében. Nem az a leglényegesebb, hogy erre a megközelítésre alapunk sincs, hiszen felvételünk az Unióba még jó néhány évbe telik. Fontosabb szempont, hogy az Unió energiahelyzete is sebezhető, mivel két évtizeden belül importfüggése 70 % fölé nő, és behozatala nagyrészt labilis térségekből származik. Ráadásul a piaci viszonyok megkövetelésén túlmenően az Uniónak nincs egységes energiapolitikája, a tagállamok nagyon eltérő felfogást képviselnek. Vannak lelkes atomerőmű-pártiak és vannak szenvedélyes ellenzői, egyesek a ráfizetéses szénbányászat leépítését szorgalmazzák, mások jelentős dotációval annak fenntartását, a vízerőművek tekintetében is megoszlanak a vélemények, és a szénhidrogén import relációs megoszlásában

is. De a legfontosabb tapasztalat, hogy krízis esetében minden ország a saját problémájának megoldását preferálja, és csak ezt követően lehet szó kisegítésről. Az ellátásbiztonságot növelik a belföldi források, a mi esetünkben a lignitvagyon és a megújuló energiák. Erősen stabilizáló hatása van az atomenergiának is, mivel a fűtőelemeket 3–4 év alatt „égetik ki” a reaktorban és könnyen tárolható üzemanyag további évekre is.

A prognózisok

Az előretétekintés legkockázatosabb része a műszaki fejlődés prognosztizálása. Csak az biztos, hogy a jövő nem úgy fog alakulni, ahogy ma elképzeljük. Meglepetések különösen az interdiszciplináris területekről érhetnek, ahogy ezt a múltban is tapasztaltuk. Például a fizika és a félvezető-technika eddig is számos új lehetőséget tárt fel, többek között a napelemek vagy a tüzelőanyag-cellák területén, a számítástechnika szinte minden területre behatolt, a geofizikai vizsgálatoktól a szénhidrogén-termelésen és tüzeléstechnikán keresztül a vezetékes energiahálózatok üzemviteléig; a műholdak forradalmasították a nyersanyagkutatókat; az űrhajózás számos közvetlen energiaátalakítási lehetőséggel ajándékozott meg, és a NASA, valamint a japán MITI már tervezi a geostacionális pályán az űrbe kihelyezett nagy naperműveket, amelyekből az energiát mikrohullámon sugározzák le a talajszintre.

A következő évtizedekben az energiapolitika meghatározó követelménye lesz a környezetvédelem, mindenekelőtt az üvegházhatás mérséklése. A horizonton felsejlik egy új kihívás

is, bolygónk termikus egyensúlyának megbomlása. Az üvegházhatás csak átrendezi a hőmértéklet-eloszlást a felszín és a troposzféra között, bár feltételezett hatásai, a klímaváltozás, a tengerek szintemelkedése, a jégsapkák olvadása stb. rendkívül súlyos következményekkel fenyegeti az életfeltételeket. Az új probléma abból származik, hogy az energiafelhasználás minden módja végső fokon hőt termel. Ez melegíti a Földet, növeli az entrópiáját. Nem tudjuk, mi tolerálható, meddig lehet növelni a Föld hőmértékletét, mikor következnek be irreverzibilis változások, mindenestre jó lenne lassítani ezt a folyamatot. A tudomány interdiszciplináris megközelítéssel már szolgáltatott néhány lehetőséget arra, hogyan lehet a korábbinál nagyságrenddel kevesebb energiával teljesíteni az energetikától várt szolgáltatásokat. Egyes fémeket az ércekből baktériumokkal is ki lehet nyerni energiafaló bányászati és kohászati eljárások helyett, a haszonnövények hozama és ellenálló-képessége a kártevőkkel szemben géntechnikai módszerekkel is növelhető energiaigényes kémikáliák nélkül, az információkat továbbítani lehet műholdakról mikrohullámokkal, és nem kell kiépíteni sok anyagot és ezen keresztül energiát felhasználó távközlési hálózatokat, az internet helyettesíthet közlekedési és szállítási tevékenységeket, és említhetők az elektronika és mikro-technika világot átalakító fejleményei is. Ha nem is ilyen látványos, de nagyon hasznos az energetikai hatásfokot javító aprómunka, amiben mindenki részt tud venni a saját működési területén. Az energiatudatos szemlélet kialakítása nemcsak gazdasági hasznot ígér, hanem része az emberiség önvédelmének is.

IRODALOM:

BP AMOCO Statistical Review of World Energy (<http://www.bpamoco.com/worldenergy>); London, 2000
International Energy Agency; World Energy Outlook; OECD, Paris, 1998
Vajda Gy.: *Energiapolitika*, MTA, Bp., 2001
World Commission on Environment and Development. Our Common Future (Report of

the Bruntland Commission), Oxford University Press, 1987
World Energy Council. Energy for Tomorrows World. (<http://www.worldenergy.org/wec>), London, 2000
Vajda Gy.: *Új kihívás az energetikában: az üvegházhatás és fékezésének módszerei*. Magyar Kémikusok Lapja, 48. (10–11) 430, 1993.

Nagy Béla

ENERGIAVAGYON ÉS KIAKNÁZHATÓSÁG

Magyar nyelvű szakkönyveinkben és – ami ennél is sajnálatosabb – tankönyveinkben állandóan szerepel a sztereotip mondat, hogy *Magyarország ásványi anyagokban szegény ország*. Nagyon sok esetben hozzátesszük a nyomtaték kedvéért még azt is, hogy *különösen értékes ez a megállapítás az energiahordozó ásványi nyersanyagokra*. Tény, hogy a meglévő ásványvagyonunk geológiai elhelyezkedése nem ideális, mint a hatalmas ásványvagyonnal rendelkező országoké, de vannak országok, ahol ezeknek is örülni tudnának.

Szilárd energiahordozók

• Szén

Régmúlt, múlt, közelmúlt – Magyarországon a kőszénfelhasználás kezdete, Nyugat-Európához hasonlóan, a tüzfahiány által keltett szükségletből fakadt. Az 1730–40-es években hatalmas méreteket öltött a hamuszírfőzés, ugyanakkor kezdtek a gőzgépek elterjedni a bányászatban, amelyek a bányavíz emelésére szolgáltak, ehhez járultak még az egyre fejlődő városok építkezései és az állandó tüzfaiagény is, amelyek együttesen a tüzifa árának jelentős emelkedéséhez vezettek.

A fahiány elsősorban a városokat és a bányásztelepüléseket érintette, megfelelő utak és szállítóeszközök hiányában ezen a hiányon a távolabbi, erdőkben gazdag területek nem segíthettek. Az egyre növekvő energiaszükséglet kielégítésére új megoldásokat kellett találni. Angliában már a 10–11. századtól ismerték és tüzelésre felhasználták a kőszénét. Használata innen terjedt el fokozatosan Európa országaiban.

A hazai kőszeneinkről először *Csiba István* (1714) értekezésében találunk említést. Ez a dobsinai hegyekben és a Zsolna környéki kőszénlelőhelyekre vonatkozik. Iparszerűen Magyarországon először 1759-ben, Brennbergen termeltek kőszénét. Mária Terézia 1766-ban 24, majd két évvel később 50 arannyal jutalmazta azokat, akik gyakorlatilag felhasználható tőzég- vagy kőszénlelőhelyet találtak. 100 aranyat utal-

tott ki annak, aki ilyen anyagokkal olvasztott ércet. A királynő felhívására 17 bejelentés érkezett. 1768-ban ismerték fel a Salgótarján környéki kőszénét és 1769-ben a mecseki fekete kőszénét. Ennek ellenére az akkori viszonyok nem tették lehetővé a szén nagyobb arányú felhasználását. 1830 és 1867 között hazánkban mindössze 30 ezer tonna szenet bányásztak.

A kiegyezés után, az ipar fejlődésével a kőszéntermelés is megemelkedett; 1867–1913 között 800.000 tonnáról 10,5 millió tonnára nőtt. A két világháború közötti időszakban 192 millió tonna szenet termeltek. 1943-ban, a háborús viszonyok közt 13,4 millió tonna volt a termelésünk. A második világháborút követően már 1948-ban elérte a széntermelésünk az utolsó békeév termelését, majd a nagyon intenzív szénkutató- és kőszéntermelési tevékenység eredményeként az 1960-as években a szénbányászatunk meghaladta a 30 millió tonnát. 1945–1965 között több kőszén termeltünk, mint az azt megelőző két évszázadban, az 1920 előtti három és félszer nagyobb országterületen. 1989 után a széntermelés visszaesett 15 millió tonnára. A mélyművelésű bányákat műszaki, majd gazdasági okokból fokozatosan bezárták.

A jelen és a jövő lehetőségei – Az 1990-es évek elejétől a szénbányászatban dolgozó vezető értelmiségiek gyakran hangoztatták, hogy a magyarországi széntelepek *különlegesen rossz geológiai adottságúak*, értve ezalatt, hogy karsztvíz- és metánvesztélyesek, és tektonikailag erősen tagoltak, föld alatti nagy tömegű gépi fejtszerekre alkalmatlanok. Ezekkel a megállapításokkal nem lehet vitatkozni, de annyit hozzá kell tenni, hogy a szükség nagy úr, ha rá lennénk kényszerítve, akkor, úgy mint korábban – különleges műszaki megoldásokkal – ezek a telepek is letermelhetők lennének. Nézzük a tényadatokat, a legújabbakat, a Magyar Geológiai Szolgálat: Magyarország ásványi nyersanyagvagyonra 2000. évi tájékoztatójából! A kiadvány 36. oldalán szereplő táblázatból idézek egy részletet (*1. táblázat*).

	Műrevaló kitermelhető vagyon <i>Mt</i>	Kutatási összes növekmény** 1956–1999 <i>Mt</i>	Termelés*** 1956–1999 <i>Mt</i>	Műrevaló kitermelhető 1956. I. 1. * 2000. I. 1. <i>Mt</i>
1. Kőolaj	17,8	76,6	75,2	19,2
2. Földgáz****	13,3	247,0	186,7	73,6
1–2. CH összesen	31,1	323,6	261,9	92,8
3. Feketekőszén	103,2	218,4	122,9	198,7
4. Barnakőszén	796,8	74,7	664,7	206,8
5. Lignit	140,7	1532,2	251,8	1421,1
3–5. Szén össz.	1040,7	1825,3	1039,4	1826,6
6. Uránérc	16,98*****	1,2	18,1	-

* Az uránércnél és az 1961. I. 1. helyzet szerint / ** Mérlegszerűen tartalmazza a szabad terület- és termelési kutatási, gazdasági és más átértékelési eredményeket / *** Az országos ásványvagyon nyilvántartásban elszámolt nyers bányatermék / **** 1000 m³ = 1 tonna / ***** Földtani vagyon

1. táblázat • Magyarország ásványi nyersanyagvagyonának alakulása 1956–1999. között

A táblázatban szereplő hivatalos adatokkal kapcsolatban megdöbbenéssel tapasztaltam, hogy az egy évvel korábbi azonos kiadványban szereplő ugyancsak hivatalos adatok szerint a műrevaló kitermelhető vagyonunkból – 15 millió tonnás évi termelésünk mellett – 741 millió tonna szénkészlet eltűnt!

Még meglepőbb eredményre jutottam akkor, amikor a 2000. évi adatokat összevettem a Magyar Geológiai Szolgálat korábbi, 1995-ös kiadványában megjelent adatokkal. Az 1995-ben nyilvántartott műrevaló kitermelhető szénvagyonunkból 2000-re 1356,1 millió tonna szénhiány mutatkozik. Mai árainak számolva ez 400 milliárd forintnál nagyobb összeget jelent. A műrevaló vagyon definíciója a hivatkozott kiadványok alapján a következő: *Műrevaló vagyon a földtani vagyonnak az a része, amely kitermelésre gazdaságosan igénybe vehető.* Az igazi meglepetés akkor ért, amikor megnéztem a rendszerváltás évében, 1989-ben, a Központi Földtani Hivatal által kiadott *Magyarország ásványi nyersanyagvagyonja* című kiadványt. Ebben Magyarország összes földtani szén-vagyonaként 10 180,1 millió tonna szenet regisztráltak, amelyből a műrevaló vagyon 4 697,5 millió tonna.

Ezek az adatok „legalábbis gondolatébresztők”, mert ebből a hatalmas anyagi áldozattal járó kutatómunkával feltárt vagyonból 2000-re a hivatalos állami készletmétrégből 2.871 millió tonna szén, illetve annak megközelítően ezer-milliárd Ft értéke eltűnt.

Ha csak az utolsó, 2000. évi készletmérélet vesszük figyelembe, úgy, hogy azt is feltételezzük, nem történik további szénkutatás, a mai 15 millió tonna termelési szint mellett közel száz évre elegendő készletünk van. Természetesen ez nem mindegyik szénfajtára igaz.

Amennyiben időközben valamilyen „csoda” folytán előkerül az *eltüntetett* műrevaló szénvagyonunk, és feltételezzük azt is, hogy nem történik további szénkutatás, az eddig ismert műrevaló készlet a jelenlegi termelés mellett 250–300 évre elegendő! Ezért bátran állítható, hogy a jövőben a hazai energiaforrások között a szénnek (lignitnek) még hosszú ideig jelentős szerepe lehet.

• Uránérc

Az uránérckutatás megindítása Magyarországon Szalai Sándor akadémikus nevéhez fűződik.

A nyugat-mecseki uránérclelőhely (Kővágószőlős) felfedezését 1953-ra datálják. A történeti hűség érdekében azonban meg kell jegyezni, hogy német kutatók légi gammaugárásmérések alapján a Pécs környéki uránércsedést már a második világháború éveiben kimutatták. Az ércsedés tényleges feltárása a német légi felvételek alapján, orosz geológusok által valóban 1953-ban történt meg.

Pécs város építkezéseinél a korábbi évszázadokban és évtizedekben nagy mennyiségben használtak Kővágószőlősről származó kőzetanyagokat, mai ismereteink szerint kiváló

minőségű uránércceket. Tulajdonképpen a kőbányászat által feltárt ércesedést kutatták meg és termelték le az I-es és a II-es aknákkal.

1953-tól a rendszerváltásig, 1989-ig az itt folyó munkák „szigorúan titkosak” voltak, olyanmire, hogy az orosz nyelvű dokumentációk az 1950-es években a terület kutatásáról és bányászatáról csak mint bauxitkutatásról és bányászatról szólnak. Az 1956-os forradalom követeléseit megfogalmazó 12 pont egyike az uránbányászattal kapcsolatos adatok nyilvánosságra hozását követelte, de ennek bekövetkezére a rendszerváltásig várunk kellett. Az uránérctermelés 1955-ben kezdődött meg az I-es üzem területén. Ezt követően még négy üzemet létesítettek. A nyers érc termelése a 70-es években megközelítette a 900 000 tonnát, amely ezután több éven keresztül 700 000 tonnán stabilizálódott. A vegyileg dúsított koncentrátumot, a fémre számolt 60–61 % urántartalmú „sárga port” a Szovjetunióba, majd a jogutód Orosz Köztársaságba exportáltuk.

Az uránásványokat tartalmazó, kitemelésre alkalmas öszlet a felső-perm korú zöld színű homokkő oxidációs – redukciós zónájának határán kb. 100 m vastagságban található. A világot uránérctermelésének nagyjából kétharmada hasonló „homokkőves típusú” előfordulásokból származik, 1–3 kg tonnánkénti urántartalommal.

A mecseki uránérc a nemzetközi minősítés szerint – az 50 000 tonnát meghaladó összes fém mennyisége alapján – a nagyobbak közé tartozik, de az átlagos fémtartalma csak 1,2 kg tonnánként. További kedvezőtlen körülmény, hogy az érctelep dőlése miatt a műrevaló ércetek többsége 650–800 m mélységben található, ahol a kőzet hőmérséklete már 40–45 °C. Az érceteket bonyolult morfológia jellemzi, ezért a termelési hígulás jelentős, így a nyersérc átlagos fémtartalma a számítottnál mindig alacsonyabb.

Az előfordulás földtani ércvagyónának számbavételi határértékeit a következők szerint szabták meg: a fémtartalom alsó határa 0,03 %, a minimális telepvastagság 0,7 m, a minimális fémtartalom és a vastagság szorzata el kell, hogy érje a 0,021 m%-ot. Az 1995. I. 1-i helyzet szerint ilyen alapkövetelményekkel felmért, kategorizált földtani ércvagyon összesen 27,2 millió

tonnát tesz ki. Ennek fémurán tartalma 31.800 tonna, átlagosan 0,117 %-os fémkoncentrációval. 1994-ben 406 000 tonna ércet termeltek, amelynek a fémurán tartalma 422 tonna volt. Az uránérctermelést a 2161/1994(XII.30) sz. kormányhatározat értelmében 1997. szeptember 26-án befejezték.

Az 1. táblázatban szereplő adatok és az utobbiakban leírt adatok alapján megjegyzem, hogy az uránbányászatot is, a színesfém-bányászatunkhoz hasonlóan, sokkal nagyobb megkutatott készlettel zártuk be, mint amilyenre a bányászatot megindítottuk. Sajnálatos, hogy az uránércbányászatot úgy hagytuk fel, hogy több mint 50 évre elegendő megkutatott bányával feltárt ércvagyont hagytunk ott. Meg kell említenem még azt is, hogy a Mecseki Ércbányászati Vállalat szakemberei Magyarországon több területen a mecsekihez hasonló minőségű uránércesedést ismertek fel. Ezek ipari értékét további földtani kutatásokkal kell majd tisztázni.

Cseppfolyós és légnemű energiahordozók

• Kőolaj, földgáz

Magyarországon a kőolajkutatás a 19. század második felében kezdődött, kutató aknákkal és sekély fúrásokkal. Az ország számos pontjáról ismert kőolaj-indikációk ösztönözték a kutatást, amelyet 1893-tól az állam is támogatott. Zemplén, Ung, Máramaros, Szilágy, Bihar, Szatmár és Trencsén megyékben, valamint a Mátra északi oldalán, a Muraközben és a Dráva, Száva mentén folytak a kutatások, de csekély eredménnyel. 1905-ig 4500 tonna olajat termeltek ki, ennek a 4/5-ét a Muraközben és Horvátországban, a többbit pedig Sáros, Zemplén, Ung és Máramaros megyékben. Dema-Tataroson 1889-től aszfaltot bányásztak, amelyből évente mintegy 1.800 tonna kőolajat állítottak elő.

1906-ban Erdélyben, Kissármás mellett telepített fúrásból 300 m mélységből hatalmas erővel feltörő földgázt találtak. Ez döntő lökést adott a hazai szénhidrogén-kutatásnak. 1913-ban már 6 földgázmezőn 19 fúrásból napi 2 368 000 m³ földgázt termeltek.

Jelentős újabb eredmény volt 1914-ben az egbelli kőolaj- és földgázmező felfedezése. Böck Hugó, (1874–1931) itt alkalmazta kőolajkutatásra először Eötvös Loránd torziós ingáját.

Ezzel kezdődött el a geofizikai módszerek alkalmazása a szénhidrogén-kutatásban. A legnagyobb termelés ezen a területen 1917-ben 10.400 tonna kőolaj volt. 1918-ban a Dráva és a Száva közén is sikerrel járt a Bujavicán végzett kutatás, földgázt és kőolajat tártak fel.

A trianoni békét követően az ismert szénhidrogén-lelőhelyek határainkon kívülre kerültek. Az első világháború utáni években az *Anglo-Persian Oil Company* leányvállalatának, a *Hungarian Oil Syndical*-nek a kutatásait kell megemlíteni, de kutatásaik nem jártak sikerrel. Az állam által finanszírozott kutatások eredményeként vált ismertté az őrszentmiklósi földgáz- és a bükkzséki kőolajlelőhely. 1937-ben a *Magyar-Amerikai Olajipari Rt.* geofizikai vizsgálatok eredményeit felhasználva eredményes kutatófúrást mélyített Budafapusztán. Ezt követte 1940-ben a lovászi, 1941-ben az újfalusai, majd 1942-ben a hahóti szénhidrogéntelepek megismerése. 1940-ben a Magyar–Német Ásványolaj Társaság is kutatási engedélyt szerzett. A kutatással megismert tótkomlói és körszegapáti földgázlelőhely, valamint a Muraközben feltárt petesházi és alsólendvai kőolajtelepek tenelésbeállítására azonban a háború miatt már nem került sor.

1941-től kezdődően csak a dél-zalai területen történt kőolajtermelés; ez 1937-ben 1 366 tonna, 1943-ban már 838 000 tonna volt. 1941-től már Németországba is exportáltunk olajat.

1937 és 1945 között az összes kút együttes termelése 3 820 000 tonna olaj volt. Földgáztermelésünk 1937-ben 2 000 000 m³; 1943-ban már 266.000.000 m³ volt.

A második világháborút követő években az Alföldön a *Magyar–Szovjet Olaj Rt.* (MASZOV-OL), a Dunántúlon a MAORT államosítása után a *Dunántúli Állami Kőolaj Vállalat* (DÁK) folytatta a kutatást. A két vállalat 1952-ben MASZ-OLAJ Rt. néven egyesült, majd 1954-ben magyar tulajdonba került. 1957-ben alakult meg az *Országos Kőolaj és Gázipari Tröszt*. Az ezt követő három évtized alatt mintegy 9 millió m kutató és feltáró fúrás mélyült, amelyek eredményeképpen kb. 100 szénhidrogén-lelőhelyet tártak fel, amelyek közül 10 jelentős és egy (Algyő) nemzetközi mércével mérve is nagy lelőhely. A rendszerváltásig a kőolaj és a földgáztelepek készletheadatok szigorúan titkosak voltak, így csak az azóta publikált adatokat használhattam.

A magyarországi szénhidrogénvagyon bemutatására A Magyar Geológiai Szolgálat

Előfordulás	Kezdeti földtani vagyon	Tervezett (végső) kizohatali tényező	Kezdeti kitemelhető vagyon	Kitemelve 1999-ben	Kitemelve összesen* 2000.01-ig	Eddigi kizohatali tényező	Jelenlegi kitemelhető vagyon
	Mt	%	Mt	kt	Mt	%	Mt
1. Algyő	76,2	44,6	34,0	669,0	29,9	39,3	4,1
2. Nagylengyel**	44,7	54,7	24,5	72,9	21,3	47,5	3,2
3. Lovászi	21,3	31,0	6,6	3,1	6,6	30,9	0,0
4. Budafa-Kiscsehi	16,7	34,9	5,8	11,3	5,6	33,5	0,2
5. Sávoly-DK	10,1	21,3	2,1	79,3	0,2	1,9	2,0
6. Szeged-Móraváros	9,4	41,8	3,9	25,6	3,4	36,4	0,5
7. Demjén	9,1	5,9	1,4	5,7	1,3	14,5	0,1
8. Szank	8,6	31,3	2,7	18,3	2,4	28,2	0,3
9. Dorozsma	6,7	30,4	2,0	82,9	1,3	19,8	0,7
10. Pusztaföldvár	6,3	41,1	2,6	16,7	2,3	36,8	0,3
1-10 Összesen	209,1	336,9	85,6	984,8	74,3	35,5	11,4
<i>Magyarország összesen</i>	<i>302,4</i>	<i>36,0</i>	<i>109,0</i>	<i>1272,1</i>	<i>85,9</i>	<i>28,5</i>	<i>22,8</i>
A tíz előfordulás részaránya (%)	69,1	-	78,6	77,4	86,5	-	49,9

* Tartalmazza az eddigi összes veszteséget is. / ** A teljes név: Nagylengyel-Barabácsszeg-Szilvág-Szilvág-Dél

Magyarország ásványi nyersanyagvagyon 2000. című kiadványból a tíz legnagyobb kőolajtelep (2. táblázat) és a tíz legnagyobb földgáztelep (3. táblázat) adatait mutatom be.

Az idézett kiadvány adatai szerint a hazai kőolajvagyonunk, az 1999. évi 1,27 millió tonnás termeléssel számolva, a működő bányahelyeket és azok ásványvagyonát figyelembe véve, 12 évre való készlettel rendelkezik. Ha az összes ipari vagyonnal számolunk, 15 évre elegendő a készletünk. Ehhez azonban hozzá kell tennem, hogy a reménybeli ipari vagyonunk 10–59 millió tonna. Ahhoz azonban, hogy ehhez hozzá is jussunk, további fúrásos kutatásokat kellene végeznünk. A MOL Rt. azonban gazdaságossági okokra hivatkozva 2001. elején felszámolta a Kutató Fűró vállalatát. Pedig az 1995-ös adatok szerint 1 m kutatófúrára jutó kitermelhető szénhidrogén 41,1 tonna volt. Ezért nehezen képzelhető el, hogy a kutatófúrások ráfizetést eredményeztek volna!

A működő bányákkal lekötött ipari földgázvagyon, az 1999. évi termeléssel, 3,56 millió tonnával számolva, 17 évre, az összes ipari vagyont véve figyelembe, ez a készlet 20 évre elegendő. Rögtön hozzá kell tennem, hogy a reménybeli földgázvagyonunk még 29–93 millió tonnát tesz ki, de hogy ehhez hozzájuthassunk, feltétlenül további geofizikai, földtani és bányászati (fúrásos) kutatások szükségesek. Fel kell hívnom azonban a figyelmet arra is, hogy az elmúlt évtizedekben végezt hazai szénhidrogén-kutatások során – a mélyben rejlő nagyobb telepek reményében – a felszínközeli kisebb telepekkel nem foglalkoztak. Ezeket szándékosan figyelmen kívül hagyták, pedig egy-egy ilyen kisebb telep egy kisváros teljes gázszükségletét évtizedekig elláthatná. Feltételezem, hogy a meglévő kutak jövőbeni újrazivsgálata során, az eddigi lebecsült kisebb telepek hasznosítására is gazdaságosan sor kerülhet, különösen úgy, ha ezeket a közvetlen környezetben hasznosítják.

Előfordulás	Kezdeti földtani vagyon	Tervezett (végső) kizozatali tényező	Kezdeti kitermelhető vagyon	Kitermelve 1999-ben	Kitermelve összesen* 2000.01-ig	Eddigi kizozatali tényező	Jelenlegi kitermelhető vagyon
	Gm ³	%	Gm ³	Mm ³	Gm ³	%	Gm ³
1. Algyő	112,3	77,8	87,4	1116,6	67,5	60,5	19,4
2. Hajdúszoboszló	32,1	86,3	27,7	95,7	25,8	80,6	1,8
3. Pusztaföldvár	17,5	77,5	13,5	62,5	10,4	65,4	2,1
4. Üllés mélyszint	16,8	90,9	15,3	244,8	11,2	66,3	4,1
5. Szank	13,5	76,2	10,3	77,5	9,9	73,2	0,4
6. Szeghalom	10,5	68,7	7,2	459,5	5,2	49,4	2,0
7. Kisújszállás-Ny.	6,3	83,1	5,2	33,9	4,2	67,2	1,0
8. Lovászi	6,3	67,9	4,3	0,0	4,3	67,9	0,0
9. Endrőd-III.	6,2	81,9	5,1	86,8	4,1	66,4	1,0
10 Nagykorű	6,1	76,4	4,7	161,1	1,9	31,1	2,6
1-10 összesen	227,6	79,4	180,7	2338,4	114,5	63,5	34,6
<i>Magyarország össz.</i>	<i>360,7</i>	<i>75,6</i>	<i>272,7</i>	<i>3561,7</i>	<i>184,9</i>	<i>51,7</i>	<i>86,2</i>
A tíz előfordulás részaránya (%)	63,1	-	66,3	65,7	78,2	-	40,2

* Tartalmazza az eddigi összes veszteséget is.

3. táblázat • Földgáz

IRODALOM

Csiba István (1714) *Magyarország hegyeiről*.
Nagyszombat 1–176.

Fülöp József (1984): *Az ásványi nyersanyagok
története Magyarországon*. Műszaki, Bp. 1–179.

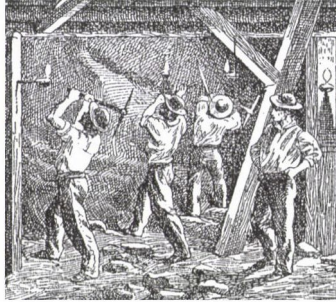
Magyarország ásványi nyersanyagvagyon
1988. Központi Földtani Hivatal, Budapest

Magyarország ásványi nyersanyagvagyon
1989. Központi Földtani Hivatal, Budapest.

Magyarország ásványi nyersanyagvagyon
1995. Magyar Geológiai Szolgálat, Budapest.

Magyarország ásványi nyersanyagvagyon
1999. Magyar Geológiai Szolgálat, Budapest.

Magyarország ásványi nyersanyagvagyon
2000. Magyar Geológiai Szolgálat, Budapest.



Magyari Dániel–Tihanyi László
A SZÉNHYDROGÉNHELYZET

Szénhidrogének – a 20. század sikertörténete

A kőolaj és földgáz jelenlétére utaló hiedelmek és feljegyzések évezredekre visszamenőleg fellelhetők a történelmi emlékekben. A kőolaj- vagy földgáztároló rétegek ugyanis a geológiai változások következtében néhány helyen a felszín közelébe kerültek, és ott titokzatos tüzeket és más, a kor embere számára megmagyarázhatatlan jelenséget okoztak. *Nauvelaerts* a kezdeti időket bemutató könyvében felhívja a figyelmet arra, hogy a bibliai Babel tornyának építésénél bitumen és kavics keverékét is használták. Valószínűsíthető, hogy Szodoma és Gomorra városok pusztulását is villámcsapás okozta, amely a közelben lévő kőolajforrásokat felgyújtotta; vagy talán földrengés következtében olaj és gáz áramlott ki egy felszínközeli rétegből, és égve hömpölygött végig a városokon. A Biblia szavai szerint „a földből, mint kemencéből, láng és füst tört elő”. Plutarkhosz is beszámol egy hatalmas tűzoszlopról, amely Ekbatanában, Mezopotámiában tört ki a földből. Ez nagy valószínűséggel egy évtizedekig tartó olajkitörés volt, amelynek nyomait a felszínen évszázadokon keresztül látni lehetett. A görög mondákból is tudjuk, hogy a görögök a harci kocsi tengelyeit sűrű kőolajjal kenték be, és a napjainkig fennmaradt „görögűz” is kapcsolatban van a kőolajjal. Az az anyag, amellyel ellenséges hajóhad közeledésekor az öblöket elárasztották, nem lehetett egyéb, mint égő petróleum. Egy 1491-ben, Mainzban megjelent házi gyógyszerkönyv azt írta: „A kőolaj a sziklák olaja. Vulkanai helyeken fordul elő. A föld zsírja és a hő ereje tűzzé változtatja. Ez az olaj a kőzetek közt és a tengerek feneké alatt található.”

Az újkori szénhidrogén-kutatást még nem energetikai célok motiválták. A lámpaolajnak használt cetolajat akarták kiváltani azzal az anyaggal, amely Pennsylvániában a sókitermelés céljára mélyített kutakban időnként megjelent. Végül 1859. augusztus 27-én a *Drake* és *Smith* által fúrt kútban 23 m mélységből feltört az olaj. Az esemény lázba hozta az amerikai vállalkozókat és mestereket, és lavinaszerűen megindult a kőolaj kitermelése, csövezeték

szállítása, leparlása és a világítási célokra szolgáló kerozén (magyar szóhasználatnál petróleum) értékesítése. A kőolajipar fejlődésének első szakaszában, 1859 és 1900 között a korlátlan szabadverseny volt jellemző. 1870 után azonban a Standard Oil of New Jersey-ben *Rockefeller* vezetésével már megindult a finomítók egyesülése, a tőkekoncentráció. Ebben az időben a benzint még nem tudták hasznosítani, ezért megsemmisítették. A második korszak 1900-tól 1914-ig, az I. világháború kitöréséig tartott. Ebben az időszakban a robbanómotor hozta lázba a világot, és az olajiparnak a motorizációból adódó benzinéhséget kellett kielégítenie. A kőolajkérdés politikai kérdéssé vált, és a kormányok, valamint a katonai körök figyelmének a középpontjába került. Az I. világháborúban már nagy szerepet játszottak a motorizált harci eszközök és a haditengerészet is jelentős mértékben olajat használt fűtőanyagként. Nem meglepő, hogy Európán kívül a harc a kőolajlelőhelyekért, elsősorban a közel-keleti olajmezőkért folyt. A tragikus háborús események a kételkedők számára is nyilvánvalóvá tették a kőolaj szerepét a világpolitikában.

A két világháború közötti időszakban az olajipar kiterjedését, ami együtt járt a szénhidrogén-lelőhelyek és a piacok megszerzéséért folytatott küzdelmekkel. Ebben az időben a vezető ipari országok a motorizáció új lehetőségeinek a bővületében éltek. Járulékos hatásként a kőolajfinomítás új vegyipari alapanyagok egész sorát eredményezte, ezáltal új lendületet adott a vegyiparban új területek kialakulásához. Végül meg kell említeni, hogy a kőolajipar hatalmas tudományos kutatási hátteret teremtett magának.

A II. világháborút követően a kétpólusú világregend kialakulásával, a hidegháborúval, majd a gyarmatbirodalmak széthullásával párhuzamosan a fejlett országok látványos gazdagodása ment végbe.

Erre az időszakra esett számos nagy szénhidrogén-lelőhely feltárása és termelésbe állítása. A 60-as években a korlátlan fejlődési lehetőségeket hirdető politikuskok hangja még el-

nyomta a kételkedők véleményét, akiknek a jövőképeben már feltűntek a sötét felhők. Bár nem volt előzmények nélküli, mégis hideg zuhanyként hatott 1973-ban, majd 1979-ben az olajárrobbanás, amely egyértelműen bebizonyította, hogy az olaj globális politikai fegyver is, és rádőbbszította a fejlett ipari országokat az olajban gazdag fejlődő országoktól való függőségükre.

A 19. század végén az első kőolajtelepek termelésbe állításához szorosan kapcsolódik a földgázfelhasználás megindulása is. Egyes kőolajfajták ugyanis jelentős mennyiségű oldott gázt tartalmaznak, amelyet szeparálással választanak le. Az ily módon leválasztott földgáz nagyobbik részét évtizedeken keresztül az olajmezőkön elégették, kisebbik részét viszont csővezetéken elszállították és értékesítették. Az első gáztávvezeték 1891-ben létesítették, amely földgázt szállított az USA Indiana államából Chicagóba. A 20. század első felében azonban az olajipar látványos fejlődése nem jelentett hátszelet a földgázipar dinamikus fejlődéséhez. A feltalálók és befektetők figyelmét a kőolaj igénylő motorizáció és vegyipar, valamint a szén igénylő vasúti szállítási, és az ugyancsak szén igénylő villamosenergiaipar rohamos fejlődése kötötte le. A politikusok és katonák természetesen a haditechnika fejlesztésének új lehetőségeit keresték.

A szén alapú gázgyártás ebben az időben már több mint százéves múltat tekintett vissza, és széles körben elterjedt, de a gáz felhasználási területeit korlátozta, hogy fajlagos energiatartalma a szénhez és a kőolajhoz képest nagyságrenddel kisebb volt. Emiatt először világítási célra használták, de a század első évtizedeiben a villamos energia kiszorította erről a területről. Az ipari fejlődés hatására gomba módra szaporodó nagyvárosokban a gázt mint komfortos energiahordozót előszeretettel használták konyhai (főzési) és fürdőszobai (vízmelegítési) célra. Kis fűtőértéke miatt a városi gázt nem lehetett széles körben fűtési célra használni.

A fejlett országok csillapíthatatlan energiaéhsége és a metropoliszok elviselhetetlenné váló levegője miatt az 50-es években végül a földgáz felé fordult a figyelem. Kitermeléséhez, szállításához és elosztásához szükséges technológia és szakismeret részben az olajiparban, részben a gázgyáraknál rendelkezésre állt, de

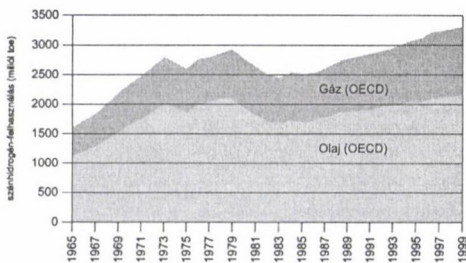
ki kellett építeni a nagy tőkeigényű csővezetékes infrastruktúrát.

A század első felében egyedül az USA-ban beszélhetünk földgázfelhasználásról, de a II. világháború idején az USA primerenergia-mérlegében a földgáz részaránya csak az 5 %-ot közelítette meg.

Szénhidrogén-felhasználás

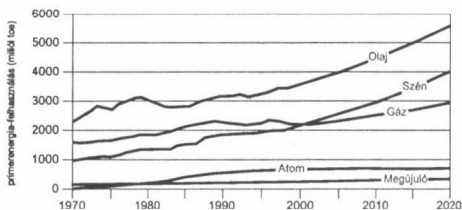
a 20. század utolsó harmadában

Az 1. ábrán látható a szénhidrogének szerepe a világ energiaellátásában. Az elmúlt harminc évben a legnagyobb igény a kőolaj iránt mutatkozott, azt követte a szén (szilárd tüzelőanyagok), és harmadik helyen volt a földgáz. A kőolajfelhasználás növekedési üteme az 1973/79-es olajárrobbanást követően változott, majd a 80-as évek közepétől mérsékelt és egyenletes ütemű növekedés alakult ki. A 90-es években a szénfelhasználás stagnálásának és a földgázfelhasználás növekedésének eredményeképpen kiegyenlítődés ment végbe, és a két energiahordozó aránya az 1999-es globális energiamérlegben már gyakorlatilag azonos volt. Az atomenergia felhasználásánál lassú, a megújuló energiafajtáknál szerény növekedés figyelhető meg. Az elkövetkező két évtizedben az Energy Information Administration (IEA) prognózisa a kőolajnál 2,3 %, a földgáznál 3,2 %, a szénnél 1,5 %, az atomenergiaénál 0,3 %, és végül a megújuló energiáknál 2,0 % átlagos éves növekedéssel számol. A feltételezett növekedési ütem 1999 és 2020 között a kőolajnál 61 %, a földgáznál 94 %, a szénnél 37 %, az atomenergiaénál 6 %, a megújuló energiáknál pedig 52 % eredő növekményt jelent.



1. ábra • A világ primerenergia-felhasználása energiahordozó-fajtánként (BP-Amoco Statistical Review of World Energy 2000)

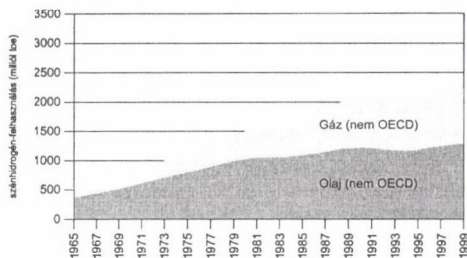
A világ szénhidrogén-felhasználása 1965-ben 75–25 %-os arányban oszlott meg az OECD és a nem OECD-országok között. Ez az arány 1999-re 60–40%-ra változott. A 2. ábrán látható az OECD országok szénhidrogén-felhasználásának változása 1965 és 1999 között. Az ábra jól szemlélteti, hogy az 1973-as és 1979-es olajválság hogyan változtatta meg a növekedési trendet. 1965 és 1973 között a kőolaj-felhasználás átlagos éves növekedési üteme 7,5 %, a földgázfelhasználáé pedig 5,9 % volt. Az 1973-as olajárrobbanás hatására átmeneti csökkenés, majd növekedés következett be. A második olajválságot több évig tartó csökkenés követte, azt követően a kőolajfelhasználás átlagos éves növekedési üteme 1,5 %-ra, a földgázé pedig 2,6 %-ra mérséklődött.



2. ábra • A szénhidrogén-felhasználás változása az OECD-országokban (BP-Amoco Statistical Review of World Energy 2000)

Érdeemes felfigyelni, hogy ez az országcsoport milyen gyorsan reagált az olajár növekedésére. Az energiatakarékosági intézkedések hatására nemcsak a kőolaj-, hanem a földgáz-felhasználás növekedési üteme is csökkent.

A 3. ábraszemlélteti a nem OECD-országok szénhidrogén-felhasználásának változását az elmúlt 35 évben. Az elemzésnél figyelembe kell venni, hogy ebben az országcsoportban jelentős súllyal szerepelnek a volt KGST-országok



3. ábra • A szénhidrogén-felhasználás változása a nem OECD-országokban (BP-Amoco Statistical Review of World Energy 2000)

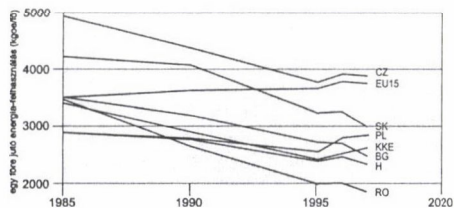
és azok a fejlődő országok, amelyek a kőolajat nem a világpiacon szerezték be. A vizsgált időszakban az ábra alapján három fejlődési szakasz különíthető el. Az első szakaszban 1965 és 1979 között a kőolaj-felhasználás 6,8 %-kal, a földgázfelhasználás pedig 8,6 %-kal nőtt. A második szakaszban 1979 és 1991 között a kőolaj-felhasználás növekedési üteme 1,5 %-ra, a földgázé pedig 5,5 %-ra mérséklődött. Végül a harmadik szakaszban 1991 és 1999 között, az átlagos éves növekedés a kőolaj esetében 0,8 %, a földgáz esetében 0,6 % volt.

Az ábrából látható, hogy ennél az országcsoportnál az 1973-as olajválság hatása nem érzékelhető. Az 1979-es második olajárrobbanás után visszaesés nem következett be, de a növekedési ütem csökkent. Végül 1991 után több évig tartó visszaesés látható, de az 1994-es minimumponttól napjainkig a kőolaj- és a földgázfelhasználás egyaránt növekedett. Ha az átlagos éves növekedési ütemet csak az utolsó öt évre vizsgáljuk, azt látjuk, hogy az a kőolaj esetében 2,3 %, a földgáz esetében 1,8 % volt. Az 1991 és 1994 közötti visszaesést egyértelműen a volt KGST-országokban végbement gazdasági visszaesés és átalakulás okozta.

	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	1999
Kőolaj (OECD)	70 %	71 %	72 %	70 %	69 %	68 %	66 %	66 %
Földgáz (OECD)	30 %	29 %	28 %	30 %	31 %	32 %	34 %	34 %
Kőolaj (nem OECD)	73 %	71 %	70 %	68 %	61 %	58 %	58 %	58 %
Földgáz (nem OECD)	27 %	29 %	30 %	32 %	39 %	42 %	42 %	42 %

1. táblázat • A kőolaj és földgáz részarányának változása (BP-Amoco Statistical Review of World Energy 2000)

Az 1. táblázatból látható, hogy a felhasznált kőolaj és földgáz aránya az OECD-országokban az 1965 és 1990 között alig változott, 70–30 % megoszlás volt jellemző. A 90-es években lassú arányeltolódás kezdődött, ennek eredményeképpen 1999-re 67–33 % felhasználási arány alakult ki. A nem OECD-országokban 1965-ben a kőolajrészesedése kismértékben nagyobb volt, mint az OECD-országokban, de 1990-ig folyamatosan csökkenő trend figyelhető meg. 1990-től máig a földgáz 42 %-os részesedése a jellemző.

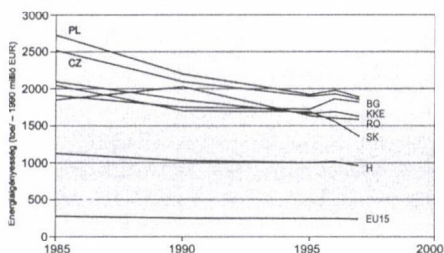


4. ábra • Egy főre jutó energiafelhasználás a kelet-európai országokban (Energy in Europe – 1999 Annual Energy Review)

Kelet-európai és hazai helyzetkép

A kelet-európai országok sajátos jellemzőjeként a mélyreható gazdasági átalakulást kell kiemelni. A 90-es évek elején a tervezési rendszerről a piacgazdaságra történő áttérés a gazdasági szerkezet gyökeres megváltozását eredményezte. A folyamat az egyes országokban nem azonos időpontban kezdődött el, és nem azonos sebességgel zajlik. Az évtizedes örökség legkényesebb pontja a politikai kérdések tekintetében alacsony energiaár, és a rossz hatékonyságú energia-felhasználás. Az első kérdésben az alacsony jövedelmek és nyugdíjak, a másik kérdésben pedig a korszerűtlen épületállomány határolja be a mozgásteret.

A 4. ábrán az egy főre jutó primerenergia-felhasználás látható, amely minden kelet-európai országban csökkenő trendet mutat. Az összehasonlításból az is látható, hogy a régióra jellemző átlagos fejadag (KKE görbe) kisebb, mint az Európai Közösség átlagos fajlagos felhasználása (EU15 görbe). Ez a látszólag kedvező helyzet azonban nem a takarékos és gazdaságos felhasználásból, hanem a viszonylagos fejletlenségből adódik. Előző megállapításunkat az 5. ábrán látható összehasonlítás támasztja alá.



5. ábra • Az energiaigényesség változása a kelet-európai országokban (Energy in Europe – 1999 Annual Energy Review)

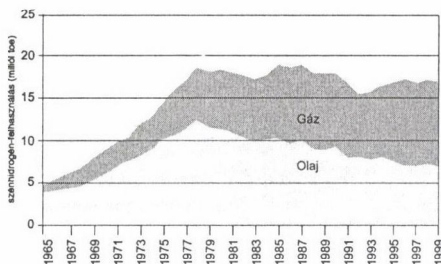
A nemzetközi összehasonlításnál az energiaigényesség az egyik legfontosabb paraméter, amely megadja, hogy valamely ország egységnyi nemzeti jövedelmet (GDP) mekkora energiaráfordítással állít elő. Könnyű belátni: minél több drága energiát használ egy ország egységnyi nemzeti jövedelem előállításához, annál kevésbé versenyképes a nemzetközi piacokon. A legtöbb kelet-európai országnak 4–6-szor nagyobb az energiaigényességi mutatója az EU-15 átlagértékénél. Magyarország ebben az összehasonlításban kiemelkedik a régió országai közül, elmaradása „csak” 2–2,5-szeres.

A 6. ábrán látható Magyarország szénhidrogén-felhasználásának változása 1965 és 1999 között. Az időszakot az ábra alapján két jól elkülöníthető részre lehet bontani. Az első szakasz 1978-ig tartott, amelyre a szénhidrogén-felhasználás dinamikus növekedése volt jellemző. Ebben az időszakban állították termelésbe az algói szénhidrogénmezőt, és a földgáztermelésre is a gyors mennyiségi növekedés volt jellemző. Az 1965 és 1978 közötti időszakra vonatkozó átlagos éves növekedés a kőolaj-felhasználásban 9,5 %, a földgáz-felhasználásban 15,1 % volt. A második szakasz 1978-tól napjainkig terjed, és az összes szénhidrogén-felhasználás stagnáló trendet mutat. A kőolaj-felhasználás – kisebb ingadozásoktól eltekintve – folyamatosan csökkent, a csökkenés átlagos éves mértéke 2,7 % volt. A trend összefüggött a finomítói technológia fejlődésével, amelynek eredményeképpen nőtt a motorhajtóanyagok, az ún. *fehéráru* kihatási határfoka. Ugyanebben az időben a földgázfelhasználás – folyamatosan bővülő import mellett – növekedett, a növekedés átlagos éves mértéke 2,3 % volt. 1990 volt az első év, amikor a földgázimport

megaladta a hazai termelés nagyságát. Ezt követően a gázigénynövekmény mellett a hazai termelés csökkenését is import gázzal kellett fedezni.

Magyarországon a szénhidrogén-felhasználás gyors térhódítását a jelentős hazai készletek tették lehetővé. Az 1937-ben megindult kitermelés eredményeként 41 Mt kőolajat és 192 Gm³ gázt hoztak a felszínre. A termelés a nyolcvanas évek közepén érte el csúcspontját, amikor 2,2 Mt kőolajat, 1Mt kondenzátumot és 7,5 Gm³ gázt termeltek. A hazai szénhidrogén-előfordulások, köztük a legjelentősebb algyői mező termelése is napjainkban már leszálló ágban van. Az éves kitermelés a korábbi érték felére, a földgáztermelés ennél is nagyobb mértékben csökkent.

A jelenlegi mintegy 10 Mt gazdaságosan kitermelhető kőolajkészlet, és a 32 Gm³ földgázvagyron az ország importfüggőségének növekedését vetíti előre. Új kutatási technológiák alkalmazása révén, és az eddig reménytelennek tartott, illetve nem kutatott területek újraértékelésével új készletek valószínűsíthetők, de az így elért készletnövekmény a csökkenő hazai termelés tendenciáját várhatóan nem fogja megfordítani.



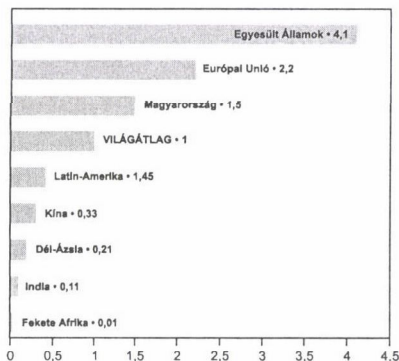
6. ábra • A szénhidrogén-felhasználás változása Magyarországon (BP-Amoco Statistical Review of World Energy 2000)

A 6. ábra az elsődleges információk mellett a gazdasági és gazdaságpolitikai változásokat is egyértelműen tükrözi. Látható például, hogy az 1973-as olajárrobbanásnak nem volt hatása. A kőolaj-felhasználásban 1978-ban látható töréspont határozott gazdaságpolitikai váltásra utal. A szénhidrogén-felhasználás 1978-ban érte el csúcspontját, azt követően 1992-ig csökkent, ami az energiaigényes iparágak termelésének csökkenésével függött össze. A földgázfelhasználás átmeneti csökkenése is 1992-ben érte el mélypontját, ezután lassú növekedés volt jellemző.

Földgáz – híd a fenntartható fejlődés felé

A 90-es évek közepétől a figyelem a földgáz felé fordul. Az International Energy Outlook 1998-as elemzésében 1995-höz viszonyítva a világ földgáz-felhasználásának megduplázódását prognosztizálta 2020-ra. A World Energy Outlook 2000 szerint 2010 táján a földgáz részesedése a primerenergia-felhasználásban meg fogja haladni a szénét. A fejlett országok prognózisai egyértelműen igazolják ezt a tendenciát. Az USA jelenlegi energiastratégiájában 40% növekedéssel számol a földgázfelhasználásban a következő 15 évben. Az EU a földgáz mai 22–24% részarányának 32–34%-ra történő növekedését tervezi a primerenergia-mérlegében 2015-re.

A földgáz iránti igénynövekedés fő hajtóereje a környezetkímélőbb energia-felhasználási struktúrára történő áttérés igénye. A felhasználási növekmény legjelentősebb része a villamos áramtermelés fűtőanyag-váltásából adódik a prognózisok szerint.



7. ábra • A földgáz részaránya a primerenergia-mérlegben (EUROGAS, 1999 Annual Report)

Az EU 2000 végén *Zöld Könyvben* foglalta össze az Unió elkövetkező három évtizedre vonatkozó energiaellátási stratégiáját. Ebben az EU primerenergiaigénye 1998 és 2030 között várhatóan 11%-kal, ezen belül a földgázfelhasználás 45%-kal nő. A fejlődés irányát a Kiotói Egyezmény jelöli ki. A CO₂ kibocsátásra vonatkozó szigorú korlátok csak az atomenergia vagy a földgáz részarányának a növelésével tarthatók meg. A fokozódó társadalmi ellenállás miatt a földgáz-felhasználás növelését javasolták, s a fogyasztói oldal szabályozását kulcskérdésnek tekintik.

	1998	2010	2020	2030
<i>A szénhidrogének részaránya az energiafelhasználásban</i>				
EU-15	64 %	66 %	66 %	67 %
EU-30	61 %	63 %	65 %	66 %
<i>A CO₂ emisszió prognosztizált növekedése</i>				
EU-15		+5 %	+12 %	+22 %
EU-30		+7 %	+18 %	+31 %
<i>Az importfüggőség változása</i>				
EU-15	49 %	54 %	62 %	71 %
EU-30	36 %	42 %	51 %	60 %

2. táblázat • A legfontosabb mutatószámok várható alakulása

A 2. táblázat a Zöld Könyvben szereplő mutatószámokat tartalmazza. Az előrejelzések szerint a szénhidrogének részaránya a primerenergia-mérlegben nem fog számottevően növekedni sem a jelenlegi 15 tagállamot, sem a kibővítés utáni állapotot figyelembe véve. A széndioxid-emisszió várhatóan nagyobb mértékben fog változni a bővítés esetén, mint nélküle. Az EU-tagállamokat legjobban az importfüggőség jelentős növekedése aggasztja. A bővítési változat ebből a szempontból előnyösebb, mivel Norvégia belépése érzékelhetően csökkentí az importfüggőséget. A vizsgált időszakban a kőolaj világpiaci árának 86 %-os, a földgáznak 81 %-os növekedése várható. Ez azt jelenti, hogy amíg 1995-ben a GDP 1,2 %-át, addig 2030-ban 1,7 %-át kell az energiainportra fordítani.

Az importfüggőséggel kapcsolatos aggodalmakat némileg enyhíti a földgáznak az az előnyös tulajdonsága, hogy nagy mennyiségben tárolható. A kimerült gázmezőkben létesített föld alatti tárolók nemcsak a gázigény szezonális ingadozásának kiegyenlítésére alkalmasak, hanem stratégiai készletek is képezhetők, amelyek átmeneti importkimaradás esetén áthidaló megoldást tesznek lehetővé.

Jelenleg az európai országok földgázigényét három „külső” forráskörzetből biztosítják: Északi-tenger, Algéria és Oroszország. Ezek közül Oroszországban található a legnagyobb készletek, így az import növelése készletoldalról nem korlátozott. Az algériai import várhatóan bővíthető más észak-afrikai országból történő beszerzéssel. Ma még nyitott kérdés, hogy a nagyon jelentős földgázkészletekkel rendelkező közel-keleti régió felé sikerül-e csőtávvezetékes kapcsolatot kiépíteni, és nemzetközileg

garantálni a számos országon keresztülhaladó tranzit útvonallal zavartalan működését. Magyarországon nem várható a földgázfelhasználás olyan intenzív növekedése, mint amilyen a fejlett országok esetében tanúi vagyunk. Hazánkban a földgáz térhódítása már a 70-es években elkezdődött, és 80-as 90-es években dinamikus folytatódott a gázellátó infrastruktúra bővítése. Ennek eredményeképpen a földgáz részaránya a primerenergia-mérlegben eléri a 39 %-ot, mely arány Hollandia után a második legmagasabb Európában (6. ábra). 2000 végén a települések túlnyomó része (3125-ből 2596) és mintegy 2,8 millió háztartás volt bekapcsolva a gázellátásba. Jelentősebb felhasználási növekményt csak a korszerűtlen, szén-bázisú áramtermelő kapacitások kiváltása hozhat.

Ellátási jövőkép

A szénhidrogén-felhasználás bővülésének mindenkori kulcskérdése a készletellátottság. Már a 60-as, 70-es évek dinamikus igénynövekedése idején megfogalmazódtak olyan prognózisok, melyek a készletek gyors, két-három évtized alatti kimerülését jósolták. A pesszimista prognózistakat a fejlődés nem igazolta. A szénhidrogéntermelés növekedésével párhuzamosan növekedtek a bizonyított készletek is. A jelenlegi termelési ütemek mellett a világ kőolajkészletei 41 évre, földgázkészletei 62 évre elegendőek [6].

A technológiai fejlődés eredményeként, pl. a három-, majd négydimenziós szeizmika alkalmazása révén egyre bonyolultabb geológiai körülmények között is sikerrel azonosítják a szénhidrogéntároló képződményeket. Az új geológiai modellek a valós helyzet jobb megközelítése révén váratlan felfedezésekhez vezetnek.

A technikai fejlődés eredményeképpen ma már szinte nincs mélységhatára a kutatásnak, gyakorlatilag minden olyan réteg elérhető, melyben még feltételezhető szénhidrogén jelenléte.

A tengeri mezőknél a vízmélység is egyre kevésbé korlátozó tényező. Az új offshore termelési technikák egyre nagyobb vízmélységből teszik lehetővé az üzemszerű szénhidrogén-termelést. Az ultramély technológia 1200-1600 m-es vízmélységben (Gabon, Brazília) üzemszerűen alkalmazott. Továbbfejlesztésével a 2000 m-t meghaladó vízmélységekben is elterjedté válik a kitermelés. Ily módon a világtengerek mind jelentősebb része lesz bevonható a kutatásba.

A művelési technológiák hatásfokának folyamatos javulása a megtalált szénhidrogének egyre nagyobb hányadát teszi kitermelhetővé. A pennsylvániai hőskorban még a vagyon 80-90 %-a a föld alatt maradt. Ma már üzemszerűnek mondható a kőolaj esetében a 40 %-os kitermelés. A gáznál ez természetesen lényegesen kedvezőbb.

A vázolt fejlődés még sok évtizedig biztosítani tudja a szénhidrogén-felhasználási igényeket kielégítő készletháttérrel.

Még jobb a helyzet a földgáz esetében. Világszerte jelentős nagyságú feltárt, de termelésbe nem állított gázkészletek találhatók. A fogyasztási régióktól távoli szénhidrogén-lelőhelyeken a ku-

tatók nem is igen törekedtek a potenciálisan földgázt tartalmazó formációk feltárására, a piacra juttatás nehézségei miatt. A földgáz témyerésével a helyzet megváltozik, felfedezések várhatók. A mai bizonyított 146 trillió m³ földgázkészlet várhatóan lényegesen növekszik még. A szakemberek jelentős metánkészletekkel számolnak a széntelepekből is. (Az USA-ban 2000-ben ebből a forrásból származott a gáztermelés 6 %-a; a nyilvántartott készlet 7 %-át tette ki a szénmetán.)

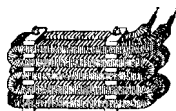
Az árak hosszú távon kétségkívül növekedni fognak. A gyors technológiai-technikai fejlődés ugyan jelentősen javítja a szénhidrogén-termelés költséghatékonyosságát, de nem tudja kompenzálni a nagyobb mélységek, a növekvő vízmélységek és gáz esetében a növekvő szállítási távolságok okozta költségnövekedést. Márpedig a kitermelés súlypontjai ezen területekre tolódnak el, és egyre távolabb kerülnek a nagy iparosodott felhasználói centrumoktól. A nagy felhasználó országok importfüggősége egyre nő. Így pl. az USA jelenleg felhasználásának 56 %-át fedezi külső forrásokból, de 15-20 év múlva az import aránya a prognózisok szerint meghaladja az igények kétharmadát.

A mindenkori világpolitika egyik legfontosabb feladata és kihívása lesz, hogy a kitermelési régiók és a szállítási útvonalak zavartalan működési feltételeit biztosítsa.

IRODALOM:

Energy in Europe – 1999 Annual Energy Review. European Commission, January, 2000
EUROGAS – Annual Report 1999. <http://www.eurogas.org>
EUROGAS – Pipeline to the Future. <http://www.eurogas.org>

The Millennium. Petroleum Economist, December, 1999
Nauwelaerts, L.: *Harc a petróleumért*. Magyar Természettudományi Társulat, Bp., 1937.
BP Amoco – Statistical Review of World Energy 2000



Reményi Károly

A SZÉNHASZNOSÍTÁS ÚJ LEHETŐSÉGEI

A rendelkezésre álló különböző energiaforrások értéke folyamatosan változik és függvénye az aktuális igénynek. Tény, hogy minden értékelés szerint a szén többszöröse bármelyik energiahordozónak, így minden kellemetlensége ellenére még hosszú évtizedekig jelentős szerepet játszik az energetikában. Amennyiben valamilyen áttérés nem segít az energetikán, a távolabbi jövőben jelentősége ismét egyedülállóvá válhat. Ha nem is jósolunk ilyen jövőt a szénnek, akkor is egyik meghatározó energiaforrás marad. A feladat tehát a más energiahordozókkal a versenyképesség fenntartása és a káros környezeti hatások csökkentése. Az újabb elemzések 984 milliárd tonna feltárt szénvagyonot mutatnak, amelyből 509 Gt feketeszen (beleértve az antracitot), 475 Gt barnaszén és lignit. Ez némi csökkenés, 47 Gt az 1995-ös adatokhoz képest (ebből 10 Gt barnaszén). A legnagyobb csökkenést, 28 Gt-t Lengyelországban jelezték, mivel a piaci viszonyok a szénkészletek egy részét leértékelték. Törökországban 6 Gt lignit, Pakisztánban 2,2 Gt barnaszén került ki a készletekből. A feltárt készletek 75 %-a hat országban található: USA 25 %, Független Államok Közössége 16 %, Kína, Ausztrália, India és Németország: 12 %, 9 %, 8 % és 7 %).

A szénkereskedelemben három ország szerepe a legjelentősebb: Ausztrália, az USA és Dél-Afrika fedi be a nemzetközi szénpiac 60 %-át. A FÁK államai és Lengyelország csökkentik a szénexportját. Kína részvétele a világ szénkereskedelmében 6 %, de a jövőben jelentősen növekedni fog, és az import is növekszik.

Az olajjal és földgázzal összehasonlítva a szén helyzete hosszú távon is jelentős mint legszélesebb körben rendelkezésre álló energiaforrás. A jelenlegi éves 3,3 Gt feketeszen- és 1,4 Gt barnaszéntermelést a világ 72 országa biztosítja. A szén a teljes energiaszükséglet 27 %-át fedezte 1996-ban. A legnagyobb szénkereskedelmi részarányral rendelkező három országban, Dél-Afrikában, Kínában és Lengyelországban a teljes energiaigény 70–80 %-át szénből fedezi, a következő háromban, Indiában, a Cseh Köztársaságban és Kazahsztánban 56 %-át.

A szén részaránya a primerenergia-ellátásban várhatóan jelentős marad. A szénkészletek a jelenlegi arányt kb. 200 évig biztosítják és mind a nemzeti mind, a nemzetközi kereskedelemben a szén jelentősége várhatóan növekszik.

A beruházások döntéseikhez ismerni kell az adott technológia költségeit és megtérülési idejét. Általában jelenleg a kifejlesztés bányászati és a különösen kedvező geológiai elhelyezkedés gazdaságos. Rövid távú lehetőségekre széntermelés beindítása általában nem gazdaságos.

A WEFA Energy tanulmánya szerint 2020-ig meglehetősen biztonsággal becsülhető a szénpiac, a forgalom energetikai szekciónél 0,7 Gt/év. A nemzetközi szénkereskedelemben a kokszolható szén is beszámítva elérheti a 0,9 Gt/év értéket. A különböző szerzők nem látnak alapvető kereskedelmi és mennyiségi problémákat. Míg Kolumbia és Venezuela várhatóan 2220-ig 40–50 Mt/év értékkel növeli a kapacitást, tradicionális exportjából (Ausztrália és Dél-Afrika) bizonyos minőségi problémák miatt hiány van. A tanulmány jelzi, hogy Alaszkában még nem művelt mezők esetleg segíthetnek a piac kiegészítéséhez. Az exportőröknek számolniuk kell azzal, hogy a növekvő ellátás mellett árcsökkenést okoz néhány tényező: a szabályozási változások, a liberalizáció és privatizáció. A termelésben viszont előnyöket hoznak a technológiai fejlesztések, az új szénbányák nagyobb termelése alacsonyabb költséget eredményez.

Az exportáló és importáló országok viszonyában az ár és az új szénfelhasználó berendezések beruházási költségei meghatározó szerepet játszanak. A szénárakat mindezt nem lehet biztonságosan megjósolni az energiapiac belüli függőségek miatt. Az olaj- és gázárak növekedése a szénárak növekedésére is ösztönöz és ellenkezőleg, azok csökkenése nyomást gyakorol a szénexportálásra is, az árcsökkenés irányába. A lehetséges nemzetközi egyezmények a karbon-emisszió vonatkozásában szintén negatívan hatnak a jövő árarányaira.

Négy kritérium alapján várható, hogy a jövőben a szénpiacon a tradicionális és új résztvevők száma miként fog változni. Ezek: a széntar-

talékok rendelkezésre állása, a szénkitermelés gazdaságossága, a szén fajtája, az exportlehetőségek.

A széntermelő országok legfontosabb piaca a hazai. Ezen országok termelésük 90 %-át a belső igény fedezésére fordítják. A hazai és az import szénfelhasználás aránya csak csekély mértékben változik, talán 85:15 %-ra.

A szénfelhasználó gazdasági szektorok elemzése azt mutatja, hogy az energiaszektor játssza a legfontosabb szerepet és a jövőben bővül az igény. A szénalapú energiafejlesztés 4800 TWh, a villamosenergia-fejlesztésben a szén aránya 40 %. Várhatóan a 2010-es évekre a villamos energia szén-alapon történő fejlesztése eléri a 7400–8000 TWh-t. A vas- és acéiparban a szénfelhasználás a gyengébb minőségű szenek irányában mozdul el és versenyben lesz a jó minőségű kokszolható szenekkel. A technológiában a szénporbefűvás (PCI) is teret nyer. A fűtési piacon, a távfűtésben ellentétes irány valószínűsíthető, és az olaj és a gáz térmérsége fokozódik.

„Tiszta szén” technológiák

A jövőben mind a széntermelés, mind a felhasználás erősen függ a műszaki fejlődéstől. A bányászat, a dúsítás folyamata jelentősen fejlődik. Különös jelentőségük van a „tiszta-szén”-technológiák megjelenésének, a környezetszennyező anyagok kibocsátását csökkentő eljárásoknak. A szilárd szennyezők, a nitrogén-oxidok, a kénoxidok megengedett kibocsátási határértékei folyamatosan szigorodnak. Az üvegházhatású gázok, különösen a széndioxid-kibocsátás csökkentéséhez az energiafejlesztés hatékonyságának jelentős növekedésére van szükség.

A szén energetikai hasznosítása jelenleg és a jövőben is nélkülözhetetlen, figyelembe véve az összgazdaságosságot és a környezeti hatásokat is. A technológiai fejlesztések jelentősen javították a felhasználás közben jelentkező problémákat. Az utóbbi évtizedekben megjelent „tiszta szén”-technológiák az energetikai határfok növelése mellett jelentősen csökkentik a környezetszennyezést. A fluidizációs tüzelés gyors ütemű fejlesztésével jelenleg már megfelelő erőművi bloknagyság valószínűsíthető meg e technológiával. Előnyei a következők:

- a szén szemcséknek az égőtérben való tartózkodási ideje a teljes kiégésig adott;
- a 850 °C értéken tartott tüzelési hőmérséklet optimális feltételeket biztosít a kén-oxidok lekötésére és minimális NO_x keletkezésére;
- a kénlekötéshez szükséges adalék közvetlenül a tüztérbe kerül és újrahasznosításhoz lehetőséget nyújt;
- a tüztér utáni füstgázban már nincsenek azok az összetevők, amelyek a füstgáz harmatpontját csökkentik, így alacsonyabb hőmérsékletre hűthető le a távozó füstgáz;
- a fluidizációs tüzelés rugalmas tüzelőanyagváltást tesz lehetővé a széntől a különböző ipari hulladékokig;
- a szén előkészítéshez egyszerű törőberendezés elegendő, és a szénportüzeléshez szükséges őrlőmalmok elmaradhatnak;

A fluidizációs technológiát széles körben atmoszférikus nyomású tüztérrel alkalmazzák, de nagyobb nyomású változatát is jelentősen fejlesztik. A jelenlegi fejlettségi szintet reprezentálja Franciaországban a Provence Erőmű 4. blokkja, atmoszférikus fluidizációs tüzeléssel, 250 MWe névleges teljesítménnyel. Főbb paraméterek: 610 MW_{th}; 260 MWe; 740 t/h gőz; 169 bar; 567 °C; 565 °C; kazánhatásfok 94 %; Ca/S 1–3,5. Az SO₂ kibocsátás 400 mg/m³ alatt, az NO_x 240 mg/m³, persze 20 mg/m³.

Az atmoszférikus fluidizációs tüzelés (ACFBC) következő lépése 600 MWe teljesítményű blokk. A jövő energetikai szénhasznosítását megalapozó jelenlegi fejlesztések a technológiák széles körét ölelik fel és négy nagyobb csoportba sorolhatók:

- az ultra-szuper kritikus (USC) gőzparaméterekkel rendelkező erőmű;
- a nyomás alatti fluidizációs tüzelés (PFBC) alkalmazásával 250 MWe blokk, kombinált ciklussal. Néhány MW teljesítménnyel kísérleti berendezések üzemelnek;
- az integrált szénelgázosítós kombinált ciklusú (IGCC) és az integrált szénelgázosítós tüzelőanyag-cellás (IGFC) kombinált ciklusú erőművi blokkok fejlesztése;
- az olvasztott karbonátos tüzelőanyag cellás (MCFC) elvi tanulmányozása és az MCFC alkalmazásával tiszta, nagyhatásfokú energiafejlesztés megvalósítása.

Az új technológiák a hatásfok növelését és a környezetszennyezés csökkentését szolgálják. Az USC a szénportüzelésű (PCF) erőműveknél már technológiai tapasztalatokkal rendelkeznek. PFBC elven ipari méretben épül erőmű. Az IGCC demonstrációs állapotban van. A MCFC jelenleg kísérleti berendezésekben üzemel.

Az ultra-szuper kritikus erőmű (USC)

Az USC technológiát már az 1950-es években vizsgálták. Az Eddystone Erőműben egy 325 MWe blokknál a gőzparaméterek: 34,5 MPa–649/566/566 °C voltak. A magas hőmérsékletű szakaszokon ausztenites acélt alkalmaztak. A kísérletek után a szabványos gőzparamétereket az épülő blokkoknál kritikus alatti értékekre változtatták. A szigorodó környezetvédelmi követelmények újra előtérbe helyezték a hatékonyság növelését és mint lehetséges eszközt a gőzparaméterek növelését is. A technológia kulcsa a hőálló acél. Az új 12 Cr acél kifejlesztése megfelel igen szigorú feltételeknek. Még CrV és 9Cr acél alkalmazásával építhető 1000 MWe blokk 24,5 MPa–600–600°C gőzparaméterekkel. Ilyen az Electric Power Development Co, Ltd / EPDC/ blokkja Matsuura-ban. Az EPDC tapasztalatai és a konstruktőrök elképzelései alapján a jövőben 30 MPa–630–650 °C paraméterű blokk terveznek, 12 Cr acél alkalmazásával.

Nyomás alatti fluidizációs tüzelésű erőmű (PFBC)

A nyomás növelése a fluidizációs tüzeléseknél is régóta igény a tüzeléstechnikában. Különösen előtérbe került ez a törekvés a gőz-gáz körfolyamatok mind szélesebb elterjedésével. A nyomás alatti tüzelés (Pressurized fluidized bed combustion, PFBC) alkalmazásánál alapvetően két irányban indult erőteljes fejlesztés:

- a tüzelőanyag teljes egésze utáni füstgáznak gázturbinára való vezetése;
- a fluidkázásban a tüzelőanyag elgázosítása és a gáz gázturbina-égőtestben való eltüzelése.

A PFBC-ben a tüzelőanyag teljes egésze után fejlődő füstgázok energiataralmának közvetlen gázturbinában való hasznosítására közel párhuzamosan három terv született: az USA-ban a Tidd, Spanyolországban az Escatron és Svédországban a Vartan.

A megépült erőművekkel szerzett első tapasztalatok elsősorban a ciklonok működésénél mutattak problémát. Különösen az ESCATRON tervnél, a nagy hamutartalom miatt, a gázturbinára áramló gáz a tervezettnél nagyobb porkoncentrációjú, így kopási problémák várhatók. E megoldásnál ugyancsak a hatékonyságot befolyásoló korlátot jelent a viszonylag alacsony gázhőmérséklet. A gázturbinára áramló 850 °C hőmérsékletű gáz a jelenlegi technikával megvalósítható gázturbinás rendszerhez képest alacsony hőmérsékletűnek számít.

Kényes része a rendszernek a szénbetáplálás is, azaz a 12 bar nyomású térbe a tüzelőanyag-bevitel többfokozatú zilipelési eljárással oldható meg. Előnye, hogy az alacsony fluidizációs sebesség igen magas kénmegkötést tesz lehetővé. A terhelésváltoztatást állandó ágyhőmérséklet mellett az ágymagassággal lehet végrehajtani. Ha az ágy szintet csökkentik, egyes csövek az ágyból a *freeboard*-ba kerülnek, és mind a gőzfejlesztés, mind pedig a gázturbinára áramló gáz hőmérséklete csökkent. A fluidizáló sebességet, a ciklonokba áramló gáz sebességét és a légfelesleg-tényezőt állandó értéken tartják. A terhelésváltozás sebessége 4 % percenként, a minimális terhelés 30 %. A hideg indítás 5-6, a meleg kb. 2 óra. A nyomás alatti fluidtüzelések hatékonyságának növelésére a tüzelőanyag elgázosítását végzik, a fluidágyban és a gázturbina égőtestben elégetve 1200 °C hőmérséklet lehet a belépő gáz hőmérséklete.

A három kísérleti blokk az Escatron, a Tidd és a Vartan. A néhány éves tapasztalat az tüzeléstechnikák szerint biztató, és a nyomás alatti fluidizációs tüzelésre igen értékes adatokat szolgáltatott. Továbbfejlesztése is lehetséges. A gáztisztításnál problémák jelentkeztek, mivel kezdetben az Escatronnál a gázturbinára jutó füstgáz portartalma lényegesen meghaladta az 50 mg/m³-t. Ugyancsak korlátot jelent a fluidtüzelés miatt a maximális 880 °C hőmérséklet, ami a körfolyamat gazdaságosságát behatárolja. Elősegítené az eljárás elterjedését a magas hőmérsékletű villamos porleválasztás fejlődése. A hatásfok javítása a 880 °C hőmérsékleten többlettüzelőanyag bevitelével lehetséges. A nyomás alatti fluidizációs blokknál 42–45 % nettó hatásfok érhető el, ami 3-4 %-kal magasabb az atmoszféricusnál.

Kombinált ciklusú PFBC erőművi blokkot 251 MWe teljesítménnyel a Chuoku Electric Power Co. tervezett 1999. évi üzembevétellel. A villamos teljesítmény megoszlása 15:85 % gáz:gőz turbinára. A kazánból a gáz közvetlen a gázturbinára áramlik.

Az integrált elgázosítás (IGCC és IMFC)

A szénelgázosításkor keletkező gáz főképpen szén-monoxidot tartalmaz. Az elgázosítás során jelentős problémát okoz a gáz tisztítás mind szilárd, mind a gáznemű szennyező anyagoktól. A nedves tisztítással mind a szilárd anyagtól, mind a kénoxidoktól a gáz megtisztítható. A keletkezett gáz viszonylag alacsony fűtőértékű. Az elgázosítás történhet levegővel vagy oxigénnel. A gáz összetétele égési szempontból oxigénes elgázosításnál kedvezőbb, de biztosítani kell a levegőből az oxigén és nitrogén szétválasztását például nagynyomású szétválasztással. Ez esetben a nitrogént esetleg közvetlen a gázturbinába lehet vezetni. A fejlesztések világ-szerte erőteljesen folynak. Az USA-ban három demonstrációs erőmű, Európában kettő, Japánban kísérleti berendezés üzemel.

A Hitachi kísérletei is jelentősek (HYCOL Hydrogenforom-Coal Process Development), 50 t/h szénmennyiség elgázosítású berendezéssel, oxigénes elgázosítással. A gázturbina 12,5 MWe teljesítményű volt és 1000 órát üzemelt stabilan. Terveznek 150–450 MWe blokkokat a Central Electric Power számára, kísérleti és ipari megvalósításra.

Olvasztott karbonátos tüzelőanyag-cella (MCF)

Az MCFC kémiai energiafejlesztési eljárás, mivel a hidrogén és az oxigén elektrokémiai reakcióját használja. A reakció során keletkezett elektronok az anódról a katódra áramlanak és villamos energiát fejlesztenek. A folyamatba a szénelgázosítás során keletkezett H₂ és CO is bekapcsolható. A rendszer 650 °C-on működik és gázturbinás kapcsolás alakítható ki. Szénelgázosítással kombinált MCFC energiafejlesztési körfolyamattal 50–52 % villamosenergia-fejlesztési hatásfok érhető el. A rendszer fejlesztési állapotban van és néhány kW-os kísérleti berendezések létesültek, elsősorban Japánban. A közlelbbi jövőben néhány száz kW-os teljesítményű berendezések elterjedése várható.

A szénhasznosítás várható jövője Magyarországon

A szénhasznosítás meghatározó ágazata Magyarországon a villamosenergia-ipar. Jelentős felhasználó még a kohászat, ahol kokszt formájában számottevő mennyiségű szenet alkalmaznak. A többi fogyasztói területen (egyéb iparágak, lakosság, közületek) a szénigény és a szénfogyasztás egyre jelentéktelenebbé válik. Az utóbbi két évben a szénhasznosítás kilátásai a villamosenergia-termelésben is nagyon leromlottak, főként a Kiotói Egyezmény (1997 december) és a Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA) 1998-as energiahordozóár-prognózisának hatása miatt.

A hazai teljes erőművi kapacitás – beleértve a kis üzemi erőműveket is – 7790 MW. Ebből szénelalapú mindössze 1908 MW, Magyarországon tennet szénekre alapozva. Csupán egyetlen erőműnél történik némi importszén-besegítés, és ott is csak az utóbbi néhány évben. Szén erőműveink azonban legfeljebb 2004 végéig üzemelhetnek jelenlegi felszereltségükkel, mert akkor lejár a most még érvényes környezetvédelmi moratórium, és utána meg kell felelni a szigorú európai károsanyag-kibocsátási normáknak. Addigra tehát vagy át kell alakítani ezeket az erőműveket, vagy meg kell szüntetni az üzemeltetésüket.

Magyarország gazdaságosan kitermelhető energiahordozókban meglehetősen szegény. Az egyetlen igazán számottevő energiahordozónk a lignit, amely hosszú távon is biztonságosan, versenyképes – vagy idővel versenyképessé váló – áron rendelkezésre állhat. A viszonylag könnyen feltárható, kulféjtésekkel leművelhető lignitvagon akár 5–6 ezer MW erőművi kapacitást is kiszolgálhatna, tehát a hosszú távú villamos energetikai fejlesztések biztos alapját képezhetné.

Barnaszenkészleteink tetemesek, de csekély az a mennyiség, amely reményt nyújt a gazdaságos hasznosításra, és ennek lehetséges időtartama is rövid, aligha több, mint 15 év.

Feketeszenkészleteink sem csekélyek, de kitermelésüket nem tekinthetjük gazdaságosnak.

Mindez nem jelenti azt, hogy az erőművi széntüzelésnek nincs jövője; ezt a földgáz drasztikus áremelkedése meg fogja alapozni. Am a szenet igen jelentős részben importálni fogjuk.

Számos át nem gondolt vagy épp ellenérdeklő sugalmazás ellenére a szén nem lehet, nem szabad leírni a villamos energetikában. Bőséges készletei, jó hozzáférhetősége, könnyű szállíthatósága egyszerű és kevésbé költséges tárolhatósága, valamint tartósan alacsony ára következtében ismét versenypozícióba kerül a sokkal kiszámíthatatlanabb földgázzal szemben. Az erőművi széntüzelés fellendülése már középtávon is reális perspektíva lehet Magyarországon.

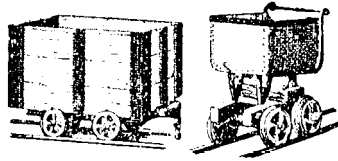
Túlnyomórészt tengerentúlról importált feketeszen és hazai külfejtésekből termelt lignit jöhet számításba, de van egy-két olyan erőműbánya kapcsolat, ahol a hazai barnaszén is bevonható az erőművi fejlesztésbe.

Az importszenet tüzelő új erőművek nyilvánvalóan a Duna mellett fognak letelepülni, a szénszállítási költségek mérséklése és a friss-

vízűtés előnyeinek kiaknázása miatt. A nem Duna-közeli erőművek e tekintetben bizonyos hátrányt kénytelenek elviselni importszenalapú vagy importszenet is figyelembe vevő fejlesztési elképzelései megvalósításánál, de a már meglévő infrastruktúrájuk ezt kompenzálhatja.

Az újabb magyarországi szénerőművek építésének vannak akadályozó, illetve esélynövelő tényezői. Az akadályozó tényezők közül a legfontosabbak a földgáz konkurenciája és a Kiotói Egyezmény megszorító intézkedései. Az esélyeket több fontos tényező is javítja. Ilyenek:

- a földgázár várható tetemes növekedése,
- a szénárak tartósan alacsony szintje,
- a világ szénkészleteinek bősége és kedvező eloszlása,
- a tiszta széntüzelési technikák és technológiák fejlődése.



Szatmáry Zoltán

A JÖVŐ ATOMERŐMŰVEI

A 20. század végén 436 erőművi reaktor működött, amelyek a világon termelt villamos teljesítmény 17 %-át adták. Az eddig felhalmozott üzemeltetési tapasztalat közel 10 ezer reaktorév. Ezen belül a könnyűvízzel moderált, kis dúsítású rendszerek 80 %-ot képviselnek. A 17 %-os részesedés elsősorban talán szerénynek tűnik, valójában ez már tekintélyes szám: az atomerőművek által 1999-ben termelt villamos energia megegyezik a világ 1960-as teljes villamos energia-termelésével. Azt is vegyük figyelembe, hogy ennek az új technológiának akkor kellett a villamos energia piacára behatolnia, amikor az 1970-es évek olajválságai miatt jelentősen lelassult az igény növekedésének üteme.

Az atomerőművek további terjedését gátolják a társadalmi elfogadtatás problémái, amelyek csak részben vezethetők vissza a TMI-2 reaktor 1978-as és a csernobili reaktor 1986-os balesetére. Ezekkel a problémákkal, valamint a nukleáris energetika iránti igények várható növekedésével egy másik dolgozatban foglalkozunk.¹ Ezért az alábbiakban az új atomerőművi elképzelések technikai részleteire szorítunk.

Az atomerőművek új generációja több szempontból is különbözni fog a meglévő erőművektől. A gyártók három főbb irányban indultak el:

- Az evolúciós erőművek a meglévő típusok továbbfejlesztésének tekinthetők. A konstrukciós célok sok tekintetben a meglévők tagadását jelentik.

- A passzív erőművek a biztonságot a fizika alaptörvényeire (gravitációra, természetes áramlásra, tárolt hőre stb.) alapozzák, így az nem függ egyes biztonsági rendszerek megfelelő működésétől. Ezt inherens biztonságnak is nevezzük.

- Az innovatív reaktorok a biztonságot teljes egészében passzív eszközökkel érik el.² Az innovatív irányzat teljesen szakít az eddigi konstrukciókkal. Némelyik elképzelés imponá-

lóan szellemes. Ez egyben gyengéjük is, hiszen egyelőre valószínűtlen, hogy meg fognak valósulni. Ha nagy számban megindul újabb atomerőművek építése, azok nagy része az előbbi két csoportba fog tartozni.

Nem hisszük, hogy a fejlődés ténylegesen keresztül fog menni ezeken a fázisokon. Ez a csoportosítás az 1990-es évek elején született, és lassan elavul. Érdekes, hogy a fejlődés vissza fog térni az 1950-es évek olyan elképzeléseihez, amik ugyan már akkor is – udvarias, vállveregető módon – *érdekesnek* mondtak, de megvalósulásukat a távoli jövőben várták. A közelmúlt problémái azonban ezeket reális lehetőséggé tették. Az alábbiakban tehát nem a fenti skolasztikus osztályozást, hanem a mai kor problémáit vesszük alapul:

- az atomerőművek gazdasági versenyképessége,
- a környezetre gyakorolt hatásuk,
- az erőművek biztonsága,
- a radioaktív hulladékok mennyisége és minősége,
- hatósági engedélyeztetés,
- a nukleáris fekvérek felszámolása.

A felsorolt problémák természetesen szorosan összefüggnek. Például a hatósági engedélyeztetés döntő hatással van az atomerőművek gazdaságosságára. Mielőtt a részletekbe mennénk, megjegyezzük, hogy az atomenergia hasznosításának nem a felsoroltak a legfontosabb problémái. Hosszú távon sokkal fontosabb a zárt üzemanyagciklus megvalósítása, vagyis a gyors reaktorok és a kiégett üzemanyag reprocesszálásának³ kérdésköre. Bár folynak erőfeszítések ebben az irányban, a helyzet annyira összetett és a társadalmi környezet oly neuralgikus, hogy jobbnak látjuk egy ilyen áttekintés végére hagyni. Mindenesetre jól látszik, hogy a fejlődés ma nem a perspektívikusan fontos irányban halad. Ami ma történik, az csak a társadalmi környezet által provokált, kényszerű kitérőnek tekinthető.

dául a francia nyelvű irodalomban az innovatív reaktorokra a *révolutionnaire* kifejezést használják, amely rímelt az *évolutionnaire* kifejezésre.

³ Újrafeldolgozásának.

¹ Szatmáry Z.: *A nukleáris technika a 21. században*. Magyarország az ezredfordulón. Stratégiai kutatások az MTA-n. Műhelytanulmányok (megjelenés alatt).

² Az újlatin nyelvek irodalma kihasználja az evolúció-revolúció szópárból adódó szójátékot. Így pél-

Gazdaságosság és biztonság

Az atomerőművek gazdaságosságának legnagyobb problémája a magas beruházási költség, amiből következik, hogy nagyon érzékeny a beruházás átfutási idejére. Egyes országokban bonyolult az engedélyezési eljárás, és emiatt jelentősen megnönek a kamatterhek. Így az atomerőművek mindenütt hátrányban vannak a kombinált gázturbinás erőművekkel szemben, és ez így is marad, amíg a gáz a mai áron rendelkezésre áll, továbbá nem sikerül az atomerőművek kétségtelen előnyeit érvényre juttatni: a költségekben kis hányad az üzemanyag ára, a nagy egységteljesítmények révén csökkenthető a fajlagos beruházási költségek, végül növelhető az egyes komponensek élettartama.

Mindennek feltétele a szabványosítás, a szerkezet egyszerűsítése, a blokkok teljesítményének növelése, a minőségbiztosítás, a felügyeleti feladatok csökkentése és automatizálása, az üzemanyag kiégetésének a növelése.⁴

Az élettartam növelése révén a már alkalmasnak bizonyult helyszínek jobb kihasználása válik lehetővé. Ennek feltétele olyan moduláris konstrukciók alkalmazása, amelyekben a részberendezések cserélhetőek. A dologhoz tartozik, hogy a korábbi erőművi generáció 30 éves névleges élettartamát 50–60 évre növelik.⁵

A gazdaságosság és a biztonság egymástól elválaszthatatlan és egymásnak ellentmondó követelmények. Az atomerőművek első generációjának a biztonságát az ún. méretezési baleset alapján ítélték meg: elképzelték egy meglehetősen súlyos balesetet, és az erőművekbe ennek kivédésére szolgáló biztonsági berendezéseket építettek. A legelterjedtebb típus, a nyomottvízes erőmű esetében ez a hűtőközeg elvesztésével járó baleset (LOCA⁶). A biztonságot olyan számítógépi programok segítségével elemezték, illetve bizonyították, amelyek a folyamatot konzervatív módon írták le.⁷ Így meglehetősen bonyolult erőművek keletkeztek, amelyekben a

biztonsági berendezések a költségeknek körülbelül a felét (vagy még többet) képviseltek.

A 70-es években jelent meg a biztonság valószínűségi szemlélete: a korábbi, determinisztikusnak tekinthető megközelítés helyett annak a valószínűségét kezdték vizsgálni, hogy az atomerőműben súlyos baleset következzen be. Mivel a baleset legsúlyosabb következménye a környezetnek radioaktív anyaggal való elszennyezése, aminek feltétele az aktív zóna⁸ megolvadása, az utóbbit tekintették súlyos balesetnek. Ilyen következménye lehet például a fent említett méretezési balesetnek is. A valószínűségi megközelítés szerint a konstruktőrnek végig kell vizsgálnia az összes olyan elképzelt eseményláncot, amelyek súlyos balesetre vezethetnek, továbbá egyenként ki kell számítani valószínűségüket. Ezek összege globálisan jellemzi az erőmű biztonságát. Ezen túlmenően az analízis fényt derít az erőmű biztonság szempontjából gyenge pontjaira. Így születtek ki egyenlített biztonságú berendezések, továbbá így lehetett a már működő atomerőművek biztonságát utólag megnövelni. Ezt az eljárást nevezzük valószínűségi biztonsági elemzésnek (PSA⁹), ennek részeként az egyes baleseti eseményláncokat nem konzervatív, hanem realisztikus számítógépi programokkal elemzik.¹⁰

A valószínűségi elemzés, mint módszer, a mai napig a biztonság megítélésének az alapja. Több szintjét szoktuk megkülönböztetni: az első az erőművön belüli események, a második a kibocsátások analízise és így tovább. Az Egyesült Államok a következő célokat tűzte ki:

- Annak a valószínűsége, hogy valaki egy atomerőmű következtében idő előtt meghal, legyen kisebb, mint az összes többi halálok valószínűségének 1‰-e.

⁸ Aktív zóna: a reaktornak az a része, ahol a maghasadások láncreakciója végbemegy.

⁹ Probabilistic Safety Analysis.

¹⁰ Az angolszász irodalomban az ilyeneket *best estimate* programoknak nevezik, amivel magyar szövegekben is lehet találkozni. Tekintve, hogy ez a kifejezés az angolban is számarág, jó lenne a magyarban valami mást, például a fenti kifejezést meghonosítani. Az *estimate* ugyanis egy becslés eredményét jelenti, ami lehet torzított vagy torzítatlan, hatékony, konzisztens stb., de *legjobb* nem. A matematikusok mindig tiltakoztak a kifejezés ellen. Egyébként is, amiről itt szó van, az angolul *estimator*. Érthetően, miért használnak ehelyett mást az amerikaiak.

⁴ Az üzemanyag egységnyi tömegéből kinyert energia növelése.

⁵ Az Egyesült Államokban már hat atomerőmű élettartamának 60 évre való növelését engedélyezték. Továbbiaké várható a következő években.

⁶ LOCA = Loss of Coolant Accident.

⁷ Ha a folyamat tényleges lefolyásától eltértek, akkor a balesetet súlyosabbnak mutatták, vagyis a biztonság irányában voltak torzítva.

• Annak a valószínűségét, hogy valaki rákban hal meg, az atomerőmű az összes többi rákkeltő okból eredő valószínűségnek legfeljebb 1%-ével növelheti meg.

E célok elérése érdekében a következő műszaki feltételeket szabták:

• Az aktív zóna megolvadásának valószínűsége létesítményenként és évenként ne haladja meg a 10^{-4} értéket.

• A nagy valószínűsége, hogy a környezetbe nagymennyiségű radioaktív szennyezés kerül, létesítményenként és évenként ne haladja meg a 10^{-6} értéket.

A 3. pontban szereplő valószínűséget 10^{-6} -ra csökkentik a fejlett reaktorokban. Az Egyesült Államokban már három új típus kapott elvi engedélyt: ABWR¹¹ (General Electric–Toshiba–Hitachi), S80+ (Asea Brown Boveri – Combustion Engineering) és AP600 (Westinghouse). Az első két ABWR-típusú atomerőművi reaktort 1998-ban helyezték üzembe Japánban egyenként 1350 MW villamos teljesítménnyel.

1991 végén öt európai ország (Belgium, Franciaország, Nagy-Britannia, Németország és Spanyolország) új koncepciót kezdett kidolgozni. Később csatlakozott hozzájuk Finnország, Hollandia, Olaszország és Svédország. Egy négykötetes dokumentumot (EUR¹²) tettek le az asztalra. Ennek 3. kötetében szerepel az EPR reaktor koncepciója. Egyesíti magában a német Konvoi és a francia N4 elképzeléseit, valamint további reaktorokét, amelyekre vonatkozóan már 1500 reaktorév tapasztalat gyűlt össze. A koncepció legfontosabb elemei a következők:

• Az épülő nyomott vagy forralóvízes reaktorok egységtelepítési mérete 600 MW és 1500 MW közé esik. A koncepció nyitott a passzív biztonsági elemek előtt.

• A reaktor üzemanyaga kevert UO_2 és PuO_2 (MOX). Ezzel csökken az átrakások száma, és megnő a terhelési tényező.¹³

• Az aktív zóna olvadásának a valószínűsége nem haladhatja meg a 10^{-5} értéket évenként és létesítményenként. Radioaktív anyag jelentős kibocsátásával járó baleset hasonló valószínűsége

legfeljebb 10^{-4} . Az amerikaiaktól eltérően az európai koncepció nem a kibocsátások okozta lakossági dóziszról, hanem a kibocsátott radioaktivitás értékéből indul ki.

• A dokumentum szabványos elemekből képzelet az atomerőművet, amelyek az európai országok minden olyan telephelyén alkalmazhatók, ahol bizonyos, pontosan meghatározott feltételek kielégülnek. Ezzel egyszerűsödik az építés és az engedélyezés.

• A koncepció rögzíti az egyes komponensek biztonsági tartalékait. Közülük kiemeljük az élettartamot: cserélhető komponensekre 40 év, a nem cserélhetőkre (például a reaktortartályra) pedig 60 év.

• Báziserőművek esetében a villamos energia ára legalább 15 %-kal kisebb, mint a szénerőművek és a kombinált ciklusú erőművek esetében. Kisebbségi tényezők esetében a kWh ára versenyképes marad az egyéb fajta erőművekkel (évi 4500–5500 óra kihasználásig). Ez az ár négy fő összetevőt tartalmaz: beruházás, üzemvitel, üzemanyag és leszerelés.

Harmadik generációs erőművek

A fentiekben említett reaktorokat fejlett vagy harmadik generációs atomerőműveknek nevezzük. Tekintve, hogy a második generációs erőművekhez képest nem tartalmaznak új elemet, a cikk elején idézett osztályozás szerint evolúciós erőműnek minősülnek. A biztonsági rendszerek többsége aktív, vagyis működéséhez szükség van villamos energiára. Mint már volt róla szó, az EPR koncepció alkalmas passzív, vagyis villamos energia nélkül működő komponensek befogadására. Ennek ellenére az EPR is az evolúciós kategóriába sorolható (legalábbis egyelőre). Az alábbi táblázatban összegeztük azoknak a jellemzőknek a számszerű értékét, amelyekről már volt szó. Az utolsó oszlopba felvettük egy olyan berendezés adatait, amelyről csak később lesz szó. Amikor ezek a rendszerek megvalósulnak, elsősorban fokozott biztonságukkal és jelentősen javított gazdasági mutatóikkal fognak kitűnni. Közülük is kiemelendő a rövid építési idő, valamint az élettartam. Mindkettő döntően befolyásolja a létesítéshez szükséges tőke terheit.

¹¹ Advanced Boiling Water Reactor.

¹² European Utility Requirements.

¹³ A vízzel moderált nagy reaktorok esetében ez 0,8 körül van (jó esetben).

	EPR	S80+	ABWR	AP600	SBWR ^(d)	GT-MHR
Vill. telj. (MW)	1450	1345	1356	600	600	~300
Terhelési tényező	0,87	0,9	0,86	0,9	0,9	0,8
Üzemanyag	MOX ^(a)	MOX ^(a)	UO ₂	UO ₂	UO ₂	PuO ₂
Kampányhossz ^(b) (hó)	12–24	18–24	18–24	18–24	18–24	20
A zónaolvadás valószínűsége (/év)	< 10 ⁻⁵	< 10 ⁻⁶	< 10 ⁻⁶	< 5×10 ⁻⁷	< 10 ⁻⁶	Lásd ^(c)
Élettartam (év)	60	60	60	60	60	nincs adat
Építési idő (év)	5	4	4	3	3	nincs adat

^(a) Kevert UO₂ és PuO₂; ^(b) A reaktor két átrakása között eltelt idő;

^(c) A reaktor olvadása kizárható; ^(d) Az ABWR egyszerűsített változata.

Negyedik generációs erőművek

A negyedik generációs vagy innovatív erőművek a fentiekől alapjában eltérő megoldásokat alkalmaznak. A legfontosabb cél az aktív zóna megolvadásának gyakorlatilag lehetetlenné tétele, amit a passzív biztonsági rendszerek általános alkalmazásával érnek el. Mint már említettük, ezek vagy egyáltalán nem, vagy csak alig igényelnek külső energiaforrást. A másik cél az atomfegyverek terjedéséből eredő kockázatnak a minimumra való csökkentése. Ez ugyanis feltétele annak, hogy az atomenergiát olyan országok is alkalmazhassák, amelyek – katonai megfontolásokból – ma ki vannak zárva. Az Egyesült Államok hatóságai szerint a harmadik generációs erőművek nem zárják ki maradéktalanul a hasadóanyag illetéktelenek által való megszerzését. Ebből kiindulva kezdeményezték a közelmúltban a NERI¹⁴ együttműködést, amelyben számos, ún. *kiszóbbállam*¹⁵ is részt vehet: Argentína, Brazília, Dél-Afrika, Franciaország, Japán, Kanada, Korea, Nagy-Britannia, USA. E kilenc ország húsz éven át olyan atomerőmű kifejlesztésén fog együttműködni, amely nagyon gazdaságos, kizárja az atomfegyver terjedését, fokozottan biztonságos, és minimális mennyiségű hulladékot termel. Mire ez valósággá válik, a villamos energia iránti igény világszinten – a várakozások szerint – fokozódni fog, de a fejlesztés eredménye ezt ki tudja majd elégíteni.

A negyedik generációs erőművek némelyike közelebb áll a megvalósuláshoz, mint gondolnánk. Az alábbiakban főleg ilyen példákat fogunk látni.

¹⁴ Nuclear Energy Research Initiative.

¹⁵ Olyan állam, amely vagy már dolgozik atomfegyver kifejlesztésén, vagy képes lenne erre

A magas hőmérsékletű reaktor

A magas hőmérsékletű reaktor (HTR) eredetileg az atomerőműveknek azt a hiányosságát akarta megszüntetni, hogy kicsi a termodinamikai hatásfokuk. Ez nemcsak energetikailag kedvezőtlen, de alkalmatlanná is teszi a reaktort ipari folyamathő előállítására. A probléma gyökere a víz hűtőközeg; a szükséges nagy nyomások miatt nehéz 300–330 °C fölé menni. Ezért próbálkoztak héliummal, amelynek a magas hőmérsékleten kívül egyéb előnyei is vannak: nem aktiválódik, nemesgáz lévén nem okoz korróziót és nem mérgező, közvetlenül működtethető vele egy turbina. A magas hőmérséklet miatt speciális üzemanyagra van szükség: 0,8 mm átmérőjű, többrétegű grafitnal bevont UO₂ szemcsékből áll, ezekből különböző alakú fűtőelemeket lehet préselni. A szemcsék 1600 °C-ig megőrzik tömörségüket. A koncepciót először a németek valósították meg gömb alakú, körülbelül egy teniszlabdával azonos méretű fűtőelemek segítségével. A kísérleti berendezést prototípus (AVR) követte, majd megépült egy 300 MW villamos teljesítményű erőmű is (THTR300), ezt azonban politikai nyomásra bezárták, és már akkor sem lehetne üzembe helyezni, ha akarnánk. Rúd alakú fűtőelemekkel máshol is épültek ilyen rendszerek: Dragon (Nagy-Britannia), Peach-Bottom és Fort St-Vrain (USA). A tapasztalatok beváltották a típushoz fűzött reményeket. A termodinamikai hatásfok értéke 0,48 körül volt.

A részletesebb elemzés kimutatta, hogy ennek a reaktortípusnak a biztonsága kielégíti a negyedik generációs reaktoroktól elvárt követelményeket. A *megszaladással*¹⁶ szemben inhe-
¹⁶ A láncreakció szabályozhatatlanná válása. Ilyen baleset okozta a csemobili katasztrófát.

rens biztonsággal rendelkezik. A hűtőközeg (hélium) teljes elszökése esetén sem olvad meg az aktív zóna. Ez a tulajdonság a reaktor alakjára vezethető vissza: az átmérőjéhez képest nagy magassága miatt a felület és térfogat aránya sokkal kedvezőbb, mint a többi reaktor esetében, így a hűtés nélkül maradt aktív zóna természetes hűtése önmagában elegendő az olvadás elkerüléséhez. Ez a reaktortípus újabban ismét az érdeklődés homlokterébe került. Négy ország: USA (General Atomics), Oroszország (Minatom), Japán (Fuji Electric) és Franciaország (Framatome) együttműködésében olyan reaktort fejlesztenek ki a meglévő konstrukcióból, amely alkalmas lesz a remélhetőleg rövidesen leszerezendő atomfegyverek plutóniumának elégetésére. Ez a GT-MHR¹⁷. A fegyverekben lévő plutónium energetikai hasznosítása önmagában haszon, de nem ez a dolog fő jelentősége: a világ biztonsága szempontjából ez a legjobb mód az atomfegyverek felszámolására. A teljesség kedvéért megjegyezzük: ebben a reaktorban maga a plutónium nem tűnik el teljesen, viszont megváltozik az izotóp-összetétele: az atomfegyver gyártására alkalmas ²³⁹Pu átalakul fegyvergyártásra alkalmatlan izotópokká. E sorok írója több evolúciós erőműről lemondana, ha ez az egy koncepció megvalósulhatna.

A magas hőmérsékletű reaktorban az urán és plutónium helyett lehet tóriumot is használni, amivel ennek az anyagnak az energiatartalmát is hasznosítani lehet. E reaktortípusnak további alkalmazási lehetőségei is lehetnének (például a vegyiparban). A nukleáris technika körül zajló viták ellentmondásos epizódja, hogy Németországban éppen ezt a típust számolták fel. Nemcsak az a probléma, hogy a német szakértelemnek kimagasló eredménye veszett el, hanem az is, hogy az általános nukleáris biztonság és a környezetvédelem szempontjaira hivatkozva éppen a legbiztonságosabb és a leginkább környezetbarát reaktort iktatták ki. Az antinukleáris mozgalmak jobban tennék, ha abbahagynák a vaktában való csapkodást, és azt az érdeket szolgálnák, amelyet a zászlójukra tűznek. Ellenkező esetben ugyanis azt hihetné az ember, hogy valamilyen rejtett lobbyérdek zsoldjában harcolnak az atomerőművek ellen.

¹⁷ Gas Turbine-Modular Helium Reactor.

A sóolvadék reaktor

Az Egyesült Államokban a 60-as években működött egy reaktor¹⁸, amelyben az urán olvadó só formájában volt jelen. Kedvező reaktorfizikai tulajdonságai miatt kísérleteztek vele. Mivel ezek az előnyei akkor nem keltek különösebb érdeklődést, a koncepciót félretették. Újabban ez is előkerült egy nagyon fontos alkalmazás reményében: felhasználható a nagy aktivitású nukleáris hulladékoknak gyorsan bomló izotópokká való átalakítására. Nem a jelen cikk feladata annak az elemzése, hogy lehetséges-e és helyes-e a nukleáris hulladékokat százezer, esetleg millió évre biztonságosan elhelyezni valamilyen stabil geológiai képződményben. Az viszont tény, hogy az atomerőművek ellenfelei ezt határozottan ellenzik. Nos, a sóolvadék reaktor a problémát elegánsan megoldja. Van egy másik megoldás is, amellyel a következők részben foglalkozunk.

Egy szokványos reaktor fűtőeleme feloldható a BeF₂ só olvadékában. Az így keletkező olvadékot alkalmas szivattyúkkal keringetik az aktív zóna és egy kémiai berendezés között. E két egység szerepe a következő:

- Az aktív zóna – mint rendesen – az a térrész, amelyben a láncreakció végbemeget. Itt keletkezik egyrészt hő, amely felhasználható villamos energia termelésére, továbbá az itt uralkodó intenzív neutronsugárzás hatására a hosszú felezési idejű izotópok vagy elhasadnak és hasadási termékek keletkeznek, vagy neutronbefogással rövidebb felezési idejű izotóppá alakulnak át.

- A kémiai berendezés a sóolvadékból kivonja a maradék uránt, a hasadási termékeket és a feldolgozott fűtőelemek burkolatában levő cirkóniumot. Fontos, hogy a plutóniumot és a többi transzurán elemet a berendezés az olvadékban hagyja. A kivont uránt és cirkóniumot reaktorban újra fel lehet használni. A kivont hasadási termékeket vitrifikálás¹⁹ után biztonságba kell helyezni.

Végeredményben tehát az újrahasonosítható anyagok visszakerülnek az üzemanyagciklusba, a transzurán elemek megsemmisülnek, a radioaktív hulladékok pedig olyan anyaggá

¹⁸ Ez volt a Molten Salt Reactor.

¹⁹ A vitrifikálás helyett természetesen más technika is alkalmazható.

alakulnak át, amelyek aktivitása egy-két emberöltő alatt a kiindulásul szolgáló urán aktivitásának a szintjére csökken. Ezzel megvalósul a *szennyező fizet*elve, hiszen az a generáció tünneti el a hulladékokat, amely a termelt villamos energia hasznát élvezte (vagy bármilyen más módon hasznosította az uránt). Ebben az irányban határozott lépések történtek az elmúlt évtizedben. Az oroszok kísérletileg igazolták az egész folyamat megvalósíthatóságát. Jelenleg szerveződik egy nemzetközi együttműködés a műszaki részletek kidolgozására. Az oroszok mellett igen aktívak az EU egyes országai (különösen Franciaország), de jelentős eredményeket értek el a csehek is. Ennek az az oka, hogy mind az EU, mind az OECD „a szennyező fizet” már idézett elvét vallja.

Írható e helyen célunk a világtendenciák tárgyalása, ezen a ponton elkerülhetetlen a hazai helyzetre is kitérni. Nyitva áll a kapu ahhoz, hogy a most szerveződő együttműködésbe mi is bekapcsolódjunk. A magyar felső szervek mindeddig elzárkóztak a hazai kutatók ezirányú törekvései elől. Nagy hiba lenne, ha ez így folyna tovább. A VVER-típusú atomerőművek területén²⁰ az 1970–80-as években intenzív K+F tevékenység folyt nálunk, ami azóta busásan megterült, jóllehet ezt az erőműtípust nem mi fejlesztettük ki. A Széchenyi-terv például alkalmas keret lehet arra, hogy ezen a területen nálunk is meginduljanak legalább a követő kutatások. Ellenkező esetben komoly többletköltségekkel kell számolni egy-két évtized múlva. (Persze nem nekünk, hanem fiainknak.)

Gyorsítóval hajtott reaktorok

Már 1952-ben jelent meg dolgozat az ún. nukleáris triádról, vagyis a három alapvető nukleáris technika együttes hasznosításáról: hasadási reaktor, részecskegyorsító és fúziós reaktor. Jóllehet az utóbbi még nem valósult meg, az alapul szolgáló magreakciót, a fúziót könnyen elő lehet idézni földi körülmények között is. Ötlet volt bőven, de megvalósításukat mindenki a távoli jövőben képzelte el.

A triád mindegyik tagja neutronokat termel. Neutronokban a legszegényebb a maghasadás, de előnye, hogy sikerült ipari léptékben

megvalósítani. Utána következik a fúzió, amely tömegegységre vonatkoztatva 20-szor több neutronot termel, mint a hasadás²¹. Sokáig a hasadás és a fúzió kombinációja tűnt a legközelebbinek, amely szerint egy hasadó köpeny belsejében levő fúziós berendezés tartósan több energiát képes termelni, mint amennyi üzemben tartásához szükséges. A legtöbb neutron gyorsítóval lehet előállítani, ha néhány 100 MeV energiára gyorsított protonokkal nehézfém (például ólom) targetben spallációs reakciót váltunk ki. Miután az 1980-as évek elején ez technikailag könnyen megvalósíthatóvá vált, felmerült, hogy ha az atomerőművek elhasznált fűtőelemeit (vagyis a nagy aktivitású hulladékot) ilyen eredetű neutronokkal besugározzuk, akkor ezek „megfiatalodnak”, vagyis újra felhasználhatóvá válnak. Sokáig ezt az ötletet sem vették komolyan. Az 1980-as évek második felében Los Alamosban (USA) készítették egy megvalósíthatósági tanulmányt, és ettől kezdve a dolog egyre reményteljesebbnek tűnt, különösen azután, hogy a Nobel-díjas Carlo Rubbia, az MTA tiszteleti tagja éppen nálunk tartott székfoglaló előadásában egy gyorsítóval hajtott szubkritikus reaktor koncepcióját vázolta fel. Számos reaktorfizikai tévedése miatt ez a koncepció nehezen tud utat törni magának, pedig – mint az alábbiakból kitűnik – üdvös lenne.

A gyorsítóval hajtott rendszerek lényege, hogy bennük a reaktor szubkritikus. Ellenkező esetben ugyanis a reaktor külső neutronforrás, vagyis a gyorsító nélkül is működhetne. Nézzük először a Los Alamos-ban kidolgozott elképzelést!²² A gyorsító targetárama körülbelül 10 mA, a termelt neutronok száma néhányszor 10^{16} n/s. A reaktor sokszorozási tényezője 0,95, tehát a reaktor neutronsokszorozása 20-szoros. A kialakuló gyorsneutron-fluxus ($E_n > 0,8$ MeV) néhányszor 10^{13} n/(cm²s), vagyis meglehetősen nagy. Az így adódó térfogati teljesítménysűrűségek körülbelül akkorák, mint egy atomerőműben. (Más nem is lenne elképzelhető.) Ezek a feltételek alkalmasak arra, hogy a hosszú felezési idejű transzuránokat és a hasadási

²¹ Ezen alapul a *neutronbomba*.

²² A koncepció az eredetihez képest gyakran változott, többen is továbbfejlesztették. A közölt néhány szám így legfeljebb tájékoztatásul szolgálhat.

²⁰ Ilyen a paksi atomerőmű is.

termékeket rövidebb felezési idejű izotópokká alakítsák át. A berendezés eközben termelhet 100 MW nagyságrendű teljesítményt is. A Los Alamos-i tanulmány szerint egy ilyen berendezés alkalmas tíz darab, egyenként 1000 MW teljesítményű atomerőmű nagy aktivitású hulladékaiknak a kezelésére. Természetesen az egész koncepció nem választható el az elhasznált üzemanyag reprocesszálásától, ugyanis enélkül a sokszorozási tényező kedvezőlenül alacsony értékre csökkenne.

Rubbia elsősorban tórium üzemanyaggal képzelte el berendezését, amelyet energiatermelésre és nem hulladékátalakításra szánt. A reaktor szubkritikus volta miatt megtakaríthatónak vélte a szabályozórudakat, és egy sor hasonló műszaki egyszerűsítést vetett fel. Ilyen rendszert még senki nem látott működésben, nem lehet azonban kétséges, hogy megvalósítható. Rubbiával mindössze annyiban lehet vitatkozni, hogy a műszaki optimum nem feltétlenül ott lesz, ahol ő reméli. Óriási jelentősége lenne azonban, ha Nobel-díjas tekintélye elegendő lenne egy prototípus létrehozására, hiszen ezzel mindjárt ki lehetne próbálni a nagy aktivitású hulladékok átalakítására vonatkozó Los Alamos-i elképzelést is. A tórium jelentősége speciális: mivel rendszáma kettővel kisebb, mint az uráné, a hulladékok sokkal kevesebb transzuránt tartalmaznának, mint a jelenlegi reaktorok hulladékaik.

További atomerőművek

Van még egy atomerőmű-típus, amelyből több tucat működik a világban, mégis különleges biztonsági jellemzői folytán perspektivikusnak minősül. Ez a nehézzvízzel moderált és hűtött, természetes uránnal működő kanadai reaktor, a CANDU. Biztonságos, és gazdasági szempontból is megfelel a negyedik generáció követelményeinek.

Számos elképzelés látott még napvilágot. Közülük kiemeljük a svéd PIUS koncepcióját, amely minden ismert üzemzavarral szemben inherens biztonsággal rendelkezik. A legsúlyosabb üzemzavar esetén is csak egy hét múlva igényel – esetleg – külső beavatkozást. A reaktornak csak egy inaktív makettje létezik, de nincs szó prototípus építéséről.

Gyors reaktorok

Külön említést igényelnek a gyors reaktorok, mert ezek az atomenergia hosszú távú alkalmazásának kulcsai. Mind a második, mind a harmadik generációs atomerőművek termikus reaktorokkal működnek; ezekben kevesebb hasadóanyag termelődik, mint amennyi elfogy. Úgy mondjuk, hogy konverziós tényezőjük 1-nél kisebb.²³ A hasadóanyag szaporítása csak olyan reaktorokban lehetséges, amelyekben nincs moderátor, vagyis a neutronok nem lassulnak le. Ezért nevezzük ezeket gyors reaktoroknak.

Néhány ország kivételével a legtöbb országban az elhasznált fűtőelemeket²⁴ abban az alakban tekintik nagy aktivitású hulladéknak és szándékoznak eltemetni, ahogy a reaktorból kikerülnek. Példátlan pazarlás ez, mivel a „hulladékból” mintegy százszor annyi energiát lehetne még kinyerni, mint amennyit a reaktorban hasznosítottak. Mint fentebb kifejtettük, nem is tartjuk ezt az utat tartósan járhatóknak. Vannak országok (például Franciaország), ahol az elhasznált fűtőelemeket reprocesszálják, és a kivont plutóniumot később visszatáplálják a reaktorba. Így keletkeznek a kevert UO_2/PuO_2 -ből készülő MOX²⁵ fűtőelemek. A plutóniumot akár 5-6-szor is vissza lehet táplálni. Többször már nem tanácsos, mert a plutónium izotópösszetétele annyira „elromlik”, hogy az már biztonsági problémákat vethet fel. Egyelőre ez is spekuláció, mert ilyen tapasztalat még nincs. Mindenesetre így az uránban rejlő energiának néhány százalékát hasznosítani lehet, ami jelentős előrelépés, hiszen mai, reprocesszálás nélküli gyakorlat mindössze néhány tized százalékot hasznosít.

Az urán teljes energiataralmát csak gyors reaktorok révén lehet hasznosítani. Itt két probléma merül fel. Egyrészt a gyors reaktor nagyon nehéz technológia, ugyanis ma csak a cseppfolyós nátrium ismert alkalmas hűtőközegként. A kémiaiából tudjuk, hogy, a nátrium nagyon tűzveszélyes. Másrészt a gyors reaktorok üzemanyaga

²³ Egy nehézzvízzel moderált, ²³⁵U-nal működő reaktorban a tórium konverziója 1-nél némileg nagyobb tényezővel történik, de ezt figyelmen kívül hagyjuk, mivel ez kísérletileg meg nem erősített állítás.

²⁴ A reaktorban használt, burkolattal ellátott uránrudakat *fűtőelemeknek* nevezzük.

²⁵ Mixed Oxide.

alkalmassá tehető nukleáris fegyverek gyártására. Mint már volt szó róla, az USA kormányai számára ez súlyos gondot jelent. Carter elnök óta betiltották a gyors reaktorokat és a reprocesszálást, sőt nyomást is gyakorolnak a többi országra, hogy kövessék őket ebben. A franciákon, japánokon és oroszokon kívül mindenki el is fogadta ezt. Jelenleg mindenestre lényegében stagnálnak tekinthetjük a gyors reaktorok fejlesztését.

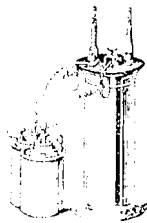
Mi várható? A jelenlegi helyzet azért alakulhatott ki, mert az atomenergia költségeiben jelenleg kis hányadot képvisel az üzemanyag. Ez nem lesz mindig így. Az 1973-as és 1978-as olajválságok idején az urán ára ugyanúgy megemelkedett, mint az olajé, pedig uránválság nem volt. Amikor az olajlelőhelyek kimerülése érezhető lesz, az atomerőművek is érzékenyebbek lesznek az üzemanyagköltségekre. Ám van egy további szempont is. Ha a nagy aktivitású hulladékok hosszú távú elhelyezésének problémái tovább súlyosbodnak, egyre inkább előtérbe kerülnek a fent említett megoldások. Az ott tárgyalt megoldások komoly versenytársa a gyors reaktor.

Az atomerőművek hulladécai

A fentiekben két innovatív rendszert is ismertetünk a radioaktív hulladékok transzmutációjára.

Nagy reményeket fűzünk ezek megvalósulásához. Ha dolgukat komolyan vennék, a környezetvédőknek is segíteniük kellene ebben, ugyanis így tisztán megvalósulna az, amiért mintegy két évtizede harcolnak. Természetesen ezzel olyan berendezések létrejöttét támogatnák, amelyek negyedik generációs mivoltuk folytán megoldanák a jelenlegi atomerőművek egyéb problémáit is. Abban is reménykedünk, hogy nem a „minél rosszabb, annál jobb” logikáját fogják követni, és nem hagyják unokáikra a hulladékokat.

A néhány közölt számból is nyilvánvaló, hogy a reménybeli transzmutációs berendezések a mai jogi környezetben nem lehetnek működőképesek. Egy transzmutációs berendezés több ország erőműveinek a kiszolgálására alkalmas, vagyis csak regionális együttműködésben valósulhat meg. A legtöbb ország törvényhozása azonban tételesen tiltja, hogy más országok hulladécai az országhatárt átlépjék, illetve ha nem is tiltja, a dolog gyakorlatilag lehetetlen – legalábbis egyelőre. Először a társadalmi környezetnek kell kijózanodnia, és csak ezt követheti a megfelelő jogi szabályozás. A technikusok ebben legfeljebb felvilágosító szerepet vállalhatnak. E cikknek is ez a célja.



Horváth Gábor - Tóth László

A SZÉLENERGIA HASZNOSÍTÁSA

A téma jelentősége

A népesség növekedésével az energiafelhasználás, és az energiatermelés is rohamosan növekvő tendenciát mutat. Jelenleg az energiatermelés és fogyasztás a leginkább környezet-szennyező emberi tevékenység. A fenntartható élet előfeltétele többek között a fenntartható energiagazdálkodás megvalósítása. Jelenlegi tudásunk szerint ennek az útnak két fontos eleme van: jelenlegi energiaforrásaink hatékony, takarékos használata, és a megújuló, környezetünk nem szennyező energiaforrások alkalmazására való fokozatos áttérés. A Föld kőolaj-, földgáz- és szénkészlete egyre apad, az atomenergia előállítása pedig olyan, környezetre káros végtermékeket eredményez, amelyek tárolása hosszú távon nagyon nehéz feladat. Megoldásként marad tehát a víz-, a szél- és a napenergia kihasználása. A vízierőművek telepítésének gátat szabnak a vízgazdálkodási, természetvédelmi szempontok, a napenergia felhasználás pedig nem biztosít nagy mennyiségű azonnal rendelkezésre álló energiát. Marad, tehát a szélenergia-hasznosítás.

Az Európai Unió összes országában jelenleg az energiafogyasztás 6 %-a származik megújuló energiaforrásból. Az Európai Parlament határozatot hozott arról, hogy a megújuló energiahordozók által termelt energia 2010-re érje el az EU-ban a 12 %-ot. Erre vonatkozóan létrehoztak egy pénzügyi alapot, mely segítségével 15000 MW teljesítményű szélerőművet kell létrehozni. Dániában, a felhasznált energia 12 %-át szélerőművek szolgáltatják. Ez persze kiugróan magas érték az európai átlaghoz képest. Európában a tengerpartokra telepített szélgenerátorok működésével, üzemeltetésével és energiaszolgáltatásával kapcsolatban szerzett kedvező tapasztalatok nyomán megkezdődött a terjeszkedés a kontinens belseje felé.

Magyarországon nemrég indult el az a folyamat, hogy a meglévő jellemző széljárásokból lehetőség legyen energia gazdaságos hasznosítására. Ennek alapja, a szélgenerátorok működési sajátosságait figyelembe véve, a helyi szélmozgások felmérése. Az energiapolitika tervei

szerint 2010-re Magyarországon az összes energia-felhasználáson belül 6 % körül kell, hogy legyen a megújuló energiaforrások részaránya. Jelenleg ez az arány 3,6 %. Magyarországon az első szélgenerátor üzembeállítása Inotán 2000. decemberben történt. Ezzel kapcsolatban is végzett szélesebb- és teljesítmény elemzéseket a Szent István Egyetem Gépészmérnöki Karának Agrárrenergetika Tanszéke.

A szélgenerátorok névleges teljesítménye az elmúlt évtizedben ugrásszerűen növekedett. Az első korszerű, általános célra használható, nagyteljesítményű generátorok 50-200 kW teljesítménnyel rendelkeztek az 1980-as években, míg manapság a 600 kW - 2,5 MW-os tartományban mozog a gyártott gépek teljesítménye. A teljesítménynövekedéssel nőtt a gépészeti és villamos berendezések tömege is. A folyamatok fejlesztések során a tartóoszlopok magassága is növekedett mivel így lehet elérni a megfelelő energiataralommal rendelkező légáramokat is.

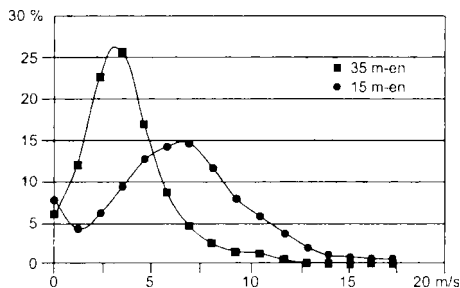
A szél keletkezése

A napsütés hatására a levegő a föld felszínén különböző mértékben felmelegszik, légmozgást idézve elő. A hidegebb, súlyosabb léghalmaz süllyedve elindul a melegebb irányába, miközben a meleg levegő felemelkedve tér ki a hidegebb elől. E mozgás közös vonása a szélnek, a szélrendszereknek, amelyek lehetnek állandóak, helyiek és teljesen szeszélyes irányúak.

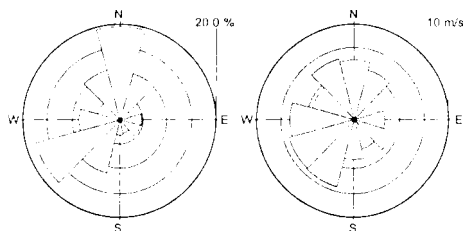
Az egyenlítőn a meleg levegő felemelkedik, majd egyenes mozgással halad a sarkok felé. Ez a magassági szél, az antipasszát.

A sarkok felé haladó léghalmaz a Föld gömbjéhez alkalmazkodik, ezért a pályája fokozatosan leszűkül, nyomása és súlya is megnövekszik. A leszálló levegő a földfelszín közelében az egyenlítő irányába igyekszik. Ez a passzát szél.

A passzát és az antipasszát mellett állandó jellegű a nappal tengerről, éjszaka pedig a szárazföldről fújó szél. A monszunok a tenger hűvösebb és a szárazföld melegebb levegőjét kényszerítik cserére. Az említett szélrendszereken kívül vannak időszakos és helyi jellegű



2. ábra • Szélsebesség-eloszlás



3. ábra • Szélirányeloszlás

A – a jellemző szélirányok eloszlása
B – átlagos szélsebességek

A szélenergiapotenciál-felmérés további fejlődésének kilátásai igen jók, a folyamatosan gyarapodó számítógépes erőforrások és a számítási eljárások hatékonysága lehetővé teszi a bonyolultabb modellek folyamatos fejlesztését. Másrészt a nagy adatállományok a hosszú távú szélklímára, és a nagy felbontású topográfia vonatkozóan lehetővé teszik világszerte megbízható szélátlaszok készítését, valamint szélturbinák pontos elhelyezését.

A szélgenerátor technológia általános helyzete

A hálózatba kapcsolt szélturbinák technológiája ma már mind a lapátozás, mind a kapcsolódó egységek szempontjából fejlett. A telepített kapacitás ma már 18.500 MW. Az utóbbi öt évben a telepített kapacitások 45–75%-os növekedést mutattak évente. 1999-ben csak Németországban 1400 MW kapacitást állítottak üzembe. A szélérőművek gyorsan üzembe helyezhetők. Például egy 50 MW kapacitású szélérőmű a szerződések aláírásától számított egy éven belül működőképessé lehet. Kidolgozásra kerültek a kis indítási, működési sebességű szélgenerátorok

és a mechanikus áttételek nélküli sokpólusú generátorok. Ez utóbbi, további 5-10%-os teljesítménynövekedéssel jár. Általában a technológiát három csoportra oszthatjuk.

Az elsőbe tartoznak a közép- illetve nagyméretű szélgenerátorok, melyek teljesítménye a 80-as évek óta 50 kW-ról 600-2000 kW-ra nőtt. A kereskedelemben kapható szélgenerátorok újabb, 1-2,5 MW-os generációját már telepítik, lecserélve a kisebb teljesítményűeket. Ez önmagában átlagosan 4-5-szörös teljesítménynövekedést jelent az adott területeken. A hálózatra kapcsolt szélgenerátorok gyakran szélfarmon üzemelnek. Többféle szélkerékvaltozat is létezik, jelenleg a legelterjedtebb a háromlapátos, vízszintes tengelyű berendezés, mely szinte teljesen állandó forgási sebességgel működik. A változó fordulatszámú megoldások szintén ígéretes előnyökkel kecsegtetnek, és ma már rendelkezésre állnak a szétartalékot értékelő szoftverek és technológiák.

A második csoportba tartoznak a hibrid energiarendszerek közepes méretű szélgenerátorai, melyeket más energiaforrásokkal kombinálnak, mint pl. napelemekkel, dízelgenerátorral, ezeket vízhálózatok töltésére, vagy más speciális célokra használják, mint vízpumpálás, akkumulátor feltöltés és sótanítás (10–150 kW tartományra). Ezekkel a rendszerekkel lehet megvalósítani a szigetüzemű energiatermelést.

A harmadik a kicsi, különálló szélkerekek csoportja, amelyeket akkumulátortöltésre, vízpumpálásra, fűtésre használnak (10 kW tartomány alatt). Ez gazdaságosság szempontjából a legsikeresebb megoldás. Jelenleg 200.000 akkumulátortöltő kis szélgenerátor üzemel a világon. A legelterjedtebb szélenergia-technológia még mindig a víz húzó szélmotor. A szélmotorokat a mezőgazdaságban főleg szivattyúzásra, ritkábban egyéb gépek meghajtására használjuk. A víz húzó, illetve a vízátelő szélmotoroknál a lapátkerék forgó mozgását kulisszás, excenteres hajtóművek alakítják át a szivattyú által hasznosítható egyenes vonalú mozgássá. Ha a lapátengely és a dugattyúrúd közé áttételi mechanizmust építenek, akkor a dugattyún hasznosítható nyomaték is módosítható. Az ilyen megoldások olyan kutaknál is alkalmazhatók, ahol a vízszint a talajszinttől 20-30 méter mélységben van, tehát nagyobb haj-

tónyomaték szükséges. Másik megoldás, ha a forgattyú membránzivattyút működtet. Itt kisebb a vízemelő magasság, de igen nagy a vízszállító képesség. Világszerte 1-2 milliót használnak rendszeresen, több mint 50 aktív gyártó ismert. A technológia felfutását elterjedésének számadatai jelzik.

Vízszintes tengelyű szélgenerátorok felépítése és részei

A szélmotorok a levegő mozgási energiáját alakítják át forgó mozgási energiává. A lapátkerék tengelye megegyezik a szél irányával. A korszerű szélgenerátorok 2 vagy 3 szárnylapáttal rendelkeznek aminek gazdasági és kiegyensúlyozási okai vannak. A gépház nagyságától függően 30-120 m magas tornyokon van elhelyezve, benne a villamos generátor, amelyet szélkerék hajt. Fontos eleme a szélturbinának a szélirány beállító berendezés, amely függőleges tengely körül elfordítja a tornyon levő házat, és ezzel eléri, hogy a lapátkerék a szélirányra merőlegesen álljon. A szárnylapátok hidraulikusan elforgathatók, így fékező hatást is kiválthatnak. A torony magassága általában 1-1,5-szerese a lapátkerék átmérőjének.

A tengely, amin tárcsafék van, továbbítja a forgatónyomatékokat a váltóhoz. Nagyobb gépeknél bolygókerékes váltóművet alkalmaznak. Általában aszinkron generátort építenek be, a szinkron típusú precíz fordulatszámot igényel. A szabályozó feladata, hogy illeszse a rendelkezésre álló szélenergiát a szükséges teljesítménnyel, illetve beállítsa a lapátkeréket a forgatható házon keresztül. A ház mindig megközelíthető a karbantartás miatt. A lapátkerék illetve a gépház a toronyra van szerelve.

A szélgenerátor legfontosabb eleme a lapátkerék, amely a levegő mozgási energiáját alakítja át a főtengelelyre ható forgási energiává. A főtengeley jó minőségű edzett, ötvöztött acél. A főcsapágy, amely a főtengeley tökéletes megfutását is biztosítja, kétsoros golyóscsapágy. A csapágyház a gépház padlójához van hegesztve. A csapágy veszi fel a szállókésekből, a tömegterheléseket, ezzel is mentesítve a hajtóművet. A tengelykapcsoló csillapítási funkciót is ellát a hajtómű és a generátor között, gumibetétek segítségével.

A szárnyra aerodinamikai felhajtóerő hat,

ez a megfelelő széláram kialakulásával jön létre, mint a repülőgépeknél. A szárnylapát mentén keletkező megfúvási szöveget állandó értéken kell tartani. A felhajtóerő arányos ezzel a szöggel. A lapátkeréket forgató erő a szárnylapáton keletkező felhajtóerőből származik. Ebből jön létre a tengelyen a forgatónyomaték, s az ellenállás-erő kelti az oszlopon ható hajlító nyomatékokot.

Manapság a hengerelt acél torony a legelterjedtebb Európában, míg az Egyesült Államokban a rácsszerkezetű. A kisebb generátoroknál alkalmazzák az acélsodronyos kifeszítést is, az egyszerűbb szerkezet miatt. A torony magasságát optimalizálni kell a jobb szélviszonyok, szilárdságtani és gazdasági tényezők függvényében. Telepítésnél figyelembe kell venni a házat felhelyező daru elhelyezését is. A kábelezés a földben vezet a transzformátorhoz. A csoportos telepítésnél először összefutnak a vezetékek, majd azután kapcsolódik a hálózatra. A legjobb szélpotenciálú környezetben is figyelembe kell venni a kábelezési költséget a fő hálózathoz. A szélmérő (anemométer) fontos részegysége a szélgenerátornak. Segítségével felmérhetjük a gép vagy szélérőmű park hatásfokát. A szabályozás és viharvédelem a szélsébségtől függően vezérelt. A vezérlést a beépített érzékelők jelét felhasználó programvezérelt mikroprocesszor és központi számítógép végzi. E rendszerek csak villamos hálózattal képesek működni, csak így biztosítható a hálózati frekvencia. A generátor egy különleges kialakítású 4/6 pólusú aszinkron generátor. Alacsonyabb szélsébségeknél a vezérlés a 6 pólusú rendszert, nagyobb szélsébségeknél pedig a 4 pólusú kört kapcsolja be, ezzel biztosítja a gép jobb kihasználtságát. Saját termosztátos, folyadékűtéses rendszerrel van megoldva a berendezés üzemi hőmérsékleten való tartása.

A korszerű szélgenerátorok már két generátorral dolgoznak, a kisebb teljesítményű generátor kis szélsébségnél, a nagyobb pedig a 10 m/s feletti szélsébségnél kapcsolódik a rendszerre. A lapátkerék forgási sebessége és egyéb műveletek ellenőrzéséhez használt műszerek, a lapátot szélirányba állító elektrohidraulikus szabályozó egység, a lapátzás forgási sík szélirányba fordításához rendszeresített segédmotorok áramforrása a hálózat. Ennek megoldására a hajópadló és a torony közé egy elektromo-

torral hajtott homlokfogaskerék-hajtóművet építettek be. Egy hidraulikus tárcsafék segíti és védi a követő rendszert, a pontos irányba állítást.

Az irányba állítást és az egyéb vezérlési funkciókat mikroprocesszor végzi el. A rendszer saját vezérlő programmal működik, melynek ellenőrzése ki- és beírása a toronyban található terminál segítségével történik. A terminál a vezérlőszekrényben található, melynek saját kijelzője és billentyűzete van. A processzor a vezérlésen kívül tárolja a rendszer üzemmenetét amit meghatározott időközönként ki lehet olvasni, majd a kapott adatokból számítógép segítségével pontosan ki lehet elemezni. Így meg lehet vizsgálni az utolsó eltelt időszakban a gép pontos működését, melyek a gép későbbi üzemeltetéséhez nagy segítséget nyújtanak. A vezérlés természetesen megoldható *online* módban is, amilhez az kell hogy a gép össze legyen kötve (rádiófrekvenciás úton, telefon v. villamos hálózaton stb.) a központi vezérlővel.

A szélgenerátort 30-120 méter magas, zárt acél oszlop toronnyal gyártják. A torony alsó részében található a villamos elosztó szekrény és a vezérlő terminál. Innen vezet egy alumínium létra fel a gépházba. A tornyot természetesen villám- és rövidzár védelemmel látják el.

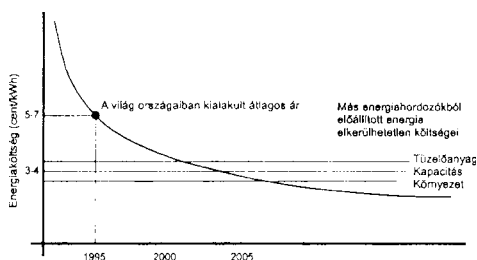
A szélerőművek létesítésének feltételei

Ahhoz, hogy szélmotort, vagy szél erőművet létesítsünk számos követelményt kell mérlegelni. Ezért gondos előkészítést igényel. A megvalósíthatósági tervek elkészülte után megszületik a döntés, hogy az adott helyre tervezett szélerőmű megvalósulhat-e. Ha a döntés a megépítés mellett szól abban az esetben a finanszírozáshoz szükséges üzleti tervet kell elkészíteni. A beruházóknak fel kell támiuk a lehetséges állami és EU támogatási lehetőségeket ill. banki forrásokat. A finanszírozási struktúra elkészítése után a tervezési feladat a gyártó által átadott tervrajzok honosításával folytatódik. Az elkészített tervrajzok alapján a szélerőmű építési ügyében szakhatósági állásfoglalást kell beszerezni. A szakhatósági engedélyk beszerezése után kapható meg az építési engedély. A hatályos építési engedély birtokában a realizálódott finanszírozási struktúrával lehetséges a gyártóval a szállítási, és általában a karbantartási szerződést megkötöni. A szélerőművek létesítésekor az Európai

Szélenergia Egyesület ajánlja környezeti hatástanulmány elkészítését. A kötelező hatásvizsgálat körét szabályozó 171/1999 (XII.6.) kormányrendelet a szélerőművek létesítése esetére nem írja elő környezeti hatástanulmány készítését. A Magyar Szabványügyi Titkárság kifejezetten a szélenergia hasznosításával kapcsolatosan semmilyen szabványt nem tart nyilván.

A szélenergia gazdaságossága

A szélenergia gazdaságossága alapvetően meghatározza a telepítési volument. Hosszútávon azonban számolni kell azzal, hogy az összes energiaforrás közül a legtisztábbnak tekinthető semmiféle hulladékot nem bocsát ki. Európai országokban a széndioxid kibocsátás országonként limitált, e szempontból jelentősen megnő a felhasználhatósága, hiszen a telepítése semmiféle korlátok közé nemzetközi egyezmények alapján nem esik. A jelenlegi árviszonyok okozta esetleges veszteségek enyhítése miatt a szélenergia szinte a világ minden országában államilag támogatott: vagy a termelt energiát támogatják, vagy a beruházást, azaz a berendezés létesítését. A nemzetközi szélenergia bizottság által meghatározott trendet a következő ábra szemlélteti. Az ábrából jól látható, hogy az árak igen jelentős csökkenő trendje van és 2005 környékén már versenyképes lesz az egyéb energiaforrásokkal is.



4. ábra • A szélenergiából nyert villamosenergia árának változási trendje

Összefoglalás

A kutatók hosszabb ideje foglalkoznak a szélenergia nagyobb volumenű magyarországi alkalmazásával. Ilyen célra a nagy teljesítményű szélturbinák alkalmasak, amelyek a villamos hálózattal összekapcsolva működnek és az

áramszolgáltató vállalatoknak adják át a termelt energiát. A Szent István Egyetem kutatói megkísérelték bizonyítani, hogy a szélenergia gazdaságos hasznosítására. Egy szélérőmű valósult meg napjainkban Kulcson a Duna-parton. A Kulcs községben megvalósításra került Enercon típusú berendezés 600 kW névleges teljesítményű, és – a Magyar Szélenergia Tudományos Egyesület által mért adatok alapján – a helyi szélviszonyok mellett éves szinten várhatóan 1200-1400 MWh energiát termel. A szélgenerátor teljes létesítése, a berendezés vásárlása, felállítása, a tervek elkészítése és hálózatra csatlakoztatása kb. 200 millió Ft-ba került. A berendezés létrehozásában és a megvalósításban az E.ON

Hungária és az Első Magyar Szélérőmű Kft. szakemberei vettek részt. Az oszlop 65 m magas és a lapátok vége 89 m magasságban van. A szárnylapátok hossza 24 m. A rendszer teljesen automata üzemmódban működik. A gépházon lévő szélirány- és szélesebbségmérő érzékeli a mindenkori értékeket és ennek megfelelően szabályoz.

Magyarországon ezután nemcsak beszélünk a lehetőségekről, de reméljük: bizonyítást nyert, hogy a rendszer megvalósításában bízó kutató szakemberek igazat szóltak, amikor kijelentették, hogy Magyarországon sok olyan terület van, amelyek szélben eléggé gazdagok ahhoz, hogy eredményesen tudjunk szélenergiát energiatermelési célokra felhasználni.

IRODALOM:

Horváth G.: *A szélgenerátor-oszlopok jellemzőinek összefüggései*. Doktori értekezés, Szent István Egyetem, Gödöllő, 2001.

Horváth G., Tóth L.: *The activities in wind energy in Hungary*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier Science, Vol 5/2, pp. 191-200, 2001.



Puppán Dániel

BIOÜZEMANYAGOK

– a biodízel és a bioetanol, mint alternatív motorikus üzemanyag –

A korszerű mezőgazdasági technológiák kialakulása, a magas hozamú fajták elterjedése és a termelés optimalizálása mára oda vezetett, hogy Európában (az EU-tagállamokban és a csatlakozásra váró országokban egyaránt) a mezőgazdaság jóval többet tud termelni, mint amekkora keresletet a felvevőpiacok teremteni képesek. Az Európai Unió agrárpiaci rendtartása 1992-től úgy igyekszik orvosolni a problémát, hogy ösztönzi és anyagi eszközökkel támogatja a termőterületek 5–15 %-ának egy-egy vegetációs periódusra történő paragon hagyását. A rendtartás azonban engedélyezi a paragon hagyott földeken az ipari nyersanyagok természetét – köztük az energetikai nyersanyagokét is. Az energetikai nyersanyagok közül üzemanyag célú felhasználásra alapvetően két növénytípus jöhet számításba: az olajnövények és azok a magas cukor- és keményítőtartalmú haszonnövények, amelyek erjesztéséből alkohol állítható elő.

Az olaj- és a növényekből előállított üzemanyag használható a hagyományos üzemanyagokba (dízel, benzin) keverve, de tisztán a motorba adagolva is.

Biodízel

A legkedvezőbb tulajdonságú olajnövények közé sorolhatjuk a repcét, a napraforgót, a szóját és egyes pálmafajtákat. Az európai kontinensen az éghajlati viszonyokból adódóan elsősorban a repce és a napraforgó termeszthető. A repceből és a napraforgóból kinyert olaj (triglicerid) közvetlenül is felhasználható motorikus üzemanyagként, ám ez bizonyos hátrányokkal is együtt jár: át kell alakítani a motorokat, a dízelhez képest magas az üzemanyag viszkozitása, megnő a motor fogyasztása, bonyolult a szabványosítása, az oxidációs katalizátor használata nehézségekbe ütközik, kellemetlen szagot bocsát ki („guruló lángossütő”).

Ezek a hátrányok azonban egyszerűen kiküszöbölhetők az ún. átészterezéssel, melynek során a repce- (ill. napraforgó-) olajat (triglicerid) lúgos közegben metanollal reagáltatják és

termékként repce(vagy napraforgó)olaj-metilésztert (RME) és glicerint kapnak. A repceolaj-metilészter (RME) pedig nem más, mint a *biodízel*. Az eljárás során a háromértékű alkoholt – a glicerint – három metilalkohollal helyettesítik. Katalizátor (pl. káliclúgok) hozzáadása mellett a repceolajhoz kb. 10 % metanolt kevernek, miközben szabad glicerint keletkezik. Ezt tisztítási lépések követik. A felesleges metanolt desztilláció segítségével távolítják el. A gyakorlatban a nyomást nem használó eljárások terjedtek el, amelyek 60 és 70 °C között működnek. Az átészterezés főtermékeként végül a gyakorlatilag minden dízelmotorban felhasználható biodízel, valamint glicerint keletkezik.

Mint minden kereskedelmi forgalomban kapható üzemanyagnak, a biodízelnak is meg kell felelnie a szabványoknak.

Európában a környezeti iparáról méltán híres Németország (340 000 t/év) mellett jelentős biodízel-gyártási kapacitással rendelkezik Franciaország (230 000 t/év), Olaszország (140 000 t/év), Belgium (80 000 t/év), Ausztria (15 000 t/év) és Svédország (6 000 t/év).

A jelenlegi nyugat-európai gyakorlat az, hogy a benzinkutaknál külön kútfejnél lehet biodízelt vásárolni (a biodízelt tehát tisztán árulják, nem keverik a hagyományossal). Mivel a biodízel könnyű oldószerként viselkedik, ezért használatakor az erre nem engedélyezett és eddig kizárólag dízellel üzemeltetett járművek esetében tekintettel kell lenni bizonyos szabályokra, és el kell végezni néhány apróbb átalakítást. Az üzemanyagszűrőt az első két biodízel-tankolás után elővigyázatosságból ki kell cserélni abban az esetben, ha azt megelőzően hosszú ideig hagyományos dízel került a tankba. Ezt azért javasolják, mert a biodízel a tankban és a vezetékben oldja az ásványi dízel régi lerakódásait, és ez a szűrő eldugulását eredményezheti. Rendszeres váltakozó tankolás esetén nincs szükség erre az intézkedésre. Egyes gyártók főként üzemanyagcsöveket és tömítéseket készítenek olyan műanyagokból, amelyek tartósan nem állnak megfelelően ellen a biodízelnak.

nek. Ez nem vonatkozik azokra a járművekre, amelyeket a gyártók már gyárilag is engedélyeznek biodízelnél üzemre. A szériában (biodízelnél) nem engedélyezett járművek gyártói közül néhány olyan átszerelési készleteket kínál, amelyekkel azután gond nélkül lehet biodízelnél tankolni. A megfelelő átszerelési anyagokat az alkatrész-kereskedők is forgalmazzák. Oldószer jellegű viselkedése folytán a biodízelnél károsíthatja a lakkozott alkatrészeket. Ha azonban az érintett lakkozott részeket rögtön letörlik, akkor még az érzékeny lakkal bevont felületek sem károsodnak. A tapasztalatok azt mutatják, hogy a biodízelnél és a hagyományos dízelnél felváltva is lehet tankolni. Ez a vegyesüzem műszakilag problémák nélkül megoldható. Ennek az ad különös jelentőséget, hogy pl. Németországban már mintegy 1000 benzinkútnál lehet biodízelnél vásárolni, de a több mint 100 000 benzinkútnak ez csupán a töredéke.

Bioetanol

A 20. században a motoralkoholokat részben vagy egészben gyakran alkalmazták motorüzemanyag-helyettesítőként. A hatvanas évekig kísérleti jelleggel, illetve válsághelyzetek (háború, energiakrízis) kezelése céljából viszonylag szűk körben került sor a felhasználásukra. Magyarországon már 1926 és 1943 között eredményesen használták az etanolt a benzin részleges kiváltására. A nyolcvanas évektől kezdődően megfigyelhető a világ több országában a motoralkoholok alkalmazásának előretörése, amelyet energetikai szempontok mellett a növekvő környezetvédelmi erőfeszítéseknek és agrárgazdasági megfontolásoknak lehet tulajdonítani.

A motoralkoholok közül a világon a legelterjedtebben alkalmazott bioüzemanyag a bioetanol (víztelenített alkohol). A bioetanolt használhatják a kőolaj alapú üzemanyag helyettesítőjeként, vagy a benzinbe keverve. A keverés történhet közvetlenül, illetve a kőolaj-finomítás során keletkező melléktermék, az izobutilén hozzáadásával. A bioetanol benzinhez történő keverését a fentiek miatt leggyakrabban éteresítés, izobutilénnel történő reagáltatás előzi meg. Így jön létre a jelentős bioetanol tartalma miatt bioüzemanyagnak tekinthető etil-tercier-butil-éter (ETBE). Az ETBE leggyakrabban a Magyarországon is használt hagyományos oktánszám-

növelő, az MTBE (metil-tercier-butil-éter) kiváltására szolgál. Az etanol és izobutilén reakciójából létrejövő ETBE-t – csakúgy, mint a metanol és izobutilén reakciójából származó MTBE-t – azért keverik a benzinhez, hogy annak oxigéntartalmát, oktánszámát növeljék. Az ETBE azért bioüzemanyag, mert a gyártásához használt bioetanol növényi eredetű. Ezzel szemben az MTBE előállításához jelenleg használt metanol nem megújuló erőforrásból származik, hanem földgáz feldolgozásából.

Az ETBE gyártása és felhasználása különösen jelentős Kanadában és az EU országai közül Franciaországban, Spanyolországban, Svédországban és Hollandiában, míg az Egyesült Államokban és Braziliában az etanolt közvetlenül alkalmazzák. Az USA-ban évente mintegy 5 milliárd liter bioetanolt állítanak elő, ennek egy részét az ún. rugalmas üzemű motorokban használják fel (az üzemanyag 85 %-a etanol, 15 %-a benzin), a fennmaradó részből ETBE-t állítanak elő és 10 %-ban keverik a benzinhez. Brazília a világ legnagyobb alkoholtermelője, évi 16 milliárd liter bioetanolt gyárt, egyrészt a tiszta alkohol üzemű autók működtetéséhez, másrészt újabban itt is nő a benzinhez kevert víztelenszesz fogyasztás. Az alkoholt 24 %-os koncentrációig keverik a benzinbe. Európában Franciaország az élenjáró a mezőgazdasági eredetű alkohol termelésében, így az alkohol üzemanyag célú felhasználásában is. Jelenleg 210 millió liter/év ETBE kapacitással rendelkezik. A keverési arány 2002-ben 2,0 % lesz, ami 1,3 milliárd liter/év kapacitást igényel. Svédország, Hollandia és Spanyolország együtt 180 millió liter/év alkoholgyártó kapacitást tervez búzából és gabonaszármazékokból.

Az ETBE gyártásához használt vízmentes alkohol, a bioetanol alapanyaga alapvetően két típusú lehet. Készülhet keményítő és kukor alapanyagú mezőgazdasági terményekből (búza, kukorica, cukorrépa, burgonya, manióka, cukornád), vagy alapulhat a gyártás cellulóz tartalmú biomasszán (növényi eredetű szálak, rostok) is. Ez utóbbi eljárás azonban kevéssé elterjedt.

A biodízelnél és a bioetanol környezeti hatása

Mind a biodízelnél, mind a bioetanolnak az a kedvező tulajdonsága, hogy elégetésekor annyi CO² szabadul fel, mint amennyit a növény azt

megelőzően megkötött, így nem járul hozzá az üvegházhatás erősödéséhez.

A motorokban felhasznált biodízel rendkívül kedvező kipufogógáz-értékei is meggyőzőek. Németországi vizsgálatok eredményei azt mutatják, hogy szénmonoxid (CO) és a szénhidrogének (HC) értékei a személyautónál közel megegyeznek a dízel emissziójával, a használgépjárműveknél többnyire jóval alacsonyabban. Az RME oxigéntartalmának köszönhetően a korom mennyisége gyakorlatilag a felére vagy még kevesebbre csökken. A lebegőszemcsés emisszió is jelentősen csökken a hagyományos dízel kibocsátásához képest. Mindössze a nitrogén-oxidok kibocsátási értéke növekszik valamelyest.

A biodízel – szintén rendkívül értékes – kénmentessége révén az oxidációs katalizátorok és hasonló kipufogógáz-utókezelő rendszerek hatását kiválóan és tartósan ki lehet használni. Ez különösen érvényes a használgépjárművekre. A használgépjárművek hagyományos dízellel végzett mérési ciklusa az *Oxicat* (oxidációs katalizátor) alkalmazását a gyakorlatban nem teszi lehetővé, mivel az ebben a ciklusban viszonylag magas átlagos hőmérsékletszinten a kén tartalmú üzemanyagokból a koromrészecskékre szulfát rakódik le, jelentősen és elfogadhatatlanul rontva a katalizátort és a mérési értéket. Ez a hatás a kénmentes biodízel esetében viszont nem lép fel. Emellett az RME-re optimalizált, különösen hatékony *RME-Oxicat* alkalmazása is lehetővé válik. Ennek természetesen a gyakorlatilag kénmentes üzemanyag, tehát a biodízel a feltétele.

A használgépjárművek számára olyan kitűnő és egyedülállóan kedvező kipufogógáz értékek adódnak, amelyek a biodízel belvárosi és vonzáskörzetekben történő alkalmazását különösen ajánlatossá teszik. A CO és HC emissziók szinte teljesen eltűnnek. A lebegőrészecskék mennyisége a negyedére csökken. A nitrogén-oxidok mennyisége is csökken valamelyest, mennyiségük tovább csökkenthető a befecskendezés kezdetének igazításával (késleltetett állás).

A bioetanol alkalmazásakor keletkező kipufogógázok vizsgálatát Franciaországban végezték el. A vizsgálatokba katalizátoros és katalizátor nélküli autók is bevontak. Kétféle ETBE-

vel kevert üzemanyagot vizsgáltak egy referencia-üzemanyaghoz viszonyítva: 15 % ETBE-t tartalmazó benzint, 15 % ETBE-t tartalmazó reformált benzint.

Eszerint csökkent a szénhidrogének, a szénmonoxid és a benzol kibocsátása.

A fentiekből úgy tűnhetne, hogy a biodízel és a bioetanol alkalmazása környezeti szempontból kizárólag előnyökkel jár. A bioüzemanyagok kritikusai azonban számos ellenérvet sorakoztattak föl, és ezek alapján azt állították, hogy a bioüzemanyagok alkalmazása nemhogy nem környezetbarát, hanem egyenesen környezetszennyező. A legtöbbet hangoztatott ellenérvek a következők:

- A bioüzemanyagok előállítása nagy mennyiségű fosszilis energiahordozó felhasználását igényli, és ebből adódóan jelentős mennyiségű üvegházgáz kerül a légkörbe, szinte teljesen kompenzálva a bioüzemanyagok által „megtakarított” mennyiséget.
- Az energetikai célú növénytermesztés monokultúrákhoz vezethet.
- A termelés nagy mennyiségű N_2 -forrás és egyéb műtrágya, valamint növényvédő szerek használatát teszi szükségessé, ami jelentősen megterheli a talajt és a vízbázist (nitrátok stb.). Terhelődik továbbá a légkör is, méghozzá a N_2O üvegházgázzal és ammóniával, amely a savas esőkhöz járul hozzá.
- A bioüzemanyagok előállítása sokkal drágább, mint az üvegházgáz-kibocsátás csökkentésének egyéb lehetőségei.

Sajnálatos módon a szakértők között „szekértáborok” alakultak ki, mindenki a saját érveit hangsúlyozta, s az álláspontok nem közeledtek. A kilencvenes évek második felétől azonban kezdett elterjedni az *életciklus-elemzés* (Life Cycle Assessment, LCA), amely a termék vagy szolgáltatás környezetre gyakorolt hatását egészen a „bölcsőtől a sírig” vizsgálja.

A biodízel és a bioetanol életciklus-elemzését Németországban a Stuttgarteri, a Heidelbergi és a Darmstadti Egyetem kutatói végezték el egy közös projekt keretében, és 1999-ben publikálták eredményeiket. Az életciklus-elemzés keretében a kutatók a fent felsorolt szempontok szerint összehasonlították a hagyományos dízel környezetre gyakorolt hatását a biodízellel (és

a repceolajával), valamint a benzin környezetre gyakorolt hatását a különböző növényekből előállított bioetanoléval. Eredményeiket ökomérlegekben prezentálták, amely mérlegek egyik oldalán a hagyományos üzemanyagok adott szempont szerinti környezeti hatása szerepel, a másik oldalom pedig a bioüzemanyagé, és azt is ábrázolták, hogy melyik irányba és hány százalékkal billen ki a mérleg nyelve.

A vizsgálatok szerint a biodízel (RME) szinte minden vizsgált szempontból kedvezőbbnek mutatkozik a hagyományos dízelnél. Itt figyelembe kell venni azt is, hogy a németországi éghajlati viszonyok elsősorban a repce termesztésének kedveznek, a cukorrépa, a búza és a burgonya termesztésének jóval kevésbé. A bioetanol mérlegei azért mutatnak kedvezőtlenebb képet, mert a cukorrépa, a búza és a burgonya mezőgazdasági termelése az éghajlati viszonyokból adódóan jóval több környezeti ártalommal jár, mint a repcéé. A szerzők hangsúlyozzák, hogy a kedvezőbb éghajlatú országokban (pl. Franciaország) jóval kisebb környezeti terheléssel járó feltételek adottak a búza stb. termesztéséhez, így a bioetanolal kapcsolatos viszonylag kedvezőtlen eredmény csak a németországi viszonyokra vonatkozik.

A kőolaj ma még minden biomassza-eredetű üzemagnál olcsóbb. Azokban az országokban, ahol alkalmaznak bioüzemanyagokat, az állam a termeléshez támogatást nyújt. Ezek a támogatások azonban egyidejűleg hasonló célú állami támogatások csökkenésével járnak: export támogatás, munkanélküli segély, parlamenti támogatás, környezetkárosodás elhárításának költségei, egészségügyi ellátás stb. A támogatási formák a kutatástól egészen az érté-

kesítésig terjednek: jövedéki adó mérséklése vagy teljes elengedése, beruházási támogatás, vissza nem térítendő beruházási támogatás, kamattámogatás, K+F támogatás, forgalmi adó mérséklése, garantált ár, nem élelmiszeripari célú termelés támogatása.

Az egyes országok támogatási rendszerének közös jellemzője, hogy projekteket támogatnak, amelyek meghatározott időre szólnak. A támogatás mértékét mindig úgy alakítják, hogy a bioüzemanyag versenyképessé váljon a hagyományos üzemanyaggal.

A biodízel és a bioetanol alkalmazása Magyarországon

Az alternatív üzemanyagok bevezetése terén hazánkban is megtörténtek az első lépések. A biodízel alkalmazásának kérdését a kormány már 1996-ban tárgyalta, de a tízéves, mintegy 100 milliárd forint költségvetésű biodízel program csak 1999-ben indult el. A program részeként az országgyűlés elé terjesztették a biodízel kivonását a jövedéki termékek köréből, amit az elfogadott. A program menedzselésével az Országos Területfejlesztési Központ (OTK) bízta meg. A tervek szerint hazánkban, az éghajlati adottságtól függően, repceből és napraforgóból állítanak elő a biodízelt, amelyet nem önálló hálózatban értékesítenének, hanem a Mol üzemekben a hagyományos dízelhez kevernek 8–10 %-os arányban.

A bioetanol a meglévő alkoholgyártó kapacitások kihasználásával, nyersanyagként kukoricát és cukorrépát felhasználva célszerű előállítani. A program a környezeti előnyök mellett nagymértékben elősegítené a mezőgazdasági termelők életkörülményeinek javítását és a regionális fejlődést.



Büky Gergely

ÁTTÖRÉSEK AZ ERŐMŰTECHNIKÁBAN

Az utóbbi évtizedekben megélt energiaválságok és energiaár-emelések sok nehézséget okoztak a gazdaságnak és a társadalomnak. De van kedvező hozadékuk is: jelentős hatásfokjavítást kényszerítettek ki. Például gépkocsik esetén könnyű észrevenni a benzinár és a fogyasztás közötti kapcsolatot, hiszen a 70-es évek olajár-emelkedése után az új gépkocsik fogyasztása látványosan, kevesebb, mint felére csökkent. A pozitív hozadék – az egyre szigorodó környezetvédelmi előírásokkal párosulva – áttörést hozott az erőművek hatásfokában is.

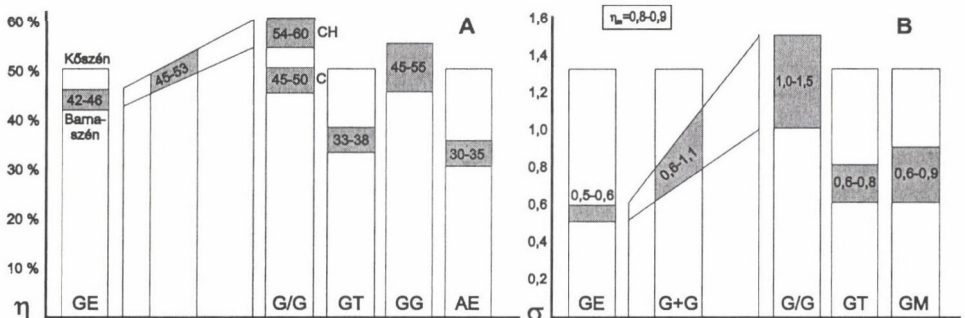
Erőművek energetikai hatékonysága

Az elmúlt évtizedekben az erőművek hatásfoka a várt tendenciáknál erőteljesebben növekedett. Jelenleg a hazai erőműrendszer átlagos hatásfoka mintegy 35 %, ami megfelel a korábbi legjobb gőzerőművek hatásfokának, az épülő kombinált gáz/gőzerőművek hatásfoka pedig már 55–60 %. A jelentős hatásfokjavulásban átütő szerepe van a gázturbinák gyors fejlődésének, és az általuk előidézett versenyhelyzetnek.

A gázturbinák (GT) a legegyszerűbb Joule-körfolyamattal, de igen magas belépő gázhőmérséklettel ($T_1=1000-1500\text{ °C}$) hűdítotk teret. Saját hatásfokuk ugyan mérsékelt ($\eta_{GT}=0,34-0,40$), de a kilépő magas hőmérsékletű gáz

($T_2=500-620\text{ °C}$) hasznosításával energetikai jellemzőik jelentősen javíthatók. A kilépő hő gőzerőműben lehet hasznosítani úgy, hogy a gázturбина és egy nagy gőzerőmű együttműködik (G+G), vagy a gázturbinához egy megfelelő nagyságú hőhasznosító gőzerőművet illesztünk (G/G). Újabbban vizsgálják a kilépő hő saját körű hasznosítását (GG) hőregenerálással, gőzbefecskendezéssel (STIG) és levegőnedvesítéssel (HAT). A kilépő hő hasznosíthatjuk hőellátásra is, ekkor kapcsolt energiatermelő fűtőgázturbinát (FGT) valósítunk meg.

A korszerű erőművek hatásfokát (a), illetve a fűtőerőművek fajlagos kapcsolt villamosenergia-termelését (b) az 1. ábra mutatja. A villamosenergia-termelés hatásfoka ($\eta=E/G$) szénhidrogén-tüzelésű kombinált gáz/gőzerőművek-nél viszonylag könnyedén elérheti a 60 %-ot. A verseny a szénbázisú gőzerőművek fejlesztőit is arra sarkallja, hogy kösszénre 46–50 %, barnaszénre 42–46 % hatásfokú szuperkritikus gőzerőművet létesítsenek. Szénelgázosítás és nagy nyomású fluidtüzelés esetén több irányú próbálkozással igyekeznek szénbázison is megvalósítani a kombinált gáz/gőzerőműveket. A hatásfokversenyben az atomerőművek elmaradnak, de a szerény javulás náluk is figyelemreméltó.



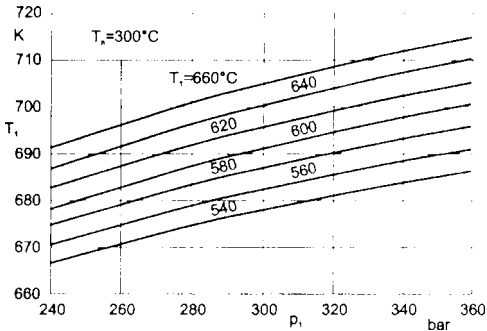
1. ábra • Korszerű erőművek hatásfoka (a), illetve fajlagos kapcsolt villamosenergia-termelése (b) GE gőzerőmű, GT gázturбина, G+G gázturбина és gőzerőmű együttműködése, G/G kombinált gáz/gőzerőmű, GG gázturбина sajátkörű hőhasznosítással, AE atomerőmű, GM gázmotor

Kapcsolt energiatermelés esetén a mennyiségi hatások az alkalmazott megoldástól alig függ, kisebb mértékben csak a tüzelőanyag befolyásolja ($\eta_m = (E+Q)/G$) A fajlagos kapcsolt villamosenergia-termelés ($\sigma = E/Q$) viszont az egyes erőműmegoldásoknál erőteljesen eltér, pl. a kombinált gáz/gőzerőműveknél értékük 2–3-szorosa a korszerű gőzerőművének.

Hőálló anyagok szerepe a hatások javításában

Az erőművek elért hatásfokjavításában meghatározó szerepe van az alkalmazható szerkezeti anyagoknak. Általában az anyagtudományi kutatás, konkrétan pedig az erőművi anyagok fejlesztésére irányuló technikai globalizáció mind a gőzerőművek, mind a gázturbinák fejlesztésének egyik alapvető hajtóereje.

A gőzerőművek belépő oldalán a hatásfok-növelés első számú eszköze a kezdőjellemzők növelése. A szuperkritikus újrabehevítéses gőzerőművekben jelenleg szobajövő nyomás- (p_1) és hőmérséklet-növelés (t_1) mellett a hőközlés termodinamikai átlaghőmérsékletének (T_1) növekedését a 2. ábra mutatja.



2. ábra • Szuperkritikus gőzparaméterek hatása a hőközlés termodinamikai átlaghőmérsékletére

A kezdőjellemzők növelésének előfeltétele megfelelő hőálló acélok rendelkezésre állása. A gőzerőművekhez választékot nyújtó hőálló szerkezeti anyagokat négy csoportba sorolhatjuk. Az első csoportot az eddig széles körben alkalmazott, alacsony ötvözetű ferrites acélok alkotják. Ezek kedvező megmunkálási (kovácsolhatóság, hegeszthetőség stb.) és üzemi (hőátadási, hőtágulási stb.) tulajdonságokkal

rendelkeznek, de a megkívánt 100 MPa igénybevétel esetén csak 520–540°C hőmérsékletig alkalmazhatók, azaz ezekkel nem valósíthatók meg a kombinált gáz/gőzerőművekkel szemben versenyképes nagyhőmérsékletű szuperkritikus gőzerőművek. Új acélként jelentek meg az erőműépítésben a 9–12 % króm-tartalmú, ferrites-martenzites szerkezetű acélok. Ezeket az acélokat az Egyesült Államokban, Japánban és az európai országokban (COST 501 program) fejlesztették ki. Ezen belül külön csoportot képeznek a volfrámmal is ötvözött W-acélok. Ezek az acélok gyorsan és széles körben terjednek, s biztosítják a gőzerőművek jelentős nyomás- és hőmérséklet-növelését, illetve a hatásfok számottevő javítását. A hőmérséklet további növelését az ausztenites acélok teszik lehetővé. Kedvező szilárdsági jellemzőik ellenére eddig lassan terjedtek nemcsak magasabb árú, hanem kedvezőtlenebb, jelenleg javítandó technológiai és üzemi jellemzőik miatt. A jövőben gőzerőművek esetén is gondolkodni a gázturbináknál általánosan alkalmazott Ni-bázisú szuperötvözetek bevetésére. Ezek a hőmérséklet további igen jelentős növelését tennék lehetővé, de alkalmazásukat gőzerőművekben fékezi a szükségés nagy mennyiség.

Az alkalmazott szerkezeti anyagok tartam-szilárdsága és a választható gőzjellemzők között szoros kapcsolat áll fenn, ami lehetőséget nyit arra, hogy adott szerkezeti anyaghoz meghatározzuk az optimális kezdőjellemzőket. Hőállóbb acéloknál a kezdőnyomás és a kezdőhőmérséklet egyaránt növelhető, de növelésüket a tartam-szilárdság hőmérséklet függvényében eltérő meredeksége erősen befolyásolja. Ferrites és 9–12 % Cr-tartalmú acélok tartam-szilárdsága meredeken csökken a hőmérséklettel, ezeknél a nyomást célszerűbb növelni, mint hőmérsékletet. Ausztenites acéloknál, még inkább Ni-bázisú ötvözeteknél a laposabb tartam-szilárdság-görbék miatt viszont a kezdőhőmérséklet növelése kerül előtérbe.

A gőzerőművek kilépő oldalán a kondenzációs jellemzők javításához növelni kell a gőzturbinák kiömlő keresztmetszetét. A gőzturbiná utolsó lapátjainak szilárdsági igénybevétele elsősorban a forgásból ered, az anyag sűrűségével arányos centrifugális erő húzó hatásából adódik. Az acéllapátok megengedhető hossza

1000–1200 mm, a kisebb sűrűségű titánötvözetekkel viszont 1400 mm-es lapáthossz is elérhető. A titánötvözet a kilépő keresztmetszet 30–60 %-os növelését, mintegy 15 m² megvalósítást teszi lehetővé, s ez jelentős szerepet játszik nagyteljesítményű gőzerőmű-egységeknél a jó hatásfok eléréséhez szükséges alacsony kondenzátornyomás tartásában.

A nagy hőmérsékletű gázturbinák lapátanyagaként kobalt- és nikkeltitán szuperötvözeteket alkalmaznak. A gázturbinalapátok első generációját a hagyományos öntvények (Conventional Cast – CC), a statisztikusan kristályosodó polikristallitok képezték. Szilárdságnövelés, korrózióval és oxidációval szembeni ellenálló képesség fokozása érdekében különböző ötvözőelemeket vittek be. A szuperötvözetek tartamzilárdságát lényegesen javították a kristályhatárok csökkentésével. Ennek egyik módja az irányított dermedés (Directional Solidification – DS), amely a lapáthossz irányában szünteti meg a kristályhatárokat. Másik út a homogén szerkezetet biztosító egykristály (Single-Crystal – SC), ha egyetlen kristály nagysága az érintett lapát méretével megegyezik, illetve annál nagyobb. Tartamzilárdságuk növelése mellett a szuperötvözetek fejlesztésének fontos feladata oxidációs ellenállásuk növelése és hőtágulási együtthatójuk csökkentése.

A fémcsatlakozásokhoz képest jelentős hőmérsékletnövelést tennék lehetővé a nagyzilárdságú keramikai anyagok (Oxide Dispersion Strengthened – ODS). Gyártásukkal és alkalmazásukkal kapcsolatban tapasztalatok még nem állnak rendelkezésre, ezek az anyagok a jövő lehetőségét jelenthetik.

Korszerű megoldások: hatékonyak és egyszerűek

A technikai globalizáció eredményeként számos korszerű megoldás alakult ki gőzerőművek, gázturbinák, gáz/gőzerőművek, atomerőművek stb. területén. A korszerű megoldások egyik közös jellemzője, hogy a kívánt célt hatékonyan, jó hatásfokkal, biztonságosan és környezetbarát módon valósítják meg. Másrészt a rendszerek és a berendezések egyszerűsítése is alapvető követelményként jelenik meg. A technikai globalizáció eredményeként tekinthető az is, hogy a különböző cégek korszerű

termékei számos közös vonást mutatnak, illetve az egyes energetikai berendezések azonos irányban fejlődnek. A következőkben néhány korszerű erőműmegoldásra utalunk.

Szuperkritikus szénbázisú gőzerőművek

A gázturbinák térhődítésével korszerű gőzerőművet csak szénbázisra terveznek. Fejlesztésükre amerikai, japán és európai cégek nemzetközi kutatási programot hoztak létre. Az összefogás elsősorban 300 bar-nál nagyobb nyomású, 600°C-nál nagyobb hőmérsékletű újrahevítéses erőműblokkok szerkezeti anyagainak és technológiájának, kapcsolásának és berendezéseinek fejlesztésére irányult.

A szuperkritikus erőmű gőztermelő berendezése kényszeráramlású, általában toronykazanban elrendezve. A kényszeráramlású kazán fix pontját képezi a vízleválasztó. A túlhevítő és az újrahevítő egyaránt több szakaszra oszlik, a szakaszok csöveit gyűjtőcsövek fogják össze, strangokra osztva. Az egymást követő strangok – a hőmérséklet-kiegyenlítés érdekében – változva helyezkednek el. A fűtőfelületek általában ellenáramúak, de a túlhevítő és az újrahevítő utolsó fokozata egyenáramú, ami a magas hőmérséklet és hőterhelés hatását kiegyenlíti.

A nagyteljesítményű egységek szénportüzelésűek. Az NO_x-szegény égők a levegő primer/szekunder/tercier bevezetésével és füstgázvisszavezetéssel viszonylag kevés nitrogén-oxidot termelnek, de a szelektív katalitikus leválasztó (SCR) ezt még tovább csökkenti. Villamos porleválasztó és (rendszerint nedves) füstgáz-kéntelenítő már szükséges tartozéka a széntüzelésű gőzerőműnek. Nedveskéntelenítés során a füstgázokat alacsony hőmérsékletre hűtik le, ami jó a hatásfok szempontjából. Kéntelenítés után a lehűlt füstgázokat többnyire a hűtőtornyon keresztül vezetik ki, amelynek lényegesen nagyobb a felhajtó ereje, mint a jó hatásfokú kazánhoz kapcsolódó kéménynek.

A nagy nedvességtartalom miatt a barnaszéntüzelésű erőműegységek hatásfoka mintegy 5 %-kal, illetve relatíve 10 %-kal kisebb, mint a kőszén-erőműveké. Ez a különbség potenciális hatásfokjavítást is jelent, ha a szén nedvességtartalmát vízként még a tüzelés előtt eltávolítjuk. Korábban a szenet az őrlés érdekében szárították, pl. tüztéri gázzal a nedvességtartalmat

elgőzölögtették, s a gőz a füstgázokban távozott, tehát a szén (alsó) fűtőértékét hasznosították. Jelenleg azt vizsgálják, hogy a szén víztartalma milyen mechanikus és termikus eljárásokkal távolítható el, és hogyan akadályozható meg, hogy gőzként a kazánba kerüljön. Víz eltávolítása a barnaszénből lényegében az égéshő hasznosítása irányába mutató lépést jelent, ami barnaszéntüzelésű gőzerőművek jelentős hatásfokjavítását eredményezi.

Nagyhőmérsékletű gázturbinák

A gázturbinák hatásfokjavítása szempontjából leglényegesebb a belépő gázhőmérséklet (T_1) növelése, amit több hatás együttesen eredményez. Az alapot a turbinalapát-anyagokban megengedhető hőmérséklet (T_u) emelése jelenti, ha a hagyományos szuperötvözetek (CC) helyett irányított kristályosodású (DS) és egykristályú (SC) ötvözeteket alkalmaznak. Az utóbbi évtizedekben a szuperötvözetek javításával a lapátanyagok hőmérséklete 750°C-ról mintegy 950°C-ra, azaz 200°C értékkel növekedett. Jelentős, több mint 300°C hőmérsékletkülönbség áthidalását teszi lehetővé a hatásos lapáthűtés, amelyet a légűtés javításával és a gőzhűtés bevezetésével érnek el. A belépő gáz és a lapát hőmérséklete közötti különbséget tovább növeli a lapátok keramikus bevonata. A belépő gázhőmérsékletet tehát jelenleg már 1300–1500°C szint között nő.

A hőmérséklet növelésével a gázturbinák úgy váltak korszerű berendezésekké (csústechnikává), hogy megtartva a Joule-körfolyamatot, felépítésű egyszerű maradt. Az egyszerűsítést célozza, hogy a nagyhőmérsékleten dolgozó turbinának csak 3–5 hűtött lapátsora van. A hideg levegőt szállító kompresszor viszont ugyanolyan nyomásviszony mellett 15–25 lapátsort tartalmaz. Az erőművi gázturbinák egyszerűsítését eredményezi a korábbi nagyméretű, külön épített silóégők elhagyása, s helyettük körgyűrűs, a környezetvédelmi előírásokat maradéktalanul kielégítő égők alkalmazása.

Az egyszerű felépítés megtartása érdekében eddig kerültek az izotermikus folyamatokat közelítő többfokozatú expanziót, illetve kompressziót. De kivételként lehet olyan példát is említeni, amikor a kétfokozatú expanziót soros tüzeléssel valósították meg úgy, hogy az össze-

függő, egynek tűnő égő két különböző nyomású része között egy lapátsor működik.

Szénhidrogén gáz/gőzerőművek

A szénhidrogén-tüzelésű gáz/gőzerőművekben a korszerű gázturбина magas kilépő hőmérsékletű gázaival gőzt termelnek, ami egy gőzturbinában hasznosítható. Jelenleg hatékonyak a háromnyomású gőztermelés és újrahevítés tekinthető. Szinte ökölszabály, hogy az utánkapcsolt gőzerőmű a kombinált erőműegység villamos teljesítményét és hatásfokát mintegy 50 %-kal emeli.

A gáz- és gőzkörfolyamat kombinációja, illetve a háromnyomású gőztermelés természetesen bonyolítja a kombinált gáz/gőzerőművek felépítését. Érthető törekvés, hogy ezt az – esetenként csak látszólag – bonyolult kapcsolást egyszerűsítsék. A több egyszerűsítést tartalmaz. Az egytengelyes kivitelben a gázturбина és a háromházas gőzturбина egyetlen tengelyre kerül, s az erőműegység egy villamos generátorral rendelkezik. Szükség esetén a gőzturбина be- és kikapcsolható egy nagyteljesítményű, oldható és szinkronizáló tengelykapcsolóval. Egyszerűsíti és olcsóbbítja a kialakítást a földszintes elrendezés, mert a turbinák és a generátor állványai elmaradnak. A földszintes elrendezés feltétele, hogy a gáz- és gőzturbinák axiális kiömlésűek legyenek.

A kombinált gáz/gőzerőműveket széles körben hőszolgáltató egységként alkalmazzák. A nagy belépő hőmérsékletű és alacsony hőmérsékletű fűtési hő kiadó egységek hőkiadó rendszerének felépítése általában nagyon egyszerű. Nagy fajlagos kapcsolt villamosenergia-termelés esetén ugyanis az egyszerűbb hőkiadás miatti veszteségek súlyát sokat vesztik jelentőségéből.

Passzív biztonsági rendszerű atomreaktorok

Az atomerőművek a gazdasági versenyben jelenleg elmaradnak a földgázüzemű gáz/gőzerőművektől, a társadalom pedig fél a nukleáris balesetektől és ellenáll az atomerőművek építésének. A társadalom támogatása csak olyan új generációs atomreaktorokkal nyerhető meg, amelyek biztonságosságát a közvélemény elfogadja.

A biztonságnövelés irányában tett jelentős lépés a passzív (inherens) biztonsági rendszerű reaktorok kifejlesztése. A passzív biztonsági rendszer lényege, hogy a reaktor méretezési üzemzavarai során külső energia bevezetés és emberi beavatkozás nélkül, csupán a természetes folyamatok (gravitáció, felhajtó erő stb.) biztosítják az utólagosan termelt hő elszállítását.

A passzív biztonságú reaktorokat, valóságos technikai globalizáció keretében fejlesztették ki. Az USA-ban ilyen a nyomottvízes passzív AP600 és az egyszerűsített elgőzölögtető SBWR reaktor. Európában a passzív nyomottvízes EPR és 1000 MW-os passzív elgőzölögtető reaktort alakították ki. Japán szintén kidolgozta a passzív és egyszerűsített könnyűvízes reaktorok terveit.

IRODALOM:

Büki G.: *Energetika*. Műegyetemi Kiadó Bp, 1997.

Büki G.: *Energiaátalakítás, gáz- és gőzerőművek*. Akadémiai Kiadó Budapest, 2000.



Mészáros Ernő

ÉGHAJLATVÁLTOZÁS: TERMÉSZETES VAGY EMBERI HATÁSOK

A Föld története során az éghajlat lényegében állandó volt, ám nem voltak ritkák a néhány fokos hőmérsékletváltozások, hidegebb és melegebb periódusok váltakoztak. Így az utóbbi, kb. kétmillió évben a jégkorszakokat melegebb időszakok, interglaciálisok követték. Az utolsó jégkorszak mintegy 15 ezer évvel ezelőtt fejeződött be, és az utóbbi 10 ezer évben, amióta az ember letelepedett, meglepően kedvező volt a bolygó átlagos hőmérséklete. Ebben az időszakban a hőmérsékletingadozások gyakorlatilag 1°C-on belül maradtak. Az utolsó ezer évben a legmelegebb a 12–13. század volt (éghajlati optimum); 17. századi feljegyzések kisebb lehűlésre („kis jégkorszak”) utalnak. Kisebb ingadozások után a 19. században a hőmérséklet emelkedni kezdett; a folyamat jelenleg is tart. A melegedés akkor kezdődött, amikor az ember hatása a légkör összetételére jelentőssé vált. A 19. század vége óta az erdőirtás, a fosszilis tüzelőanyagok elégetése, valamint az állattenyésztés és növénytermesztés a levegőbe egyre több ún. *üvegház-hatású* gázt juttat. E gázok átengedik a Napból jövő sugárzást, de elnyelik a Föld által kibocsátott hősugarakat. Koncentrációjuk növekedése az éghajlat melegedését eredményezi, mint azt a Föld múltjából vett minták igazolják. A jelenlegi melegedés mértéke azonban nem éri el a 1°C-ot, vagyis nem nagyobb, mint ami a múltban emberi hatások nélkül is előfordult. Igaz viszont, hogy az üteme meglehetősen gyorsnak tekinthető. A légkörtudomány egyik legfontosabb feladata annak mérlegelése, hogy az ún. *globális felmelegedés* vajon az ember tevékenységének következménye-e. Jelen tanulmányunkban röviden ezzel a kérdéssel foglalkozunk.

Miről is van szó?

A Föld éghajlatát, egyéb tényezők mellett, a légkör összetétele is befolyásolja. Az éghajlat alakulása ugyanis alapvetően függ attól, hogy a légkört

alkotó molekulák, aeroszolrészecskék és felhők a Nap energiájának hányadrészét engedik át, illetve hogyan módosítják a Föld felszíne által kibocsátott sugárzást. A Nap külső hőmérséklete (kb. 6000 °C) és a Föld felszínének hőmérséklete (kb. 15 °C) jelentősen eltér egymástól, ezért sugárzásuk hullámhossza is különböző. A napsugárzás energiájának többsége a látható tartományba tartozik (hullámhossz 0,3 és 0,8 mm között), míg a Föld kisugárzásának hullámhossza nagyobb, mint 3 mm (infravörös vagy hősugárzás). A napsugárzást a légkör jelentős mértékben átengedi, míg a hősugárzást gyakorlatilag teljes egészében elnyeli. Az elnyelés azoknak a gázoknak köszönhető, amelyek molekuláiban legalább két különböző atom található: vízgőz, széndioxid, metán, dinitrogén-oxid (üveghatású gázok). Ha ezeknek a gázoknak a légköri mennyisége növekszik, akkor a Föld-légkör rendszer hőmérséklete emelkedik. A természetes források mellett az emberi tevékenység is juttat ilyen gázokat a levegőbe. Az erdőirtások és a fosszilis tüzelőanyagok elégetése a szén-dioxid, a kérődző állatok tartása és a rizstermesztés a metán, a műtrágyázás a dinitrogén-oxid légköri koncentrációját növeli meg. Ezek közül a hatások közül az energiatermelés, azaz a szén-dioxid kibocsátás a leglényegesebb.

Az 1. ábra a széndioxid globális kibocsátásának, illetve légköri koncentrációjának változását mutatja (Bolin, 1997). Ez utóbbi részben antarktisi jégminták analízisén, részben Hawaii-ban végzett közvetlen mérések eredményein alapul. Látható, hogy 19. század vége óta a széndioxid antropogén kibocsátása közel nulláról mintegy 6 Gt-ra (10⁹ tonna) növekedett. Ennek megfelelően átlagos térfogati koncentrációja 280 ppm-ről 350 ppm-re változott (1 ppm = cm³/m³). Ugyanakkor ma az átlagos hőmérséklet mintegy 0,5°C-kal magasabb, mint a 19. század végén megfigyelt érték. Figyelembe

kell azonban vennünk (2. *ábra*), hogy a változás nem volt egyenletes. A hőmérséklet gyakorlatilag csak 1910 és 1940 között, illetve 1980 után emelkedett jelentősen.

Nézzük meg ezek után a hőmérséklet hazai változását a 19. század vége óta. A tizenkilencedik század utolsó harminc évének észleléseit, illetve az adatok statisztikus jellemzőit Róna (1909) foglalta össze. A huszadik század első felében végzett megfigyelésekről elsőnek Bacsó és munkatársai (1953) adtak tudományos magyarázatokkal alátámasztott értékelést. Végül az 1961 és 1990 közötti időszak éghajlatának értékelése jelenleg folyik az Országos Meteorológiai Szolgálatnál. Az 1. táblázat az említett források alapján készült. Mint látható, az ország különböző tájain fekvő meteorológiai állomások közül kiválasztottunk nyolcat és ezek adatait az egész országra kiterjesztettük. A módszer nyilvánvalón problémákat vet fel. Ennek ellenére az ország hőmérséklete, pontosabban annak időbeli menete első közelítésben ily módon áttekinthetően jellemezhető.

	1871–1900	1901–1950	1961–1990
Sopron	8,9	9,8	9,6
Keszthely	10,0	10,8	10,2
Pécs	-	11,4	10,4
Budapest	9,6	11,0	11,2
Kecskemét	9,7	10,5	10,4
Szeged	10,2	11,4	10,5
Békéscsaba	-	11,1	9,9
Debrecen	9,2	10,0	10,2
Átlag	9,6	10,7	10,3

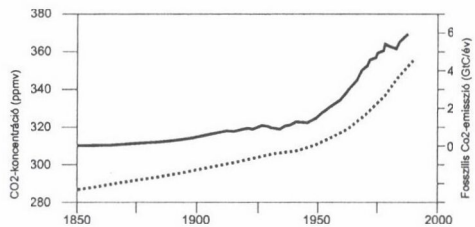
1. táblázat • A hőmérséklet átlagértékei Magyarországon különböző időszakokban

Bár a különböző időszakokban mért adatok összehasonlíthatósága némileg kérdéses (lásd a következő részben), a táblázat alapján megállapíthatjuk, hogy a hőmérséklet a huszadik század első felében kereken egy fokkal magasabb volt, mint az előző század utolsó harmadában. A hőmérséklet növekedése Budapesten, majd Szegeden volt a legjelentősebb (városhatás). A hőmérséklet 1961 és 1990 között nem emelkedett tovább, illetve gyengén csökkent. Ez alól csak Budapest, Szeged és Debrecen kivétel. A különbségek azonban oly cseké-

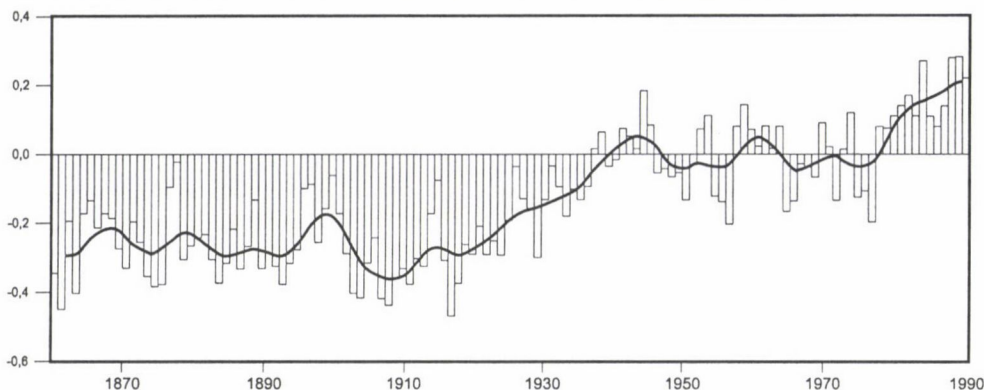
lyek, hogy inkább a hőmérséklet állandóságáról beszélhetünk.

Európai adatok szerint (ECSN, 1995) a hőmérséklet szárazföldünk nyugati felében 1940-ig emelkedett. Az emelkedés 1940 és kb. 1970 között megállt, majd napjainkig ismét folytatódott. A Meteorológiai Világszervezet (1999) közleménye szerint az 1961–1990 időszak kimondottan melegnek tekinthető. Magyarországon a század első feléhez képest azonban ez az időszak egyáltalán nem meleg. Számos szakember azt a nézetet vallja, hogy az 1940 utáni csökkenést a vulkáni tevékenység felerősödése magyarázza. Véleményünk szerint nem zárható ki annak lehetősége sem, hogy az 1961–1990-es időszakban Magyarország térségében az üvegházhatású gázok hatását kiegyensúlyozta a szintén emberi eredetű aeroszol részecskék hatása (lásd később). Ebben a periódusban ugyanis a közép-kelet-európai országok kéndioxid és közvetlen aeroszolrészecske-kibocsátása hihetetlenül magas volt. A levegőtisztaságvédelem erre az időszakra Nyugat- és Észak-Európában már komoly eredményeket ért el. Valószínű ezért, hogy az aeroszol részecskék éghajlati hatása ebben a térségben 1961 után már csökkenőben volt és sohasem volt olyan intenzív, mint Közép- és Kelet-Európában.

A 2. *ábrán*, illetve az 1. *táblázatban* bemutatott adatok menetének magyarázatára két hipotézist tehetünk. Egyrészt lehetséges, hogy hibás



1. *ábra* • A fosszilis tüzelőanyagok felhasználásából származó globális széndioxid-kibocsátás (felső pontozott görbe: jobb oldali ordináta: Gt/év) és a légköri szén-dioxid koncentrációjának görbe: bal oldali ordináta: ppm) változása Bolin (1997) szerint. A kihúzott görbe antarktisi jégminták levegőbuborék-analízisének (négyzetek), a szaggatott görbe közvetlen mérések eredményein alapul.



2. ábra • A Föld átlaghőmérsékletének változása (1950–80-as átlagértékre vonatkoztatva, IPCC, 1990).

az alapfeltevésünk, amely szerint a hőmérséklet az üvegházhatású gázok mennyiségének növekedése miatt emelkedik, hiszen pl. a széndioxid a levegőben akkor is dúsult (1. ábra), amikor a hőmérséklet nem változott. A másik, valószínűbb feltevés szerint valamilyen más (természetes vagy emberi) tényező 1940 és 1980 között kiegyensúlyozta az üvegházhatású gázok légköri koncentrációja növekedésének hatását.

A mérések megbízhatósága

A hőmérséklet emelkedését közvetlen meteorológiai mérések igazolják. Ennek ellenére nem zárható ki, hogy a megfigyelt változás valamilyen módon a mérések inhomogenitását tükrözi. Ilyen inhomogenitás a következő okokból adódhat (Karl, 1992):

- A mérőállomások helye megváltozott;
- Az állomások sok helyen települések közelében található, ahol közvetlen emberi hatások (pl. városi hősziget) érvényesülnek;
- Az állomások sűrűsége (elsősorban az óceánok fölött) és elhelyezkedése nem reprezentatív a globális változások jellemzésére;
- A mérési eszközökben, a mérési módszerekben és gyakorlatban az idők során jelentős változások történtek.

A fenti okok miatt akár a hőmérséklet-emelkedés tényét is megkérdőjelezhetnénk. Anélkül, hogy az inhomogenitás okait tovább részleteznénk, megjegyezzük, hogy a megfigyelt hőmérsékleti változásokat azért nem tehetjük vita tárgyává, mivel a hőmérsékleti adatokon túl az éghajlatváltozást más, a meteorológiai mérések-

től független tények is alátámasztják. Ilyen tény, hogy olvad a sarki jégtakaró, növekszik a hegy-ségekben a hóhatár magassága, visszahúzódnak a gleccserek és melegszik a tengerfelszín hőmérséklete. Így az IPCC (ENSZ Intergovernmental Panel of Climate Change) 1990-es közleménye szerint 100 év alatt mintegy 10 cm-rel emelkedett az óceánok szintje, amely részben a melegedés miatti hőtágulás, részben a sarki jégtakaró olvadása miatt következett be.

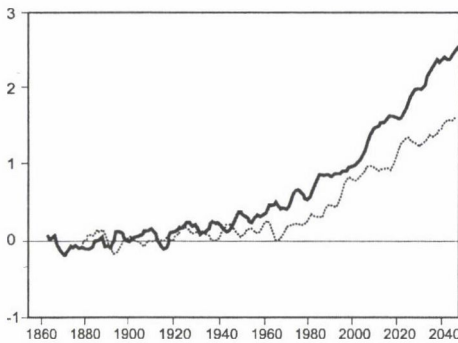
Mindez arra utal, hogy a 19. század vége óta megfigyelt hőmérséklet-emelkedést valós tényként fogadhatjuk el. Ez a következtetés természetesen nem okvetlenül jelenti azt, hogy a melegedés valóban az üvegházhatású gázok növekedése miatt következett be.

Modellszámítások

Az éghajlat leírására ma már numerikus modellek állnak rendelkezésünkre, amelyek segítségével kiszámítható, hogy a bemenő paraméterek (pl. üvegházhatású gázok koncentrációja) változása esetén milyen éghajlati változások következnek be. A fejlett kutatóközpontok olyan bonyolult, ún. *általános cirkulációs modellekkel* is rendelkeznek, amelyekkel a változások három dimenzióban szimulálhatók. A modellezést megnehezíti, hogy a légkör sok változót tartalmazó komplex rendszer, amelyben számos visszacsatolási mechanizmus működik, és ezek vagy erősítik (pozitív visszacsatolás), vagy gyengítik (negatív visszacsatolás) az eredeti hatást.

Az éghajlatkutatás fontos eredménye, hogy a legújabb modellekben, az üvegházhatású gá-

zok mellett, a légköri aeroszol részecskék közvetlen vagy közvetett hatását is figyelembe vesszük. Az aeroszol részecskék egyrészt valamelyest gyengítik a Föld felszínére érkező napsugárzás erősségét. Másrészt, mint kondenzációs magvak, megváltoztatják a felhők szerkezetét, ami a felhők sugárzásvisszaverő képességének növekedésével jár. Mindkét hatás csökkenti a talajközeli levegő felmelegedését. Az emberi tevékenység a légkörbe számos olyan gázt (pl. kén-dioxid, szerves gázok) bocsát, amelyek a levegőben kémiai átalakulás után aeroszol részecskéket alkotnak, azaz az éghajlatra az üvegházhatású gázokkal ellentétes hatást fejtenek ki.



3. ábra • A Föld átlagos hőmérsékletének változása az angliai Hadley Centrum 1995-ös modellszámításai alapján. Vastag görbe: üvegházhatású gázok, vékony görbe: üvegházhatású gázok és aeroszol részecskék.

A 3. ábra az angliai Hadley Központ modellszámításainak eredményeit mutatja, Bolin 1997-es közleménye alapján. A kihúzott görbe az üvegházhatású gázok, a szaggatott görbe az üvegházhatású gázok és az antropogén aeroszolrészecskék együttes éghajlati hatását mutatja az 1860-2050 időszakra. 1994-ig a számítások tényleges kibocsátásokon (a számítások 1995-ben készültek), míg 1994 után az IPCC becsült értékein alapulnak. Az ábra alapján néhány fontos megállapítást tehetünk. Az első és legfontosabb az, hogy az üvegházhatású gázok növekedését egyedül figyelembe vevő számítások, főleg 1950 után, intenzívebb melegedést jeleznek, mint a megfigyelt értékek. Ebből az következik, hogy bár a számítások és a

megfigyelési eredmények tendenciája megegyezik, az abszolút értékek eltérnek egymástól. Ha azonban az aeroszol részecskék hatásait is figyelembe vesszük, akkor az egyezés jónak mondható. Úgy tűnik tehát, hogy az emberi tevékenységnek köszönhető üvegházhatást mérsékelte a szintén antropogén aeroszol részecskék hatása.

A kérdés azonban nem ilyen egyszerű. Az üvegházhatású gázok légköri tartózkodási ideje nagyjából tíz év. Ez azt jelenti, hogy molekuláknak elég idő áll rendelkezésére ahhoz, hogy az egész légkörben elkeveredjenek, azaz éghajlati hatások valóban globálisnak tekinthetők. Ezzel szemben az aeroszol részecskék légköri tartózkodási ideje mindössze kb. egy hét. Így hatásait elsősorban a források közelében, így Észak-Amerikában, Európában, illetve a Távol-Keleten (Kína, Japán) fejtik ki. Megkérdőjelezhető tehát, hogy a modellszámítások eredményeiből globális középértékeket képezzünk, mint az a 3. ábra elkészítésekor történt. A másik nagy probléma az, hogy az aeroszol részecskék éghajlati hatásainak modellezése jóval nehezebb, mint az üvegházhatású gázoké. A gázok egymással teljesen azonos molekulákból állnak. Ezzel szemben az aeroszol részecskék nagysága, formája és kémiai összetétele igen változatos lehet. Ráadásul a részecskék, mint említettük, bonyolult módon a felhők szerkezetét is megváltoztatják, amit elég nehéz figyelembe venni. A részletek mellőzésével: arról van szó, hogy mondjuk a kén-dioxid kibocsátást a felhőcseppek számával kell összefüggésbe hozni. A nehézségek ellenére az aeroszolrészecskék hatását néhány megfigyelés alátámasztani látszik. Így az északi félgömbön, ahol a kénemisszió koncentráció magasabb, az átlagos melegedés valamivel kisebb mértékű, mint a déli félgömbön. Másrészt a nappali felmelegedés globális léptékben gyengébb, mint az éjszakai hőmérséklet-emelkedés. Ez azzal magyarázható, hogy az aeroszolrészecskék napsugárzást csökkentő hatása csak a nappali órákban jelentkezik.

Érdekes módon mind az antropogén üvegházhatású gázok (elsősorban szén-dioxid), mind az aeroszol részecskék (elsősorban szulfát) az energiatermeléssel hozhatók kapcsolatba. Az éghajlatváltozást okozó részecskék jelentős része ugyanis a fosszilis tüzelőanyagok

kéntartalmából felszabaduló kén-dioxidból származik. Ez azonban nem jelenti azt, hogy nem kell semmit sem tennünk, mivel az egyik káros hatás kiküszöböli a másikat. A kén-dioxid kibocsátás ugyanis savas esőket okoz, amelyek a bioszférát komolyan károsítják. Az európai levegőtisztaság-védelem legnagyobb eredménye, hogy az utóbbi években lecsökkent a kén-dioxid kibocsátás és jelentősen javult a levegő és a csapadékvíz minősége. Akadékoskodó ember persze felteheti a kérdést: nem ezért emelkedik a hőmérséklet 1990 után?

Összefoglalásképpen tehát megállapíthatjuk, hogy a modellszámítások teljes biztonsággal nem erősítik meg, de nem is cáfolják azt a feltevést, hogy a 19. század vége óta megfigyelt felmelegedést az emberi tevékenység okozza. Másrészt valószínű, hogy a felmelegedés a jövőben is folytatódni fog.

Kitekintés

A fenti konklúzió alapján azonban nem vonhatjuk le azt a következtetést, hogy a felmelegedés esetleges veszélyeivel nem kell foglalkoznunk. A dilemma ugyanis az, hogy feltehetőleg késő lesz a szükséges intézkedések megtételére (széndioxid-emisszió csökkentése), amikor már teljesen bizonyossá válik, hogy a globális felmelegedést az emberi tevékenység okozza. Ebből a szempontból osztanunk kell az Európai Unió véleményét, amely szerint az üvegházhatású gázok kibocsátását haladék nélkül korlátozni kell. Ebből az is következik, hogy az Amerikai Egyesült Államok hozzáállását közel sem

tarthatjuk elfogadhatónak. Azt is hangsúlyoznunk kell, hogy a kisebb kibocsátású, kisebb területű országok sem zárkoznak el a felmelegedést gátló nemzetközi intézkedések betartásától. Az éghajlatváltozás az egész Földet érinteni fogja és magában foglalja a csapadék mennyiségének módosulását is. A modellek szerint Magyarország térségében csökkenni fog a csapadék és növekedni fog a szélsőséges időjárási helyzetek előfordulási valószínűsége. Ez a magyar mezőgazdaságot és vízgazdálkodást igen érzékenyen érintheti.

A kérdéskörök azonban van még egy, eddig nem említett tudományos vetülete is. Ez a következő. Az üvegházhatást figyelembe vevő modellek pontosságát ma már mintegy 20–25 %-ra becsülik (aeroszol részecskék esetén a pontosság sokkal kisebb), ami elfogadhatónak mondható. A probléma az, hogy minden modellszámításnál feltételezzük, a változások lineárisak lesznek, azaz hirtelen nagyobb ugrások nem következnek be. A komplex (kaotikus) rendszerek alapvető sajátága azonban, hogy kis változások jelentős, hirtelen változásokat váltanak ki. Így nem elképzelhetetlen, hogy kisebb éghajlatváltozások eredményeként a Föld éghajlata jelenlegi kvázi-egyensúlyi állapotából egy másik egyensúlyi állapotba „ugrik” át, mint az a jégkorszakok és interglaciálisok váltakozásakor a Föld történetében már többször előfordult. Joggal teszi fel tehát W.S. Broecker (1997) neves amerikai oceanológus a kérdést: vajon a Föld üvegházhatásának jövő változása folyamatos lesz-e.

IRODALOM:

Bacsó, N., Kakas, J. és Takács, L., 1953: *Magyarország éghajlata*. Országos Meteorológiai Intézet Hivatalos Kiadványa, XVIII. kötet, Budapest.

Bolin, B., 1997: *Biogeochemical cycles and climate change*. In: *A Better Future for the Earth*, 167–183. The Asahi Glass Foundation, Tokyo.

Broecker, W. S., 1997: *Will our ride into the greenhouse future be a smooth one*. In: *A Better Future for the Earth*, 211–221. The Asahi Glass Foundation, Tokyo.

ECSN (European Climate Support Network), 1995: *Climate of Europe. Recent variation,*

present state and future prospects. Publ. of National Meteorological Services.

IPCC, 1990: *Assessments: Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

Karl, T.R., 1992: *Contemporary global warming: are we sure?* In: *Global Climate Change: Implication, Challenges and Mitigation Measures*, 37–49. Pennsylvania Academy of Sciences, Easton, PA.

Meteorológiai Világszervezet (1999): *Állásfoglalás az éghajlat 1998. évi állapotáról*. WMO-No. 896. Magyar nyelvű kiadás. OMSz, Bp.

Róna, Zs., 1909: *Éghajlattan*. K.M. Természettudományi Társulat, Budapest.

Bárdossy György

A RADIOAKTÍV HULLADÉKOK ELHELYEZÉSE

Radioaktív hulladékok nemcsak atomerőművekben keletkeznek; létrejönnek kutató- és oktatóreaktorokban, orvosi és ipari, valamint egyes katonai létesítményekben. E hulladékok az élővilágra veszélyesek és ezért a környezettől elzárt, biztonságos tárolókban kell őket elhelyezni. A hulladékok eltérő mértékű veszélyessége és élettartama miatt különböző tárolási módokra van szükség. Az elmúlt évtizedek során felgyűlt nemzetközi tapasztalat alapján a bécsi székhelyű Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) a radioaktív hulladékokat a következő módon csoportosítja:

- **Nagy aktivitású hulladék:** 2 kW/m^3 -nél nagyobb hőteljesítményű, főként hosszú élettartamú (több tízezer évet is elérő) radionuklidokból álló hulladék.¹ Főként atomerőművek kiégett fűtőelemei tartoznak e csoportba. Ide sorolják továbbá a leszerelésre kerülő atomerőművek egyes szerkezeti elemeit is, pl. az atomreaktorok szerkezeti anyagait.

- **Kis és közepes aktivitású hulladékok:** 2 kW/m^3 -nél kisebb hőteljesítményűek.

- **Hosszú élettartamúak.** A meghatározó radionuklidok felezési ideje 30 évnél hosszabb, a hosszú élettartamú alfasugárzó radionuklidok koncentrációja 400 Bq/g -nél nagyobb.²

- **Rövid élettartamúak.** Felezési idejük 30 évnél rövidebb és a hosszú élettartamú alfasugárzó radionuklidok koncentrációja 400 Bq/g -nél kisebb.

A radioaktív hulladékok elhelyezésének nemzetközi tapasztalatai

A NAÜ ajánlásai szerint a kis és közepes aktivitású hulladékokat a felszínen létesített tárolókban, vagy a felszín alatt kis mélységben (< 200 méter) lehet elhelyezni. Az ellenőrzött tárolási idő a mértékadó radioizotópok (^{137}Cs és ^{90}Sr) felezési idejének (30, ill. 29 év) tízszereséig tart. Mára az atomenergiát előállító legtöbb ország-

ban kis és közepes aktivitású hulladékokat tároló létesítmények működnek, sőt egyesek már meg is teltek és véglegesen lezárták őket. Ezek a tárolók mind biztonságosan működnek és környezetüket nem veszélyeztetik.

A nagy aktivitású hulladékokat nagyobb veszélyességük és nagy hőtermelésük miatt 40–60 éven át az atomerőművek mellett felépített átmeneti tárolókban helyezik el. Ezalatt hőtermelésük és aktivitásuk jelentősen lecsökken. Ezután lehet őket a felszín alatt 300–800 méter mélységben kialakított végleges tárolókban elhelyezni. Számos országban folynak intenzív kutatások a tárolásra alkalmas helyek, földtani képződmények kiválasztására. 1999 őszén az Egyesült Államok New Mexico államában levő Carlsbad közelében átadták a világ első, nagy aktivitású hulladékokat befogadó tárolóját, amelybe jelenleg főként katonai eredetű radioaktív hulladékot szállítanak.

A nagy aktivitású hulladékok tárolóinál legalább 10 000 évig kell a környezettől való elzárást biztosítani, ami a műszaki (hordók, konténerek), bányaműszaki (vágatkitöltő és falazó anyagok) és földtani gátak (befogadó kőzet) együttesével elérhető. Ez a nemzetközileg elfogadott többgátas tárolási alapelve (multibarrier concept). A hulladéktárolóknak e védett időtartam alatt kétféle biztonsági követelménynek kell eleget tenniük:

- **Dóziskorlát:** A védett tárolás teljes időtartama alatt a helyi lakosság egyedeit maximum $0,25 \text{ mSv/év}$ dózisterhelés érheti³. Várható, hogy e határértéket a jövőben $0,1 \text{ mSv/évre}$ fogják csökkenteni. Ehhez azt is tudni kell, hogy hazánk területén a radioaktív háttérsugárzás átlagosan $2,4 \text{ mSv/év}$.

- **Kockázati korlát.** Ez azt jelenti, hogy a védett tárolás teljes időtartama alatt a radioaktív sugárterhelésből származó maradandó egészségkárosodás, ill. elhalálozás nem lehet $10^{-5}/\text{évnél}$ nagyobb, vagyis évente 100 000 főre maximálisan egyetlen ilyen eset következhet be.

E biztonsági feltételek teljesíthetőségét a felszínen, vagy e célra létesített ún. *mélységi labo-*

³ 1 Sv , sievert = 1 J/kg

¹ Radionuklid adott rendszámú és tömegszámú radioaktív atommag, a hozzá tartozó atomi elektronfelhővel. A radioizotópok radionuklidok, melyeknek egyező a rendszámuk, de más a tömegszámuk.

² 1 Bq , becquerel = 1 radioaktív átalakulás/s.

ratóriumokban végzett mérésekkel próbálják meghatározni. A legfontosabb biztonsági tulajdonságok a következők: a befogadó közet vízáteresztő képessége, a talajvíz áramlási rendszerének útvonalai, ezek hossza, a talajvíz Eh- és pH-értéke, valamint a befogadó közet radionuklidokat megkötő képessége. Főleg az agyag-ásványok, a zeolitok és egyes, nagy fajlagos felületű apró ásványszemcsék jó megkötő képességűek. Fontos szempont még a terület stabilitása, a befogadó közet jó állékonysága, ne szeljük át a kiszemelt telephelyet aktív törésvonalak, ne legyenek a térségben aktív vulkánok és ne legyen túl nagy a térség szeizmicitása.

Bár a legfontosabb paramétereket a mély-ségi laboratóriumokban több éven, néhol több évtizeden át mérik, mégis joggal merülhet fel a kérdés: mennyire lehet e mérések eredményeit a jövőbe, több ezer év távolságig kivetíteni? E kérdésre *természetes földtani analógiák* megtalálásával sikerült megnyugtató választ találni. Az elmúlt évtizedek során a Föld több pontján sikerült a természetes radioaktív sugárforrások olyan felhalmozódásait megtalálni, melyek óriási aktivitáskoncentrációjuk ellenére évmilliók százain át környezetüktől teljesen elszigetelten maradtak, radioaktív sugárzásuk nem károsította a felszíni bioszférát. Kézenfekvő volt a következtetés, hogy meg kell vizsgálni azokat a földtani képződményeket, amelyek e hosszú távú izolációt biztosítani tudták. A nagy aktivitású hulladékok végleges elhelyezéséhez nyilvánvalóan ilyen képződményeket kell megkeresni. Ez a nagy aktivitású hulladékok végleges elhelyezésének tudományos alapja!

Az utóbbi évtizedek során a tárolóhelyek megkutatásának metodikája is kialakult. Ez a következő fázisokra oszlik:

- *Áttekintő felmérés* (regional screening). Az adott ország egész területére kiterjed, főleg a meglévő földtani-geofizikai ismeretekre alapozva, egy egész sor kizáró és kedvező feltétel alkalmazásával. Nem elhanyagolható szempont a minél rövidebb szállítás biztosítása.

- *Telephely-kiválasztás* (site selection). Felszíni földtani és geofizikai mérések, valamint fúrások alapján kiválasztják a legkedvezőbbnek tűnő 2–4 telephelyet és eketel rangsorolják. Az alternatív telephelyek kijelölése a tapasztalatok szerint nélkülözhetetlen.

- *Telephelyjellemzés* (site characterization). Kiválasztják a mély-ségi laboratóriumnak legalkalmasabb térrészt és bányászati eszközökkel kialakítják azt. A laboratóriumban és a felszínen több éven, ha kell évtizedeken át mérik a legfontosabb paramétereket.

- *Biztonsági értékelés* (safety assessment). Célja a jövőben a tárolóból kilépő radionuklidok útvonalának és koncentrációjának meghatározása, a tárolás megkezdésétől egy adott időponthoz (ált. 10 000 év). Ennek alapján megállapítható, hogy túllépheti-e a jövőben a bioszférában a radioaktivitás a megengedett dóziskorlátot. E számításokat már a telephelyjellemzés fázisában megkezdik. Ahogy az ismeretek bővülnek, egyre újabb biztonsági elemzések készülnek. Végül a kutatások befejezésével egy összesítő biztonsági elemzés készül. Ennek alapján dönthetnek az arra felhatalmazott hatóságok a tároló megépítéséről vagy elvetéséről.

Az összes eddigi biztonsági elemzési determinisztikus vagy sztochasztikus módszerrel készült. Az elmúlt két év során új matematikai módszerek alkalmazásával sikerült olyan, nemzetközileg is új metodikát kialakítani, amely alkalmas a hagyományos módszerek mellett elkerülhetetlen bizonytalanságok számszerűsítésére és csökkentésére (Bárdossy, Fodor 2001).

A nemzetközi gyakorlatban eddig leggyakrabban kiválasztott befogadó közetek a gránit, az agyagközetek, a vulkáni tufa és a kőso rétegek, ill. sódómok.

A Paksi Atomerőműben keletkező radioaktív hulladékok

A Paksi Atomerőműben normális üzemenet mellett évente 400–450 kiégett fűtőelemet cserélnek le. Ezek az 1997-ben üzembe helyezett átmeneti száraz tárolóba kerülnek, amely az atomerőmű mellett épült fel. A tárolónak hét működő modulja van, melyek mindegyike 450 kazettát képes befogadni. 2000-ben megkezdődött további négy modul építése. A létesítményt 50 év időtartamú tárolásra tervezték meg. Az atomerőmű bezárása és leszerelése során további 2000–2200 m³ nagy aktivitású leszerelési anyag elhelyezését kell biztosítani.

Az atomerőműben a szilárd halmazállapotú, fémhordókba tömörített kis és közepes aktivitású hulladéka főként szennyezett alkatrészek-

ből, szűrőkből és egyéni védőfelszerelésekből tevődik össze. Ezek éves mennyisége kb. 120 m³/év. A primerköri víz tisztítása során évente 200–250 m³ radioaktív iszap keletkezik, melyet az erőmű területén tartályokban tárolnak. Az erőmű teljes üzemideje alatt mintegy 20 000 m³ feldolgozott kis és közepes aktivitású hulladék keletkezik. Az erőmű leszerelése során kb. ugyanennyi, további kis és közepes aktivitású hulladék elhelyezéséről kell gondoskodni.

A hazai radioaktív hulladék elhelyezésének helyzete

Magyarországon az 1996-ban elfogadott Atomtörvény értelmében a radioaktív hulladékok elhelyezését, tárolását és a tárolók üzemeltetését a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Társaság (RHK Kht.) intézi.

A nagy aktivitású radioaktív hulladék elhelyezésére 1989-ben a Mecseki Ércbányászati Vállalat (MÉV) tett javaslatot. Az uránércbánya közelében található felső Perm korú Bodai Aleurit Formáció (BAF) megkutatását javasolták, igen kedvező tulajdonságai miatt. A bányából 1050 méter mélységben kutatóváगत hajtottak ki, amely 1994-ben el is érte a formációt. 1996 és 1998 között hároméves telephelyjellemzési program keretében számos földalatti fúrást és sokrétű mérést végeztek a vágatban. Sajnos az uránércbánya 1999-ben történt bezárása a vágat fenntartását nagyon költségessé tette, és ezért a felügyeletet gyakorló miniszter a kutatóváगत bezárását rendelte el. 2000-ben csak felszíni hidrológiai és geofizikai mérések folytak a helyszínen. Feldolgozták viszont az eddig előállított nagyszámú adatot korszerű matematikai módszerekkel. Jelenlegi ismereteink szerint a BAF nemcsak hazai viszonylatban, de nemzetközi összehasonlításban is az egyik legkedvezőbbnek tekinthető befogadó kőzet.

Sajnos a 2001–2002 évi költségvetési előirányzatról az Országgyűlés a Környezetvédelmi Bizottság módosító javaslatára a nagy aktivitású hulladékok elhelyezésére előirányzott teljes összeget törölte. Ez a döntés súlyos következményeket von maga után, hiszen a nagy aktivitású hulladék megnyugtató elhelyezése az Európai Unióhoz való csatlakozásunknak egyik előfeltétele. A hulladéktároló kutatása, nemzetközi tapasztalatok szerint, több évtize-

den át tartó folyamatos méréseket igényel, lehetőség szerint mélységi laboratóriumban. A döntés sürgős újragondolására lenne szükség, mert a nagy aktivitású hulladékok végleges elhelyezését nem lehet egyik évről a másikra megoldani.

A kis és közepes aktivitású hulladékok elhelyezése nemzetközi szinten szakmailag megoldott, problémamentes feladat. Sajnos hazai viszonylatban nem ez a helyzet. *Prisöpökszilágyon*, Budapesttől északkeletre, 1976 óta nem atomerőművi eredetű radioaktív hulladékokat befogadó felszíni tároló működik. Az ÁNTSZ Országos Tisztiorvosi Hivatala, a Magyar Geológiai Szolgálat (MGSZ) egyetértésével 2000. december 31-ig adott ki „meghosszabított” működési engedélyt, azzal a kikötéssel, hogy addig a telephelyről átfogó biztonsági elemzés készüljön. Ezt a biztonsági elemzést az ETV-Erőterv Rt. elkészítette, szakértői ellenőrzése most van folyamatban. Jóváhagyás esetén a tároló a nem atomerőművi radioaktív hulladék elhelyezését sok éven át biztosítani tudja, az eddigi 20–30 m³/év beszállítási ütem mellett.

A Paksi Atomerőmű kis és közepes aktivitású hulladékainak elhelyezése mindmáig megoldatlan probléma. A nyolcvanas években Magyaréregy, majd Ófalu térségében folyt kutatások eredménytelenül szakadtak félbe. Ennek okait e tanulmány korlátozott terjedelme miatt nem áll módomban ismertetni. 1992-ben az Országos Atomenergia Bizottság (OAB) kezdeményezésére Nemzeti Projekt indult a kis és közepes aktivitású hulladék elhelyezésének megoldására. Ennek keretében 1993–94-ben a Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI) irányításával országos felmérés készült a hulladékelhelyezésre alkalmas helyszínekről. Ennek alapján Pakstól nyugatra egy kb. 5000 km² kiterjedésű területet jelölték ki részletesebb felmérésre. Helyszíni kutatásokra csak ott került sor, ahol azzal a helyi önkormányzatok egyetértettek. Két felszíni helyszínt választottak ki *Udvari* és *Diósberény* közelében, valamint egy felszín alatti *Bátaapáti* közigazgatási területén, gránitban. 1997-ben az OAB döntése értelmében Bátaapáti (Üveghuta) térségében folytatódott a kutatások. 1997–1998-ban részletes telephelyjellemzés folyt, fúrásokkal, földtani és geofizikai mérésekkel. 1999-ben a MÁFI összefoglaló

jelentést készített a kutatás eredményeiről. Ennek alapján 2000-ben az ETV-Erőterv Rt. előzetes biztonsági elemzést dolgozott ki, melyben további kutatási feladatok elvégzését javasolták.

1999 tavaszán néhány szakember megkérdőjelezte az eddigi kutatások szakmai színvonalát és következtetéseit. Mivel a szakmai egyeztetések nem vezettek eredményre, az OAH felkérte a NAÜ-t a kutatási eredmények szakmai felülvizsgálatára. A neves nemzetközi szakemberekből álló WATRP Bizottság jelentésében igazolta a kutatások megfelelő szakmai színvonalát és az üveghutai telephelyet potenciálisan alkalmasnak tekintette; egyben a további tennivalókra is javaslatokat tett. E megállapításokat az MGSZ Dél-Dunántúli Területi Hivatala 1999-ben szintén megerősítette. Az RKH Kht. a további munkákra kutatási programot dolgozott ki, amit Szakértői Bizottsága 2000. október 18-i ülésén elfogadott.

Mint az előzőekben említettük, a 2001–2002. évi költségvetés tárgyalásakor a Környezetvédelmi Bizottság módosító javaslatára az Országgyűlés az e kutatásokra előirányzott összeg nagy részét törölte, sőt engedély hiányában az ezévi kutatás el sem indulhatott. A következők még a nagy aktivitású hulladékról elmondottaknál is súlyosabbak, hiszen az atomerőműben folyamatosan keletkező kis és közepes

aktivitású hulladékot valahol biztonságosan el kell helyezni! Erre pedig az atomerőmű területén levő ideiglenes tárolók nem alkalmasak, hiszen az erőmű nem végleges hulladékelhelyezésre épült. Megjegyzem, sehol a világon nincs működő atomerőmű területén végleges hulladéktároló.

Következtetések

- A radioaktív hulladékok végleges tárolókban való elhelyezése nemzetközi szinten tudományosan megalapozott és technikai szempontból is megoldott feladat. Az érintett hely lakosság és az élővilág számára kellő biztonságot nyújt.
- Az 1992-óta sikeresen folyó, nemzetközi szervezetek által ismételt ellenőrzött hazai kutatások 2001-re megtorpantak.
- A fosszilis energiahordozók (kőszén, földgáz, kőolaj) elégetésével nyert energia nemcsak jóval drágább a Paksi Atomerőműben előállítotttnál, de égéstermékével folyamatosan szennyezi a légkört és hozzájárul a kedvezőtlen globális klímaváltozásokhoz (Bárdossy 2001).
- A hazai radioaktív hulladékok elhelyezésének sürgős újraindítása nemzetközi ellenőrzés és a lakosság folyamatos és teljeskörű tájékoztatása mellett mind gazdasági, mind környezetvédelmi szempontból kiemelt fontosságú lenne.

IRODALOM:

Bárdossy Gy. 2001. *Globális energiafelhasználás és a klímaváltozások*. Magyar Tudomány 3. sz., 316–319.

Bárdossy Gy. – Fodor J. 2001. *New approaches for the evaluation of uncertainties in safety assessments of radioactive waste disposal*. Acta Geologica Hungarica. Vol. 43. No. 3.



Veres Árpád

A HOSSZÚ ÉLETŰ NUKLEÁRIS HULLADÉKOK ÁTALAKÍTÁSA ÉS HASZNOSÍTÁSA

A sugárveszélyes (radioaktív) hulladékok hazai elhelyezésének egyes kérdései már a mesterséges radioaktív izotópok első hazai felhasználását követően felvetődtek. Hazánkban akkor még főleg rövid (néhány órás, napos) felezési idejű*, kis intenzitású és kevésbé veszélyes radioizotópokat használtak az orvosi, biológiai és mezőgazdasági alkalmazásokban. Az ipari radiográfia forrásai pedig főleg a 75 napos ^{192}Ir és az 5,3 éves felezési idejű ^{60}Co 1-5 Ci (50–200 GBq) nagyságrendű zárt sugárforrások voltak. Országosan erősen növekedett a sugárzó izotópok felhasználása, s 1958-ban megépült a kutató atomreaktor. Ekkor már felvetődött a sugárzó, veszélyes hulladékok biztonságos elhelyezésének igénye. 1969-től kísérletek folytak a hazai radioaktív hulladékmennyiség csökkentésére: hamvasztással, a radioaktív szennyvizek tisztítására bepárlással. Előtanulmány jelent meg kis és közepes aktivitású hulladékok elhelyezéséről föld alatti geológiai képződményekben. A keletkezett rövid és közepes felezési idejű sugárzó hulladékok biztonságos elhelyezésére Solymáron elkészült egy földbe süllyesztett, zárt tartályokból álló, ideiglenes hulladékgyűjtő, majd Püspökszilágyon épült hosszabb tárolásra alkalmas, ma is működő izotóptároló.

A hazai atomerőművek tervezésekor – mivel a kiégett fűtőelemek visszavételére a külföldi beruházó kötelezettséget vállalt – a fűtőelem-hulladékok elhelyezésére csak rövid távú pihentető tárolók tervei készültek. A kiégett fűtőelemek visszavételére vállalt kötelezettségek kapcsán azonban a mindkét országban előállt teljesen új helyzet miatt nehézségek merültek fel. Napirendre került a kiégett fűtőelemkötegek hosszabb távú tárolásának kérdése.

Az atomerőművek villamosenergia-termelése következtében óriási mennyiségű veszélyes hulladék (kiégett fűtőelemköteg, igen aktív alkatrész stb.) keletkezik. Ha a világ villamosenergia-előállításában a mai szintnek megfelelő

részeseledést tételezünk fel, több mint 250 ezer tonna kiégett fűtőelem-hulladékkal kell számolni, ami tekintélyes mennyiségű hasadási terméket, továbbá másodlagos (minor) aktinidákat és 2000 tonnánál több plutóniumot tartalmaz.

A nagy aktivitású hulladékokkal kapcsolatos társadalmi ellenérzés a sugárzó anyagok stabil, vagy rövid felezési idejű izotóppokká történő átalakítására irányította a figyelmet, s ami a spallációs fizika újjáéledéséhez is elvezetett. Ezt a törekvést támasztja alá az is, hogy a spallációs sugárforrások fejlesztésére, a kölcsönhatások kísérleti, elméleti tanulmányozására, gyakorlati teljesítőképességének meghatározására irányuló tanulmányok, szakkikkek száma ezres nagyságrendű, így ezeknek még vázlatos ismertetésére sem gondolhatunk. A felmerült problémák egyes részleteinek megoldási igényei közül ismertetünk azonban néhány igen lényegesnek vélt feladatot, különös figyelmet szentelve a megvalósíthatóságban lényeges szerepet játszó atommagmodellek fejlesztésének, mérés technikák és a kísérleti berendezések terén elért újabb eredményeknek.

Egyik célunk tehát, hogy kevésbé veszélyes és lényegesen kevesebb nukleáris hulladék kezelésével járó megoldásokat találjunk (tóriumos energiaszorzó). A másik –lényegesen fontosabb – cél pedig olyan hulladékfeldolgozási technológiák kidolgozása, amelyekkel úgy szabadulhatunk meg a nukleáris hulladékoktól, hogy azok hosszú felezési idejű transzurán, hasadási termék és másodlagos aktinida komponensei rövid felezési idejű, vagy stabil izotóppá alakíthatóak át (transzmutáció), ami – mint majd látjuk – lényeges energiatermeléssel is járhat. A szerző szándéka pedig az, hogy a feladat nagyságán, fontosságán keresztül ráirányítsa a hazai figyelmet a következő évezred egyik nagy kihívására.

Tóriumos energiaszorzó

Carlo Rubbia Nobel-díjas fizikus, az MTA tiszteleti tagja, 1994-ben tartott akadémiai székfoglaló előadásában szólt a gyorsítókkal történő

* Felezési idő: amennyi idő alatt az anyagban levő sugárzó izotópok száma a felére csökken.

energiatermelés és a nukleáris hulladékok ártalmatlanítási lehetőségeiről. De az előadás fontos alapkérdése a ^{232}Th energiasokszorozó tulajdonságának felhasználhatóságával foglalkozott, amely a spallációs reakcióval hajtott tórium alapú szubkritikus rendszer működtetésén alapul. Rubbia a tóriumos energiasokszorozó előnyeit az alábbiakban fogalmazta meg:

- A rendszer szubkritikus, s így megszaladása kizárt, ezért szabályozására sincs szükség.
- A folyamat igen kis mértékben termel hosszú életű aktinidákat.
- Az energiasokszorozó a tórium teljes mennyiségét hasznosítja, így az urános erőműveknél lényegesen hosszabb távon oldhatja meg az emberiség energiaellátási gondjait.
- A gyorsító kikapcsolásával a rendszer leáll; ez biztonsági szempontból rendkívül nagy előny.
- A folyamat végterméke ^{235}U , és mivel az keményebb (400 keV) g-sugarakat bocsát ki, mint a ^{235}U (200 keV), illegális atombomba készítése nagyobb kockázattal jár.

Mit old meg Carlo Rubbia tóriumos energiasokszorozója? címmel Szatmári Zoltán elemezte a Rubbia által javasolt energiasokszorozó előnyeit és hátrányait, s így azzal szemben különböző aggályokat is megfogalmazott. Az eljárás egyik nagy előnye (amellyel minden uránreaktoros megoldást felülmúl), hogy reprocesszálás nélküli fűtőelemes rendszer. Szatmári végkövetkeztetése az, hogy az energiasokszorozó még alapos vizsgálatra szorul, főleg reaktorfizikai szempontból.

A spallációs berendezések elve és helyzete

A spalláció 1950 óta ismert folyamata során a nagy energiára felgyorsított részecskék (proton, deuteron, hélium stb.) nehéz atomokkal (Pb, W, Bi, Hg stb.) összeütközve nagyszámú neutronot hozhatnak létre. Az első ütközés következtében a céltárgy atommagja erősen gerjesztődik és általában gyorsneutronok kibocsátásával adja le energiáját. A kezdeti szakaszban kibocsátott részecskék egy része még rendelkezhet elegendő energiával újabb spallációs reakciók létrejöttéhez, amelyek ismét neutronok kibocsátásával is járhatnak és tovább sokszorozhatják a keletkező neutronok számát. Így a GeV nagyságrendű energiatarományba felgyorsított

protonokkal, spallációs magreakció révén, eseményenként pl. egy volfrám targetban akár 30–40 neutron is keletkezhet, szemben a hasadási magreakcióval, amelyben a hasadásonkénti neutronok száma átlagban 2,5–2,9 közötti.

Az utóbbi két évtizedben igen változatos és nagy mennyiségű kísérletet végeztek az atommagok átalakítására protonokkal, pionokkal, hadronokkal, nehézionokkal és más atomi részecskékkel, valamint fotonokkal. A kölcsönhatási mechanizmusok elméleti értelmezésére (Gudima, Mashnik és Tonev 1983) kidolgozták a CEM (Cascade Exciton Model) kaszkád gerjesztési modellt, amelyet a 0,01–5 GeV energiájú nukleonokkal teszteltek is. Feltételezések szerint a reakció leginkább három fejlődési fokozattal jellemezhető. Az első állapotban az atommagok közötti kaszkádban a primer és szekunder részecskék újraszóródhatnak az atommag gerjesztődése, abszorpciója és/vagy emissziója következtében. A visszamaradó, még mindig gerjesztett atommag kiindulópontja lehet a második fázisnak, amelyben az atommagot részecske–lyuk egyensúlyi állapot előtti konfigurációk jellemzik. Ezt követi a gerjesztett atommag relaxációja, amely magában foglalhatja az egyensúly kialakulásának evaporációs állapotát.

A továbbiakban vázoljuk a spallációs folyamat alapelvét, főbb lépéseit, amelyek igen lényegesek a sikeres gyakorlati megvalósításhoz.

A gyorsítóval vezérelt atommag-átalakítás alapelve

Gyorsítóval hajtott rendszer (ADS: Accelerator-Driven System), amelyet gyakran hibrid rendszernek is neveznek és egy gyorsítóból és többnyire szubkritikus reaktorzónából áll. A részecskegyorsító szolgáltatja a GeV nagyságrendű energiájú, néhány száz mA intenzitású (többnyire protonokból álló) részecskenyalábot.

A *transzmutáció* (átalakítás) kifejezés egy, az atommagban lejátszódó folyamatot jelöl, melynek során az atommag magreakció, vagy radioaktív bomlás következtében átalakul. A fontosabb átalakítandó atommagok lehetnek minor aktinidák (pl. Np, Am és Cm). Fontos targetatommagok lehetnek még hosszú felezési idejű hasadási termékek is, mint például a ^{129}I és a ^{99}Tc . A spalláció és a hasadási reakció együtt hasznos hibrid megoldásokhoz is vezethet.

A szubkritikus reaktorban a proton-gyorsító által keltett neutronok tartják fenn a láncreakciót, mialatt a hulladék hosszú élettartamú izotópjai energiát termelve stabil vagy rövid életű izotópokká alakulnak át. A rendszer további előnye a hagyományos nukleáris erőművel szemben, hogy ez jóval biztonságosabb és többoldalú megoldási lehetőséget tartalmaz. A nagyfokú biztonság a rendszer szubkritikus voltából következik, hogy az ilyen gyorsítóval hajtott/vezérelt (ADS) rendszerekbe bevitelhető nagy mennyiségű plutónium vagy minoraktinida, anélkül, hogy a reaktort ellenőrizhetetlen „megfutási” veszélynek tennénk ki. Az ADS hibrid rendszer abban a tekintetben is sokkal rugalmasabb, mint a hagyományos atomreaktor, hogy a gyorsító intenzitásának változtatásával csökkenthetők a „mérgező” izotópok megnövekedésével járó káros következmények is. Hátránya viszont, hogy a rendszer még mindig eléggé bonyolult és egyes technológiai fejlesztések hiányosak, mint pl. egyes kiszolgáló egységek és a target közötti kapcsolatok hatását ellenőrző és regisztráló műszerek.

A nagy áramú és intenzitású részecskegyorsítók lehetővé tették új, intenzív, folytonos és impulzus üzemi spallációs neutronforrások létrehozását különböző spallációs magreakciókkal. Ezek a spallációs források számos tudományos és gyakorlati feladat vizsgálatára is jól felhasználhatók. Így például a nukleáris hulladék átalakításán kívül a szilárdtest, az anyag-tudományi és sok más kutatási területen is.

Újabb stratégiákat dolgoztak ki számos országban arra, hogy a hagyományos nukleáris energiatermelő technológiákat alapvetően különböző újabb eljárásokkal válthassák fel. Ezt elsősorban nagyenergiájú (GeV nagyságrendű), főleg proton részecskegyorsítók rohamos fejlődésére alapozták, amelyek alkalmassá váltak nagyintenzitású neutronforrások előállítására.

A gyorsítóval hajtott transzmutációs rendszerek alapvető egységei

Az egyik legfontosabb egység a protongyorsító. A Los Alamos Meson Physics Facility (LAMPF) 20 év fejlesztési munkája után alakította ki ATW berendezését (Bowman et al. 1992). A fejlesztés főbb eredménye: radiofrekvenciás kvadрупól használata a részecske gyorsításához. Az ATW

(Accelerator-driven Transmutation of Waste) berendezés 30 éves becsült időtartam figyelembevételével 1000 kg aktinida fűtőelem elégetését teszi lehetővé, 3000 MWt termikus energia/év előállításával. A beruházási költség: 2345 millió USD (gyorsító, target-tartály, kémiai üzem). Működési költségek: 414 millió USD/év, amit kompenzál a villamos energia eladásából származó 414 millió USD bevétel.

Három orosz intézet (Moszkva, Leningrád, Szarátov) által fejlesztett 1 GeV–100 mA lineáris protongyorsító (Kazaritsky et al. 1998) két párhuzamosan működő szubkritikus reaktor meghajtását végezheti. A rendszer 1200 kg/év nukleáris hulladék (800 kg atomfegyver minőségű plutónium és 400 kg minor aktinida) elégetésére alkalmas. A költségelemzések szerint a beruházás költsége: 6097 millió USD, 3 évenkénti működési költség 776 millió USD, ez egytizede a BN-800 típusú kritikus gyorsneutronos tesztraktor üzemeltetési költségének.

Megvalósítás alatt álló ADT projektek és tanulmányok

A gyorsítóval hajtott atommag-átalakítási rendszerek fejlesztésén és az elképzelések megvalósításán sokan munkálkodnak világszerte, így francia, japán, USA együttműködéssel a CERN-ben, valamint számos ország részvételével az OECD/NEA, IAEA, valamint EC keretében folyó nemzetközi programokban, de egyes országok saját programja illetve szűkebb együttműködések alapján is folynak vizsgálatok. A nemzeti és nemzetközi programok között nem lehet egyértelmű határvonalakat meghúzni. Ezért az alábbiakban egy önkényes országonkénti és nemzetközi program csoportosításban emelünk ki néhány – lényeges megvalósításra irányuló – kísérletet, amelyek között szintén vannak bizonyos átfedések, de mindezek ellenére egy általános helyzetkép kialakításához alapul szolgálhatnak.

- Amerikai Egyesült Államok. A nagyszámú és széles körű vizsgálatokból az e területen elsőként említésre méltó programok a BNL (Brookhaven National Laboratory) PHOENIX és a LANL (Los Alamos National Laboratory) ATW projektje. A PHOENIX gyorsítóval hajtott átalakító rendszer, amelynek minor aktinidákat oxid formában tartalmazó fűtőelem modul alegysége van.

- Anglia. A nukleáris hulladékok átalakítása terén Nagy-Britanniában nem terveztek nagyobb horderejű projekteket. Világszínvonalú spallációs neutronforrás (ISIS) üzemel a Rutherford-Appleton Laboratory-ban (Oxfordshire), 18 célberendezéssel, közöttük egy trícium előállítására szolgáló egységgel. Gyorsító hasznosíthatósági kutatás-fejlesztési tanulmányokat is folytatnak.

- Ausztria. Az osztrák kormány javasolta egy új pulzált nagy-fluxusú spallációs neutronforrás (AUSTRON) építését. Az eredeti terv célja az volt, hogy az új forrás paraméterei az ISIS 2 javított berendezésénél is jobbak legyenek. Ausztria is csatlakozott az ESS-hez (European Spallation Source), amelynek spallációs neutronforrása a terv szerint 2015-ben kezdi majd meg működését. De az Austron még egy újabb lépés a nagy spallációs neutronforrások létesítése sorában, s ehhez csatlakozási szándékát több, Ausztriával szomszédos ország, így hazánk is jelezte. A koncepció egy speciális gyorsító tervezésén alapul. A berendezés jelentős mértékben alkalmaz szabvány méretű egységeket, s így a létesítés költsége (1998-as árakon) 4,7 milliárd osztrák schilling, amelynek 1/3-át az osztrák kormány magára vállalta, egy további 1,1 milliárd schillingbe kerülő orvosi célt szolgáló gyűrű-egységgel. A megépítés befejezésének várható legközelebbi időpontja 2006.

- Belhorma. A MYRHA projekt keretében az 1966-os év végén indították el egy tanulmány elkészítését, gyorsítóval hajtott spallációs neutronforrás megépítéséről. A forrással szemben támasztott követelmény: A gyorsító-ciklotron egy 250 MeV energiájú, 2 mA-s protonnyaláb áramnak a 10 mA-ra emelését tegye lehetővé és a többcélú berendezés legyen alkalmas anyagkutatásra, radioizotóp (^{99}Mo) előállítására és nem utolsósorban transzmutációs tanulmányokra.

- Csehország. A gyorsítóval hajtott transzmutációs technológiák fejlesztésére indított programot az Atommagfizikai Intézet, Nukleáris Kutató Kft. és a Skoda Nukleáris Gépészeti Vállalat.

- Franciaország. A CEA francia projekt célkitűzése a szubkritikus AD rendszerek vizsgálata különösen az alábbi területeken: nagyintenzitású gyorsítók; módszerek, adatok és érvényességi tartományuk; target technológia; szubkritikus spallációs neutronforrás által vezérelt sokszorozó rendszerek; különböző alkalmazási mód-

szerek tanulmányozása. A program tartalmazza a szubkritikus rendszerek működését és a modellezési kódok megerősítését célzó vizsgálatokat. A CRNS, CEA és az ADF kutatóközpontok által létrehozott GEDEON Csoport koordinálja az említett területeken a kutatásokat.

- Japán. A Japán Atomenergiái Kutatóintézet (JAERI) tanulmányozta a gyorsítóval hajtott transzmutációs rendszerek és nagyintenzitású protongyorsítók fejlesztését a japán OMEGA program keretében (Takizuka, 1996). A transzmutációs berendezéseket a minor aktinidák hatásos elégetésére tervezték. Két (szilárd és sóoldatos) rendszert vizsgáltak.

- Dél-Korea. A Koreai Atomenergia Kutatóintézetben (KAERI) 1992 óta folytatnak transzmutációs tanulmányokat.

- Magyarország. Elsősorban a különböző nemzetközi összefogások keretében tervezett programokhoz történő csatlakozás tűnt számunkra megvalósíthatónak. Ezek keretében a nehézion ütközések és az egzotikus részecskék vizsgálatai szerepeltek nagyobb hangsúllyal. A transzmutáció tanulmányozása csupán egy-egy felvetődött javaslat megvalósíthatósági kritériumára vonatkozott (l. például Carlo Rubbia már említett akadémiai székfoglaló előadását). A nukleáris hulladékok spallációs átalakításának kérdésével a KFKI Atomenergia Kutatóintézetben, a BME Nukleáris Technikai Intézetben (Brolly és Sziebert, 2000) és a Kémiai Kutatóközpont Izotóp- és Felületkémiai Intézetében (Sáfár, 1997) foglalkoztak.

- Németország. Az utóbbi időben a német erőműi fűtőelemek feldolgozásában a gyorsítóval hajtott átalakítás terén voltak újabb kezdeményezések a KFA Jülich és a FZK Karlsruhe intézetekben. Számításokat végeztek az ADS kapacitások, termikus, illetve gyors kritikus rendszerek működése során keletkező nukleáris hulladék mennyiségének összevethetőségéről. A Münchener Műegyetemen egy elkülönített pályájú ciklotron (TRITON) létrehozását tervezték.

- Olaszország. Az ENEA projekt keretében (Applied Physics Department, Bologna) neutronfizikai, sugárbiztonsági, termohidraulikai és nyaláb-ablak vizsgálatokat folytatnak. Az intézet részt vett (Gabriel et al. 1997) a közepes energiájú fotonukleáris reakciók CEM (Cascade Exciton Model) és ICM (Intranuclear Cascade

Model) modellek összevetését és finomítását célzó amerikai–orosz együttműködésekben.

- Oroszország. Néhány kutatóintézet részfeladatokat végzett a transzmutációs program keretében (Kazaritsky et al. 1998). A gyorsítóval hajtott transzmutációs technológiák kiemelkedő paraméterűek. Az 1994-ben (Moszkvában) megalakult (ISTIC: International Science and Technology Center) nemzetközi központ keretében négy orosz intézet (ITEP, Moszkva; VNIPI-ET, Szentpétervár; VNIINM, Moszkva; VNIIEF, Szarov) részvételével, gyorsítóval hajtott nukleáris hulladék-feldolgozó rendszert hoztak létre, amely 1200 kg/év nukleáris fegyver minőségű plutónium és 400 kg minor aktinida elégetésére alkalmas. A keletkező hőt a reaktor működtetésére és energiatermelésre használják. A kockázati elemzések azt mutatták, hogy a target/tartály és más egységek kellő védelmet nyújtanak a radioaktív anyagok kiszabadulása ellen. Egy gyorsítóval hajtott transzmutációs üzem (két 100 MW-os erőmű és 1200 kg transzurán átalakítása) becsült beruházási költsége 6,1 milliárd USD, üzemeltetési költsége 776 millió USD/év.

- Svájc. A Paul Scherrer Institut-ban (PSI) az ATHENA kísérletben aktinida targeteket sugároztak be, az intézet ciklotronjának 0,6 GeV-os protonjaival (Wenger et al. 1995) és az így nyert adatokkal megvizsgálták a nagyenergiájú hasadási modell érvényességi tartományát. Tanulmányozták a transzmutáció hatékonyságát és a hozzá tartozó adatbázis és kódrendszer követelményeit. Nemzetközi együttműködésben az európai spallációs forráshoz (ESS) folyékony fémtarget egységet terveztek.

- Svédország. A spallációs kutatásokat végzők egy csoportja a Stockholmi Egyetem Sigbalm-Laboratoriumában és az Uppsalai Egyetemen kezdeményeztek és koordináltak egy programot (Gudowski, 1996) a gyorsítóval hajtott transzmutációs technológiák fejlesztésében kialakítandó nemzetközi együttműködésekre.

Nemzetközi programok

A CERN EA Project. Kidolgoztak egy koncepciót a tórium bázisra alapozott EA (Energy Amplifier) energiatermelésre. Az első demonstrációs kísérlet elvégzését szupravezető lineáris gyorsítóval tervezték. Az elképzelés tesztelésére terveztek egy kísérletet

Tizenkét (2 görög, 3 francia, 5 spanyol és 3 svájci) kutatóhely hatvanhat munkatársa vett részt az Arnould et al. (1999) közleményében leírt kísérleti munkálatokban és az eredmények értékelésében. Amerikai–orosz (Titarenko et al. 1998) együttműködésben vékony ^{209}Bi targetben tanulmányozták a keletkező radionuklidokat kísérleti és számítógépes szimulációs módszerrel a 130–1500 MeV energiatarományban. Ez volt az első olyan kísérlet, amelyben nem hasadó targetet használtak a gyorsítóval hajtott berendezésben. Az elsődleges tapasztalatok azt mutatták, hogy néha az elméleti hozamok két nagyságrenddel is eltérnek, ami arra enged következtetni, hogy alkalmazott kódokat is tovább kell fejleszteni. A francia–német együttműködés köréből megemlítjük a GANIL és Hahn–Meitner Intézet munkáit, amelyekben hadron-indukcióval spallációs neutronok keletkezését tanulmányozták vékony és vastag ólom és urán targetekben. Francia–holland együttműködésben (Konig et al. 1998) a nukleáris hulladékok átalakítására szolgáló gyorsítóval hajtott transzmutációs rendszerekre fellelhető adatok számítógépes feldolgozását, azok közül is elsősorban a neutron és proton könyvtári adatait és a 150 MeV alatti aktivációs adatokat gyűjtötték össze. Megállapították, hogy a szubkritikus rendszerekkel kapott transzmutációs és energiatermelési adatok fontossága növekszik. Egyetértés van kialakulóban az adatok tárolási formáiban és jelentős előrehaladás történt a kísérleti adatok összegyűjtése terén is.

Összefoglalás, feladatok, következtetések

Az eddigiek során elméleti és kísérleti erőfeszítésekkel elért eredményeken keresztül alkothattunk némi képet a nukleáris hulladékok ártalmatlanná tételére irányuló erőfeszítésekről, azok jelenlegi állásáról. Bemutattuk a világ különböző országaiban és nagy kutatóközpontjaiban kifejtett erőfeszítések jelentős részét, felhasználva a különböző nemzetközi rendezvények anyagait. A költségek és a berendezések méretei mutatják, hogy a jövő energiaellátása milyen óriási tudás és technológiai koncentrációt igényel.

Számos országban szisztematikus tanulmányokat és kísérleteket folytattak a gyorsítóval hajtott atommag átalakítása terén. A nukleáris hulladékok teljes mértékű megsemmisítése nem

megoldott, de a hosszú életű izotópok jelentős mértékű csökkentésére a módszer alkalmas. A lehetséges csökkentési tényezők, az alkalmazott eljárástól is függően, 10 és 100 között változtak. Sok tanulmány foglalkozott a gyorsneutronos rendszerekkel, amelyek a legtöbb izotóp esetében jó neutronhozamot szolgáltatnak kedvező hasadás/befogás viszonyok mellett. De még a termálneutronos rendszerek is érdekesek lehetnek mint a maradványok végső átalakítói.

A folyékony nehézfém hűtések (Pb vagy Pb/Bi – ólom/bizmut eutektikum: LBE) kémiai és termodinamikai sajátosságai alapján bizonyultak a legmegfelelőbbeknek a gyorsítóval hajtott rendszerekben. A fémolvadék keringtetése megfelelő hőmennyiséget biztosít az energia-termeléshez. Sem az ólom, sem az LBE nem lép reakcióba a levegővel vagy a párával, mint a gyors reaktoroknál használt nátrium fémolvadék. Azonban ezek nem a legalkalmasabbak spallációs targetnak. Kisegítő választási lehetőségként a szilárd volfrám target, vagy a folyékony higany target alkalmazása kínálkozik.

A gázhűtés lehetőségét még most vizsgálják.

Az eddigiekből és a keletkezett nukleáris hulladékok okozta környezeti veszélyek elhárításának igényéből világosan következik, hogy új technológiai eljárásokra van szükség a felmerülő energiaigények kielégítéséhez.

A gyorsítóval hajtott transzmutációs technológia kidolgozása a tudomány különböző interdiszciplináris területein (atommagfizika, nukleáris technológia, nagy- intenzitású és nagy-energiájú részecskegyorsítók, anyagtudomány, magkémia, nukleáris hulladék-feldolgozó technológiák stb.) kutatás-fejlesztési feladattá vált.

Ezek az ismeretek hasznosak lehetnének asztrofizikai tanulmányokhoz is, mivel a kozmi-

kus sugárzás részecskéi spallációs reakciónak is részesei lehetnek, s így bizonyos izotópok univerzumon belüli gyakoriságában is szerepet játszhatnak.

A fundamentális atommagfizika terén a következőket tekinthetjük a legsürgősebb feladatainknak:

- Új, javított és számítógépkódokkal megtervezett, a közepes energiatarományra (300 MeV-ig) terjedő részecske-kölcsönhatás atommag adatbázisán alapuló modellek szerkesztése;
- A gyorsítóval hajtott rendszerek (ADS) optimális rendszerfejlesztésének kutatása;
- Az optimálisan nagy intenzitású (erősáramú), rendkívül nagy megbízhatóságú és alacsony nyalábvesztésű gyorsítók fejlesztése;
- Spallációs neutron targetek kifejlesztése;
- A besugárzás okozta anyaghibák tanulmányozása, elméleti és számítógépes modellek fejlesztése;
- A nukleáris fűtőanyagciklusok új megközelítési módjainak keresése.

A jelenlegi helyzet értékeléseként megállapíthatjuk, hogy a transzmutációs módszer olyan fejlődési fokot ért el a nukleáris hulladékok átalakítása terén, amely – a jövőbeni óriási kutatási és technológiai fejlesztéseken keresztül – nagymértékben hozzájárul majd a sugárveszélyes hulladék mennyiségének igen tekintélyes mértékű csökkentéséhez. Egyik célom e munkával, hogy a fiatal, kezdő szakemberek némi támogatást kapjanak pályaválasztásukhoz, mivel a kis országok számára is akad megoldandó feladat. Világosan kell látnunk, hogy az emberiség energiagondjainak megoldása milyen nagy anyagi koncentrációkat igényel tőlünk a most kezdődő évezred elején.

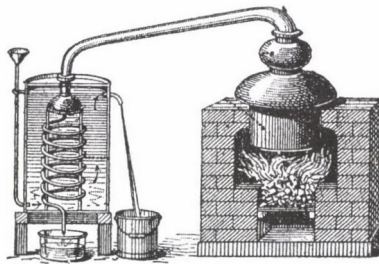
IRODALOM:

- Amould H., et al., Phys. Lett. B458, 167–80, (1999)
 Arthur E. D., Proc. Specialist Meeting on Accelerator-Driven Transm. Technology for Rad.-waste and Other Applications, Stockholm (1991)
 Bauer G. S., 2nd Int. Conf. on Accelerator Driven Transmutation Technologies, Kalmar, Svédország, 159, (1996)
 Bowman C. D., et al., Nucl. Instr. Meth. A320, 336, (1992)

- Brolly Áron, Szeiberth Máté, Fizikai Szemle, 50 (2), 44–49, (2000)
 Browne J. C., et al. 2nd Int. Conf. on Accelerator Driven Transmutation Technologies, Kalmar, Svédország, 101, (1996)
 Bryant Ph., et al., The Austron proposal, Europhysics News, 30(4), 100, (1999)
 Gabriel T., Maino G., Mashnik S. G., Proc. 12th International Seminar on High Energy Physics Problems, JINR, Dubna, 309–318, (1997)
 Gabriel T. A., Phys. Rev. 182, 1035, (1969)

Gudima K. K., Mashnik S.G., Tonev V. D., Nucl. Phys. A401, 329, (1983)
Gudowski W., Proc. Int. Workshop on Nuclear Methods for Transmutation of Nuclear Waste, Dubna, (1996)
Gudowski W., Nucl. Phys. A654, 436c-457c, (1999)
Kazaritsky V. D., et al., Nucl. Instr. Meth. A, 414, 21-27, (1998)
Koning A. J., Delaroche J. P., Bersillon O. Nucl. Instr. Meth. A, 414, 49-67, (1998)

Rubbia C. Fizikai Szemle, 44 (4), 130-136, (1994)
Sáfár J., Proc. 9th Int. Symp. Capture Gamma-Ray Spectroscopy, Budapest, 797-798 (1997)
Szatmári Zoltán, Fizikai Szemle, 44 (7), 293-300, (1994)
Takizuka T., JAERI- Conf. 99-003, 150-159, (1999), Submit. to Nucl. Instr. Meth. A
Titarenko Yu. E., et al.: Nucl. Instr. Meth. A414, 73-99, (1978)
Wenger H. U., et al., Proc. Workshop on Advanced Fuel Cycle, PSI, (1995)



Szabényi Imre

KÖRNYEZETKÁROSÍTÁS ÉS A VÉDEKEZÉS LEHETŐSÉGEI

Az energiatermelés világszerte és hazánkban is sok helyen károsítja a környezetet, a természetet. Ugyanakkor az életminőség javításának és a Föld lakossága növekedésének hatására egyre több energiára van szükség. Aggodalomra ad okot, hogy az energiatermeléssel járó szennyezés is katasztrófához vezethet már a 21. században. Ennek megítélésében azonban több bizonytalanság is van. Egyrészt a fejlődést nem ismerjük kellően, másrészt a várható hatásokat sem tudjuk pontosan kiszámítani. A közvélemény azonban joggal elvárja az energiaipar környezetkárosító hatásának mérséklését.

Természetesen az energia megmaradásának törvénye alapján nem lehet energiát termelni, legfeljebb átalakítani. Mégis energiatermelésnek nevezik a köznyelvben az elsődleges (primer) energiahordozók kitermelését, a bányászatát, továbbá a megfelelő másodlagos (szekunder) energiahordozókká való átalakításukat. Előbbire példa a szén, a kőolaj és a földgáz kitermelése, az utóbbira a villamos energia és a távhőtermelés.

Az üvegházhatással összefüggő globális éghajlatváltozás, annak veszélyei, okai, megelőzése, ebben a Föld országainak felelőssége, az intézkedések vállalása éles vitákat váltott ki, illetve vált ki. A fosszilis tüzelőanyagok felhasználásából származó szén-dioxid kibocsátás túlnyomó része, mintegy 97 %-a fosszilis tüzelőanyagok elégetéséből származik, és növekedése olyan rohamos, hogy míg 1860-ban 100 millió tonna, 1958-ban 2,3 milliárd tonna volt, ma már 6 milliárd tonna az évi széndioxid-kibocsátás. De nemcsak széndioxid-emisszió van, hanem – többek közt a növényvilág révén – széndioxid-elnyelés is, így az erdőtelepítés elősegíti a széndioxidnyelők kapacitásának növekedését.

Kérdés, hogy ha az elkövetkező évtizedekben a jelenlegi másfélszeresére, később kétszeresére növekszik az energiatermelés és döntő részese a hagyományos fosszilis tüzelőanyagok elégetéséből származna, akkor hova fog vezetni a széndioxid-kibocsátás hatása. Szakemberek vitáiból eddig megnyugtató meg-

oldást, prognózist még nem hallottam. Nemrég egy környezetvédelmi rendezvényen azt a választ kaptam, hogy nincsen megoldás, és a jelenlévő szakemberek közül senki sem cáfolta a választ. Ugyanakkor el kell ismernünk, az elmúlt három évtizedben teret nyert az a megközelítés, hogy a nagytérségű környezeti problémák feltárása, a szükséges teendők kidolgozása és eredményes végrehajtása csak hatékony nemzetközi összefogással valósítható meg. Nemzetközi erőfeszítések születtek a földi éghajlat különböző összetevőinek megfigyelését szolgáló eszközök, megfigyelőrendszerek fejlesztésére, az ezek által nyert adatok világméretű gyűjtésére, az éghajlat várható alakulásának becslésére. Az üvegházhatású gázoknak (széndioxid, metán, dinitrogén-oxid, fluorozott szénhidrogének, halonok, telítetlen freonok, illékony szerves vegyületek, hogy csak néhányat említsek) a légköri hőmérsékletet növelő és az óceánok, tengerek légkört hűtő hatásának együttes figyelembevételével alakíthatunk ki prognózist az éghajlatváltozásra.

Az energiatermelés várható növekedését és ennek káros hatásait nem szeretném túlértékelni, mert pozitív tervek és lépések is vannak az energiagazdálkodásban. Nagy jelentősége van az energiatakarékosságnak mind a termelés, mind a felhasználás terén. A lakosság azonban sokszor anyagi okok miatt nem tudja rövid időn belül háztartási gépeit energiatakarékos berendezésekre cserélni, és inkább fizeti a nagyobb energiaigényű készülékeinek használatából adódó viszonylag nagyobb energiaszámlát.

Jelentős eredményeket érhetünk el a környezetszennyezés csökkentése terén az energiatermelés hatásfokának növelésével. Például ha hazánkban kihasználják a távhő adta lehetőségeket a kapcsolt energiatermelésre, akkor a magyarországi erőművek jelenlegi 39 %-os energiaátalakítási hatásfoka a jövőben 44 % fölé növekedhet. Egyúttal jelentősen mérséklődhet az erőműrendszer károsanyag-kibocsátása, sőt a széndioxid-emisszió is. A magyarországi erőművek jelenlegi, több mint 22 Mtonna éves

széndioxid-kibocsátása egy évtized alatt akár 20 %-kal is csökkenhet, a nagyobb termelés ellenére is.

Reményt keltő, hogy a hazai környezetvédelmi előírások szigorításával (részben kapcsolatban az Európai Unióhoz történő csatlakozásunk jogharmonizációs munkálataival), a szennyező kibocsátások betartása esetén csökkenni fog az energiaszektorból kikerülő káros kibocsátás mennyisége. A közelmúltban, 2001. február 14-én megjelent 21/2001-es kormányrendelet a levegő védelmével kapcsolatos szabályozásról már ilyen szemléletű. Magyarországon 1973-tól kezdve az előírások bírságokkal igyekeztek kikényszeríteni az erőműveknél is a károsanyag-emisszió csökkentését, illetve bizonyos határértékeken belül tartását. A környezetpolitika azonban általában nem tette lehetővé a szennyező gyárak, üzemek leállítását. Fizették a vállalatok a bírságot, amely időközben növekedett, volt olyan szénerőmű, amely 300 millió forint bírságot fizetett egy évben, de tovább működhetett. Ez a bírságolási rendszer annyiban megszűnik, hogy például ha az erőmű 2004. december 31-ig nem tudja megoldani és betartani – elsősorban beruházási tőke hiánya miatt – a károsanyag-kibocsátás előírt határértékeit, akkor leállítják. A nagymérvű szennyezésre példa az az erőművünk, ahol nagy kéntartalmú hazai szén eltüzelésével állítottak elő villamos áramot, és mivel füstgáz-kéntelenítőt nem rendelkezik, ezért előfordult, hogy több mint tízezer mg kéndioxidot bocsátottak ki köbméterenként, amikor a megengedett érték 400 mg. Ezért egy átmeneti türelmi idő eltelte után előreláthatólag leállítják az erőművet. Kétségtelen, hogy egy füstgáz-kéntelenítő létesítése igen költséges. A Mátrai Erőmű Rt. 2000 őszén üzembe helyezett egy kéntelenítőt, amelynek beruházási költsége több mint tízmilliárd forint volt és működtetésével a villamos áram önköltsége is nőtt. A beruházás környezetvédelmi szempontból jelentős hazánkban, de önmagában ettől a beruházástól nem termel több áramot a cég.

A megelőzés és csökkentés lehetőségei

A környezet károsítása az energiaszektorban függ a felhasznált energiaforrásoktól, a tüzelés módjától, az erőművekben alkalmazott technológiáktól, a tisztító berendezések meglététől,

hatásfokától és érinti nemcsak a levegő tisztaságának védelmét, hanem a víz-, a talaj-, a zaj- és a rezgésvédelmet, sőt a hulladékok elhelyezését is. Nagyon fontosak a szennyezők által okozott életteni hatások, az egészségkárosodás megelőzése, nem elhanyagolhatók a kockázatszámítások, a gazdasági hatások és eredményeinek értékelése sem.

A felsorolt témakörökből csak hárommal foglalkozom: az energiaforrások és technológiák megválasztása, a levegőszennyezés megelőzése és a levegő tisztítása, valamint a vízgazdálkodás és a talajvédelem kérdése.

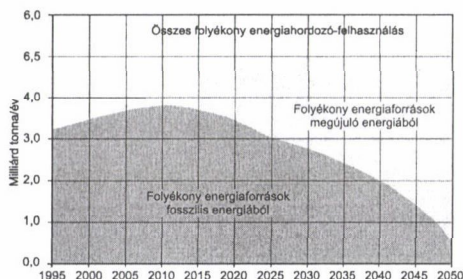
Fűtőanyagok megválasztása, hagyományos és megújuló energiaforrások

A hagyományos fosszilis energiahordozók: az ásványi szenek, a kőolaj, a földgáz, s bizonyos mértékben a tűzifa. A megújuló energiaforrások: a víz-, a szél-, a nap-, a geotermális energia, a biomassa (a biodízzellel együtt), az árapály. Itt említem meg a hőszivattyút is, bár a szakemberek egy része ezt vitatja, mert szerintük a hőszivattyú nem előállítja, hanem csak kiszivattyúzza a meglévő energiát a természetből.

A hagyományos fosszilis energiahordozók közül a lignit, a barnaszén és a fekete kőszén változó kén- és hamutartalmú, a kőolajok is különböző kéntartalmúak, amelyeknek elégetése során kén-dioxid és kén-trioxid keletkezik. Ezért nagy kis kéntartalmú szenet égetünk el, vagy ha nagy kéntartalmút tüzelünk, nemegyszer a kéntartalom a 3–4 %-ot is eléri (ekkor füstgáz-kéntelenítőt kell építeni). A kőolajból desztillációval előállított fűtőolaj, illetve nehézfűtőolaj kéntartalma a 2–3 %-ot is elérheti, amelynek elégetése szintén megköveteli füstgáz-kéntelenítő beépítését. A földgáz, amelyet hazánkban elégetnek, gyakorlatilag kénmentes és a leginkább környezetbarát tüzelőanyag a többi fosszilis tüzelőanyaghoz viszonyítva. Ezért javulást hozhat, ha nehéz fűtőolaj helyett földgázbazisra állítjuk át az erőművet.

A megújuló energiaforrásokra különös figyelmet fordít a ma embere. Hazánkban is alkalmaznak napenergiát, Inotán megépült egy szél-erőmű, vízerőművekkel is rendelkezünk, igen csekély mértékben. Régióta hasznosítjuk a geotermális energiát. Az 1. ábra az Európai Unió 1995-ös áramtermelésének megoszlását és a

2020-ban várható arányokat mutatja, amiből kitűnik az EU érdeklődése a megújuló energiaforrások hasznosítása iránt. A vízenergia is megújuló energiaforrás, és amikor az EU az összes megújuló energiatermelés arányát számolja az összenergia-termelés mennyiségéből, ebben a legnagyobb a vízenergia részaránya.



1. ábra

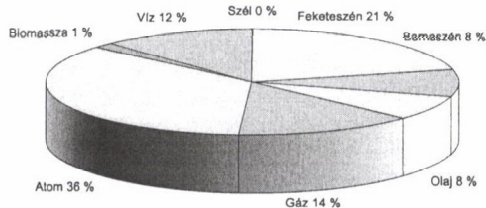
Hazánkban a megújuló energia termelése pontosan nehezen számítható, mintegy 2–3%-ra tehető. Ezt az arányt kétszeresére kívánják növelni az elkövetkező években. Látnunk kell azonban: bár fontos, hogy a megújuló energiaforrásokból növekedjen az energiatermelés, a beruházási költségekre, valamint a termelt villamos áram egységárára oda kell figyelniük (1. táblázat). Az előzetes tájékoztató adatok a 2000–2010 közötti időszakra vonatkoznak, a 2000. évi bázison. A biomassza fokozottabb felhasználása hazánkban szintén támogatott program. A biomassza szénhidrogén alapanyagú növényi anyag, amely a Nap sugárzó energiáját és az atmoszféra CO₂ tartalmát felhasználva épül fel, így a biomasszában is a napenergia van jelen, tárolt formában. Elégetésekor ugyan szén-dioxid szabadul fel, de mennyisége a keletkezéskor elnyelt mennyiséggel egyezik, így a környezet széndioxid-tartalmát nem növeli.

Külön kell említeni a most induló biodízel-programot. Ismeretes, hogy a hagyományos dízelmotor átalakítás nélkül üzemeltethető növényolaj metilészterrel. Ökodízelnak is hívják, ami környezetbarát jellegére utal. Nálunk a repceolajból előállított biodízel gyártása valószínű.

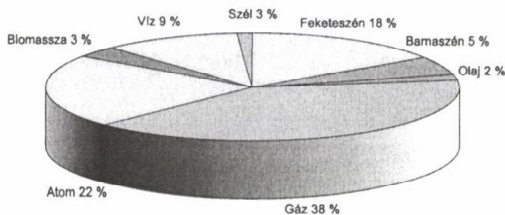
Nemzetközi kitekintésben a 2. ábrán bemutatott a túlzottan optimistának és meghökentetőnek tűnő diagramot, amelyet Joosten Connemann közölt *Biodiesel in Europa* című

cikkében. Közlése, amely a folyékony energiahordozó összes felhasználását mutatja be az 1995-től 2050-ig terjedő időben, tartva a Föld kölcalkészleteinek kimerülésétől, azt prognosztizálja, hogy 2050-ben a mintegy 5 milliárd tonna/év összes folyékony energiahordozó 80%-a megújuló energiaforrásból fog származni.

EU áramtermelés • 1995



EU áramtermelés • 2020



2. ábra

Az energiatermelésre természetesen az atomerőműveket is választhatjuk és választottuk is. Ezzel olyan energiatermelést folytathatunk, ahol gyakorlatilag légszennyező anyag, sőt szén-dioxid sem jut az atmoszférába, az elfolyó víz hőterheléséből adódó esetleges káros hatások kiküszöbölése megoldott. Az erőmű kockázata megfelelő, biztonságos szabályozórendszerrel, és a nukleáris hulladékok biztonságos elhelyezése megoldható. A hely kijelölését azonban időben kell elvégezni.

A levegőszennyezés megelőzése és a levegő tisztítása

A hőerőművekből és a közlekedésből származó legfontosabb szennyezők az SO_x, NO_x és a porszennyezés. E téren hazánkban jelentős eredményeket értünk el elsősorban a kőolajfeldolgozó iparnak köszönhetően. Lényegesen csökkent a motorhajtóanyagok kéntartalma, és ma már csak ólmozatlan benzint adnak el a

töltőállomások. A közlekedésből származó jelentős NO_x -szennyezés a katalizátoros gépkocsik számának, arányának növelésével kedvező értékeket ért el. Erőműveink jelentősen csökkentették a porszennyezést az elmúlt években. Sajnos az erőművi kén-dioxid kibocsátás terén nem dicsekedhetünk eredményekkel, kivéve a Mátrai Erőmű Rt.-t, amelynek füstgáz-kéntelenítője 2000 óra óta működik. A füstgáztisztításra számos mechanikai és kémiai technológiai eljárás ismert világszerte. Ezek különböző hatásokkal működnek és eltérő beruházási és üzemeltetési költségeket igényelnek. A kéntelenítő eljárások egy része csak a levegőbe jutó kén-dioxidot, kén-trioxidot csökkenti, míg a technológiák másik része nemcsak kéntelenít, hanem hasznosítja is a ként gipszként, elemi kénként, sőt kénsavat és műtrágyákat előállító eljárások is ismertek a füstgáz kéntelenítése terén. Bár mely technológiát választják, elengedhetetlen, hogy nemcsak a kéntelenítési határfokot, az eljárással elért emisszió értékét, hanem a beru-

házási és üzemeltetési költségeket, a melléktermékek keletkezését, hasznosíthatóságát, elhelyezését is vizsgálják.

Vízgazdálkodás, talajvédelem

Az erőművek működtetésénél fontos szempont a nagy mennyiségű vízzel való gazdálkodás. A vízkezelés fontos technológiai művelet. Nagy gondot kell fordítani a vízminőség kérdéseire és ügyelni kell, hogy az elhasznált víz hőtartalma ne legyen káros a befogadó víz élővilágára.

Környezetvédelmi szempontból nem elhanyagolható kérdés a salakpernye kezelése és elhelyezése. Fontos, hogy a hígzagys technológiát a sűrűzagys technológia váltsa fel, amely nemcsak jelentős vízmeztakarítással jár, hanem a talajvédelmet is szolgálja a zagyelhelyezés terén. A sűrűzagys technológia előnye, hogy kisebb helyen elfér, a vízáteresztő képesség a talaj felé kisebb lesz, ezáltal a talajvízszennyezés fenyegetettség csökken, a salakpernye-kezeléshez kevesebb víz kell.

1. táblázat • Milyen „megújuló erőművek épülhetnének Magyarországon? (előzetes tájékoztató adatok a 2000-2010 közötti időszakra, 2000. évi bázisáron)

	Nagyság, változat	Telj.	Energia	Fajlagos	Beruházás	Egységár	Megjegyzés
		MW	GWh/év	USD/kW	Mrd. Ft	Ft/kWh	
Nap	napelem	4x0,05=0,2	0,4	8000	0,4	200	fotovillamos
	termikus	1x5=5	10	4000	5	100	vályús
Szél	kicsi	5x0,1=0,5	0,5	3000	0,4	160	soklapátos
	nagy	3x0,5=1,5	1,5	1500	0,6	80	háromlapátos
Biomassza	fa	2x5=10	70	4000	11	32	faapríték
	szalma	1x20=20	140	3000	17	25	energianövény
Geotermális	kicsi	1x2=2	15	7000	4	32	Nagyszénás
	nagy	1x65=65	500	2500	45	18	Fábiánsebes
Összesen	minimum	12-13	85-90	5000	15-16	34	1 %
	maximum	90-95	640-660	2700	65-70	21	2,5 %

Tájékoztatóként: Atomerőmű kb. 2000 USD/kW kb. 12 Ft/kWh
 Ligniterőmű kb. 1500 USD/kW kb. 10 Ft/kWh
 Szénerőmű kb. 1000 USD/kW kb. 8 Ft/kWh
 Gázerőmű kb. 500 USD/kW kb. 6 Ft/kWh

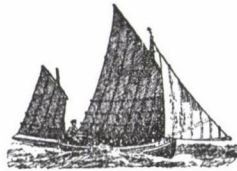
Összefoglalás

Megállapítható, hogy az energiatermelésből származó szennyezés és környezetvédelem témakörben kialakult helyzet ellentmondásos, mert lehet ugyan ellenezni a fosszilis tüzelőanyagok elégetését, a nukleáris energia termelését, a vízenergia-hasznosítást, illetve ezek fejlesztését, de ezek helyettesítésük más forrásokból rövid távon és teljesen nem megoldható.

Ez nem jelenti azt, hogy ne törekedjünk a megújuló energiaforrásokból származó energiamentiség arányának növelésére. Örvendetes viszont, hogy az emberiség, köztük az energiaipar szakemberei mára felismerték, hogy a természet megóvásáért többet kell tenni. Az egyes régiók, országok álláspontja, érdekei ma még eltérőek, de reméljük, hogy a jövő iránti felelősségük tudatában megtalálják a megoldást.

IRODALOM:

- Civin V., Kaszánné T. É., Szabó J., Galli M., Zsuga E.: *Környezetközpontú irányítási rendszer bevezetése az MVM-Rt.-ben*. A Magyar Villamos Művek Közleményei 37, 4. sz., 41. o. (2000)
- Conneman J.: *Biodiesel in Europa – Der alternative Kraftstoff*, FAME. Az Union Zur Förderung von Oel-und Protein-pflanzen E.V. (UFOP) 10. évére megjelent jubileumi kiadvány, 24. o. (2000)
- Faragó T. (szerk): *Az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése: Kiotói jegyzőkönyv az ENSZ éghajlatváltozási keretegyezményéhez és a hazai feladatok*. Fenntartható Fejlődés Bizottság Budapest, 1998.
- Homola V.: *Felépült az ország első szélerőműve*. Mérnök Újság 8, 2. sz., 7. o. (2001)
- Imre L.: *A fotovillamos energetikai ipar növekedése*. Magyar Energetika 8, 1. sz., 19. o. (2000)
- Marx Gy.: *Energia holnap*. Elektrotechnika, 91, 11. sz., 443. o. (1998)
- Regösné Knoska J.: *Füstgázkéntelenítési folyamatok összehasonlítása*. OMIKK Környezetvédelem 2001, 5–6. sz., 22. o.
- Stróbl A.: *A kilencvenes évek erőműépítési terveiről*. Magyar Energetika 8, 1. sz., 23. o. (2000)
- Stróbl A.: *A megújuló energiaforrások szerepe a nyugat-európai villamosenergia-termelésben*. Előadás a MTESZ Megújuló Energiaforrások elnöki bizottság 2000. júliusi ülésén
- Stróbl A.: *Az energiatermelés dinamikája és a globális változások*. OMIKK, Budapest 2001.
- Ürge-Vorsatz D., Szlávik J., Pálvölgyi T., Füle M.: *Fenntartható energiagazdálkodás és környezetvédelem. Az energiahatékonyság javításának és az üvegházhatású gázok kibocsátáscsökkentésének gazdasági feltételei Magyarországon*. BME, Budapest, 2000.
- Vajda Gy.: *Energetika és fenntartható fejlődés*. Természet Világa. Természettudományi Közlöny, 132, 8. sz., 340. o. (2001)



Gazdasági összetevők és társadalmi hatások

Czelnai Rudolf

KORASOFF HERCEG ÖTVENHÁROM LEVELE

– avagy: a „klímavédelem” körtánca az idők dallamára –

*„De hiszen már a tizenötödik förtelmesség-
get másolom!... eszmélt fel (Julien) egyeste.”*

(Stendhal: Vörös és fekete)

A Mauna Loa (Hawaii) állomáson 1957-ben indult meg a légköri széndioxid-koncentráció nagy pontosságú, folyamatos mérése. 1990-ben Robert M. White erről ezt írta: *Ez a jelen század (20. sz.), sőt talán minden idők legfontosabb geofizikai mérési sorozata. E mérések néhány év alatt bebizonyították, hogy a légköri széndioxid-koncentráció folyamatosan emelkedik.*

Amíg ez ki nem derült, az ember okozta éghajlatváltozás kockázatát nem kellett komolyan venni. A szakemberek nagy többsége nem is tekintette másnak, mint elméleti spekulációnak. Onnantól kezdve viszont konkrét veszélyé vált. Ennek tudomásul vétele nyomán, körülbelül a 70-es évek elején született meg az elhatározás, miszerint széles körben fel kell hívni a közfigyelmet arra, hogy az emberi kultúra és a természeti környezet (pontosabban annak megszakított állapota) veszélybe kerülhet, és ennek mi magunk lehetünk az okozói.

Közben elrepült kb. három évtized, és sokminden történt. Egyes dolgok, melyek akkor világosnak tűntek, ma már nem egészen világosak, ugyanakkor tudásunk sok mindennel bővült, és persze számos új kérdés merült fel, aminek következtében nem csökkent, hanem nőtt azoknak a kérdéseknek a száma, amelyekre nem tudunk válaszolni.

Az ENSZ égisze alatt létrejött egy impozáns nemzetközi egyeztető mechanizmus, mely az éghajlati veszély elhárítására kapott mandátumot. Világkonferenciák zajlottak le a világ különböző egzotikus pontjain, és papírhegyek születtek, miközben sokakban az a benyomás alakult ki, hogy itt csak egy színjáték folyik, és az egész nemzetközi „klímavédelmi gépezet” nemcsak nem teljesíti, de nem is tudja teljesíteni

a feladatát. Mások azt kérdezik: mi a fene történik itt? Erre azt válaszolom: ami történik, nem annyira értelmetlen, mint amilyennek látszik, csak éppen minden más, mint aminek látszik.

Az éghajlatváltozás kockázata

A probléma tudományos része a laikus közönség és a politikusok számára ma valószínűleg sokkal világosabbnak tűnik, mint a témával foglalkozó meteorológus és fizikai oceanográfus kutatók számára. Ugyanis e téma áttekintése hasonló feladat az angol nyelv elsajátításához: bizonyos szintig könnyű eljutni, majd egyre meredekebb az út, azután pedig már nincs is út, csak egy megmászhatatlan sziklafal.

Az üvegházhatás fizikai mechanizmusa nagyon régóta ismert és tisztázott dolog, és (némi vulgarizálás árán) nagyon könnyű megérteni a lényegét. A légkörben előfordulnak olyan gázok (vízgőz, széndioxid, metán, di-nitrogén-oxidok, halogénezett szénhidrogének, ózon stb.), melyek a Nap rövidhullámú sugarait beengedik, a földi és légköri eredetű hosszuhullámú sugarakat viszont elnyelik. Ennek köszönhető, hogy a troposzféra alsó részére vonatkozó globális átlaghőmérséklet jelenleg is kb. 33 °C-kal magasabb, mint különben volna; más szóval ennek köszönhető, hogy a Föld egyáltalán lakható, sőt helyenként egészen kellemes is.

Tudjuk továbbá, hogy az üvegházhatású gázok légköri koncentrációinak növekedése biztosan melegedést váltana ki a troposzféra alsó részében, ha (!) az éghajlat alakításában szerepet játszó egyéb feltételek közben változatlanok maradnának. De itt véget is ér az, amit egészen biztosan tudunk. A gondot az itt említett *egyéb feltételek* jelentik, melyek számosak, és egymással komplikált módon összefüggenek.

Amint ugyanis az üvegházhatás okozta melegedés megindul, ez azonnal más változások sorát vonhatja maga után. Ezek az általános

légkörzést és az óceáni vízkörzést egyaránt érinthetik. Már eddig is több olyan folyamatot sikerült azonosítani, amelyek akár visszájára is fordíthatják egy kezdeti melegedés folyamatát.

Ilyen pl. az ún. *vízgőz-visszacsatolás*. A vízgőzről tudni kell, hogy a légköri sugárzások forgalmában ugyanolyan szerepet játszik, mint a többi üvegházhatású gáz. Ebből a szempontból köztük is tartozik, bár nem mindig szoktuk közöttük felsorolni: egymaga felelős a teljes légköri üvegházhatás feléért. (A széndioxid közelítőleg a hatás másik felének felét okozza, a metán, dinitrogénoxid, halogénezett szénhidrogének és a többiek pedig együttesen osztoznak a megmaradó negyedrészen.)

Míg azonban a széndioxid, metán stb. légköri koncentrációja az emberi tevékenység hatására növekszik, a légkör vízgőztartalma globális átlagban közelítőleg ugyanaz marad, vagy legalábbis ez eddig így szokott lenni. Számolnunk kell viszont azzal, hogy a troposzféra alsó része a melegedés következtében több vízgőzt tud felvenni. Ez két dologra vezethet. Az egyik az, hogy még jobban nő az üvegházhatás és még erősebb lesz a felmelegedés. De előfordulhat az is, hogy a többlet vízgőz nagy része alacsony szintű felhővé alakul. Ezek nagy optikai sűrűségű felhők, melyek nagyon hatékonyan verik vissza a Nap beérkező sugarait a világűr felé. Ha globális összmenyiségük megnő, akkor a napsugárzás kisebb hányada jut le a Föld felszínére, ami az éghajlat lehűlése irányába hat. Tehát egyrésztől bekövetkezhet egy melegítő hatás, másrésztől pedig bekövetkezhet egy hűtő hatás. Nehéz teljes alaposítással tisztázni, milyen körülmények döntik el, hogy melyik hatás lesz a nagyobb.

A légköri és óceáni cirkulációs rendszer együttese a konyha, ahol a klímát főzik. Ezért a legjobb helyen kereskedünk, ha azt kérdezzük, hogy egy meginduló kezdeti melegedés milyen folyamatokat indíthat el a légkör és az óceán kölcsönhatásaiban. Ez az egyik oka annak, hogy a jelenlegi kutatások súlypontja az ilyen típusú kérdésekre toldott át. A másik ok technikai. Pár éve még nagyrészt hiányoztak az eszközök a világóceán fizikai folyamatainak pontos és nagy térségre kiterjedő megfigyelésére. Az utóbbi években az új oceanográfiai műholdak és ún. *autonóm szondák* új lehetőségeket terem-

tettek. Az éghajlatváltozások mechanizmusainak kutatásában most valóban számítani lehet egy szerény fronttörésre. Itt valózini szeretném, milyen kérdésekre keressük a választ.

A világóceán össztömege kb. 300-szor nagyobb, mint a légköré. Viszont a légköri mozgások nagyságrendekkel gyorsabbak: az ún. szubtrópusi jet övezetében egy légbuborék 14 nap alatt megkerülheti a Földet, míg az óceánvíz egy képzeletbeli cseppje átlagosan akár 1000 évig utazik körbe a *Nagy Óceáni Szállítószalag*¹ mentén. Az első kérdés az, hogy az a hatalmas különbség, mely a légköri és óceáni mozgások sebességében mutatkozik, milyen szerepet játszhat az éghajlat alakításában?

A légkör és óceán együttesében zajló folyamatokat úgy foghatjuk fel, mint egy hatalmas hőerőgépet működését. E működéshez az energiát a Nap szolgáltatja, a szeszélyes hajtómű szerepét az általános légkörzés tölti be, és az óceáni vízkörzés a lendítőkerék, mely arra szolgál, hogy a gépezet lehetőleg minél simábban fusson.

A hajtóművet (az általános légkörzést) az alacsonyabb és magasabb földrajzi szélességekre jutó napsugárzás különbsége hajtja. A működésbe hozott áramlási rendszer alapvető funkciója az, hogy ezt a különbséget minél jobban csökkentse, vagyis minél több hőt szállítson az alacsonyabb szélességekről a magasabbak felé. Ma már egészen jó becslésünk van arról, hogy a meridionális hőszállításnak kb. a felét végzi az általános légkörzés, a másik felerész viszont az óceáni vízkörzésre hárul. Eléggé meglepő, hogy globális átlagban a nagyon lassú vízkörzés kb. ugyanannyi hőt képes szállítani, mint a gyors légköri áramlások!

Egyes számítógépes modellkísérletek szerint a légköri meridionális hőszállítás mértékének bármilyen változására az óceáni vízkörzés egy ellenkező irányú változással reagálna (és ez megfordítva is igaznak látszik). Vagyis, ha a két rendszer közül az egyik elkezd kevesebb hőt szállítani, akkor az övezetek között a kontraszt növekszik (hisz csökken a kiegyenlítőedés), és erre reagálva a másik rendszer elkezd fokozni saját hőszállításának teljesítményét.

¹ Hatalmas diffúz áramkör, mely mindhárom óceáni medencén átível.

Nem mindegy azonban, hogy a meridionális hőszállításban az általános légkörzés és az óceáni vízkörzés hogyan osztozik. A légköri hőszállítás drámaibb folyamat, mint az óceáni, különösen a mérsékelt övben, ahol az energia szállítását a vándorló ciklonok bonyolítják le, mégpedig eléggé mozgalmas események (frontátvonulások, zivatarok, felhőszakadások, szélviharok) kíséretében. Ha az óceáni hőszállítás gyengül és a légköri erősödik, akkor az időjárás jellege feltehetőleg sokkal drámaibbá és szélsőségesebbé is válik.

Az alapvető dolog, amit minden idevágó kérdés felvetésekor előre kellene bocsátani az, hogy az általános légkörzés és az ahhoz fizikailag csatolt óceáni vízkörzés olyan rendszerek, melyek csak bizonyos meghatározott módokon tudnak működni. Csak olyan áramköri elrendezések lehetnek stabilak, melyek eleget tesznek egy sor fizikai mérlegfeltételnek. (Ezek elsősorban az energia, az impulzusnyomaték és a tömeg transzportjára vonatkoznak.) Ha a légkörzés és vízkörzés együttesének valamelyik részében valami változik, ennek kompenzálására azonnal más változások kezdődnek. Ezért „sima” éghajlatváltozás nem nagyon képzelhető el. Ha a légkör és óceán együttes „működésének” át kell váltania az egyik jól összehangolódott rezsimről egy másikra, akkor eltarthat egy ideig, amíg az átmeneti zavarok lecsillapodnak. Ebből következnek például, hogy éppen egy fokozatos globális melegedés bekövetkezése, melyről egy időben sokat beszéltek, a legkevésbé valószínű lehetőség.

Az éghajlatkutatók körében hosszú ideig uralkodó elképzelés az volt, hogy a világoceán éghajlatra gyakorolt hatása döntően a rendszert érő külső hatások késleltetéséből áll. Feltételezték például, hogy az óceán a globális melegedést hosszú ideig pufferozhatja. Ezt ma már sokkal bonyolultabbnak gondoljuk, de a késleltetés vitathatatlanul az egyik hatás, amellyel számolni kell, s például gondolni kell arra, hogy emiatt az üvegházhatás jelenlegi növekedése esetleg csak pár száz év múlva mutatkozik meg, amikor már nem lehet az egészet visszacsinálni.

A másik, újabban erősen vizsgált téma a légkör–óceán kölcsönhatások tágabb területén belül az ún. *oszcillátor-mechanizmusokkal* kapcsolatos. Ezt a témát a Csendes-óceán tró-

pusi övének El Niño–La Niña anomáliáihoz kapcsolódó vizsgálatok hozták fókuszpontba. Felmerült például egy ún. *észak-atlanti oszcillátorra* és egy ún. *arktikus oszcillátorra* vonatkozó hipotézis. Ezek vizsgálatától nemcsak azt lehet várni, hogy lényeges előrelépést tesznek lehetővé a féléves/éves éghajlati prognózisok készítése terén, hanem azt is, hogy esetleg betekintést adnak bizonyos éghajlatváltozással kapcsolatos mechanizmusokba.

Végül megemlítem W. Broecker oszcillátorhipotézisét² is, melyről az utóbbi években többször esett szó. Ennek lényege, hogy egy kezdeti éghajlat-melegedés (pl. melyet a növekvő üvegházhatás elindíthat) az Atlanti-óceán északi részében kiválthatja a tengeri jég fokozott mértékű olvadását, a jég olvadásakor kiszabaduló víz pedig felhíghatja a Nagy Óceáni Szállítószalag odaérkező sós vizét, és akkor ez a víz már nem lesz elég sűrű ahhoz, hogy a Grönland közelében fekvő koncentrált vízsüllyedési körzetben lesüllyedjen. Ez megakasztaná a Nagy Óceáni Szállítószalag jelenlegi zavartalan működését. Ettől az óceáni cirkulációs rendszer esetleg több helyen is átrendeződne, legfőképpen pedig a Golf-áram működése, jelenlegi formájában, megszűnne. Európa számára ez katasztrofális volna, mert az átlagos hőmérséklet akár 6–10 fokok csökkenése is bekövetkezhetne. A hipotézis szerint a lehűlés nyomán újra megindulna a sarki jégtakaró hízása, később a Golf-áram is újraindulna és kezdődne minden előlről.

Broecker hipotézise a fokozatos globális melegedés verziójával szemben egy radikális lehűléssel beinduló oszcilláció lehetőségét veti fel. Bizonyos paleoklimatológiai adatok szerint a holocént megelőző kb. százezer éves időszakban tipikusak voltak az ilyen szerű oszcillációk, de ismeretlen okból ezek kb. 11 ezer évvel ezelőtt abbamaradtak.

Bizonytalanság, sürgősség, fontosság?

Ez három stratégiai kérdés, melyekre nagyon jó lenne okos válaszokat kitalálni. Vegyük tehát őket sorra!

Az előző fejezetből remélhetőleg világosan kitűnt, hogy az éghajlatváltozás mechanizmu-

² Magyar Tudomány, 1997. 10. 1163–1176.

saira vonatkozó tudásunkban nagy bizonytalanság uralkodik. De nem árt, ha egy kicsit mélyebben is belenézünk abba, hogy miben vagyunk bizonytalanok. A tekintetben például semmi kétségünk nem lehet, hogy az emberi tevékenység – ha erre a jövőben nagyon tudatosan nem vigyázunk – előbb-utóbb oldalba tudja rúgni a globális éghajlat rendszerét. Erre megvannak, illetve biztosan meglesznek az eszközeink és a képességeink. De mi következik az oldalbarúgás után?

A dolgot úgy tekinthetjük, hogy hazardjátékba kezdtünk a Természet ellenében, és, ahogy lenni szokott, az ellenjátékos nem akar betekintést adni minden kártyájába. Ő is játszik, és sokféle trükkje lehet. Egy ló, ha oldalba rúgják, sokféleképpen reagálhat: rúghat, haraphat, ágaskodhat vagy félreugorhat. A legkevésbé valószínű, hogy nem csinál semmit, és lehet, hogy az a rossz jel, mert akkor később törleszt. A nagy Természet maga valószínűleg még rafináltabb, mint egy ló. A provokációra biztosan reagálni fog. De nem tudjuk pontosan előre jelezni, hogy hogyan és mikor fog reagálni. Ez a fajta bizonytalanság pedig nem ok arra, hogy a kockázatot ne vegyük komolyan.

Mennyire sürgős ez a probléma és mennyire fontos? Erről a kérdésről az jut eszembe, hogy volt régen egy kollégám a Meteorológiai Intézetben, akinek az asztalán két irattáca volt. Az egyikre ez volt írva: *Fontos, de nem sürgős*, a másikra pedig: *Sürgős, de nem fontos*. Minden beérkező iratot először az első tálcára tett és nem csinált vele semmit, majd, mikor sürgetni kezdték, akkor az iratot áttette a másik tálcára és továbbra se csinált semmit. Idővel minden ügy elvesztette aktualitását, tehát az eljárás végén következett a papírkosár.

Ezzel a példával azt akartam érzékeltetni, hogy a dolgok sürgősségét és fontosságát ki lehet játszani egymás ellenében. Az indokolatlan sürgetés oda vezet, hogy eleve csak olyan akció jöhet számításba az éghajlati kockázat elhárítására, melyet azonnal végre lehet hajtani, s nem az, amit igazán meg kellene tenni. Nagyon határozottan ki merem jelenteni, hogy az ember okozta éghajlatváltozás veszélyének elhárítása sokkal kevésbé sürgős, mint amennyire fontos. Legyünk alaposak!

Mi történik a klímavédelmi csúcstalálkozók világában?

Az *Élet és Irodalom* 2001. január 5-i számában *Mi történik itt?* címmel jelent meg Pálvölgyi Tamás cikke, melyben képet adott az 1992. évi riói környezet és fejlődés világkonferencia óta végbement nemzetközi folyamatról. Azért hivatkozom most erre a cikkre, mert a szerző nagyon jól foglalta össze azokat a gondolatokat és kérdéseket, melyek mindazok fejében felmerülnek, akik a klímavédelmi csúcstalálkozók eseményeit az utóbbi időben folyamatosan figyelemmel kísérték.

Egyik megállapítása pl. az volt, hogy a kiotoi jegyzőkönyv elfogadását követő három klímavédelmi csúcstalálkozó (Buenos Aires, Bonn, Hága) nem hozott eredményt a széndioxid emissziók korlátozására vonatkozó vállalások terén. Ami tökéletesen igaz. De azt a kérdést is fel lehetne tenni, hogy egyáltalán reálisak-e azok a törekvések, melyeknek ismételt kudarcait oly gyakran emlegetjük?

Az ENSZ égisze alatt kialakított „klímapolitika” (a nyilatkozatok szintjén) a riói „éghajlatváltozási keretegyezmény” célkitűzését vállalta, mely az üvegházhatású gázok légköri koncentrációjának stabilizálását írja elő, mégpedig „... olyan szinten, mely kizárja az éghajlati rendszer veszélyeztetését”. Pálvölgyi Tamás is megjegyezte, hogy a vállalások, melyek körül kitóban és azóta a viták folynak, eleve nem is lehetnek elegendőek a kitűzött (riói) cél eléréséhez.

A folyamat még gyengébb pontja az, hogy eddig szinte kizárólag a gazdag országok, mint az USA, Japán és az EU tagállamok (jelenlegi „fő kibocsátók”), huzakodtak egymás között a széndioxid-emissziók csökkentésének mértékén. Csakhogy a nem túl távoli jövő nagy kibocsátói majd a „fejlődő dél” országai közül kerülnek ki. Az tehát a kérdés, hogy merre tart Kína, India, Brazília, Indonézia és mondjuk Nigéria? Ha arra gondolunk, hogy a jövő század világának minden lakosa egy átlagos amerikaihoz hasonló körülmények között akar majd élni, rögtön azt kell kérdezzük: hogy lehet kielégíteni mondjuk a jelenleginél kétszer több ember, jelenleginél többszörösen magasabb szintű víz-, élelmiszer- és energiaigényeit, anélkül, hogy gyors ütemben tovább rontanánk és veszélyeztetnénk a globális környezet állapotát?

Pálvölgyi Tamás ugyancsak érintette az előző fejezetben tárgyalt bizonytalanság kérdését, megjegyezve, hogy: „Az 1992-es riói környezet és fejlődés világkonferencia egyik legnagyobb eredménye annak a széleskörű elismerése volt, hogy a döntéshozók a tudományos bizonytalanságra (azaz az elégséges ismeretek hiányára, illetve az előrejelzések pontatlanságára) hivatkozva nem odázhatnak el elengedhetetlen gazdasági és jogi intézkedéseket.”

Nos, én nem látok okot arra, hogy ezen az „eredményen” lelkendezzünk, mert úgy sejtem, hogy ez az állásfoglalás a világkonferencia részéről két okból is opportunizmust takar. Egyrészt úgy tudom, hogy az itt szereplő „elengedhetetlen gazdasági és jogi intézkedéseken” ők ott olyan lépéseket értettek (és ezt több helyen ki is fejtették), melyek a *különbösen sem ártanak* fejezet alá sorolhatók. Másrészt ennek az állásfoglalásnak ára volt az is, hogy a valóságtól eltérően sokkal kisebb bizonytalanságról beszéltek, mint amilyenről szerintem beszélni kellett volna. Jobb lett volna, ha a világkonferencia azt állapítja meg, hogy a globális éghajlat veszélyeztetettségét illetően abszolút semmi kétség nincs, és nem annak ellenére kell az elodázhatatlan intézkedéseket megtenni, hogy nem tudunk jó előrejelzést készíteni, hanem éppen azért, hiszen tudásunk bizonytalansága növeli a kockázatot és elhárításának fontosságát.

Az ENSZ-ről és szakosított intézményeiről, továbbá a programjairól sok mindent mondtak már az idők folyamán. Hogy sóhivatal, s hogy nincs igazán ereje ahhoz, hogy dolgokat véghezvigyen. Ugyanilyen, vagy hasonló dolgokat mondtak az ENSZ égisze alatt folyó klímavédelmi konferenciák folyamatáról is és az egész mechanizmusról, mely ehhez kapcsolódik. De ez így, ebben a formában nem igazságos.

Az ENSZ klímavédelmi programja ma már jelentős tényező a világban, s érdekes módon nem azért, amire képes (ez kevés), hanem sokkal inkább azért, amire nem képes. Ugyanis egy kulcspozícióba állított szervezet (vagy nevezük akárminek) már minden lépésével hatást gyakorolhat a világ sorsára és irányt adhat a dolgok folyásának. Ráadásul nemcsak azzal teheti ezt, amit meglép, hanem azzal is, amit nem lép meg. S míg egy pozitív döntéshez a többség egyetértése szükséges (ez ritka), addig

a passz bemondásához elegendő az egyetértés hiánya. Ezt pedig könnyű „megszerezni”. Ebben rejlik a komplementer lépések gyönyörűsége művészeté.

Koercitív utópisták és technológiai optimisták
Az ENSZ éghajlatpolitikáját két oldalról éri bírálat. Az egyik oldal túl soknak tartja, amit tesznek, a másik meg kevésnek. A teljes elutasítást az ún. *technológiai optimisták* képviselik, a keveslő elégedetlenséget pedig azok, akiket koercitív utópistáknak³ fogok nevezni.

Előbbiek azt hangoztatják, hogy a tudomány és technika eddig is sikert sikerre halmozott, diadalmenete töretlen és előbb-utóbb mindenre kínál megoldást. Ha különféle korlátozó egyezményekkel fékezzük a fejlődést, akkor – szerintük – éppen attól az eszköztől fosztjuk meg magunkat, mely egyedül segíthetne a csapdából való kimászásban.

A koercitív utópisták szerint globális katasztrófa felé tartunk, mert a világ népességének gyors növekedése kényszerítő erővel hajtja előre a folyamatokat, melyek veszélyeztetik a globális környezetet. Mivel a népességnövekedés lassításának ügyét a világ egyetlen jelentős politikusa sem kész felvállalni, barátaink elszántan próbálnak a fenntartható fejlődésre, pontosabban az éghajlati kockázat elhárítására és azon belül elsősorban a globális széndioxid-emisszió korlátozására radikális recepteket találni. Elképzeléseikben négy közelítés dominál:

- fokozott szigorúságú hatósági korlátozások,
- gazdasági fékező eszközök (speciális adók stb.),
- új etika (önkorlátozás etikája),
- áttérés tiszta, megújuló (nap-, szél-, víz-, bio-) energiára.

Itt az az érdekes, hogy először minden, amit a céljaikról mondanak nagyon szimpatikusan hangzik. Fellépnek a változások ellen? Mindnyájan velőnkig utáljuk a változásokat. Fellépnek a nukleáris energia ellen? Mindnyájan egyetértünk: rohadt atom nem kell! Fellépnek a globalizáció ellen? Nem is mondom (még, hogy a telekvásárlók?).

³ Koercitív = kényszerítő. A koercitív utópistákat mások néha malthusianus pesszimistáknak is nevezik.

De ezek után sajnos meg kell mondani, hogy akkor mi legyen? És mikor elmondják, hogy ezt hogyan képviselik el, akkor már el is veszettek minket. Mert kiderül, hogy bele akarnak szólni az életünkbe. Újabb hatósági korlátozások? Nincs máris túl sok belőle? Újabb adók? Röhej. Új etika? Ez így nem megy. Receptre nem lehet megjavulni. Csak a rutinton alapuló, észrevétlenül megszokott szabályok lehetnek elég erősek ahhoz, hogy gondolkodás nélkül tartasuk magunkat hozzájuk. (Ha elkezdünk a szabályoknál gondolkodni, akkor már baj van!)

A megújuló (általában tisztának is nevezett) energiák propagálása rém szimpatikus. Általában. De a konkrét felsorolás (szél-, nap-, víz- és bioenergia) már lohasztja a lelkesedést. Tíz dani szeretnénk pl., hogy ezek a „tisztá” energiák együttesen mekkora hányadát tudnák fedezni mondjuk 10 milliárd ember energiaigényének? Azt is tudni szeretnénk, hogy mennyire tiszták ezek a „tisztá” energiák? Például mi a helyzet a szélrotorok által keltett infrahangokkal? Hallottuk, hogy a tehenek az infrahangot nem szeretik. Lehet, hogy az ember jobban elviseli?

Továbbá itt van egy nagyon pikáns ellentmondás. Az utópisták (azt hiszem) ellenzik a globalizációt. Ugyanakkor a széndioxid-emissziókat ők tényleg nagyon szigorúan korlátozni akarják. Ehhez egy jól működő globális ellenőrző apparátus kell: egy „környezeti világhelyügyelet”. Ha azt akarják, hogy ez működjön, akkor azt is tudniuk kell, hogy ez csak egy töviről-hegyire globalizált világban lehetséges. Akkor most szeretjük a globalizációt, vagy nem szeretjük? Végül itt van az emissziós kvóták adásvétele, amely bizarr, mint a térszalagrend, amellet, hogy egy teljesen *globális* gondolat. Ezt most szeretjük, vagy nem szeretjük?

A technológiai optimisták pozíciója éppen ellenkező. Filozófiájukban egyetlen igazán gyenge pont van, mégpedig az, hogy az általuk felvázolt agyon-technikázott jövőkép nekünk nem tetszik és nem is tetszhet, mert egy számkra idegen világról szól. De az út, amely ehhez a nem csábító jövőhöz vezet, tökéletesen sima és lejtős. Semmit sem kell erőszakosan megváltoztatni. Csak hagyni kell, hogy sodródjunk a változó idők dallamával. Ezért aztán ők csatát nyernek „minden kilométerkőnél”.

Optimistáink a világ energiaellátásának jövőjét az energiarendszerek múltbeli fejlődésének tükrében képzelik el. Abból indulnak ki, hogy a fejlődés – általános értelemben – nem egyéb, mint helyettesítések sorozata⁴: A 19. században a fűtés fő üzemanyaga a fa volt, a közlekedése pedig a zab. Azután a kőszén felváltotta a fát, majd a nyersolaj (részben) felváltotta a kőszent. Most éppen azt látjuk, hogy a gáz kiszorítja az olajat, és előre láthatóan a gáz fogja uralni az elsődleges energiahordozó piacot a következő 50–60 éven át. Ezt követi majd az, hogy a hidrogén lép a gáz helyébe, miközben az elektromos energia egyre növekvő hányadát nukleáris erőművek fogják termelni. A bőséges elektromos energia birtokában könnyű lesz hidrogént gyártani és ez lesz a gépkocsik – környezeti szempontból kifogástalanul tiszta – üzemanyaga.

Játék az idővel –

„Tempora mutantur, nos et mutamur in illis”⁵

Óriási vonzerő van abban, hogy megvárjuk, amíg a sültgalamb a szánkba repül. Ezen gondolkodván jutott eszembe egy párhuzam arról, hogy mi is történik velünk. Ezt az ötletet annyira szórakoztatónak találtam, hogy most szeretném megosztani a *Magyar Tudomány* olvasótáborával.

A párhuzam kulcsfigurája Korasoff herceg⁶, aki – a történet szerint – tanácsot ad Juliennek. Azt mondja: most egy ideig ne Mathilde-nak udvarolj, hanem a látszat kedvéért valamelyik (lehetőleg közismerten erényes) barátodjének. Ezzel átad Juliennek egy bőröndnyi gondosan megszámozott levelet, s lelkére köti, hogy ebből az 53 levélből naponta kettőt – sajátkezűleg lemásolva – küldjön el a kiválasztott hölgynek.

Julien a leveleket förtelmesnek találja. Nem érti: az első negyven levél célja csak az erényes hölgy hozzászoktatása ahhoz, hogy egyáltalán leveleket kap. Ezek senmitmondó és dagályos levelek, mert a stratégia szerint nem is szabad, hogy legyen bennük bármi. (Ez majd csak az

⁴ Ausubel, J.: *Some ways to lessen worries about climate change*. The Electricity Journal 14(1):24–33. Jan./Feb. 2001.

⁵ Ismeretlen szerzőtől, származó latin mondat

⁶ Stendhal *Vörös és fekete* c. regényének egyik érdekes szereplője

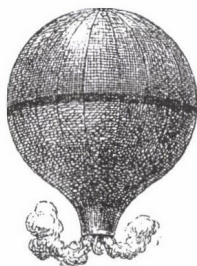
utolsó levelek esetében lehet másként.) Julien belső lázadozással bár, de mégis követi a herceg instrukcióit, de szenved, mert nem látja át a szeniális hadművelet koncepcióját.

A világ nem akar előre menni. Az emberek tüntetnek az atom és a globalizáció, meg az anyám tyúkjá ellen, a politikusok pedig ilyenkor elbújnak. Az egész egy reménytelen patthelyzetnek tűnik. És itt jön be a képbe az, hogy mit tehet a tehetetlenség. Az ENSZ klímavédelmező csapata voltaképpen Korasoff herceg csiszolt és elegáns módszerét alkalmazza ennek a helyzetnek az áthidalására, miközben úgy tesz, mintha nem tudna kettőig számolni. Csak vár és közben az embereket a halálos unalomig hozzászoktatja ahhoz, hogy beszélünk a témáról. Hagy mindenkit, hogy csak locsogjanak. Még az sem számít, ki melyik oldalon ágál: az üvegházhatású gázok kibocsátásának korlátozását szorgalmazza (netán még demonstrációt is szervez és nyílt leveleket ír az USA elnökének), vagy éppen ellenkezőleg. Csak menjen a negyven semmitmondó levél. Majd belefáradnak és eljön az idő, amikor postázni lehet az utolsó levelet, melyben ott lesz a sült galamb.

De vajon milyen recept szerint készül majd ez a sültgalamb? Ízlik-e majd? Mindenki találgathat. Szerintem ez a recept a technológiai optimisták jövőképéről és ethoszáról szól majd és egy olyan világról, globalizációval, atomenergiaival, hidrogén-motoros autókkal, levitációs hipergyors vonatokkal, jó néhány kellemetlenül modern dologgal, alvófiókos szállodákkal és

más ilyesmikkel, mely világban mi, mai emberek sokkal idegenebbül mozognánk, mint mondjuk Marco Polo Indiában, mikor éppen odaérkezett. Ha ezt a receptet most tennék az asztalunkra, a legtöbben elutasítanánk, ami benne van. De nem teszik az asztalra. Kivárik, amíg mások lesznek a mi helyünkön. S végtére nem úgy van-e rendjén, hogy az mondjon véleményyt, akinek majd abban a világban élnie kell? A világ 2050-ben felismerhetetlenül más lesz, mint amilyen most.

P.s.: A kedves és tisztelt Olvasótól szíves elnézés kérek a helyenként ironikus hangvételért. De mit is mondhatnék? A világ ütemesen menetel a technológiai optimisták által felvázolt szép új világ felé, miközben úgy tűnik, mintha mindenki az ellenkező nótát fújna. Ebben van bizonyos kockázatvállalás (anélkül, hogy akárki kimondottan vállalná). Mert bár abban bízhatunk, hogy a technológiai fejlődés néhány évtizeden belül megoldja az üvegházhatású gázok kibocsátásának tényleg radikális csökkentését, de azt nem tudjuk, hogy ez nem lesz-e túl későn? Nem köp-e bele az éghajlat a technológusok levesébe? Másrészt még nagyobb kockázat – maga a biztos katasztrófa – lenne, ha tényleg megpróbálnánk a haladást megállítani, nemcsak beszélénk róla. Ezúttal úgy tűnik, hogy ezt az utóbbit az emberiség megússza. De nem azért, mert olyan okosak vagyunk, hanem kizárólag azért, amit már Neumann János régen leírt: *Haladás ellen nincs orvosság!*



Kapolyi László - Lengyel Gyula

VILLAMOSENERGIA-RENDSZEREK; ELLÁTÁSBIZTONSÁG ÉS ÁRAK

A villamos energia-szolgáltatás technikai rendszereinek (erőművek, hálózatok) hosszú élettartama, az ellátásbiztonság szigorú követelménye és a rendelkezésre álló, több mint 100 éves üzemeltetési tapasztalat egyaránt arra kényszeríti a szakmát, hogy a jól működő rendszeren csak következményeiben előre látható változásokat hajtson végre. Különös hangsúlyt kap ez a körülmény, ha új „rendszermodell” bevezetése a változtatás tárgya. Epikurosz mondta: „A jövő nincs teljesen hatalmunkban, viszont nem áll teljesen hatalmunkon kívül.” Elvárható a szakmától, hogy előre lásson és cselekedeteit ehhez igazítsa.

A következőkben azt vizsgáljuk, hogy a versenypiac bevezetésével járó új villamosenergia-rendszermodell milyen hatással lehet az ellátásbiztonságra és ezen keresztül az árstabilitásra. Tesszük ezt azzal a céllal, hogy – a gond mibenlétét felismerve – az elhárítás intézkedései mielőbb megtehetőek legyenek. Meg vagyunk ugyanis győződve arról, hogy a jövő a villamosenergia-gazdaság számára a versenypiac széles körű bevezetését eredményezi. A gátló körülményeket meg lehet és kell szüntetni, de a gondok maguktól nem oldódnak meg.

Az egyszerűsítés és az áttekinthetőség érdekében közelítésekkel fogunk élni és elhanyagolunk minden olyan tényezőt, körülményt, amelyek nincsenek hatással lényegi következtetéseinkre. Természetesen tisztában vagyunk azzal, hogy a gondolatmenetünket alátámasztó ábrák és számértékek teljes körűtekintéssel és nagyobb pontossággal (de minden bizonnyal csak több ábrában és paraméteresen) is megadhatók, de ez nem változtatna sem mondanivalónkon, sem a tennivalókon. Azt is tudjuk, hogy a vázolt folyamatok specifikus és kivételes esetekben, vagy egyes berendezésekre, technológiákra nem mindig jellemzőek, illetve csak idő- és régiófüggően értelmezhetőek (gázturbinák, gázgőz körfolyamat, fejlődő orszákok stb.), azonban ez sem gyengíti megállapításaink és következtetéseink lényegét.

Alapvető változások

az 1900-as évek második felének elején

Az 1960-70-es évektől olyan mélyreható változások mentek végbe a villamosenergiarendszerek és a rendszerelemek létesítése, működése, működtetése terén, amelyek alapvető módosulásokat kényszerítettek ki a fogyasztói igények és árak alakulásában. Ez a folyamat természetesen iteratív jellegű volt, amelyet még két fontos tényező – a környezetvédelmi követelmények erősödése és az olajárak „robbanásokkal színezett” bizonytalansága” motivált.

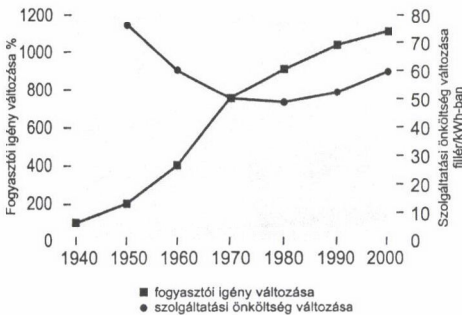
Az évszázad második felének elején bekövetkezett változások közül – véleményünk szerint – a legfontosabbak (figyelmen kívül hagyva kölcsönhatásaik logikai rendjét és folyamatát, valamint az ok-okozati összefüggéseket és csak a tendenciákra, jellemző mértékekre koncentrálni) a következők voltak:

- Az igénynövekedés üteme (az egyes gazdasági régiókban időben eltoltan, de lényegében a világgazdaság egészében és általában) lelassult, a kb. '60-as évekig jellemző 10 évenkénti közel megduplázódás (70-100% növekedés) az 1990-es évekre 15-20 %-ra csökkent.
- A hagyományos kondenzációs villamosenergia-termelés hatásfokának szinte folyamatosan erőteljes javulása (mintegy 10 %/év átlag, a bázisév hatásfokára vonatkoztatva) a 60-70-es évektől kb. ötödére csökkent (a változás természetesen nem törésszerűen következett be) és a hatásfokjavulás görbéje gyakorlatilag a közel vízszintessé vált. A gáz-gőz körfolyamatú blokkok belépése és a gázturbinák hatásfokának jelentős javulása színesítette, de nem módosította e folyamatnak a jelen munka szempontjából érdekes hatásait.
- A kondenzációs blokk nagyság dinamikus növekedése is megszűnt. Míg a '60-70-es évekig a 10-15 évenkénti megduplázódás jellemzőnek volt mondható (mind a fejlesztések, mind a létesítések terén, bár rendszemagyságtól függő és így időben eltolt módon), a '80-as évekre kialakult egy tüzelőanyagtól is függő alaperő-

műve blokknagyság, amely úgy tűnik „stabilizálódott”, sőt a megépített blokkok átlagos teljesítménye csökkent.

- Kétségtelen, hogy az évszázad második felének elejéig jellemző folyamatnak volt tekinthető a szolgáltatási önköltség és ár „reálértékének” csökkenése. Sok tényező mellett ez főként a hatásfokjavulás és a fajlagos beruházási költségek „reálértékének” csökkenése miatt következett be. A '60-70-es évektől ez a kedvező folyamat lényegében leállt, sőt az olajár-robbanások és a környezetvédelmi követelmények szigorodása „reál-ámnövekedést” is eredményeztek.

Teljesen egyértelmű, hogy e változások egymással követhető és kimutatható összefüggésben vannak, nem jellemezhetők folytonos függvényekkel, de olyan tendenciák, amelyek egyértelműek, mondanivalónk szempontjából szükségessé és egyben elégségesek is. Ezért a következőkben sem törekszünk a felhasznált jellemzők értékeinek és változásainak pontos rögzítésére (megtehető lenne), hanem csak a következtetéshez szükséges összefüggések, tendenciák bemutatására. Ilyen szemlélettel készült az 1. ábra, amelyek a felsorolt változások jellegét és közelítő nagyságát kívánják szemléltetni.



1. ábra

Az új erőművek létesítésének „helyzete” a '70-es, '80-as évekig

Azok a folyamatok, amelyek tendenciáit az előző fejezetben vázoltuk, megváltozásuk kezdetéig, tehát az évszázad második felének elejéig – mondanivalónk szempontjából vizsgálva – a következő lényegi eredményekkel jártak:

- Önmagában az igénynövekedés olyan létesítési kényszert eredményezett, amely 10-15 évenként a beépített kapacitásnak megfelelő új erőmű üzembe helyezését tette lehetővé és egyben szükségessé.
- A hatásfokjavulás, a blokknagyság-növekedés és ebből következően a termelési önköltség „reálértékének” erőteljes csökkenése miatt a meglévő erőműpark 30-50%-a kb. 10 év alatt elavult és selejtezésre értett vált, ami a létesítési kényszert tovább növelte. Közgazdasági tényezők nem indokolták az „előregedett” erőművek életben tartását egyrészt, mert az élettartam (figyelembe véve a környezetszennyezés csökkentésének kényszerét is) meghosszabbítása általában nem tűnt gazdaságosnak, másrészt a hiteles törlesztésének befejezéséből, valamint az esetleges amortizáció csökkenésből adódó költségcsökkenést az új létesítések fajlagos költségeinek csökkenése túlkompenzálta.
- Tehát kb. 10 évente a beépített kapacitásnak megfelelő új erőmű létesítése vált szükségessé és egyben oly módon is lehetségessé, hogy az új létesítések olcsóbb villamos energiát tudtak termelni az élettartamukat nagyrészt vagy teljesen (15-25 év) leéltéknel.

Mindezek közgazdaságilag „egyensúlyban lévő” rendszerfejlesztési politikát tettek lehetővé, a merev, állami kézben tartott és a „piacibb” működésű rendszereknel egyaránt. A rendszer-nagyságok, a termelő kapacitások, a feszültség-szintek és a fogyasztói igények növekedése az iparág erőteljes fejlődését eredményezte, ami a fogyasztóknak, a befektetőknek, a fejlesztőknek, a munkavállalóknak egyaránt biztonságot adott és érdekeiket is szolgálta, amíg az alap-energia-hordozók árnövekedése, a környezetvédelem, az energiatechnológiai fejlődés lassulása és a világ ezekkel is összefüggő energiaigényességének javulása a folyamatot meg nem változtatta.

Változások az évszázad második felének elején

A változások lényegét a következőkben foglaljuk össze (itt a fejlődő világ specifikumait és a szocialista rendszerek összeomlásának „átmeneti-átállási” időszakát figyelmen kívül hagytuk):

- A lelassult igénynövekedés csak évi 1-2 %-nál nem nagyobb (10 évente 10-20%) új létesítést indokol.

- Az élettartam-növekedés (30-60 év) technikai-
lag kvázi versenyképesen (hatásfok, blokk-
nagyság stb.) teszi lehetővé a selejtezési kény-
szer jelentős (10-20%/10 év) csökkentését.
- A „relatív” fogyasztói és termelői árcsökkenés
lelassul, sőt az energiahordozók ár emelke-
dése és a környezetvédelmi követelmények
szigorodása miatt növekedésbe lép át.
- Közgazdasági tényezők nem indokolják új
erőmű létesítését egyrészt azért, mert annak
önköltsége nem, vagy alig kisebb a meglévő
jó hatásfokú, szűrő berendezésekkel ellátott,
megfelelő blokknagyságú erőműveknél (lásd
az előzőekben vázoltakat), másrészt mert a
meglévő erőművek üzemeltetési és fenntartási
költségei lényegesen nem nőnek, míg hiteltör-
lesztési terhei a létesítés kezdetétől számított
maximum 15 éven belül megszűnnek.
- 10 évente tehát mindössze kb. 20-40 %-os új
létesítési igény jön létre, lényegesen lelassult
„korszerűsödés” és hosszú távon is stagnáló
vagy növekvő „relatív (a korábbi létesítésekhez
viszonyított) termelési önköltség” mellett.

Ezek a változások a villamosenergia-ipart (fo-
gyasztókat, gyártókat és a szolgáltatás teljes verti-
kumát) nehéz helyzetbe hozták. Az egyre súlyo-
sabb gondokra (egyaránt beleértve a fogyasztói
ár növekedését, a befektetések megtérülésének
lassulását, az energetikai gépgyártás megtorpa-
nását és a globális egyensúly követelményeit)
megoldásokat kényszerített ki az energiazuda-
ság. Ezek azonban időkéséssel és hosszú „átme-
neti” idővel következtek be.

Meg kell még jegyezni, hogy a jellegében
vázolt folyamatokat az elmúlt évtizedekben két
fontos tényező – környezetvédelem, olajárrobb-
banás – jelentősen megzavarta (felerősítette
vagy lassította, az adott helyzettől függően), de
a lényege nem módosított a változások tenden-
ciáin, nagyságrendjén és következményein.

Fontos még arról is szólni, hogy a kettős
körfolyamat ugrásszerű hatásfokjavításának
régóta ismert elvét a gáz-gőz körfolyamatú
rendszerekben sikerült gazdaságosan megva-
lósítani. Ez, a viszonylag alacsony gázár és több
más az előzőekben is jelzett tényező vezetett
oda, hogy az elmúlt évtizedekben a 60 %-os
hatásfokot megközelítő kettős körfolyamatú
gázturbinás kondenzációs blokkok kiemelkedő
szerephez jutottak az erőművi beruházások-

ban. Ugyanakkor az is igaz, hogy a gázturbinás
létesítések hatásfokjavulása, rövidebb létesítési
időszükséglete nem elegendő ahhoz, hogy a
többi energiahordozót felhasználó erőműtípust
kiszorítsa a villamosenergia-termelés palettájá-
ról. Az eddig vázolt tendenciákra mindez lénye-
ges hatással nem volt és várhatóan nem is lesz.

A változások összefüggése a versenypiacsal

Az energiazugsóság reakcióinak késése a ka-
pacitástartalékok szükségtelen felhalmozásához
vezetett, ami az amúgy is súlyos gondokat (köl-
tség- és ár-növekedések, energetikai gépek gyár-
tásának visszaesése stb.) tovább növelte. Ugyan-
akkor a problémák megoldását kikényszerítő
erők is megnöttek. Mindez – más tényezők mel-
lett – jelentős szerepet tölthetett be a villamosener-
gia-rendszer versenypiacának létrehozásában.

- A jól regulált versenypiac legfőbb hatása a
felesleges kapacitások leépülése, ugyanis ez
eredményezi a fogyasztói ár csökkenésének
döntő hányadát. Eddig a szintig (a felesleges
kapacitástartalékok leépítéséig) az árcsökke-
nés egyértelmű, sőt oly mértékű, hogy a fo-
gyasztói árak a szolgáltatási önköltség alá ke-
rülnek, megfelelő minőség és ellátásbiztonság
mellett. A kérdés csak az, hogy:

a./ mi akadályozza meg az új modell időké-
séses működését, tehát a kapacitáshiányok
létrejöttét, a súlyos energiahányokat és az
ellátásbiztonság összeomlását (gondol-
junk az új létesítések elhatározása és üzem-
be lépése között eltelt min. 3-4 évre)?

b./ mi készteti a befektetőket új létesíté-
nyek építésére (milyennek ítélik a megtérü-
lés rátáját és kockázatát önköltség alatti ár
mellett)?

- Az előző fejezetben vázoltakkal szoros össze-
függésben – az évezred végére – alakult ki egy
fontos, az új erőművek létesítését erőteljesen
befolyásoló (gátló) „körülmeny”. Ez azzal függ
össze, hogy minden új erőművet az üzemelte-
tés első 10-12 évében (max. 15 évig) terhel a
hiteltörlesztés kötelezettsége, tehát „költsége”.
Az „induló költségtöbblet” áthidalható a köz-
pontosított és hosszú távú szerződésekre épülő
energiarendszerekben, de – a fentiekben vázolt
változások és körülmények miatt – az új létesí-
téseket versenyképtelenné teszi egy liberalizált

rendszerben a hitelterhek okozta „hendikep” által. Amikor az új létesítmény versenyhelyzetbe kerül és kapacitásfeleslegek miatt árcsökkenésre kényszerül, hátrányos helyzetben van azokkal az erőművekkel szemben, amelyek törlesztési kötelezettségeiket már teljesítették. A verseny ugyanis arra kényszeríti az erőműveket (mint napjainkban is), hogy önköltségük alatt is értékesítsenek mindaddig, amíg legalább változó költségeiket és állandó költségeiket kis hányadát realizálni képesek. A példa szerint ez a hendikep közel 3 Ft/kWh-val indul (0,75 Ft/kWh kamatteher és mintegy 2 Ft/kWh értékcsökkenési leírásból fedezett "hitelrész") és a hiteltörlesztés utolsó évében 2 Ft/kWh-val fejeződik be.

Az új létesítmények induló versenyhátrányát tovább rontja az a körülmény, hogy a környezetvédelmi előírások számukra szigorúbbak, így az újabb és drágább szűrési, tisztítási és hulladékkezelési technológiák alkalmazására kényszerülnek.

Mindebből tehát az következik (vagy következhet), hogy az új létesítést csak az energiahány kényszerítheti ki, de az egyben jelentős és erősen megkérdőjelezhető (az önköltség oldaláról indokolatlan) áremelkedéssel jár együtt. Ez a fajta árlengés nem azonos a kereslet-kínálat egyensúlyát fenntartó és a piac természetéből következő ármozgással. Itt olyan árnövekedésre, árrobbanásra gondolunk, amely az ellátásbiztonság összeomlásából fakad és a villamosenergia-rendszerek lényegi sajátosságaira (hosszú élettartam, jelentős létesítési időszükséglet, a tárolási és helyettesítési lehetőségek súlyos korlátai, az igény erős függetlensége az ártól stb.) vezethető vissza.

Következtetések

Mivel várhatóan a nem kellően regulált liberalizált piacon szükségyszerűen bekövetkező – az ellátásbiztonságot súlyosan veszélyeztető és „árlengést” okozó – kapacitáshiányt a közeljövőben sem az igénynövekedés jelentős erősödésével, sem a technikai fejlődés felgyorsulásával, sem a hiteltörlesztés időtartamának jelentős növekedésével nem lehet meggátolni, a gazdasági kényszer új utat kell, hogy találjon. Úgy véljük, a következő lépések lehetségesek:

A gazdaság változása, reagálása:

- A problémát hosszabb távon minden bizonynyal megoldja a piacgazdaság hatásmechanizmusa is, de ez, véleményünk szerint, három területen is gondokkal kell, hogy járjon, ha csak elhárításukra megfelelő állami intézkedések nem történnek: sérül az ellátásbiztonság, árugrások következnek be, erős termelői integráció jön létre (régiókra kiterjedően), amely a valódi verseny megszűnéséhez vezethet.

Úgy tűnik, a liberalizált rendszerben a közvetlen piac nélküli egyedi új termelők (IPP) igen hátrányos helyzetbe kerülnek, így többnyire integrálnak vagy elbuknak. Hosszabb távú költségkiegyenlítésre ugyanis nem képesek, és nem tudnak versenyezni a nagy rendszerekkel, amelyek élvezik a hosszabb távú költségoptimalizáció és a növekményköltség optimum elvén működő terheléelosztás gazdasági előnyeit.

- Valószínű – a jelei már felfedezhetők – hogy a nagyfogyasztók saját ellátásbiztonságuk érdekében (félve az árbizonytalanságtól és az energiahánytól) az önellátás irányába mozdulnak, úgy, hogy többlet- és tartalékkapacitásaikat a liberalizált piacon kívánják értékesíteni. Ez végső soron a hosszú távú szállítási megállapodások oly módon történő „belső pótlása”, hogy a létesítés versenykockázatát a saját felhasználás és az ellátás biztonsága „kompenzálja”. Kétségtelen azonban, hogy ez nem lehet a villamosenergia-szolgáltatás optimális megoldása (kivéve persze, ha a villamosenergia termelése egyéb belső előnyökkel – pl. hulladékenergiák felhasználása – is együtt jár). Az elmúlt években ilyen céllal a világban sok gázturbinás kapacitás létesült.
- Érdemes figyelmet fordítani arra is, hogy a kisebb kapacitások (néhány MW vagy ezalatti) létesítésének gyakorisága növekszik. Ezt a lokális specifikumok mellett más, jövőbe mutató tényezők is motiválják.

Lehetséges állami lépések:

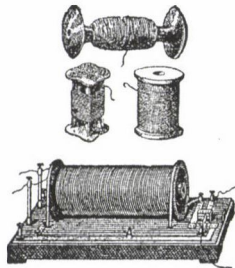
- Növelni kell az állami szerepvállalást és megfelelő megelőző lépéseket kell tenni, (szabályozás; „kapacitásverseny” és/vagy legalább középtávú szerződések, illetve állami garanciavállalás) a kapacitáshiány és az ezzel járó indokolatlan árnövekedés, valamint az ellátásbiztonság összeomlásának megakadályozására. A kapacitáshiány elkerülése érdekében kötendő szerződések időtartama fontos té-

nyezővé válhat. Ezzel osztható meg ugyanis a versenypiacon történő létesítés kockázata a befektető és a piac között és csökkenthető a hiteltörlesztés miatti hátrány negatív hatása. Gondolunk itt pl. a hiteltörlesztés időtartamánál rövidebb távú szerződésekre.

- Újra kialakítható egy erőteljes „központi szerepvállalás”, amely lehet állami, vagy a magántulajdonosok szövetsége, illetve integrációja. Ennek a rendszernek költségoptimum célfüggvénnyel (pl. növekmény költség alapon) kell működnie, elosztva az igényelt teljesítményt a termelők között. Úgy tűnik, hogy a hosszú vagy legalább középtávú szerződések valamilyen változata itt sem nélkülözhető. Ez esetben „központi” kézben kell tartani a

rendszerirányítást, az export-import gazdálkodást, a hosszú távú termelői megállapodásokat és ezáltal az értékesítési piacot. Nem kerülhető el az állami ellenőrzés.

A tennivalók aktualitását, sőt sürgősségét hazánkban még az is indokolja, hogy lényegében nincsenek kapacitástartalékaink. Tartalékainkat ugyanis 2003-2004-ben „megszünteti” az előre-gedett széntüzelésű erőművek környezetvédelmi okok miatt elkerülhetetlen leállítását. A környezetvédelmi előírások érvényesítése és az importlehetőségek szűk korlátai tehát az új létesítések terén tovább már nem halasztható lépések megtételét teszik szükségessé. „Az ember sohasem a távoli hegyekben, hanem a lába alatt lévő göröngyökben botlik meg” (Thalész).



AZ ENERGETIKAI KÖRNYEZETSZENNYEZÉS ÉLETTANI HATÁSAI

Az energetika egészségre ártalmas hatásai

A következőkben együttesen tárgyaljuk a munkahelyi környezetben jelenlévő s az egészségre ártalmas fizikai, kémiai és egyéb tényezők szerepét a foglalkozási betegségek megjelenésében, klinikai lefolyásában és kimenetelében, valamint a tágabb értelemben vett környezetben előforduló, ugyanezen tényezők szerepét a lakosság soraiban megjelenő betegségek kialakulásában, klinikai lefolyásában és várható kimenetelében. Ennek az az oka, hogy az ugyanazon tényezők többnyire kisebb koncentrációinak, esetleg rövidebb ideig és minden bizonnyal kevésbé rendszeresen kitett lakosságnál megjelenő betegségek klinikai képe, lefolyása és kimenetele az esetek jelentős részében kevésbé jellegzetes, felismerése több gyakorlatot igényel, mint a munkahelyeken megjelenő, foglalkozási megbetegedéseké. Ugyanakkor azt is figyelembe kell venni, hogy – bár a munkahelyek egy részében elképzelhető egyetlen károsító tényező jelenléte –, a legtöbb munkakörben egyszerre több fizikai, kémiai és egyéb tényező is hat, és olyan másodlagos tényezők is szerepet játszanak, mint a felszereltség, az egyéni védőeszközök, a dolgozók képzettsége ezek helyes használatára, ami a lakosság esetében aligha jöhet szóba. Mindenesetre, a betegségek megjelenése mindkét esetben függ az egészségre káros tényezők jelenlététől (expozíció) és ezek behatási időtartamától (expozíciós idő).

A következőkben sorra vesszük azokat a fizikai, kémiai és sajátos természetű anyagokat vagy hatásokat, amelyek a villamosenergia-termelés nemkívánatos melléktermékeként az alkalmazottak és a lakosság egészségi állapotát hátrányosan befolyásolhatják.

Magas hőmérséklet

Az ember csaknem állandó testhőmérsékletű élőlény, s – a környezeti hőmérséklet széles határok közötti változásai ellenére – képes a testhőmérsékletét aránylag szűk határok között tartani. Az állandó testhőmérséklet fenntartásához a hőtermelés és a hőleadás egyensúlya

sziükséges, amit az agyvelő egy meghatározott része (hypothalamus) szabályoz. Az aktív hőtermelés forrása az anyagcsere, a hőleadásban pedig elsősorban a vezetés, sugárzás, áramlás játszik szerepet. Ha ezen a módon a hőleadás nem kielégítő, megindul a verejtékezés, s a testfelületre jutott verejték a párolgási hőt jelentős részben a szervezettől vonja el. Nagymennyiségű verejték termelése jelentős folyadék- és sóvesztéssel jár, s hosszabb ideig csak úgy tartható fenn, ha utánpótlásukról gondoskodunk.

Ha a szervezet nem képes a felesleges hőt leadni, hőpangás keletkezik. Kb. 39,5°C testhőmérsékleten a fizikai és szellemi teljesítőképesség rohamosan csökken, a pulzusszám és a verejtékkelváltásztás növekszik. Majd 40,5°C körül a verejtékezés leáll, s ha nem történik idejében beavatkozás, akkor 43–43,5°C elérésekor beáll a halál (hőguta). Az öntudat csaknem mindvégig megtartott lehet.

Zaj

A zaj különböző magasságú és erősségű hangok rendszeretlen keveréke. A különböző iparágak munkafolyamatainál keletkező zajt összefoglaló névvel ipari zajnak nevezzük. Az ipari zajoknak két fontos fizikai jellemzőjük van: a hangnyomásszint és a frekvencia szerinti megoszlás, vagy spektrum.

Zaj okozta halláskárosodásnak vagy akusztikai traumának nevezzük a hallószervnek azt a károsodását, amelyet hangjelenség okoz. Kétféle hangjelenség okozhat a hallószervben maradó károsodást: a dörej és a zaj. A dörejártalom főleg egyszeri dörej (pl. robbanás) hatására keletkezik, míg a zaj okozta halláskárosodás tartós, ismételt zajhatásra.

A tartós ipari zaj hatására kialakuló hallásromlás lassan, fokozatosan fejlődik ki. Ezért krónikus hangártalomnak is szokták nevezni. A károsodás helye úgyszólván kizárólag a Cortiszerv, a benne lévő érzékhámsejtek és idegdúc-(ganglion)-sejtek megduzzadása, illetve zsugorodása. Az érintett személy első panaszja a beszédmegértés csökkenésére vonatkozik.

Por

A por szilárd halmazállapotú részecskékből és gázból (levegőből) álló keverékrendszer, amelyben a részecskék méreteloszlása tág határok között változhat, de túlnyomórészt a kolloid tartományba esik. Ha a szilárd részecskék mellett folyékony részecskék is keverednek a levegőhöz, akkor füstről beszélünk. A szilárd részecskék méreteik alapján két csoportra oszthatók: a 0,1–10 µm közötti átmérőjű részecskéket, amelyek a levegővel kolloidális keveréket alkotnak és csak soká ülepednek le, aeroszolnak (a hazai szóhasználatban lebegő vagy szálló pornak) nevezik, míg a 10 µm-nél nagyobb átmérőjű, többé-kevésbé gyorsan ülepedő részt aeroszesztonnak; ülepedő pornak. A porok lehetnek szervetlen és szerves, természetes és mesterséges, ásványi és nem ásványi eredetűek, kristályos és nem kristályos (amorf) szerkezetűek, szemcsés és rostos formájúak.

A szilárd részecskék méret szerinti felosztása biológiai szempontból is jelentős. Az 5 µm-nél nagyobb szemcsék már a felső és középső légutakban leválasztódnak és előbb-utóbb kiürülnek, míg a tüdő szövetébe, különösen a légelhólyagocskákbá csak az ennél kisebb méretű szemcsék jutnak. Ebből következik, hogy az aeroszeszton legfeljebb a bőrt, a szem kötőhártyáját és a légutak nyálkahártyáját izgatja, az orvosi szempontból legsúlyosabb következményekkel, a tüdő olyan kóros elváltozásával, mint a portüdő, elsősorban a finom szemcséjű porok tartós munkahelyi vagy lakossági belégzése esetén kell számolnunk.

Ártalmas gázok és gőzök

Rövid áttekintésünket elsősorban a légkört szennyező, érzékszerveinkre is ható és többnyire korai tüneteket okozó gázok és gőzök ismertetésére korlátozzuk. Ezek: szén-monoxid, szén-dioxid, kén-dioxid és kén-trioxid, nitrozus gázok vagy nitrogén-oxidok, ózon, szénhidrogének. Ezek fő forrásai: az energetika, az ipar, a közlekedés, a fűtés és a hulladékanyagok.

- Szén-monoxid, CO: Színtelen, szagtalan, íztelen, a levegőnél könnyebb, vízben alig oldódó, tűzveszélyes gáz. Akkor keletkezik, ha szerves anyag tökéletlenül ég el. Jelentős mennyiségben tartalmazza az ún. széngáz, a motorok kipufogógáza, a világítógáz. Forrásai között

megemlítendő a szénbányászat (robbantás után vagy a szén öngyulladásakor). Meggyújtva szén-dioxiddá ég el. A klórral napfény hatására foszgénné (COCl₂) egyesül. Rendkívül mérgező hatású, ami a vérfestékhez, a hemoglobinhoz való erős kötődésen alapul, alkalmatalanná téve azt a további oxigénfelvételre és -szállításra. A heveny szénmonoxid-mérgezés tünetei: bágyadság, fejfájás, szédülés, hányinger, hányás. Súlyos esetekben ájulás, eszméletvesztés és halál is előfordulhat. Legérzékenyebb szervünk a központi idegrendszer és a szívizom.

- Széndioxid, CO₂: Színtelen, gyengén savanykás ízű és szagú gáz. A levegőnél nehezebb, ezért a helyiségek, üregek alján (bányákban, aknákban, alagutakban, kutakban, pincékben) felgyűlhet, kiszorítva a levegőt. Az égést nem táplálja. Vízben elég jól oldódik, s azzal részben szénsavvá egyesül. Kis mennyiségű szén-dioxid a levegő normális alkotórésze (0,03–0,04 %), de nagyobb koncentrációban mérgező. Kis koncentrációkban a légzőközpontot izgatja, nagyobb koncentrációban fulladásos halált okozhat, ami 20 %-os koncentráció esetén néhány másodperc alatt, alacsonyabb koncentrációknál akár több napig is eltartó eszméletlen állapot után következik be.

- Kéndioxid, SO₂: Színtelen, szúrós szagú, mérgező gáz. A „füstköd” izgató hatásának egyik tényezője. Könnyen cseppfolyósítható, vízben kénessav keletkezése közben jól oldódik. Közöséges körülmények között alig, katalizátorok (pl. nitrogén-oxidok) jelenlétében viszont gyorsan kén-trioxiddá (SO₃) oxidálódik, ami vízzel – erős hőfejlődés közben – kénsavvá egyesül. A kén-dioxid megtalálható a városok és ipartelepek levegőjében, ahová a kéntartalmú energiahordozók (kőszén, kőolaj, földgáz) elégetése révén kerül. A légutak nyálkahártyáján képződő kénessav izgatja a szöveteket, és kínzó köhögést, hörghurutot, ritkábban tüdővízenyőt is előidézhet. A kellemetlen hatások miatt a veszélyeztetett személyek igyekeznek biztonságba jutni, ezért a súlyos, heveny mérgezés ritka. A kénessav-képződés – bőséges páratartalom esetén – már a légkörben is bekövetkezhet. Így jöttek létre a rendkívül veszélyes ködkatasztrófák pl. Németországban, Nagy-Britanniában és az USA-ban, több ezer megbetegedéssel és nagyszámú halálessel.

• Nitrozus gázok vagy nitrogén-oxidok, NO_x : A nitrogén oxidációja útján keletkező, gáznemű termékek, a nitrogén-monoxid (NO), nitrogén-dioxid (NO_2), nitrogén-trioxid (N_2O_3), nitrogén-tetroxid (N_2O_4) és nitrogén-pentoxid (N_2O_5) különböző arányú keverékei. Erősen szúrós szagúak, kis koncentrációban alig különböztethetők meg az ózontól. Nagyobb koncentrációban feltűnő a barnássárgától vörösre terjedő elszíneződésük. Többségük igen reakcióképes, erőlyes oxidáló hatású anyag. Vizzel és a nyálkahártyákon is salétromossav, illetve salétromsav képződik belőlük. Nitrozus gázok keletkeznek nitrogéntartalmú robbanóanyagok működésbe lépésekor, nitrocellulóz tökéletlen égésekor, vagy magas hőmérséklet hatására a levegő nitrogénjéből. Zárt, szellőzetlen helyiségekben vagy csatornáknál súlyos mérgezést okozhatnak. A légutakba jutva – az említett savak mellett – nitrítéket és nitrátokat képeződhetnek. A mérgehatás – bizonyos latencia idő után – savhatásban nyilvánulhat meg, ami a légutak nyálkahártyáját és a tüdőhólyagocskákat károsítja, sőt tüdőviznyőt okozhat. A heveny mérgezés általában két szakaszban zajlik le. Az első szakaszra jellemzőek a nyálkahártyák helyi, izgalmi tünetei: kaparó érzés a torokban, köhögés, esetleg hányás, fejfájás, szédülés. Ez a fázis 1–2 órán belül lezajlik, és 3–10 órás tünetmentes (lappangási) időszak követi. A második szakasz rendszerint hirtelen, igen erős köhögési ingerrel kezdődik, amit félelem- és fulladásérzés kísér. A légszomj erősen fokozódik. A légzés- és pulzusszaporulat a fenyegető tüdőviznyő figyelmeztető jele. Minél korábban fejlődik ki a tüdőviznyő, annál rosszabb, reménytelenebb a kórjósolat.

• Ozon, O_3 : Színtelen, jellegzetes csípős szagú gáz, a városi szmog veszélyes alkotóeleme. Kiseb koncentrációban fejfájást, a szem kötőhártyáján égést, és a nyálkahártyákon enyhe izgalmat okoz. Nagyobb koncentrációban ($5\text{--}10\text{ mg/m}^3$) – erős oxidáló tulajdonsága miatt – a nitrozus gázokhoz hasonló tüdőkárosodásokat okoz. A látásélesség csökkenését is leírják.

• Szénhidrogének, C_xH_y : Szén- és hidrogénatomokból felépülő szerves vegyületek.

• A benzol, C_6H_6 : Színtelen, jellegzetes szagú folyadék. Gőze nehezebb a levegőnél. A kőszénből gyártott koks és világítógáz mellékterméke. Benzol-expozíció főleg a kőolajiparban

fordul elő. A levegő magas benzoltartalma is csak kevésbé izgatja a légutakat. Folyadék formájában azonban zsírtalanítja, kiszáritja és izgatja a bőrt, gyulladást okozhatja és elősegítheti másodlagos fertőzését. Heveny mérgezésben elsősorban a benzol bódító (narkotikus) hatása érvényesül. Enyhébb formája kellemes, fokozottan jó közérzettel jár, eufóriás állapottal kezdődik, majd fáradtságérzés, szédülés, enyhe zavartság, hányinger, fejfájás, illetve a fejben nyomásérzés, aluszékonyság jelentkezik. Később görcsök, bénulások, eszméletvesztés és rövid időn belül – az esetek kis részében – légzésbénulás következhet be. Általában azonban szívkamra-rengés (fibrilláció) vezet a halálhoz. Az idült benzolhatás következményei hónapokig, sőt akár évekig is eltartó lappangási idő után jelentkezhetnek az egyéni érzékenységtől függően. Ilyen körülmények között a benzol főleg a vérképzést károsítja (az egyéni hajlam mellett), az expozíció időtartamától és a koncentrációtól függően. A csontvelői vérképzés és a vérkép jellege fokozatosan vagy hirtelen változhat. Igen ritkán fehérvérűséget és spontán vetélést is észleltek, több évvel az expozíció megszűnte után. A benzol felhasználását ma már nemzetközi egyezmények korlátozzák.

Toxikus fémek

• Arzén (As): A fémek és nemfémek közötti, átmeneti tulajdonságú elem. Főleg a szénben és vasércben található, de kis mennyiségben mindenütt előfordul a természetben. Nyomokban a legtöbb élő szervezet és az élelmiszerek is tartalmazzák. Az energetikai eredetű arzénpor és -füst belégzés útján kerül az emberi szervezetbe. Hat a légutakra, szívre, vesékre, vérképző szervekre, vére, idegrendszerre, bőrre. Daganatkeltő hatása is jól ismert.

• Higany (Hg) és vegyületei: Ezüstös színű, folyékony fém. Szobahőmérsékleten is párolog és mind zárt, mind nyílt térben rövid idő alatt veszélyes koncentrációt érhet el. Számos szerves és szerves vegyületet alkot. A fő veszélyt az elemi Hg gőzei jelentik. Rövid idő alatt is a légutak és a szájüreg nyálkahártyáinak izgalmat, lázzal és nehézlégzéssel kísért tüdőgyulladás okoznak. Az idült mérgezés elsősorban az idegrendszert károsítja. Vizoldékony vegyületei kevésbé mérgezőek.

• Ólom (Pb) és vegyületei: A kőzetekben, talajban és növényzetben kis mennyiségben mindenütt jelenlevő nehézfém. Fém ólmot használnak a nagyfeszültségű villamos kábelek köpenyeként, és ólomalkilokat az üzemanyag kopásgátló adalékanyagaként. Bár fő forrása az élelmiszer és ivóvíz, az ólomvegyületek gőzeinek belégzése a városi szennyezett levegővel jelentősen hozzájárul a lakosság ólomterheléséhez. Mérgező hatása csak a lágyszövetekben lévő ólomnak van, a csontszövetben raktározottak nincs. Legkorábbi tünetei: gyors elfáradás, étvágytalanság, idegesség, remegés, izomgyengeség, gyomor- és bélpanaszok. Az idült ólommérgezés rákkeltő hatása és az utódokban fejlődési rendellenességet okozó hatása bizonyított.

Ionizáló sugárzás

Ma már közismert, hogy a nagyenergiájú, ún. ionizáló sugárzás egyaránt ártalmas az egészségre akár kívülről, a szervezeten kívüli forrásokból, akár belülről, az emberi testbe bekerült radioaktív anyag(ok)ból ered. Az ártalom megnyilvánulhat az egyéni élet fenntartását biztosító sejtek károsodásában (szomatikus sugárártalom), vagy a fajfenntartás és öröklés folyamatosságát szolgáló ivarsejtek károsodásának az utódokban történő megnyilvánulásában (örökletes sugárártalom). Ha a sugárzás a test egészét vagy részét éri, akkor az ártalom is rendszerint az egész szervezetre kiterjedő, általános megbetegedés: ez a sugárbetegség. Ha csak a test kis hányadát, egyes szerveit vagy szöveteit éri, akkor a kialakuló, helyi sugársérülés is körülírt, lokális marad. A sugárbehatás korai következményei órákon vagy napokon belül jelentkeznek, míg a késői következmények hosszú idő elteltével, többnyire hónapok vagy évek múltán, sőt akár a következő nemzedékek valamelyikében.

A heveny sugárbetegség klinikumát elsősorban Hirosima és Nagaszaki 1945. évi atombombázása áldozatainak, valamint a különféle nukleáris berendezésekkel, radioaktív izotópokkal és egyéb sugárforrásokkal bekövetkezett balesetek sérültjeinek a vizsgálata alapján ismerjük. Idült foglalkozási sugárártalomként tartja számon az irodalom a radiológia úttörőinek és későbbi művelőinek sugárzás okozta bőrrákját,

leukémiáját, a számlapfestő munkások rosszindulatú csontdaganatát s az uránbányászok tüdőrákját.

A világ egész közvéleményét megrázta a csernobili atomerőmű 1986. április 26-án bekövetkezett balesete, amely az atomenergetika történetében példa nélkül állóan súlyos következményekkel járt, mind a környezet radioaktív szennyeződésének mértéke és kiterjedése, mind a legsúlyosabban érintett területeken élő lakosság veszélyeztetése tekintetében. Az üzemeltető személyzetnek és a baleset-elhárításban segítségükre siető erők személyzetének 31 tagja áldozta életét abban a hősies küzdelemben, amit a tűz megfékezése, a radioaktív anyagok kiáramlásának megakadályozása és a baleset következményeinek enyhítése érdekében kifejtettek. A sérült atomerőmű környezetéből több lépcsőben a lakosok százazreit kellett kimenekíteni, illetve biztonságosabb területre áttelepíteni.

Az erőfeszítések ellenére szinte az egész északi féltekén ki lehetett mutatni a környezet kisebb-nagyobb fokú szennyeződését radioaktív anyagokkal és a sugárzási szintek (háttérsugárzás) ennek megfelelő emelkedését. Az ENSZ és más nemzetközi szervezetek csakhamar programokat indítottak tagországaiak válaszlépéseinek és intézkedéseinek irányítására és összehangolására, valamint a Szovjetunió legjobban érintett tagközvéleményének, illetve utódállamaiaknak a megsegítésére.

A baleset okaival és következményeivel számos nemzetközi és nemzeti tudományos rendezvény foglalkozott, egyezmények születtek, tudományos elemzések és közlemények készültek és kerültek publikálásra szinte áttekinthetetlen mennyiségben. Ez utóbbiak között is kiemelkedő jelentőségűek azok az összefoglalók, amelyeket az Egyesült Nemzetek Atomsugárzás Hatásai Tudományos Bizottsága (UNSECAR) 1988. és 2000. évi jelentései tartalmaznak. A közvéleményben keltett izgalmakkal, rémhírekkel és itt-ott pánikhangulattal szemben, a tagországokból begyűjtött mérési eredmények értékelése alapján, az UNSECAR 1988. évi jelentése megállapította, hogy *Európa országaiban, és kisebb mértékben az északi félteke országaiban, a lakosság sugárterhelést kapott. Ez azonban perspektivikusan nem nagymértékű.*

Érdemes még idézni az UNSECAR 2000. évi jelentéséből is: *A pajzsmirigyrák-esetek száma (kb. 1800) a gyermekkoriokban besugárzott személyek között, különösen a 3 érintett országban (Fehérorosz-, Oroszország és Ukrajna) jelentősen nagyobb, mint ami a korábbi ismeretek alapján várható volt. Ez a magas gyakoriság és rövid keletkezési idő szokatlan. Lehetséges, hogy egyéb tényezők is befolyásolták a kockázatot. A gyermekkori sugárterhelést követő pajzsmirigyrák megszaporodásától eltekintve, az összes rákgyakoriságban és halálozási arányszámban nem észleltek olyan növekedést, ami ionizáló sugárzásnak lenne tulajdonítható. A leukémia kockázata (a betegség 2–10 éves látenciaideje miatt) nem tűnik megemelkedettnek még a helyreállítási munkálatokat végző dolgozók között sem. Semmilyen bizonyíték nincs az ionizáló sugárzással kapcsolatba hozható, nem rosszindulatú rendellenességekre sem.*

Ezzel egybehangzó következtetésekre jutott a baleset 10. és 15. évfordulóján a Magyar Tudományos Akadémián rendezett két hazai tudományos konferencia is.

Elektromágneses erőterek

Az elektromágneses hullámok spektrumának azt a tartományát, amelyben a fotonok frekvenciája (és energiája) kisebb, hullámhossza pedig nagyobb, mint a leglágyabb ionizáló sugárzásé, nem-ionizáló sugárzások összefoglaló névvel jelöljük. Ennek a tartománynak is a legalján foglalnak helyet az ún. rendkívül kis frekvenciájú (ELF) elektromágneses sugárzások, illetve villamos erőterek.

A legtöbb adat, amely ma felhasználható az ELF (50 és 60 Hz) villamos erőterek okozta emberi kockázat becslésére, szigorúan ellenőrzött laboratóriumi körülmények között végzett kísérletekből származik. A kémcső-kísérletek eredményei azt mutatják, hogy az időben változó ELF villamos erőterek módosíthatják a sejthártyák tulajdonságait és befolyásolhatják a sejtműködéseket. Az állatkísérletekben kapott eredményekből pedig arra következtethetünk, hogy az ELF erőterek hatására az élőlényekben észlelhető biológiai jelenségek összefüggést mutatnak az erőter frekvenciájával és irányultságával, valamint az érintett szövetek összetételével.

A rendelkezésre álló irodalom áttekintése azt sugallja, hogy az ELF elektromágneses terek olyan környezeti tényezők, amelyek csekély potenciális veszélyt jelentenek a biológiai rendszerekre. Az embereken észlelt hatások gyakran tűnnek kapcsolatban lévőnek az idegrendszerrel (változások az idegingerelhetőségben, idegkémiai folyamatokban, hormontermelésben, viselkedési reakciókban és a biológiai ritmusban). Az epidemiológiai vizsgálatok nem igazolták az ELF erőterek egyértelműen ártalmas hatását az egészségre, a rákgyakoriságra, a veleszületett fejlődési rendellenességekre, bár kétségtelenül vannak köztük olyanok, amelyek ilyen hatásokat sugallnak.

A jelenlegi hazai helyzet

A legfontosabb környezetszennyező tényezők és az emberi egészségre gyakorolt hatásaik ismertetése után vizsgáljuk meg ilyen szempontból a hazai helyzetet, az elmúlt években végrehajtott ellenőrző méréseknek a közelmúltban közzétett eredményei alapján.

Hagyományos környezetszennyezők

Az 1997–1999 közötti években településeinken jelentősen és folyamatosan csökkent a levegő kéndioxid koncentrációja. A korábban fő szennyezőanyagként ismert gáz jelenleg már nem okoz környezeti problémát, kivéve Pécsen, ahol még szmoghelyzetek is előfordultak. A nitrózus gázok szintje a településeken általában emelkedett. Ennek oka egyrészt a közlekedési emissziók növekedése, másrészt a gázfűtés terjedése. A szénmonoxid-koncentrációk elmaradtak a feltételezettől, de egyes településeken időszakos kiugrások voltak észlelhetők. Az ózonkoncentrációk a nyári időszakban, erős napsütésben átlagosan emelkedtek, míg az őszi-téli félévben alacsony szintre estek vissza. Az ülepedő porszennyeződés mértéke csökkenő tendenciát mutat. A szálló por koncentrációja azonban, különösen a forgalmas belterületeken, néha igen magas, gyakori a határérték túllépése. Az ólomkoncentráció, az üzemanyagok ólomtartalmának csökkenésével párhuzamosan, csökkenő tendenciát mutat.

Az országos vízminőség-javító program eredményeként a tennyeztes eredetű arzénnel határértéken felül szennyezett ivóvizet fogsasz-

tók számát 400 ezerről 10 ezer alá sikerült csökkenteni 15 év alatt. Az ipari létesítmények körül gyakran előforduló szennyezett talaj felporzás révén, a szálló porhoz tapadva kerül a levegőbe és jelent kockázatot. A régebbi ipari üzemek nagy részénél talaj- és talajvízszennyezést lehet megállapítani.

A Paksi Atomerőmű Rt. (PART) környezeti hatása
A PART létesítésével kapcsolatban környezetvédelmi feladatok végrehajtására, az Országos Környezet- és Természetvédelmi Tanács 1/1979. (IV.27.) OKTT sz. határozatában lefektetett irányelveknek megfelelően az erőmű köteles üzeni sugárvédelmi ellenőrző rendszert működtetni, amelynek programját, módszereit és mérési jegyzőkönyvét az illetékes hatóságok jóváhagyják és ellenőrzik. Ezek maguk is végeznek független ellenőrző méréseket. A hatósági környezeti sugárvédelmi ellenőrző rendszert jelenleg három hatóság működteti (EüM, PVM, KTM). A bázisintézet az OSSKI. A környezetellenőrzés eredményeiről és értékeléséről éves jelentés készül, amelyet eljuttatnak az illetékes hazai és nemzetközi szervezetekhez.

Az 1999. évi eredményeket tartalmazó, 2000 júniusában közzétett hatósági jelentés szerint:

- a légköri kibocsátások (nemesgázok, aeroszolok, jód- és stroncium izotópok) aktivitása 0,1–2,0% között volt;
- a vízi kibocsátásoké (összes-béta és stroncium) 4,8–7,4 %, a tríciumé pedig 67 % volt az engedélyezetthez képest.

A kibocsátásokból számított effektív dózishozzájárulás a lakossági sugárterheléshez képest a legkedvezőtlenebb helyzetű, tehát az erőmű telephelyének határán élő, feltételezett személy esetében 0,05 μ Sv volt.

A frissvízhűtésű erőmű a jelenleg beépített kapacitás mellett a Duna átlagos vízhozamának 15–20 %-át használja fel hűtési célokra és enged vissza. Egy korábbi tanulmány szerint a Duna hőterhelése a mainál 2–3-szor nagyobb kapacitású erőmű működését is elviselhetővé tenné.

A radioaktív szennyeződés egyéb forrásai

Az uránbányászok tüdőrákját idült foglalkozási sugárártalomként tartja számon az irodalom (házánkban Sándor J., Somfai M. és munkatársaik foglalkoztak e kérdés vizsgálatával). Vissza-

tekintő vizsgálatainkban 3754 uránbányász adatait hasonlították össze az országos népesség kor, nem és vizsgálati év szerint standardizált halálzási adataival, illetve a megyei népesség ugyanígy standardizált gyakoriságadataival. A standardizált halálzási hányadost 1,41 (1,09–1,75)-nek, a standardizált incidenciahányadost pedig 2,12 (1,48–2,75)-nek találták. Tehát mindkét index szignifikáns kockázatonövekedésre utal. Ennek magyarázatát részben a munkahelyi radonexpozíciónak, részben az uránbányászok közötti szélsőségesen magas dohányzási gyakoriságnak tulajdonították.

A Magyar Villamosművek Tröszt (MVMT) megbízásából végzett másik tanulmány szerzői viszont azt vizsgálták, hogyan alakul a hazai széntüzelésű hőerőművekben égetett szenek és melléktermékeik (pernye, salak) természetes radioaktivitása. Megállapították, hogy az U-238 aktivitás-koncentrációja az ajkai szénben magas, ezt követik a pécsi és dorogi szén, legacsonyabb a bükkábrányi lignitben. A Th-232 aktivitás-koncentrációja a pécsi szénben a legnagyobb, az ajkai szénben a legkisebb. Az izotópok dúsulásának mértéke az égetéskor képződő pernyében és salakban 1,7–3,7-szeres. A keletkezett pernyékből eredő gamma-dózis-teljesítmény (és Ra-226 koncentráció) szempontjából legkedvezőtlenebb az ajkai, ezt követi a pécsi. Legkedvezőbb az inotai pernye. Az ezen adatok alapján készített rangsorolás jelentős segítséget nyújthat a pernye lakossági célokra (pl. házépítés) történő felhasználhatóságának mérlegelésekor.

A csernobili baleset hazai következményei

Hazánk nem tartozott azon európai országok közé, amelyek – a volt Szovjetunió tagországai mellett – a legerősebben szennyeződtek a sérült atomerőműből kiszabadult radioaktív anyagokkal. Ez részben a meteorológiai viszonyok kedvező alakulásának, részben a Kárpátok hegykoszorújának, részben pedig az időben hozott, megfelelő baleset-elhárítási intézkedéseknek köszönhető. Az intézkedések a Paksi Atomerőmű létesítésével kapcsolatosan kialakított és begyakorolt környezetellenőrző rendszerek, valamint az időközben bevont akadémiai és egyetemi intézetek szakemberei által végzett, több ezernyi mérés és

elemzés alapján születtek. A későbbi vizsgálatok ezeket a korai eredményeket és következtetéseket csak megerősíteni és kiegészíteni tudták.

Az itt-ott megnyilvánuló félelmek ellenére bebizonyosodott, hogy a balesetek tulajdonítható járulékos lakossági sugárterhelés átlagértéke hazánkban 300 μSv -re tehető, a természetes környezeti forrásokból származó, évenkénti lakossági sugárterhelés egytizedére, de még a leginkább szennyezett hazai környezetben sem haladja meg az 1000 μSv -et.

Azóta kiderült, hogy hazánkban sem a gyermekkori pajzsmirigyrák és fehérvérűség, sem más rosszindulatú megbetegedések és rendellenességek gyakoriságában nem lehetett a balesettel összefüggésbe hozható, statisztikailag szignifikáns emelkedést kimutatni. A KSH adatai szerint a daganatos halálozások száma 1970-től a 90-es évek végéig kb. 30%-kal, meglehetősen egyenletesen növekedett. Ennek területi megoszlása nem mutat összefüggést a baleset okozta radioaktív környezetszennyeződés korábban kimutatott területi megoszlásával.

IRODALOM:

Munkaegészségtan, üzemegészségtan. Szerk.: Timár Miklós. Medicina, Budapest, 1981.

Kertai Pál: *Közegészségtan.* Medicina, Bp., 1982.
Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 1988 Report to the General Assembly, with annexes. United Nations, New York, 1988.

Nonionizing radiation protection – Second edition. Ed. by M. J. Suess, D. A. Benwell-Morison. WHO Regional Publications – European Series No. 25. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, 1989.

Sztanyik, B. L., Lun Katalin és mtsaik: *A csernobili atomerőművi baleset tanulságai tíz év távlatából* – Tudományos ülészet (MTA 1996. március 25–28., Bp). Budapesti Közegészségügy – ÁNTSZ Fővárosi Intézete, 28:303–330, 1996.

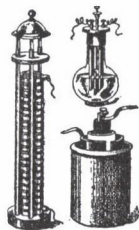
Vajda György: *Kockázat és biztonság.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 1998.

Kertai Pál: *Megelőző orvostan* (A népegészségügy elméleti alapjai). Medicina, Budapest, 1999.

Beszámoló a Nemzeti Környezet-egészségügyi Akcióprogram keretében végzett tevékenységről 1997–1999. Szerk.: Pintér Alán. NEKÁP, Budapest, 2000.

Munkaegészségtan – foglalkozás-orvostan, foglalkozási megbetegedések, munkahigiéné. Szerk.: Ungváry György. Medicina, Budapest, 2000.

Sources and Effects of Ionizing Radiation – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, United Nations, New York, 2000.



A PAKSI ATOMERŐMŰ JÖVŐJE

– Élettartam-gazdálkodás, élettartam-növelés –

Bevezető

A Paksi Atomerőmű az egyetlen atomerőműve hazánkban, amelynek – eltérően a többi villamosenergia-termelő egységtől – sajátos energiapolitikai szerepe van: az atomerőmű által megvalósul és fenntartható a primer energiahordozók diverzitása. Az atomerőmű ma a hazai termelés 38–40 %-át adó, nemzeti tulajdonban lévő kapacitásként a piacsabályozás, a gazdaságpolitikai intervenciók lehetséges eszköze. A nukleáris energia alkalmazásához, a magas színvonalú, biztonságos üzemeltetéshez szükséges hozzáértés és szakmai kultúra megtartása egyben az ország szellemi potenciáljának megtartását szolgálja. Mindezek meghatározzák a nukleáris energia szerepét a jövő energetikájában, s kijelölik azt a stratégiát, amit a nukleáris energetika alkalmazása terén követni célszerű, hogy hosszú távon biztosítsuk a nemzet gazdasági fejlődésének feltételeit. Az elkövetkező két évtizedben a nukleáris energetika meghatározó, s távlatilag állandó eleme lesz a hazai villamosenergia-termelésnek, amelyet a Paksi Atomerőmű biztonságos üzemeltetésével, a blokkok élettartamának meghosszabbításával, az erőmű teljesítményének maximális kihasználásával és az atomerőmű bővítésével kell biztosítani.

A nukleáris energetikának a hazai gazdaságban betöltött szerepét a világtendenciák tükrében célszerű szemlélni. Jelenleg az atomerőművek részaránya a villamosenergia-termelésben világ szinten 17 %, az USA-ban 15 %, az EU-ban pedig 35 %. A közelmúlt prognózisai a nukleáris energia termelésének kisebb bővülésével számoltak 2010-ig, utána csökkenést jeleztek, az élettartamukat lefutott erőművek leállítása miatt. Ehhez képest ma lényeges változás tapasztalható a világ jelentős fejlődési központjaiban. Feltétlenül meg kell említeni az USA energiapolitikájának változását, amely rehabilitálta a nukleáris energetikát, elismeri az atomerőművi villamosenergia-termelés környezetvédelmi hasznát, sürgeti a radioaktív hulladék elhelyezésének megoldását, s gyorsítani kívánja az új reaktortípusok, üzemanyagciklusok fejleszté-

sét. Az USA-ban jelentős nukleáris kapacitást kívánnak építeni 2020-ig, miközben a jelenlegi kapacitás megmarad, sőt növekedik az élettartam-hosszabbítás és a teljesítménynövelés következtében. Azokban az országokban, ahol a politikai szempontok nem dominálnak a gazdasági, sőt környezetvédelmi ésszerűség felett, a nukleáris energetika társadalmi megítélése is elfogulatlan. Jó példa Svájc, ahol a társadalom és a kormány sem támogatta az atomerőművek üzemidejének korlátozását. Finnországban az iparág nem adta fel a nukleáris opciót, és a meglévő atomerőművek élettartamának meghosszabbítása és teljesítményük növelése mellett új atomerőművi blokk építését tervezik. Finnországban parlamenti döntés született a kiégett üzemanyag tartós tárolójának létesítésére.

Az EU Bizottság által a múlt év novemberében kiadott *Zöld Könyv* megállapításaiából kitűnik, hogy az atomenergetika fejlesztése nélkül nem lehet szó a környetterhelés csökkentéséről, és az energiainporttól való függés jelenlegi szintjének megőrzéséről. Az atomenergetika a legjelentősebb, ipari méretű, CO₂-mentes villamosenergia-termelési mód, amely jelentősen hozzájárulhat Európa energiaellátásának biztonságához, tekintettel az urán készleteire és alacsony árkockázatára. A nukleáris hulladék kezelése és végleges elhelyezése valóban megoldásra váró kihívást jelent, de ez a kihívás sem elsősorban műszaki, gazdasági, hanem politikai döntéshozatali és kommunikációs jellegű.

Az USA és az EU tapasztalatok azt mutatják, hogy az atomerőművek jól szerepelnek a liberalizált piacon. A már jó ideje működő atomerőműveket alig terhelik a beruházási költségek, az atomerőművek teljes üzemköltsége alacsony, s az üzemanyag nem domináns költség-tényező. Ez utóbbinak köszönhető a nukleáris energetika termelői költségének stabilitása: a nukleáris üzemanyag árának igen valószínűtlen megkétszereződése is csak ~20 % növekményt eredményezne a termelt energia önköltségében.

A hazai termelők között *az atomerőmű termeli a legalacsonyabb költségen a villamos*

energiát. 2000-ben az átlagos értékesítési ár 5,63 Ft/kWh volt, ami a Központi Nukleáris Pénzügyi Alapba való befizetés jelentős növekedése ellenére is 2001-re csak 6,32 Ft/kWh-ra emelkedett. Ez az érték fele a más hazai erőművek értékesítési árának és negyedrésze az átlagos fogyasztói árnak. Nemzetközi összehasonlításban is megállja helyét a hazai atomerőművi villamosenergia-termelés, hiszen az átlagos értékesítési ár a külföldi, 2 USDcent/kWh körüli termelési átlagár körül mozog¹. A 2003. január 1-jén Magyarországon is bekövetkező, részleges piacnyitás után az iparág új modell szerint működik tovább. A jelenlegi árak alapján, s figyelembe véve, hogy a Paksi Atomerőmű a többi villamosenergia-termelőtől eltérően már fizeti az externális költségeket is, az várható, hogy a Paksi Atomerőmű megőrzi versenyképességét² a liberalizált, nyugatra nyitott piacon is.

Ilyen feltételek mellett a Paksi Atomerőmű számára három stratégiai cél lehet és kell kitűzni:

- Az atomerőmű biztonságát a hazai követelményeknek és a nemzetközi elvárásoknak megfelelő szinten kell tartani. A biztonság növelése tulajdonképpen az üzemeltető alapvető tevékenysége. Az Atomtörvény, az 1997-ben bevezetett, új nukleáris biztonsági szabályozás, az Időszakos Biztonsági Felülvizsgálatok rendszere az üzemeltetés feltételévé tette a biztonság növelését. Jelenleg egy átfogó biztonság-növelő program megvalósítása folyik a Paksi Atomerőműben. 1996–2002 között, a biztonság-növelő intézkedések hatására a blokkok biztonságát jellemző zónaszerűlési gyakoriság több mint egy nagyságrenddel csökkent, és 2002-re, a program végére eléri az 1/100 000 év értéket, ami megfelel a fejlett országokban üzemeltetett, hasonló korú atomerőművi blokkokkal szemben támasztott követelményeknek. Az atomerőmű biztonsága azonban nem statikus. Késznek kell lenni arra, hogy az új felismerések és tapasztalatok új követelményeket generálnak, amelyekre meg kell találni a válaszokat.

¹ 2000. év végi USA adatok szerint: nukleáris 1,8 USDcent/kWh, szén 2,1 USDcent/kWh, gáz 3,5 USDcent/kWh.

² Csak olyan (kb. 1 USDcent/kWh áru) importtal nem tud a Paksi Atomerőmű tartósan versenyezni, ami elégtelenül karbantartott, biztonsági-környezetvédelmi normákat nem teljesítő erőművekből származik.

- Növelni kell blokkok teljesítőképességét a biztonsági elemzések és a főberendezések terhelhetősége által megengedett mértékben. Ez jelentősen csökkenti a villamosenergia-termelés önköltségét, lévén az állandó költségek így nagyobb termelési volumenre oszlanak el. A szekunderkori korszerűsítésekkel, a kondenzátor rekonstrukció és a turbina retrofit eredményeként a blokkok villamos teljesítménye ma már eléri a 470 MW-ot. A loviisai atomerőmű példája azt mutatja, hogy – kihasználva a VVER-440/V213 reaktor tartalékait, kedvező tulajdonságait – a reaktor hőteljesítménye, és így a blokk villamos teljesítménye is biztonságosan mintegy 7–9 %-kal növelhető. A teljesítmény blokkonként 500–510 MW lehet, és a kapacitásnövekedés a négy blokk esetében elérheti egy átlagos gázturbina 150 MW-nyi teljesítményét. A teljesítménynövelés megvalósíthatósági vizsgálatának előzetes eredményei műszaki és biztonsági szempontból egyaránt alátámasztják ezt az elképzelést.

- A blokkokat a műszaki, gazdasági és a biztonsági követelményeknek megfelelően minél hosszabb ideig üzemben kell tartani hatékony élettartam-gazdálkodással. A PA Rt. 2000-ben megvizsgálta az atomerőmű élettartam-hosszabbításának lehetőségét és alternatíváit, az alternatívák műszaki és üzleti megvalósíthatóságát. Az alábbiakban bemutatjuk ennek a vizsgálatnak legfontosabb eredményeit.

Az élettartam-hosszabbítás előfeltétele

Az erőmű élettartamát azoknak a berendezéseknek az élettartama határozza meg, amelyeknek fontos biztonsági vagy üzemeltetési funkciójuk van, és nem cserélhető, vagy csak olyan nagy költség árán, amely ésszerűen nem vállalható. Nyilvánvaló, hogy a tervezett élettartam végéig, az utolsó üzemi napon is, valamennyi berendezésnek és az erőmű egészének is teljesítenie kell a biztonsági követelményeket.

Az élettartam-gazdálkodás az élettartam szempontjából kritikus berendezésekre kidolgozott rendszer, amely a berendezések öregedését figyelembe véve meghatározza a karbantartások, felújítások terjedelmét, módszereit, ütemezését és költségeit az erőmű technikailag elérhető leghosszabb – a tervezett vagy a meghosszabbított – élettartamának elérése érdeké-

ben. Az optimális élettartam a műszaki korlátok és lehetőségek, illetve a gazdaságosság elemzésével határozható meg.

1993-ban, az Időszakos Biztonsági Felülvizsgálatokkal, az üzemeltetési engedély időszakonkénti meghosszabbításának rendszerét vezette be a nukleáris biztonsági hatóság. Az Időszakos Biztonsági Felülvizsgálat terjedelmét, s ebben a biztonsági berendezések szisztematikus öregedés miatti kezelésének hatályos követelményeit a 108/1997. (VI. 25.) kormányrendelet, illetve a Nukleáris Biztonsági Szabályzatok tartalmazzák. A felülvizsgálat során, az üzemeltetési engedély feltételeként, igazolni kell, hogy az öregedési folyamatok ellenére a biztonsági szempontból fontos berendezések működőképsek. E követelmények miatt a Paksi Atomerőműben a szisztematikus öregedés-kezelési tevékenység mintegy hét éve kezdődött, ami kiterjedése annak a tevékenységnek, ami az atomerőműben a kezdetektől folyik, mint például a reaktortartály anyagának, azaz a neutronbesugárzás okozta ridegdedési folyamatnak ellenőrzése, az eróziós-korróziós jelenségek monitorozása, a műszaki felülvizsgálatok rendszere.

A blokkok Időszakos Biztonsági Felülvizsgálata során megtörtént az élettartam szempontjából kritikus, biztonsági szempontból fontos berendezések meghatározása. A paksi blokkok élettartamát a reaktortartály szabja meg, bár a tartály kritikus jellegét a már bevált hőkezelési eljárásokkal jelentősen csökkenteni lehet. Jóllehet a világon már számos gőzfejlesztőt kicseréltek, valószínű, hogy a paksi VVER-440/213 blokk típus beépítési sajátosságai miatt a gőzfejlesztők cseréje csak extrém nagy költségekkel valósítható meg, így a Paksi Atomerőműben a gőzfejlesztők is az élettartamot korlátozó berendezés-csoportba tartoznak. Triviális, de fontossága miatt mégis meg kell említeni, hogy a konténerment jelenti az abszolút korlátot az élettartam szempontjából. Ezekről a szerkezetektől és berendezésektől megfelelő öregedéskezelés mellett elvárható, hogy az erőmű tervezett élettartamáig üzemeljenek, de tőlük függ, bennük van az élettartam-hosszabbítás lehetősége is. A többi berendezés, komponens, s nagy tömegben beépített elem állapotát (karbantartással, felújítással, cserével) fenn kell tartani, hogy ne váljanak az erőmű működésének akadályává.

Megtörtént a kritikus berendezések öregedési folyamatainak feltárása, az állapotváltozás nyomon követésének és a lehetséges korrekciós intézkedéseknek meghatározása. A gépészeti berendezések esetében a ciklikus fáradás meghatározó mechanizmus, ezért követni kell a tényleges ciklusszám alakulását. A legtöbb öregedési folyamat következménye nyomon követhető a műszaki felülvizsgálatok eredményei alapján. A kritikus komponensek öregedési kezelésén, monitorozásán túl, az atomerőműben minden szakterületen folyik a szerkezetek, berendezések és komponensek állapotának felügyelete, ezzel biztosítva a nagyszámú (ámbar cserélhető) rendszerelemek megkövetelt műszaki szintjét.

Korszerű számítógépes támogatással folyik a kritikus komponensek öregedési folyamatainak monitorozása, az adatgyűjtés.

A tudatos öregedéskezelés már az eddigi átalakítások, cserék során is teret nyer. Erre példa a turbina kondenzátorok cseréje, ami – lévén az új kondenzátor rozsdamentes acél csövezésű – lehetővé teszi a gőzfejlesztők degradációjának ütemét lényegesen csökkentő, magas pH-jú szekunder köri vízüzem bevezetését.

A műszaki-tudományos kompetencia fejlesztésére és az élettartam-gazdálkodás műszaki-tudományos kérdéseinek tisztázására évek óta komoly kutatás folyik több intézményben.

Az már 1992-ben felismerhető volt, hogy a beépített biztonság, minőségbiztosítás, biztonsági elkötelezettség, és biztonságnövelés, az inspekciók-karbantartások más iparágakat jóval felülmúló rendszeressége, néhány komoly, de kezelhető problémától eltekintve lehetőséget ad az atomerőmű élettartamának növelésére, s azt inkább politikai, gazdaságpolitikai, társadalmi és befektetési szempontok korlátozhatják [1]. 2002-ben megtörtént az élettartam-hosszabbítás megvalósíthatóságának komplex műszaki-gazdasági vizsgálata, amely ezt a feltételezést teljes mértékben megerősítette.

Az élettartam-hosszabbítás
megvalósíthatósága

A vizsgálat menete

Az élettartam-hosszabbítás műszaki-gazdaságossági megvalósíthatóságának vizsgálata három részfeladattal áll:

- Az atomerőművek élettartam-hosszabbításával kapcsolatos ismeretek, s különösen az USA-ban felhalmozódott tapasztalatok és engedélyezési eljárás feldolgozása [2];
- Az atomerőmű szerkezetei, rendszerei és komponensei műszaki állapotának felmérése, az élettartam-hosszabbítás műszaki, biztonsági korlátainak megállapítása és a biztonsági, illetve termelési funkciók fenntartásához szükséges beruházási költségek becslése [3];
- Az élettartam-hosszabbítás üzleti modelljének kifejlesztése, amellyel elemezni lehetett az erőmű élettartam-hosszabbítási alternatíváinak versenyképességét [4].

Az alábbiakban a két utolsó részfeladat eredményeit taglaljuk.

Az erőmű műszaki állapotának felmérése

Az erőmű állapotának felmérése a szerkezetek, rendszerek és komponensek nagyszámú, reprezentativitáshoz feltétlenül elégséges halmazaán történt. Az elemzés közel 500 szerkezet, rendszer és berendezés élettartam-kilátásaira, az ellenőrzési, karbantartási, állagmegóvási gyakorlatra, az öregedéssel, romlási folyamatokkal kapcsolatban összegyűlt tapasztalatokra terjed ki. Minden berendezésnél felmértük, lehet-e az erőmű eddigi gyakorlatának megfelelő szinten tartó tevékenységgel (cserék, felújítások, eseti kiváltások stb.), s az ehhez tartozó rendszeres költségekkel az elvárt biztonságot, rendelkezésre állást biztosítani, vagy kiugró beruházási költségekkel kell számolni az élettartam-hosszabbítás alternatívától függően. Megállapítottuk:

- A Paksi Atomerőmű 50 éves üzemben tartását műszaki akadály vagy teljesíthetetlen biztonsági határ nem korlátozza.
- A Paksi Atomerőmű ellenőrzési, karbantartási, rendszeres felújítási gyakorlata a legtöbb rendszer, berendezés esetében lehetővé teszi az élettartam-hosszabbítást kiugró költség nélkül.
- A berendezések, rendszerek kis hányadánál, az élettartam hosszabbítás mértékétől függően, szükség van rekonstrukcióra, komolyabb beruházásra, mivel az öregedés okozta degradáció javítása korlátozott, vagy jelentős erkölcsi avulással kell számolni. Egyes berendezések, rendszerek esetén (pl. szabályzó és biztonsági védelmi kettőtájtájsai, ezek közbelső rúdjai, stb.) az üzemidő növeléséhez

készletváltásra, vagy kapacitásbővítésre van szükség (mint pl. a hulladéktároló esetében).

Az élettartamot korlátozó berendezések közül a reaktortartályok és a gőzfejlesztők, fokozott jelentőségük miatt, külön említést érdemelnek.

A Paksi VVER/213 típusú reaktortartályok anyaga a neutronbesugárzásra, illetve az ezáltal okozott ridegedésre kevésbé érzékeny, mint a hasonló blokkok tartályai. Így reaktortartályok üzemeltethetők bizonyos, a biztonságot és az élettartam-hosszabbítás gazdaságos voltát nem veszélyeztető intézkedésekkel és költségekkel. A tartályok blokkonként eltérőek, és eltérő feltételek mellett valósítható meg az élettartamuk meghosszabbítása:

- A 3. és 4. blokkon a reaktortartályok semmilyen beavatkozást, módosítást, következképp semmilyen többletköltséget nem igényelnek, még 50 éves élettartam esetén sem.
- A 2. blokkon a reaktortartály élettartamának meghosszabbításához csak az üzemzavari zónahűtés tartályának felfűtésére van szükség a kis valószínűséggel bekövetkező, nyomás alatti termikus sokk (PTS) tranziensek okozta feszültségamplitúdók csökkentésére. Erre kipróbált és nem túlzottan költséges műszaki megoldások léteznek.
- Az 1. blokk reaktoránál az 50 éves élettartam esetén az üzemzavari zónahűtés tartályának felfűtésén túl ~50 %-os esélye van annak, hogy az aktív zóna melletti 5/6-os hegesztési varrat ridegtörési hőmérsékletének csökkentésére hőkezelést kell alkalmazni. A hőkezelés a VVER erőművek gyakorlatában (Finnországban, Szlovákiában) sikerrel alkalmazott, nem költségkritikus eljárás.

A paksi gőzfejlesztőknél is számolnunk kell a gőzfejlesztő hőtadó csövek feszültségkorróziójával. Az időközben bevezetett, a gőzfejlesztők szekunder oldali védelmét szolgáló beavatkozásokat (kondenzátorcsere, réztelenítés, 100 %-os kondenzátisztító kiiktatása stb.) figyelembe véve nagy biztonsággal kizárhatjuk a paksi blokkok 50 éves élettartama esetén is a gőzfejlesztők cseréjét. A szekunder oldali feszültségkorróziót azonban a megváltozott vízüzem esetén is kontrollálni kell, minimalizálni kell az eróziótermékek gőzfejlesztőbe való behordását, pl. a nagy-

nyomású előmelegítők cseréjénél a szerkezeti anyagok helyes megválasztásával.

Input adatok az üzleti értékeléshez

A típusévi átlagos szintentartó beruházási költségek meghatározása. Az erőművi berendezések elvárt biztonságossági szintjét folyamatosan fenntartó karbantartási, állagmegőrzési, időszakos felújítási, szakaszos cserélési gyakorlathoz tartozó úgynevezett *síntentartó* beruházási költségeket az erőmű 1994–2000. évi gyakorlata és tényadatai alapján határoztuk meg. A tényadatot az előre nem specifikálható (pl. biztonság-növelő) tételek miatt, konzervatív módon ~35 %-kal megnöveltük, s ez lett az üzleti elemzés inputja.

Kiugró beruházási költségek meghatározása.

A mintegy 500 rendszer, berendezés műszaki állapotának felmérésével meghatároztuk, hol kell a meghosszabbított élettartam alatt az elvárt biztonságossági szintet, rendelkezésre állást jelentős beruházással biztosítani. A kiemelt kiugró költséget valószínűsítő berendezések listája úgyszintén az üzleti elemzés input adata lett.

Az élettartam-hosszabbítás gazdasági vizsgálata

Az élettartam-hosszabbítás üzleti modellezése a bevételekre, a kiadásokra és a finanszírozásra terjedt ki.

A bevételek természetesen a villamosenergia-termelésből és -értékesítésből származnak. Műszaki megfontolások alapján feltételeztük, hogy a Paksi Atomerőmű rendelkezésre állása a jelenlegi kiemelkedő szinten tartható. A kezdeti időszakban az értékesítés a hosszú távú áramvásárlási szerződés alapján, 2010-től pedig a már teljesen liberalizált árampiacon, versenykörülmények között zajlik. A hosszú távú áramvásárlási szerződés időszakát felváltó versenyipiaci árképzés alapjául a kombinált ciklusú gázturbinás erőművek (CCGT) adatait használtuk, mivel ezek várhatóan domináns szerepet kapnak az energiatermelésben. Feltételeztük tehát, hogy megtartható a jelenlegi kapacitás kihasználási szint is, mivel nem számoltunk az üzemszüneti pontnál, az atomerőmű tipikus költségeinek fajlagos értékénél (3,67 Ft/kWh, 1999-ben) alacsonyabb versenyipiaci áramárral.

A makrogazdasági tendenciák becsülésénél mértékadó forrásokat, pl. a Gazdaságkutató Intézet által prognosztizált adatokat használtuk. Figyelembe vettük a Paksi Atomerőmű specifikus műszaki és gazdasági adatait, mint pl. a Központi Nukleáris Pénzügyi Alapba való befizetési kötelezettséget, vagy az eredetileg tervezett 30 éves élettartamhoz kapcsolódó biztonság-növelő beruházások már folyó vagy tervezett tételeit, s az élettartam-hosszabbítás engedélyeztetési eljárásának várható költségeit. Az iparág jellemző adatait, mint pl. az iparági tőke-költségre vonatkozó adatokat, a CCGT létesítési és működési költségeire vonatkozó adatokat nemzetközi forrásokból (pl. International Energy Agency: Projected Costs of Generating Electricity) vettük.

Az input adatok és a változónak tekintett paraméterek esetében konzervatív feltételezésekkel éltünk, például moderált gázár prognosztizáltunk alapul, továbbá a beruházások időpontját a felmerülés időszakának lelegejére ütemeztük. Feltételeztük, hogy az élettartam-hosszabbítás beruházásai az osztalékkal csökkentett termelői működési pénzáramokból és leginkább hitelekkel finanszírozhatóak. A hitelek felvétele a mérleg-főösszeg 50 %-ig megengedett.

Az üzleti értékelés eredményei

A kiemelt jelentőségűnek feltételezett változókra (földgázár alakulása, beruházások felmerülésének időpontja, típusévi költségek szintje) érzékenység-vizsgálatokat végeztünk. A vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a projekt megtérülését leginkább a földgázár, illetve azon keresztül a villamos energia értékesítési ár alakulása befolyásolja. Miután a földgázár volatilis és nehezen prognosztizálható, azt a teljes időszakra változtathatóként állítottuk be.

Az élettartam-hosszabbítás mint projekt gazdaságosságát kétféle összehasonlításban vizsgáltuk:

- A projektek értékelésekor általánosan alkalmazott nettó jelenérték és belső megtérülési ráta kritériumok mellett, amelyeket érzékenységvizsgálataink keretében vizsgáltunk, elvégeztünk egy olyan gazdaságossági számítást, amely az atomerőmű élettartamának meg-

hosszabbítására vonatkozó döntést állítja szembe az alternatívaként megvalósítható (ugyanolyan teljesítmény egyenértéken figyelembe vett) CCGT létesítési beruházással.

- Megvizsgáltuk, mekkora a nettó jelenértéke, illetve a belső megtérülési rátája az élettartam-hosszabbítás megvalósításának, az erőmű leállításával összehasonlítva.

A pénzügyi modell alapján elvégzett gazdasági számítások legfontosabb végkövetkeztetése az alábbiak.

Élettartam-hosszabbítás versus CCGT létesítés.

Az alternatív beruházásként figyelembe vett CCGT létesítéshez képest mind a fajlagos beruházási kiadások terén, mind pedig a működési költségek esetében sokkal előnyösebb a Paksi Atomerőmű élettartam-hosszabbítása. Amennyiben a meghosszabbított üzemidő alatt a villamosenergia-értékesítési reál-árszint 4,52 Ft/kWh felett alakul, a CCGT építéséhez képest előnyösebb az atomerőmű élettartamának meghosszabbítása mellett dönteni.

A Paksi Atomerőmű élettartamát növelő beruházások mindaddig gazdaságosabbak egy CCGT létesítésénél, amíg a bővítés időszakában érvényes földgázár nem csökken a 2000 novemberi érvényes (a 42 %-os áremelés előtti) szálítottévetéki gázdíj (0,585 Ft/MJ) szintje alá 57 %-kal. Az ugyanehhez a 0 nettó jelenértékű szinthez tartozó villamosenergia-ár szélsőérték 4,52 Ft.

Más megközelítésben azt láthatjuk, hogy pl. 7,32 Ft-os villamosenergia-ár mellett az élettartam-hosszabbítás által generált *cash flow* nettó – a CCGT létesítéshez viszonyított – többletjelenértéke a 10 éves alternatíva esetén 327 milliárd forint, a 20 éves élettartam-hosszabbításnál pedig 452 milliárd forint. Az eredményül kapott rendkívül jelentős gazdaságossági tartalék az élettartam-növelő beruházások CCGT létesítéshez képest alacsony beruházási kiadása és az alacsony típus évi költségek együttes eredményei. Itt kell hangsúlyoznunk, hogy a modellben nem tételeztünk fel reálértéken változást a nukleáris fűtőanyag árban az 1999-es évi szinthez képest. Ez utóbbi azonban az eredményeket még akkor sem változtatja meg, ha a természetes urán ára két-háromszorosára nőne.

A táblázatban nem vettük számításba a teljesítménynövelést. Mivel a teljesítménynövelés

nem jár arányosan ugyanakkora üzemeltetési és karbantartási költségnövekedéssel, végeredményben a megtermelt villamos energia egységárának csökkenését is okozza.

Vannak még költségcsökkentési lehetőségek az üzemanyag-gazdálkodásban, s a friss üzemanyag beszerzésének diverzifikálása, a második szállító megjelenése az atomerőmű számára kedvező árverseny kialakulását eredményezheti, valamint lehetőséget nyújt a stratégiai készlet szintjének csökkentésére és ezzel a pénzügyi terheknek az ellátási biztonságot nem veszélyeztető mérséklésére.

Élettartam-hosszabbítás versus az atomerőmű leállítása

Miután a pénzügyi elemzés azt mutatta, hogy a projekt finanszírozásához nincs szükség tulajdonosi saját forrás bevonására (tőkeemelésre), a befektetett tőke értékékként azt az összeget szerepeltettük, amely az erőmű 2017-ben történő leállítása esetén a tulajdonosokat illetné saját tőkájük értékeként. A nettó jelenérték kritérium alapján a földgáz 2000. évi árszintjénél 30 %-kal alacsonyabb árat feltételez, 5,85 Ft-os áramár mellett válik nem megtérülővé az élettartam-hosszabbítás (mind a 10, mind a 20 éves élettartam-növelés esetén). Az erőmű leállítása helyett az élettartam-hosszabbítás megvalósítása 5,85 Ft/kWh feletti reál áramár (2000. éves szint) felett már gazdaságosabb.

A siker feltételei

Az élettartam-hosszabbítás lehetőségének megteremtéséhez – a jelenleg folyó öregedéskézelési és élettartam-gazdálkodási program folytatásán – túl számos feltételnek kell teljesülnie.

Projektindítás

Az élettartam hosszabbításához, megalapozásához és engedélyezéséhez egy előkészítő projektet kell indítani 2001-ben. Az előkészítő projekt célja az élettartam-hosszabbítás részletes, az eddigi Időszakos Biztonsági Felülvizsgálatok és a megvalósíthatósági tanulmányhoz végzett elemzések mélységét meghaladó, az élettartam-hosszabbítás hatósági engedélyezéséhez szükséges megalapozása.

Az előkészítő projekt eredménye egy kiterjesztett öregedés-kezelési és élettartam-gazdál-

kodási program. Az atomerőmű jelenlegi örege-
déskezelési programját kell terjeszteni minden,
immáron nemcsak a biztonságos, de a gazdasá-
gos üzemeléshez szükséges, fontos rendszer-
elemre és folyamatra is, és a programot végig
kell vinni. Ez a berendezés és rendszer állapotai-
nak mélyebb és nagyobb felbontású figyelését,
trend elemzését igényli, és megköveteli a folya-
matok vizsgálatát és az adatgyűjtés kiterjesztését.
Fontos cél az élettartamot korlátozó folyamatok
korai stádiumban való felismerése, hogy a kor-
rekció időben megtörténhessen. A projekt fő
eredménye az öregedési hatások korrekcióját
szolgáló karbantartási-szintmentartási tevékeny-
ség, illetve beruházási igények meghatározása.
Az élettartam-hosszabbítás lehetőségét elemzé-
sekkel kell alátámasztani, amely a szerkezetek,
berendezések és komponensek tervezéskor fel-
vett, élettartamot meghatározó feltételezésekből,
a tényleges elhasználódás mértékéből kiindul-
va igazolja, hogy a maradék élettartam elégséges
az 50 éves üzemeltetéshez, illetve ha nem, akkor,
mikor és milyen beavatkozásra van szükség. A
projekt keretében elkészülnek a nukleáris biz-
tonsági és a hazai szabályozás által megkövetelt
engedélydokumentumok. A projekt keretében
meg kell fogalmazni azokat a követelményeket
is, amelyek az élettartam-hosszabbítás társadal-
mi-politikai elfogadtatásához, az erőmű meg-
hosszabbított élettartamára a humán erőforrás
és szaktudás biztosításához, vagy a környezeti
hatások ellenőrzéséhez szükségesek. Ezek biz-
tosítása önálló projektek keretében folyik.

Az élettartam-gazdálkodási program kidol-
gozása, műszaki-tudományos megalapozása
és engedélyezéshez szükséges dokumentu-
mok előállítására konkrét nemzetközi tapasztala-
tok (USA, Finnország) alapján és azok felhasználásával 2007-ig befejezhető.

Biztonsági és műszaki feltételek

Elengedhetetlenül szükséges feltétele az élettartam-hosszabbításnak az erőmű biztonsága, azaz, hogy – megvalósítva a 2002. év végére a biztonságnövelő programot – a zónaolvadás gyakoriságát a belső kockázati forrásokat, eseményeket és a földrengést tekintve a 10^{-5} /év nagyságrendre csökkentjük. Ezzel a további tartós üzemeltethetőség alapvető, biztonsági feltételét teljesítjük. Ez nem jelenti természetesen

a biztonsági problémák egyszer és mindenkorra megoldását. Az élettartam-hosszabbítás egyúttal azt is jelenti, hogy a 2020-as évek biztonsági elvárásait is bizonyos mértékben teljesíteni kell.

Nem feltétele, de igen kedvező műszaki (sőt gazdasági) körülmény a blokkteljesítmény növelése az élettartam-hosszabbítással párhuzamosan, ami jelentősen fokozza a versenyképességet, és jobb megtérülést biztosít mindkét projekt számára. A meghosszabbított élettartam alatt még profitálni lehet az üzemanyag-fejlesztések várható eredményeiből is.

Jogi feltételek

Az Időszakos Biztonsági Felülvizsgálat és az üzemeltetési engedély megújítását megkövetelő hazai szabályozási koncepció nem köti ki az erőmű élettartamát, az akkor jár le, ha valamely kritikus berendezés nem képes teljesíteni funkcióját, s megjavítása vagy cseréje műszaki vagy gazdasági okokból nem megvalósítható. Ennek ellenére itt is van értelme a tervezési élettartamnak mint a szállító által garantált üzemeltethetőségi korlátnak, illetve mint a főberendezések tervező által elvégzett fáradási elemzések bázisidejének. Éppen ezért a ma hatályos Nukleáris Biztonsági Szabályzatok tartalmazzák az öregedés-kezelésre vonatkozó elvárásokat, illetve azt, hogy az adott időpontig, az Időszakos Biztonsági Felülvizsgálat utáni tíz évig, valamennyi berendezésnek és az erőműnek összességében teljesítenie kell a biztonsági követelményeket. Ugyanakkor a Nukleáris Biztonsági Szabályzatok azt is kikövik, hogy az így kiadott üzemeltetési engedély érvényessége a tervben előírt irányzott és megalapozott élettartamnál nem lehet hosszabb. A tervezett élettartamot túllépő üzemeltethetőséget külön kell igazolni, és az élettartam-hosszabbítást az engedélyesnek kérelmeznie kell. A hazai nukleáris biztonsági szabályozás tehát megadja az élettartam-hosszabbítás lehetőségét. A részletes, alacsonyabb szintű szabályozás kidolgozása folyik, és 2002-ben várhatóan befejeződik.

Az élettartam-hosszabbítás társadalmi feltételei

Az élettartam-hosszabbítást az is indokolja, hogy a Paksi Atomerőmű elfogadottsága igen jó, tartósan több mint 70%. Ez, és a régió egyérelmű támogatása adja az élettartam-hosszabbí-

tás társadalmi alapját. Számolnunk kell azzal, hogy mire elérjük a tervezett élettartamot, hazánk EU-tag lesz, ami meghatározza a politikai peremfeltételeket az atomenergetika hazai alkalmazása terén is. Ellentétben a VVER-440/V230 típusú (Bochunice V1 erőmű 1. és 2. blokk) a paksi, VVER440/V213 típusú atomerőművi blokkok leállítását az EU nem várja el a csatlakozóktól. A Paksi Atomerőmű biztonságnövelő programjának nemzetközi és EU megítélése igen jó, s az elfogadtatás nem jelent problémát, de nehezen jósolható meg az európai politikai erők reakciója a csatlakozni kívánó Magyarország az élettartam-hosszabbítási szándékára.

Egvéb feltételek

Az atomerőmű üzemeltetése nem függetleníthető a kiégett üzemanyag és a radioaktív hulladék problémájától. A kiégett üzemanyag átmeneti tárolása a telephelyen lévő tárolóban 50 évre megoldott. Ma a világon intenzív kutatófejlesztő munka folyik a kiégett üzemanyag optimális kezelésének, illetve a nagyaktivitású hulladék végleges elhelyezésének megoldására. Ennek meg lesz az eredménye, ezért ma a világon mindenütt a kivárás stratégiáját követik. Ezzel a kérdéskörrel megfelelő szinten kell foglalkozni hazánkban is. A kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék végleges elhelyezését a világon technikailag megoldottnak tekintik. A hazai tároló telephelyének kijelöléséig, illetve a tároló elkészültéig a Paksi Atomerőműnek meg kell oldania a hulladék üzemi területen való kezelését és átmeneti tárolását.

Humán erőforrás, tudásmenedzsment

Az atomerőmű öregedése nem csak műszaki kérdés. Az atomerőmű üzemeltetői, de a mű-

szaki-tudományos háttér intézmények személyi állománya is öregedik, az átlagéletkor feltűnően az ötven év irányába tolódott el. Ezt a folyamatot a háttérintézményeknél némileg késleltette a biztonságnövelő program tudás- és humánerőforrás-igénye, de az előregedés problémája így is általános jellegű. A Paksi Atomerőmű humán stratégiája és humánerőforrás-fejlesztése hivatott a távlati szakember igény és szaktudás biztosítására, de az a humán erőforrás és szaktudás biztosításának kérdése nem csak egy cég, hanem az ország műszaki-tudományos és oktatási potenciáljának aktivizálását, revitalizálását jelenti.

A gazdasági-politikai körülmények miatt szükség van arra, hogy a nukleáris energetika pozícióját megőrizzük a hazai villamosenergia-piacon. A nemzetközi tendenciákat követve és a paksi blokkok műszaki biztonsági adottságait kihasználva ezt a Paksi Atomerőmű élettartamának meghosszabbításával lehet megvalósítani. Ennek biztonsági és műszaki megvalósíthatóságát és egyértelmű üzleti előnyeit a megvalósíthatósági tanulmány igazolta. Az élettartam-hosszabbításra vonatkozó elvi döntés megszületett. Az előkészítő projekt keretében kell kidolgozni és bevezetni az élettartam-hosszabbításhoz szükséges öregedéskezelési és élettartam-gazdálkodási programot, és azokat az engedély dokumentumokat, amelyek igazolják, hogy a hazai hatályos nukleáris biztonsági és környezetvédelmi előírások, s a nemzetközi normák szerint a Paksi Atomerőmű legalább ötven évig üzemeltethető, s biztonságos, tiszta forrása a hazai villamosenergia-termelésnek.

	széntüzelésű erőmű	kombi ciklusú gáztüzelésű erőmű	Paksi Atomerőmű, 20 év élettartam hosszabbítás
Beruházási kiadások Ft/kW	340.000	160.000	58.000
Karbantartási költség, Ft/kWh	1,32	0,71	2,84
Primerenergia-költség*, Ft/kWh	3,38	5,67	0,83
Összes költség, Ft/kWh	4,70	6,38	3,67

* Prognózis közepes energiaárak esetén, a közelmúltbeli gázár-tendenciák nélkül.

1. táblázat • A villamosenergia-termelés alternatíváinak gazdasági összehasonlítása

IRODALOM:

Katona T., Bajsz J.: *PLEX at Paks: making virtue out of necessity*, Nuclear Engineering International, June 1992

A Paksi Atomerőmű élettartam-hosszabbításának megvalósíthatósági elemzése, 1. rész. VEIKI, 2000.

A Paksi Atomerőmű élettartam-hosszabbításá-

nak megvalósíthatósági elemzése 2. rész: A berendezések műszaki állapotának előzetes értékelése Táblázatok, VEIKI, 2000.

A Paksi Atomerőmű élettartam-hosszabbításának megvalósíthatósági elemzése 3. rész. A Paksi Atomerőmű élettartam hosszabbításához tartozó üzleti terv modell kifejlesztése, VEIKI, 2000.



Kováts Balázs
A NUKLEÁRIS IPAR ÉS A TÁRSADALOM

– őszinte előszó egy közvélemény-kutatáshoz –

A hagyományos, emberi léptékkel, átlagos emberi tudással követhető folyamatok helyett és mellett az elmúlt évtizedekben megjelentek a tabuk lerombolói is. A behatolás az anyagi világ oszthatatlannak hitt építőköveibe, azok manipulálása, átalakítása, később a csillagok tüzenek reprodukálása meghökkenést és bizonytalanságot keltett. A klasszikus világképű, hagyományos gondolkodású emberekben az új Prométheuszok megjelenése sokféle megszokott értékrendet borított fel. Tovább gerjesztette az indulatokat, hogy mindez a legborzasztóbb pusztítással mutatkozott be az emberiség történetében. A bűnös mindig magán hordozza a bélyeget és oldalági rokonai is az állandó gyanú árnyékában élnek.

Nincs még egy olyan iparág a világon, amely ilyen negatív társadalmi megítéléssel a háta mögött indult volna hódító útjára. Az atomerőművek a múlt század 50-es és 60-as éveiben tovább erősítették a gombafelhőkötől terhes világháború lezárásnak félelemfaktorát. Az atomerőművek egy része katonai célokat szolgált, szigorúan titkosított és őrzött körülmények között dolgozott. Más objektumok erőműnek álcázva új kísérletek helyszínévé, esetleg atom-tengerelaljárók személyzetének kiképző bázisává váltak. Eközben dúlt a hidegháború, a levegőben és a föld alatt felrobbantott nukleáris töltetek százai bizonyították, hogy milyen könnyen elpusztítható az emberiség. A két világrendszer sakkbán tartotta egymást az elrettentés fegyverével, s ennek peremén a társadalmi köztudatban ott voltak az atomerőművek is. A fejlett demokráciák és a keleti tömb országainak lakói egyaránt élni (túlélni) szerettek volna, ehhez kénytelenek voltak elfogadni egy összetett, titkosatos nukleáris hátteret. Ez volt az atomerőművek „kényszer-elfogadásának” korszaka.

A 60-as évek közepétől kialakultak azok az atomerőmű alaptípusok, amelyek a későbbi terjeszkedés legfőbb műszaki-tudományos elgondolásait, tulajdonságait már magukban hordozták. A gazdasági szempontból erős országok számára presztízskérdéssé vált a saját erőműtípus kifejlesztése, a hazai tervező-gyártó háttér megre-

mentése. Létrejöttek az első nemzetközi együttműködések, de még mindig a katonai és a polgári alkalmazás mezsgyéjén ingadozott a társadalmi megítélés. Sokat jelentett a nemzeti büszkeség, az identitás, a világszínvonal prezentálása. Ez volt a „presztízs-elfogadás” korszaka.

A 70-es évek közepétől indult el az atomerőművek széles körű elterjedése. Már léteztek az exportképes, kipróbált blokkok, mögöttük a sorozatgyártó cégek. Kialakult a szakmai képzési háttér is. Erősödött a nemzetközi együttműködés, létrejöttek a felügyeletet biztosító szervezetek szövetségei. A ma is üzemelő mintegy 450 atomerőmű blokk túlnyomó többsége ebben az időszakban létesült (1. ábra). A 80-as évek elején már 25 országban működtek atomerőművek, ami nagyon gyors fejlesztést mutat. A békés célú nukleáris ipar egyre erősebben elhatárolódott a katonai jellegű felhasználóktól. Ezt a markáns változást a hidegháborús folyamat lényeges lecsillapodása is segítette.

Az erőművek demokratizálódtak, nyitottá váltak, ami a korábbi évtizedekhez képest igen jelentős változás volt. Látogatóközpontok létesültek az erőművek mellett, amelyek az érdeklődők számára kirándulási célpontokká váltak. Elindult a nukleáris *public relations*, amely a jóakarattal mellett sok vitatható irányvonalat is képviselt. Megkezdődött az atomerőművek régóta várt társadalmi integrálódása, ezek a létesítmények is kezdtek a hétköznapiak részévé válni. A nukleáris ipar megszűnt államilag védett és titkosított tabutéma lenni, ez maga után vonta az antinukleáris mozgalmak megjelenését, illetve megerősödését is. A másként gondolkodás lehetősége és ennek kifejezhetősége, ha rejtett módon is, segített legitimé tenni az atomerőműveket. Az erősödő társadalmi beágyazódáson lényegesen nem rontott a Three Mile Island erőmű 1979-es üzemzavarára sem, sőt bizonyos tekintetben a biztonsági rendszerek megbízhatóságát és a környezet megóvását támasztotta alá. A nukleáris ipar történetében ez az évtized volt a fénykor, amelyet a „hétköznapi elfogadás” korszakának nevezhetünk.

1986. április 26-a bénító döbbenet hozott. A világ nukleáris ipara sem gondolatilag, sem az eszközrendszerek, sem összehangolt intézkedési programok tekintetében nem volt felkészülve az ukrán atomerőműben bekövetkezett katasztrófára. Úgy tűnt, hogy mindaz, amit az elmúlt évtizedekben sikerült elérni a társadalmi elfogadtatás tekintetében, semmivé vált, újból a kezdeti mélypontra zuhant. Lassú, sokéves talpra állás indult meg, amely elsősorban az atomerőművek biztonságának újraértékelését, ezt követően pedig nagyléptékű biztonságnövelő programok végrehajtását jelentette. Az új biztonsági filozófiák és azok műszaki megvalósulása minőségi ugrást jelentett az atomerőművek megbízhatóságában, de ezt annak speciális szakmai tartalma miatt csak kis hatékonysággal lehetett hihetően és érthetően közvetíteni a társadalmak számára.

Ugyanerre a korszakra esett és a negatív tendenciákat erősítette, hogy egyre élesebb problémaként jelentkezett az elhasznált nukleáris fűtőanyag elhelyezésének megoldatlansága. Néhány országban súlyosbította a helyzetet, hogy még a kis aktivitású hulladékok sorsa sem rendeződött. Az antinukleáris szervezetek és a környezetvédő mozgalmak egy része ebben a problémakörben találta meg a legkoncentráltabb támadások lehetőségét, amelyek látványos akciók formájában, vagy vezetőik, szimpatizánsaik révén ügyes politikálásban realizálódtak. Súlyos döntések születtek kormányzati szinten az atomenergia erőművi alkalmazásának visszaszorítására két korábbi mintaországban, Németországban és Svédországban, ahol jelentős tervező- és gyártókapacitások, kutató és képzési intézmények is működtek. Ma még alig vehető észre, de évek múlva alapvető gond lesz, hogy gyakorlatilag leállt a nukleáris szakember-utánpótlás képzése az érintett országokban.

A 70-es és 80-as években épített atomerőművek a biztonságnövelés után folyamatosan működnek, de Európában és Észak-Amerikában elsősorban nem őszinte társadalmi támogatottság, hanem a gazdasági és ellátási szükségyszerűség indokolja ezt. Európában a villamosenergia-termelés 33 %-át, az USA-ban pedig 20 %-át biztosítják atomerőművek. Az 1900-as évek utolsó évtizede a „beletörődő elfogadás” korszaka. Japánban viszont töretlen a

nukleáris ipar fejlődése, terjeszkedése, melyet elsősorban az egyéb energiahordozók hiánya indokol. Kína és a kelet-ázsiai országok – fejlett, importált erőműtípusokkal – most járják a „presztízs elfogadás” és a „hétköznapi elfogadás” korszakát.

Az ezredforduló környékén új, a nukleáris ipar és felhasználói számára biztató jövőképek bontakoznak ki. Igaz, új atomerőműépítési terveket még nem terjesztettek a közvélemény elé, inkább egy átmeneti – több évtizedet felölelő – megoldás erősödik meg nemzetközi szinten, a meglévő atomerőművi blokkok működési élettartamának meghosszabbítása. Viszonylag kis beruházással az atomerőművek működtetése biztonságosan folytatható, a termelés a jelentős mértékben már amortizálódott létesítményekben gazdaságos, kifizetődő. Eközben a nukleáris ipar koncentrállhat a hulladékkezelés megoldására, a szakember-utánpótlás biztosítására, és átgondolt lépésekkel előkészítheti a távolabbi jövőt, az új típusú, még biztonságosabb, az emberi hibákra érzéketlen erőművek létesítését.

Az élettartam-bővítési stratégiát pozitív előjellel befolyásolják azok a külső hatások, amelyekre a fejlett demokráciák társadalmi érzékenyen reagálnak: a gáz árának jelentős és továbbra is prognosztizált emelkedése, a szénhidrogének beszerezhetőségének geopolitikai problémái, a kaliforniai áramkrisis kapcsán előtérbe került termelőkapacitás hiánya. Egyre sokkolóbbak és néhány meghatározó politikusi kör passzivitása miatt egyre reálisabbnak tűnnek a globális klímaváltozás lehetséges kataszrofális következményei. Úgy látszik, hogy a nukleáris iparban évtizedek óta hangsúlyozott *kockázat-hasznosság elv* kezd bekerülni a társadalmi gondolkodásmódba. Az állampolgárok egyre nagyobb része van tudatában annak, hogy a jóléti társadalom működésének, az egyének életminőségének fejlesztését szolgáló módszerek mindegyikének van káros következménye is. Ennek a felismerésnek a terjedése az energiaellátás tekintetében hosszú távon az atomerőművek alkalmazását segítheti. Az ezredfordulóra a nukleáris ipar megkezdte az „ésszerű elfogadás” korszakát.

Napjainkban az atomerőművek és más polgári nukleáris létesítmények társadalmi kapcsolatait – a cégek vezető szakembereivel

karöltve – már főállású tájékoztató szervezetek, PR csoportok szervezik és végzik, megfelelő személyzettel, létesítményi és technikai háttérrel. Mindenki igyekszik a maga harcát megvívni az erőműve elfogadtatásáért, a nukleáris opció fenntartásáért a saját országában. Nukleáris PR-rel néhány ezer szakember foglalkozik a világon, rendszeres átgondolt tevékenységük mintegy 30 éve kezdődött el. Rengeteg ötlet, akció kerül napirendre újra meg újra, sokat tanulnak egymástól, de a „bölcsek követ” még nem sikerült megtalálniuk. Bár maga a PR általánosan szinte már önálló tudománnyá vált, sok irányzata alakult ki, a nukleáris vonalon viszont nem sikerült eddig átütő, a társadalmi gondolkodásmódot alapjaiban megfordító eredményeket felmutatni. A PR teljesítmények hullámzó, országoként jelentős eltéréseket mutatnak, amelyek függenek a politikai, kormányzati támogatottságtól, a tulajdonviszonyoktól, a civil szervezetek aktivitásától, a média viszonyulásától, és természetesen a nukleáris objektumok kezdeményező, szimpátiateremtő, preventív társadalmikapcsolat-építő és -fejlesztő tevékenységétől. Igen jelentős mértékben befolyásolják az elfogadottságot az energiaár-tényezők és az esetleges ellátási gondok. Nagyon érzékeny a közvélemény a környezetvédelmi és a klímaváltozási problémákra.

A legfontosabb tényező az elfogadottság tekintetében az atomerőművek biztonságos, stabil, megbízható üzenmenete. Már a kis rendellenességek is sokszorosan nagyobb publicitást kapnak, felháborodást és tiltakozást keltenek, mint bármely más iparág területén. Rendkívül törekeny, sérülékeny a nukleáris ipar társadalmi megítélése, s benne az egyes objektumok imázsa. Ezek a létesítmények kölcsönösen felelősek egymásért a társadalmi elfogadás tekintetében az egész világon. Minden nagyobb horderejű nukleáris eseménynek komoly közvélemény-formáló hatása van a Föld túloldalán is.

Egyre egyértelműbbé válik, hogy az atomerőművek jövője nem elsősorban műszaki, biztonsági kérdés, ezek legnagyobb része már ma technikailag megoldottnak tekinthető. A következő évtized(ek)ben meghatározóvá válnak a gazdasági kérdések mind az élettartam-hosszabbítás, mind az esetleges új atomerőművek építése tekintetében. Legalább ekkora

súllyal fognak szerepelni a közvélemény-kapcsolati témák is, az sem kizárt, hogy majd ezek kerülnek a döntési prioritások élére. A politikai, a társadalompolitikai, -filozófiai, -pszichológiai és -szociológiai; az oktatásügyi nukleáris kérdések megoldása nélkül nem lehet karakteres jövőképet megvalósítani.

Nagy felelősség hárul az atomenergia alkalmazásával, felügyeletével foglalkozó nemzetközi és világszervezetekre, amelyek az elmúlt évtizedekben adósok maradtak a társadalmi kapcsolatok fejlesztésének, a nukleáris iparág társadalmi elfogadtatásának tekintetében. Eljött az ideje, hogy összehangolt nemzetközi vagy világméretű akciókkal az ígéretes nukleáris jövőre irányítsák a figyelmet, stratégiát, forgatókönyvet, segítséget adjanak a tagországoknak, biztosítsák a szervezett PR információcserét, hozzanak létre tanácsadó csoportokat, infobankokat. Szükség lenne olyan nagyívű humán támogatói bejelentésekre, amelyek szimpátiakussá teszik a nukleáris ipar szereplőit, bizonyítják társadalmi érzékenységüket, ráirányítják a figyelmet a tevékenységükre. Fel kell ismerniük a világszervezeteknek, hogy a műszaki, biztonsági kérdések mellett kiemeltbben kell foglalkozni az emberi és társadalmi problémakörökkel, akár populáris formában is. A nukleáris szakemberek elköltsézetten hisznek saját tudásukban, berendezéseik és erőműveik biztonságában, de ez ma már önmagában nem elég. Ezt a hitet továbbítani kell a társadalom széles rétegei felé.

A Paksi Atomerőmű Rt. 12 éve végeztet országos közvélemény-kutatást, amely segítséget nyújt PR stratégiájának megalapozásához, tervezéséhez és végrehajtásához. Az eredményekből folyamatosan láthatóvá válik, hogyan értékeli a magyar lakosság a különböző energiaforrások szerepét, miként vélekedik a Paksi Atomerőműről, és hogyan viszonyul a nukleáris jövő lehetőségeihez. A megkérdezettek reprezentálják a magyar lakosságot az életkor, a nemek aránya, az iskolázottság, a településméret és a földrajzi eloszlás tekintetében. A teljes kutatási anyag, melyből a következőkben csak néhány fontos rész kerül bemutatásra, 30 grafikonban összesített véleményből áll, amely az erőmű honlapján (www.atomeromu.hu) tekinthető meg.

Függelék • A kérdőív kérdései és a válaszok

Mely energiaforrásból lesz a legmegbízhatóbb az ellátás nálunk az új évszázad első felében?

Az előző évekhez képest jelentős változás következett be, melynek vesztese a gáz, nyertese pedig a megújuló energia és az atomenergia. Az utóbbi megítélése irányt váltott. A Paksi Atomerőmű nyugodt, eredményes évet zárt. A gáz árának nagymértékű emelése (bár egyelőre csak a nagyfogyasztókat érintette) megrendítőleg hatott a társadalomra. A pusztaszőlősi gázkitörés sem tett jót a gáz imázsának.

Biztonsági előírások betartása a Paksi Atomerőműben

Az üzemeltető, karbantartó és ellenőrző személyzet iránti bizalom jelentősen nőtt. A válaszadók túlnyomó többsége hisz az előírások megszigorításában és azok betartásában. 2000-ben kevés rendellenesség volt az erőműben. Az erőmű biztonságának közvéleményi megítélése továbbra is kedvező.

Egyetért-e Ön azzal, hogy Magyarországon működik atomerőmű?

Ugrásszerűen megnőtt a Paksi Atomerőmű társadalmi megítélésének, elfogadottságának szintnövekedése, megváltozott az évek óta tartó enyhén csökkenő tendencia. Az erőmű társadalmi legitimitása még soha nem volt ilyen nagyarányú. Pakson 1999-ben megújították a PR tevékenységet, amelynek eredménye beért. Szélesebb körű társadalmi és média-megjelenés, nyitás a populáris irányba, a cég 25 éves évfordulós lehetőségeinek kiaknázása, kommunikatív vezetők megjelenése erősítette az elfogadottságot.

Hogyan minősítené az atomenergia békés célú alkalmazásának jövőjét az előttünk álló évszázadban?

A megkérdeszettek több, mint 60 %-a szükségesnek ítéli a nukleáris ipar hosszú távú tevékeny-

ségét, ami többségi racionális gondolkodást tükröz. Meglepő viszont, hogy milyen sokan vannak, akik nem tudtak állást foglalni a kérdésben.

Ön szerint miért nem sikerül a fejlett demokráciákban az állampolgárok jelentős többségét az atomerőművek alkalmazása mellé állítani?

Nagyon tanulságos, önkritikus és kritikus a válaszadók véleménye. Levonhatják belőle a következtetéseket az állampolgárok, az oktatásügy, a sajtó, a politikusok, a környezetvédők és nukleáris szakemberek egyaránt.

Ön szerint a Paksi Atomerőmű megfelel-e az európai uniós csatlakozási elvárásoknak?

Jól átment a köztudatba a Paksi Atomerőmű európai uniós megfelelése, a megkérdeszettek csaknem 60 %-a igenlő választ adott. Ez az eredmény nagyon jónak minősül, hiszen az európai uniós standardot a lakosság általában magasnak érzi.

Hogyan alakítaná Magyarország békés célú atomprogramját az elkövetkező 20 évben?

Határozottan erősödött az új erőműépítést és az élettartam növelését támogatók tábora, ami biztató a Paksi Atomerőmű tervezett jövőképeinek megvalósítása tekintetében. A Paksi Atomerőmű „életben tartása” és a ráépülő atomprogram a megkérdeszettek legnagyobb részének kívánsága.

Ha népszavazásra kerülne sor,

Ön támogatná egy új atomerőművi blokk építését, amennyiben az biztosan a már meglévő blokkok mellett, a paksi telephelyen létesülne?

Figyelemreméltó, hogy a támogatók aránya látványosan emelkedett. Ha szigorúan csak a közvélemény-kutatási adatokra támaszkodunk, akkor ma egy országos népszavazás eredményeként Pakson új blokk épülhetne.

Ámon Ada TÖBB FÉNYT!

Az energia mindenhol jelen van. Az őseink egyik első meghatározó felfedezése is ehhez kötődik: megszelídítette a tüzet. Annak technikája, hogyan varázsolhat tetszőleges időpillanatban meleget az ételek elkészítéséhez, barlangjának megvilágításához és fűtéséhez, a vadak elűzéséhez és kicsinyei megvédéséhez, alapvető volt életben maradása szempontjából. Azóta nagyot lépett az emberiség. Ma már nem szorulunk gyúlékony faágak összedörzsölgetésére vagy kovakőre ahhoz, hogy a fentnél magasabb komfortfokozaton élhessünk. Egy kattintás, és elindul az energia-hatékony program a mosógépen, konnektorok és villanykapcsolók „díszítik” lakásunk falát, árammal működik életünk meghatározó része. Vezetékek, csövek hálózzák be városaink gyomrát, traverz-erdők mentén jutunk célba, ha kirándulni indulunk. Az Edison nevéhez fűződő, körtére emlékeztető tárgy fényt hozott életünkbe. Gyakorlatilag e felfedezés tette érdekessé a villamos energiát a lakosság számára is. De sorolhatnánk még hosszasan azokat a 20. században napvilágot látott energetikai felfedezéseket, melyek kényelmesebbé, egyszerűbbé teszik mindennapjainkat.

Ugyanakkor mára az energiatermelés és felhasználás áldásai mellett a károk és veszélyek is nyilvánvalóvá váltak. Az erőforrások rohamos fogyása nemcsak a bányászat okozta környezeti károk formájában jelentkezik, de a jövő nemzedékek életét is nehezebbé teszi majd. Minél jobban támaszkodunk ezekre a rohamosan fogyó erőforrásokra, annál nehezebb lesz az utánunk jövő nemzedékeknek átállni másokra. Nagyrészt a fosszilis tüzelőanyagok elégetésének számlájára írhatók a helyi szintű egészségkárosodások, regionálisan a savas esők, globális léptékekben pedig az éghajlatváltozás.

Az uránra épülő villamosenergia-termelés egészen más problémahalmaz elé állítja az érintett országok hosszú sorát. Az uránbányászok várható élettartama áll talán legközelebb a legszegényebb afrikai országok statisztikájához. Nem beszélve a bányák környékén jelentkező környezeti károkról. A radioaktív hulladékok elhelyezésére alkalmas helyszín megtalálása

társadalmi feszültségek és pénzügyi problémák formájában válik hírré. A kiégett fűtőelemek, azaz a nagyaktivitású hulladék elhelyezését az atomipar 50 éves történelme alatt nem oldották meg, és felelősen nem lehet kijelenteni, hogy a közeljövőben látni fogjuk az atomszemét több ezer éves biztonságos tárolásának módját. Sajnos a teoretikus kockázati valószínűség és a valóságban megtörtént balesetek között szakadék tátong, melyet az elmúlt fél évszázadból Csernobil, Three Mile Island, Cseljabinszk és Sellafield nukleáris balesetekkel örökre összefortt neve bizonyít. Ha az alkalmazott matematika – tíz a mínuszokon – eredményeit vesszük alapul, úgy még a következő tízezer évben sem következhetett volna be ez a sok baleset.*

A fenti problémák pedig kérdőjelekként sorakoznak és válasz nélkül maradtak fél évszázada. A nukleáris ipar ennek ellenére számos országban élvezzi a kormányzat támogatását. Ezek után senki ne csodálkozzon, ha az anti-nukleáris mozgalmak az utcára vonulnak vagy atomerőművek kapuihoz, sínekhez láncolják magukat, adott esetben féllégális akcióikkal keltve fel a figyelmet a fenti problémákra.

De térjünk vissza az erőforrások problematikájához! Már nemcsak a környezeti problémák teszik elkerülhetlenné az eddigi fejlesztési irányok felül vizsgálatát – habár önmagában az is elég lenne – hanem más tényezők miatt is váltásra kényszerül az energetika. Az olajárak kisebb-nagyobb változásai, a szénkészletek rohamos kimerülése, az atomenergetikával szembeni társadalmi és politikai ellenállás, a fejlődő országok egyre nagyobb energiaéhsége, a fejlett országok mára már lassú, de biztos igénynövekedése objektív kényszerűséget jelent a változásra. A növekvő igényeket nem lehet már a megszokott forrásokból fedezni! Az elmúlt 150 év alatt az emberiség ugyanis nagyjából felhasz-

* A bekövetkezési valószínűség azt adja meg, hogy egy adott esemény létrejön-e az időszakban (pl. 100, 1000, 10000 stb. évenként) valószínűt, de hogy ez a szakasz mely részében (elején vagy éppen a végén) következik be, arra nem ad – nem adhat – pontos jelzést. - *A szerkesztő.*

nálta azokat az ismert készleteket, amelyek gazdaságosan hozhatók felszínre. Így a fosszilis energiahordozók elégetésével gyakorlatilag sikerült is az atmoszférába pumpálni majdnem akkora kartontömeget, amelynek elnyelésével Föld Anyánk stabilizálni igyekezett a légkört az emberi élet körülményeinek megteremtéséhez. (Ha már csak önző módon magunkra gondolunk!)

Van azonban egy óriási szerencsénk! A Föld hihetetlenül gazdag más erőforrásokban, amelyek kiapadhatatlan megoldást biztosítanak energiahiúságunk csillapítására. Az emberiség számára elegendő energia többszöröse érkezik a Napból kék bolygónk felszínére, fenntartva ezzel azokat a természeti jelenségeket, melyek további forrásokat képeznek számunkra, úgy, mint a szél és a víz körforgása, hogy csak a legtriviálisabbakat említsük. A Föld melege és a Hold gravitációs ereje szintén használható lehetőséget teremt számunkra. Mostanra már az is valósággá vált, ami pár évtizede még csak álom volt: gazdaságos a megújuló energiaforrások munkába állítása. Persze egyelőre még nem mindegyik, a tendenciákat követve és a tényleges adatokat figyelve azonban a 21. század a megújuló források kora lesz.

Ez pedig paradigmaváltást jelent. Az erőforrás-allokáció folyamatos változásával a gondolkodásmódnak is változnia kell. A villamosenergia-ipar eddigi rendszerirányítási gyakorlata tarthatatlanná válik, hiszen sokkal több és sokkal kisebb erőművet kell majd valahogy korábban tartani, ahhoz, hogy a megszokott színvonalon történjen a szolgáltatás. Ugyanakkor valószínű, hogy a háztartások és kisebb közösségek maguk is termelőkké válnak és nem csak saját igényeik kielégítése lesz a cél. És ne csak a vezetékeken cikázó elektronokra gondoljunk itt! Szalmabálák, faforgács brikett és bio-üzemanyag formájában fogják „piacra” vinni az egyre értékesebb energiát, ahogy ez már Dániában vagy a szomszédos Ausztriában is történik. A tőzsdéken ma még az olajárakat és a szénpiacot figyelik a brókerek, de 20 év múlva már teljesen más adatok hozzák majd lázba őket. Ha egyáltalán még létezni fog ez az intézmény?!

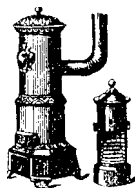
A fent leírt folyamat azonban nem pusztán a környezeti érzékenység növekedéséből vagy az apadó készletekre reagáló áremelkedésből táplálkozik. Van valami más, talán fontosabb:

a társadalmi mozgolódás. Az embereknek mára elégük lett a monopóliumokból, az átláthatatlan globális folyamatokból, az ún. *szabadpiaci* fiaskókból. Az energetikára éppúgy igaz ez, mint a mezőgazdaságban manapság jelentkező problémákra. Szeretnének önállóan, saját életükről is felelős döntéseket hozni, ami egyre nehezebb vérszenen globalizálódó világunkban. Számos jel azt mondhatja velünk, hogy az önellátás egyre fontosabb szerepet kap és fog kapni a háztartások, kis közösségek szintjén. Ha csak hazánk elmúlt 50 évének gazdaságpolitikai és ehhez kapcsolódó energiapolitikai történelmére vetünk egy kósza pillantást, máris érthető, miről beszélünk. Kezdetben vala a szén és acél korszaka, majd betört lakásainkba az olaj. Nem kellett hozzá egy emberöltő, hogy kazánjainkat gázzal működőre cseréltesse velünk egy újabb irányzat, olcsó energiát ígérve. Mára drága lett, mert a tárolási kapacitások és a fogyó készletek, a világpiaci árak... Utólag persze könnyű okosnak lenni, mondhatja erre az akkori döntéshozó. Akkor is mondták, hogy ebből baj lesz, csak nem hallotta, vagy nem akarta meghallani azokat a hangokat senki. Mindenesetre, soha ennyien nem érdeklődtek az energiahatékonyság és a megújuló energiaforrások iránt, mint manapság. És nemcsak a nagy befektetők!

Mire intheti mindez a leendő döntés-előkészítőt, döntéshozót és az energetikával foglalkozó zöld szervezetet? A világ sosem volt egyszerű, de mára már annyira szövevényesen kapcsolódnak egymásba a különböző rendszerek, olyan nagy szerepe van az egyes szektorok – legyenek azok gazdaságiak, társadalmiak vagy tudományosak – egymásra gyakorolt hatásainak, hogy csak nagyon körültekintő módon lehet minimalizálni a hosszú távon jelentkező negatívumokat. Az elővigyázatosság elve nem maradhat csak jelszó. Az energiának elsődlegesen a közjót kell szolgálnia: „fényt és kényelmet” kell hoznia a társadalomba. Amennyiben az okozott kár nagyobb, mint a keletkezett haszon, el kell gondolkoznunk azon, hogy miképp lehetne a mérleget újra helyrebillenteni. Számomra viszonylag egyértelmű a válasz: kevesebb energiával is be kell majd érünk. Ezt a kevesebbet pedig alapvetően a megújuló forrásokra alapozhatjuk a termelői oldalon. A fogyasztói oldalon pedig maximálisan ki kell hasz-

nálnunk a hatékonyság adta lehetőségeket. Végül pedig a villamosenergia jelentőségét – bármennyire kényelmes is elektromos késsel kenyeret vágni – radikálisan vissza kell szorítanunk. Ez persze nem jelenti azt, hogy az elején idézett barlangba kellene visszamásznunk. A tudatosság és az elővigyázatosság az egyetlen előremenekülési útvonal. Ahogy a gázprogram nagyobb előkészületet és gondosságot igényelt volna, úgy a megújulók munkába állítása is jelentős társadalmi és gazdasági megfontolásokat igényel. Nem mindenkinek tetszenek a fehér propellerek, az energiaerdők monokultúráként fenyegethetik a biodiverzitást, a geotermikus energia alkalmazá-

sa az ásványi sókban gazdag víz kivétele miatt okozhat problémát. A fentiekre azonban van megoldás. Okosan kell velük bánnunk. Környezetvédőként is ellenezném egy esztelen szélturbina-program beindítását, vagy azt, hogy minden artézi kútra helyezzünk fűtőművet. Csak ott szabad alkalmazni és annyit a megújuló energiaforrásokból, ami a fenntarthatóság követelményeit kielégíti, ami a természet egyre kényesebb egyensúlyát még nem borítja fel. Mára gyakorlatilag nem maradt olyan emberi tevékenység, amely környezetileg ártalmatlan lenne. Az energetikának pedig már amúgy is nagy a tartozása a Földdel, és így velünk szemben is.





United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization



Certifies the inscription of

Kalman Tihanyi's 1926 Patent Application « Radioskóp »

National Archives of Hungary

Institution

Budapest

City

Hungary

Country

the Memory of the World Register

Date 04 SEP 2001

Date

AS
TPQB

Koichiro Matsuura
Director-General, UNESCO

Information on the website : <http://www.unesco.org/webworld/> - Click on the logo 'Memory of the World' down the screen.

MAGYAR FELTALÁLÓ A VILÁGMEMÓRIÁBAN

Az UNESCO Világmémória Program Nemzetközi Tanácsadó Bizottsága 2001. évi döntésével a szellemi világörökség részének nyilvánította és felvette a *Memory of the World Register*be Tihanyi Kálmán 1926-os magyar bejelentését. Az 1992-ben felállított program célja a tagországokban fellelhető egyetemes értékkel bíró ritka és veszélyeztetett dokumentumok azonosítása, megőrzése, és a széleskörű hozzáférés biztosítása a Világörökséghez némileg hasonló Világmémória Listán.

A beiktatott dokumentumok jelentősége, hogy Tihanyi Kálmán ezekben fektette le a televíziózás máig érvényes alapelveit. A töltéstárolás bevezetése, párosulva más döntő jellegű

technikai megoldásaival lehetővé tette a nagyfelbontású, többszáz-soros televízió megvalósítását. Jóllehet a televízió adó és vevő rendszerek a feltaláló továbbfejlesztett 1928-as elsőbbségű szabadalmi alapján készültek el, az 1926-os bejelentési iratok alapvető technikatörténeti forrást képviselnek, mint a töltéstároló-típusú televízió első leírásai.

Tihanyi Kálmánról és munkásságáról 2000. júniusi számunkban szoltunk, és 2001. januári *Viták és Vélemények* rovatunkban visszatértünk rá. A *Memory of the World Register* és benne többek közt a most felvett Tihanyi-dokumentum megtalálható a következő címen: www.unesco.org/webworld/.

Az MTA új levelező tagjai

Folytatjuk az Akadémia új levelező tagjainak szeptemberi számunkban elkezdett bemutatását, illetve a szerkesztőség következő három kérdésére adott válaszok közlését:

- *Milyen körülmények játszottak szerepet pályaválasztásukban, és befolyásolták későbbi életútjukat?*
- *Vannak-e kapcsolódásaik messzebb álló tudományterületekkel?*
- *Milyen tervek vannak további tudományos munkásságuk tekintetében?*

Eszámunkban Ádám Veronika, Ginsztler János, Görömbei András, Márton Péter, Orosz László, Simonovits Miklós, Patkós András és Vajda Mihály válaszait közöljük.



ÁDÁM VERONIKA

1949-ben született Nagykanizsán. Jelenleg a Semmelweis Egyetem Orvosi Biokémiai Intézetének tanszékvezető egyetemi tanára.

• Egész szakmai pályám és életutam szempontjából meghatározó volt az a négy év, amit középiskolásként Nagykanizsán, mai nevén a Batthyány Lajos Gimnáziumban töltöttem. Ebben a gimnáziumban a hatvanas évek közepén-végén szakmai és emberi igényességre, kitartásra és arra neveltek bennünket, hogy dolgozni és alkotni nemcsak öröm, hanem az egyetlen lehetőség is a boldoguláshoz. Ebben a hitben kezdtem el tanulmányaimat a Semmelweis Orvostudományi Egyetem akkori, ellentmondásos világában. Mély benyomást tettek rám az egyetem nagyhírű tanárai (Szentágothai János, Straub F. Brunó, Tarján Imre, hogy csak néhány kiemelkedő akademikust említsek), és hamar észrevettem, hogy a legnagyobb örömet számomra az életfolyamatok mélységeinek, összefüggéseinek és mechanizmusainak megismerése és megértése jelenti. Mégis, a kutatói pályára talán nemcsak saját elszántságom, hanem az akkori körülmények is tereltek: nem kaptam meg a három gyakorló orvosi állás egyikét sem, így, ha részben kényszerből is, de örömmel vállaltam a kutatóorvosi pályát, amiről azután később már nem akartam letérni.

Szakmai pályám bázisa indulásom óta a Semmelweis Egyetem Orvosi Biokémiai Intézeté, itt lettem 17 év alatt tanársegédből egyetemi tanár. Gyakorlatilag a kezdetektől az idegrend-

szér működésének molekuláris szintű megértése vonzott; kezdetben az ingerületátvitel szabályozási mechanizmusai, az utóbbi években pedig az idegi degenerációval járó megbetegedések molekuláris alapjai. E kérdéseken belül azokat a sejt-folyamatokat tárjuk fel, amelyek oxidatív stresszben károsodnak, azaz oxigénből kóros körülmények között keletkező reaktív oxigénszámazékok iránt legérzékenyebbek.

Az ember pályáját nemcsak saját maga, hanem mások is alakítják, szakmai és emberi szempontból egyaránt. Számomra meghatározó élmény volt az a közel két év, amit 1986–87-ben Londonban, a King's College-ban töltöttem. A Department of Physiology akkor vezetője Peter Baker professzor az élettan nagy alakjának számított, ő a Nobel-díjas Alan Hodgkin tanítványa, munkatársa volt. Megszállottsága, a tudomány iránti szenvedélye, kristálytisza gondolkodása mély benyomást tett rám. Ebben az időszakban néhány hónapot dolgozhattam Plymouthban is, ugyanabban a laboratóriumban, ahol korábban Hodgkin és Huxley tintahal óriás axonon a neuron alapműködéseit feltáró kísérleteit végezte. Kimutattuk óriás axonon a cGMP keletkezését nitrogyeületek hatására jóval azelőtt, hogy a nitrogén-monoxidról és ennek guanilát ciklázát aktiváló hatásáról tudomásunk lehetett volna. Nemcsak dolgozni volt itt jó, hanem beszélgetni is; a tudományról, a világról, magunkról és arról, hogy kinek mi a fontos a tudományban. Máig őrzöm és valloim a gondolatot, ami ottani mesteremmel folytatott egyik beszélgetésben fogalmazódott meg: a tudomány olyan, mint egy dús lombú fa, amelyhez mindenki hozzátesz valamit, és az öröm, amit ez okoz, független attól, hogy amit hozzáteszünk, az egy új ág-e, vagy csak egy levél.

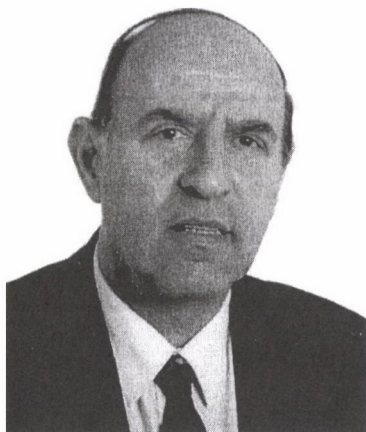
• Nagyon messze álló tudományterülettel nincs kapcsolatom, de mint az orvostudományban alapkutatót végző, keresem a kapcsolatot a gyógyítással, ami különösen fontos azon a területen, ahol munkacsoportom és én vizsgálódunk. Az agy vérellátásának elégtelensége, az ún. stroke szindróma Magyarországon az egyik vezető halálokok, a neurodegeneratív betegségek (pl. a Parkinson-kór, Alzheimer-kór) pedig az egész világon a tudományos érdeklődés középpontjában állnak.

Azok a változások, amelyeket oxidatív stresszben a sejtek működésében, energiatermelésében, az egyes enzimek működésében észleltünk, fontos szerepet játszhatnak ezen kóros állapotok kialakulásában. A folyamatok megértésétől azonban hosszú út vezet ezek befolyásolásáig és még hosszabb a betegek sikeres gyógyításáig.

- Nehéz és főleg nagyon kockázatos konkrét terveket megfogalmazni a tudományos kutatásban. Hivatkozhatom Szent-Györgyi Albertre, aki azért idegenkedett a pályázatok írásától, mert nem lehet előre megmondani, hogy három vagy négy év múlva milyen kísérletek vinnének majd előbbre egy-egy tudományterületet. Az ember legfeljebb szeretne valamint elérni, vagy inkább megoldani, aztán a kísérletek vagy elvизik addig, vagy egészen máshová jut. A reális cél az, hogy megértsünk és megismerjük minél

többet és lényegesebbet abból, ami az emberi agyban az egészséges működések károsodásához, kisiklásához vezet. Álmodni azonban arról szoktam, hogy ezek a felismerések nemcsak hazai és nemzetközi elismerést hoznak munkatársaimnak és nekem, hanem hozzájárulnak ahhoz, hogy egy napon majd e területen is eredményes terápia álljon az orvostudomány rendelkezésére.

Itt említtem meg, hogy a tudományos munkával szorosan összefüggő, és sok örömet szerző feladatommak tekintem az oktatást, az egyetemi graduális képzésben és a tudósnevelésben egyaránt. Egyfajta ars poetica az, hogy szeretném, ha minél több tehetséges fiatal látná meg a szépséget és találná meg az örömet a kutatómunkában, és segíteni szeretném a legtehetségesebbeket abban, hogy néhány év vagy évtized múlva majd ők lehessenek mások mesterei – lehetőleg itthon, a hazájukban.



GINSZTLER JÁNOS

1943-ban, Budapesten született. A BME Mechanikai Technológia és Anyagszerkezeti Tanszékének tanszékvezető egyetemi tanára, az MTA Fémtechnológiai Kutatócsoportjának vezetője.

- Szüleim meggyőzték a nyelvtanulás fontosságáról arról, hogy a természettudományos tárgyak szeretete, kombinálva megfelelő nyelvismerettel és széleskörű műszaki érdeklődéssel, valószínűleg szép feladatokat adhat az életben, amennyiben a mérnöki életpályát választom. Ezt

a választást erősítették egyetemista koromban azok a kiváló professzorok (többek közt Gillemot László, Heller László, Lévai András, Gruber József és mások), akikről igyekeztem ellesni a mérnöki szakma néhány meghatározó elemét.

- Véleményem szerint az interdiszciplináris tudományterületek szerepe fokozatosan felértékelődik. A más tudományterületekkel való kapcsolódások közül megemlítem az energetikához, a biztonságos villamosenergia-termeléshez való kötődésünket. Évtizedek óta végzünk kutatás-fejlesztést erőművi – magas hőmérsékleten üzemelő – szerkezetek anyagi károsodásanalízisével, valamint ezen anyagok élettartam-növelését célzó regenerálhatóságával kapcsolatban. Megemlítem még az orvostechnikai alkalmazásokkal, a biokompatibilis anyagokkal kapcsolatosan végzett K+F tevékenységünket is.

- Ami a saját tudományos tevékenységemmel kapcsolatos terveket illeti, egyrészt szeretném folytatni a növelt hőmérsékleten üzemelő anyagok élettartam-növelésével foglalkozó – a nemzetközi gyakorlatban is rendkívül aktuálissá vált – eddigi kutatásaimat, másrészt igyekszem fiatalabb, tehetséges munkatársaimat további tudományos életpályájukon segíteni, illetve tehetséges hallgatóinkat ezen a területen „elindítani”.



GÖRÖMBEI ANDRÁS

1945-ben született Polgáron. A Debreceni Egyetem Bölcsészettudományi Karán az Összehasonlító Irodalomtudományi Intézet igazgatója, tanszékvezető egyetemi tanár.

• Gyerekkoromban több pálya vonzott. Szenvedtem attól a tudattól, hogy az élet csupa lemondásból áll: egyetlen pályát választva az összes többit mellőzi az ember. Aztán a győri Bencés Gimnáziumban Bánhegyi Jób magyar-órái egyszerre megoldották pályaválasztásom gondját. Az ő óráin az irodalom a valóság elemeiből a valóság fölé emelt külön világként nyert létértelmező és létformáló értelmet. Minden igazán értékes irodalmi műből az emberlét legfontosabb kérdéseit olvasta ki, s azt mutatta meg nekünk, hogy ezekre a kérdésekre a művészet az emberiség egyetemes tapasztalatainak segítségével keresi az érvényes válaszokat. Őt hallgatva naponta átéltem az irodalomtudománynak azt a jóval későbbi tapasztalatát, hogy a műalkotás létmódjának a befogadó, az értelmező is része. Az elolvasott irodalmi műalkotás az ő magyarázatai révén olyan új szemléleti dimenziókat nyitott meg, amilyenekre korábban nem gondoltam, az ő értelmezése után viszont a műalkotás szerves részének tekintetem azokat. Ez az élmény alakította ki bennem a vágyat, hogy műalkotások, életművek értelmezését és közvetítését válasszam élethivatásul.

1963 őszén kerültem a debreceni egyetemi felvételi vizsgán Barta János színe elé. Nagyon

sokat tanultam tőle. Egyebek mellett azt is, hogy az igazán jelentős műalkotásban mindig valami fontos emberi ügy intéződik. Meg azt is, hogy alapos filozófiai, lélektani, történelmi, nyelvészeti ismeretek nélkül szegényes az irodalmi műalkotásról való ismeretünk.

Az egyetemen előbb a régi magyar irodalommal foglalkoztam behatóan, szakdolgozatomat és egyetemi doktori értekezésemet is abból írtam Bán Imre professzornál. Azonban már utolsó egyetemi éveimben erősen vonzott a huszadik századi magyar irodalom. Ady és a népi irodalom közösségi felelősségérzete igen nagy hatással volt rám. Ez a közösségi felelősségérzés kapcsolta érdeklődésemet még egyetemista koromban a nemzetiségi magyar irodalmakhoz is. Ebben az újabb tájékozódásomban Barta János – közvetlen és közvetett – tanítványai, Kovács Kálmán, Kiss Ferenc, majd Czine Mihály és Béládi Miklós voltak az eligazító mestereim. Ady, Németh László, Illyés Gyula, Nagy László, Sütő András művészi világa az ő közvetítésükkel vált szemléletformáló élményemmé. Élet és irodalom szoros összefüggéseinek és lényeges különbözőségének a rejtélyeibe vezettek be. Az életérdekű irodalomszemléletre adtak példát. Evidenciává tették számomra, hogy az esztétikai érték és a közösségi felelősség a magyar irodalom történetében igen sokszor szétválaszthatatlanul és egymást erősítően kapcsolódott és kapcsolódik össze.

• Az irodalom tárgyköre végtelen. Az irodalom világa magának az emberi létnek a teljessége. Ezért az irodalmi művekkel foglalkozó irodalomtörténésznek is egy-egy kor teljes világgépével számot kell vetnie. Az irodalmi művek értelmezéséhez elengedhetetlen az irodalomtörténész sokoldalú tájékozódása. Az természetes, hogy az irodalomtörténésznek nyelvészeti, történelmi, filozófiai, néprajzi stúdiumokat is kell folytatnia, hiszen például Ady értelmezése elképzelhetetlen Nietzsche és Bergson alapos ismerete nélkül, Nagy László *Ady Endre andezitből* című versének értelmezője számára hasznos az, ha behatóan tájékozódik Szervátiusz Tibor művészetében. Illyés Bartókjának befogadói élményét a bartóki zene ismerete teszi teljesebbé. De Nagy Lászlót kutatva például nemcsak a magyar és bolgár folklórban kellett alaposan tájékozódnom, hanem követnem kel-

lett öt Heisenberg *Rész és egész*-ének rejtelseiben éppúgy, mint a középkori katedrálisok építésének titkain való tűnődéseiben. Az új enciklopédizmus elvét meghirdető Németh László életműve sem érthető meg egysíkú közelítéssel...

Csoóri Sándor esszéjéből tudom, hogy Teller Edét Ady szóösszetételei ösztönözték a magfúzió jelentőségének fölismerésére. Adyt olvasva gondolt arra, hogy ha a szófúzió révén nagyfeszültségű energia keletkezhet a versben, akkor az atomok világában sem csak a maghasadás révén állítható elő energia, de a magfúzió révén is.

Az, hogy a tudomány milyen hatékonyan ösztönzi a művészetet, köztudott. Az irodalomtörténet azonban számtalan példát mutatott már arra is, hogy egy-egy nagy művész világérzékelése messze megelőzte korának tudományos magyarázatait. Niels Bohr 1927-ben fogalmazta meg a komplementaritás elvét. Ady költészete jóval korábbi mintát adott a komplementaritás elvének alkalmazására, hiszen pszichológiai teljességre törő költői személyisége ellentétek egyensúlyában nyilatkozott meg. Ez a fölismerés szorosabban társítja Ady művészetét a századelőnek azokhoz a modern alkotóihoz (Musil, Proust, Joyce, Kafka, Hermann Broch), akikről az európai irodalomtörténet megállapította, hogy bizonyos tekintetben előrejelzik s alkalmazzák is a Bohr-féle komplementaritás elvét.

Az irodalomtörténésznek tehát nyitottságra, sokféle tájékozódásra van szüksége ahhoz,

hogy tárgyát teljes világképi összefüggésekben lássa és láttassa. Az is bizonyos persze, hogy más tudományterületekre való kalandozásaink ama más tudományok eredményeinek sajátos értelmezését adják. Nem szabad tehát azt hinnünk, hogy azokon a távoli területeken is szakmai illetékességgel rendelkezünk.

• Tervhalmozó vagyok magam is, miként Gulyás Pál nevezte Németh Lászlót. Képzletben megírt műveimről én is elmondhatom, hogy azok egész kis bibliotékát tesznek már ki.

Újabb monográfiák és átfogó irodalomtörténeti munkák előkészületein sokat dolgoztam, remélem, lesz erőm és időm befejezni azokat. A tervek részleteinek ismertetésétől mégis eltekintek. Van ugyanis egy nagyobb törekvésem. Szeretnék a tiszta tudomány eszközeivel minél meggyőzőbben dolgozni annak érdekében, hogy az irodalom és az irodalomtörténet újra visszaszeresse személyiség- és közösségformáló szerepét. Ehhez a munkához egyaránt felhasználom az irodalomtudomány történeti tapasztalatait és jelenkori tájékozódásának eredményeit. Úgy szeretném hasznosítani a legújabb elméleti iskolák hozományát, hogy azok ne tegyék tönkre magát a művet, ne fosszák meg az olvasót az esztétikai élvezet semmivel nem pótolható élményétől. Az életérdekű irodalomtudományra szeretnék – a magam lehetőségei szerint – meggyőző és korszerű mintát adni.



MÁRTON PÉTER

1934-ben, Budapesten született. Az ELTE geofizikai Tanszékének egyetemi tanára.

• 1953-ban jelentkeztem az ELTE Matematika-Fizika-Kémia Karán felvételt a fizikus szakon. Kitűnő érettségimnek köszönhetően felvételi vizsgát ugyan nem kellett tennem, de miután a fizikusoknál már nem volt hely, a geológia irányába kezdtem érdeklődni. Így kerültem a Földtani Tanszék közelében lévő Geofizikai Tanszékre, amelynek szűk bejárati folyosóján egy automata Eötvös-inga volt felállítva. Az egyik, első évet éppen befejező geofizikus hallgató elkapott és lelkesen elmagyarázta a szerkezet lényegét (ma sem elsőéves anyag), majd megkérdezte, nem akarnék-e inkább geofizikus lenni. Miután akartam, betuszkolt az egyik fiatal tanárségéd, Szemerédy Pál szobájába, aki fel-

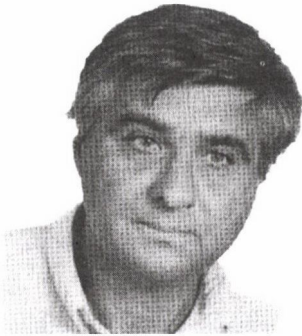
vételi beszélgetést folytatott velem, és noha fogós kérdései közül kevésre tudtam válaszolni, beiratkozhattam a geofizikus szakra. Négy évvel később végeztem. Az első lépéseket a szakmában a Kőolajipari Tröszt Szeizmikus Kutatási Üzemében, egy évig ösztöndíjas gyakornokként, majd szeizmikus kiértékelőként tettem meg, ahol módomban volt a szakma művelése mellett a terepi munkákban is részt venni. Az ipari gyakorlatban eltöltött, minden szempontból nagyon hasznos négy év után kerültem vissza az egyetemre, a Geofizikai Tanszékre. Egyed László professzor a szeizmika oktatását bízta rám, és kutatási területemnek a paleomágnességet jelölte ki, amelyben azóta is dolgozom. Az évek folyamán azonban oktatási feladataim többször változtak, illetve kibővültek. A hatvanas években a nyersanyagigények ugrásszerű növekedése a legfontosabb kőolajkutató felszíni geofizikai módszer, a szeizmika viharos fejlődését eredményezte, amelynek egy stádiumát rögzítettük az 1967-ben megjelent többszerzős egyetemi tankönyvünkben. A földtannal az egyetemi tanulmányok után, 1971–75 között kerültem újra kapcsolatba, amikor a nigériai Ahmadu Bello Egyetem Geológiai Tanszékén a geofizika mellett földtani tárgyak oktatását is rám bízta. Később, idehaza a geológusoktatásban jól tudtam kamatoztatni azokat a korszerű ismereteket, amelyeket a Schlumberger cég tanfolyamain szereztem a kőolajkutatási célú mélyfúrás geofizikai szelvények értelmezésében. 1975-től kezdve átdolgoztam, illetve korszerűsítettem a teljes egyetemi *Általános geofizika* tananyagát, amelyet négy új egyetemi jegyzetben foglaltam össze.

Tudományos munkásságon kezdetei a hatvanas évek végére tehetőek, amikor felismertem, hogy az elmúlt kétezzer év folyamát a földmágneses pólusok többször, ugrásszerűen megváltoztatták a helyzetüket a földrajzi pólushoz viszonyítva. Erről szól az 1970-ben megvédett kandidátusi dolgozatom. A paleomágnesség-

ben folyamatosan publikáltam, rendszerint feleségemmel együtt, aki az Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben máig is e kutatások vezetője. Külföldi szakmai körökben viszonylag hamar sikerült bizonyos ismertséget szereznünk, ám kutatásainkat erősen gátolta, hogy kezdetben egyáltalán nem, és később is csak korlátozottan és hosszú idő elteltével tudtunk korszerű laboratóriumi eszközöket beszerezni. Ezek birtokában alapvető eredményeket értünk el a paleomágnesség sztratifráfiai és nagytektonikai irányú alkalmazásaiban, amelyeket nemzetközi mércével is megmérettünk. 1984-ben Akadémiai Díjat kaptunk, 1985-ben pedig megszereztem a műszaki tudományok doktora címet.

- A paleomágneses kutatások két, a geofizikától messzebb álló területre is elvezettek. A negyedik kutatásban a száraztérzíni üledékes összletek paleomágneses vizsgálatát Pécsi Márton akadémikus kezdeményezte. Az eredmények jól hasznosíthatónak bizonyultak a löszök és lösszerű üledékek időbeli tagolásában. A másik terület a régészet. Az ásásokon sok olyan égett vagy égetett agyagobjektum kerül napvilágra, amelyek mágnesezettségének „megmérésevel” kinyomozhatók a földi mágneses tér időbeli változásai a régmúlt időkből, illetve e változások ismeretében elvégezhető a régészeti lelőhelyek keltezése. Ilyen vizsgálatokat több régész kolléga közreműködésével mintegy 15 éve folytatok. Az eddig összegyűlt eredmények az elmúlt 2300 évben oszlanak el, vagyis keltezésre ebben a korintervallumban hasznosíthatók.

- További terveim között legfőbb célomnak az archeomágneses keltezési lehetőségek időbeli kiterjesztését tekintem, aminek feltétele, hogy a történelem előtti korok ásásain feltárt alkalmas leletek mintavételezését el tudjam végezni. Bízom az illetékes régészek kooperációs készségében. Most a vaskor következik.



OROSZ LÁSZLÓ

1943-ban született. Egyetemi tanár, az ELTE Genetikai Tanszékének vezetője.

• Az ELTE-n végeztem biológia-kémia szakon (1961–66). Pályaválasztásomat természettudományos érdeklődésem határozta meg, amelyet családi háttér erősített (tanár, mérnök szülők, testvérek). Az egyetemi években eleinte a szerves kémia, mikrobiológia, antropológia és őslénytan érdekelt. Jelentős támogatást kaptam Eiben Ottó és Balogh János professzoroktól, elnyertem az MTA ösztöndíját. Duda Ernő barátom hatására fordultam a genetika felé. Az MTA Genetikai Intézetébe kerültem (1964) Györfly Barnához, akinek emberi, tudósi, értelmiségi példája döntően befolyásolta későbbi életutamat. Fontos indítást jelentett Szende Kálmán és Sík Tibor molekuláris genetikai kutatása, s az intézetben uralkodó kulturált, tudományos szellem, amely szélesan fedte be a klasszikus genetika mellett a biológia más területeit is (pl. botanikát). Sík Tiborral elsőként végeztünk géntérképezést idehaza, amelyből később hazai iskola nőtt ki. Fejlődésemre nagy hatással volt John Fincham (gombagenetika), Franklin W. Stahl (bakteriofág genetika) és Werner Arber (baktérium genetika) munkásságának tanulmányozása, amelynek eredményeként a klasszikus és molekuláris genetikai nézetrendszert egységben tudtam kezelni. Fontos megemlítenem néhai Fejér Domokos nevét is, aki értékes klasszikus genetikai könyv- és dokumentumgyűjteményét nekem adta. Legnagyobb hatású tanárom Rollin D. Hotchkiss volt, aki a genetikai analízis iránti érdeklődésemet több alapvető biológiai törvényszerűség molekuláris szintű

megértése felé terelte (gének kombinálódása, kölcsönhatása, genetikai útvonalak). A molekuláris biológiai-genetikai kísérletes megismerésben Sankar L. Adhyát tartom példaképemnek, legkiválóbb mesteremnek.

Szegedi éveimet (1970–89) az SZBK Genetikai Intézete, illetve a JATE Genetikai Tanszéke határozta meg. Műhely-alapító korosztályi társaimmal és sok tanítvánnyal (közülük jónéhányan a MTA doktorai) ma is mindennapos a tudományos gondolatok cseréje, amelyet mély barátságok is erősítenek.

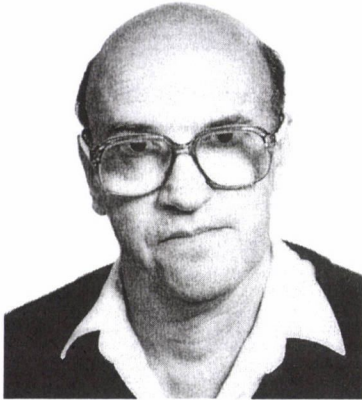
• A megismerés genetikai módszere távolabbi tudományterületek felé biztosított és biztosít folyamatos kapcsolódást, amelyek között alap- és alkalmazott (mezőgazdasági, orvosi) irányok egyaránt vannak. Például: térbeli problémák DNS és fehérjefelszínek illeszkedésekor, hasznos növények és állatok géntérképezése, biotechnológiák, rovarbiológia, természetvédelem, vadgazdálkodás, humángenetika stb.

• Tudományos munkásságomat nem lehet elválasztani genetikai oktatási tevékenységemtől. Alföldi Lajos és Straub F. Brunó biztatására lettem a JATE Genetikai Tanszékének alapítója (1974), később ugyanők, és Kondorosi Ádám, Pongor Sándor és Dudits Dénes javaslatára a gödöllői MBK Molekuláris Genetikai Intézetének igazgatója. 1989 óta a SZIE-n és az ELTE-n is genetikai analízist és molekuláris genetikát tanítok, 2001 őszétől az ELTE Genetika Tanszékén Vida Gábor utóda lettem. Terveim között szerepel az ELTE-n egy fejlődés-genetika-funkcionális genomika műhely kiépítése, amely a szervek, szövetek differenciálódásának egyes kérdéseit célozza meg, oly módon, hogy átkötné a *C. elegans*/D. melanogaster (fonálféreg, ill. muslica) genetikai alapmodelleket a csontfejlődés (agancs, csontbetegségek) genetikájára felé. Nemzetközi együttműködést tervezek Sankar Adhyával genetikai és térszerkezeti elemzések összekapcsolásával. Szívügyem az egyre lendületesebb hazai géntérképezési munkák folyamatos támogatása is, valamint a gödöllői MBK és az ELTE biológiai doktori iskola együttműködésének elmélyítése.

Ambícióim között szerepel egy Genetika – Evolúció – Genomika iskola alapozása az

ELTE-n (Vida Gáborral és Patthy Lászlóval), valamint a hazai genetikai iskola vezető oktatóival közösen megvalósítandó *Genetika kapcsos*

könyv, amely folytonos bővítést, valamint egységes ismereti törzsanyagot biztosítana a különböző egyetemeken.



SIMONOVITS MIKLÓS

Budapesten született 1943-ban. Az MTA Rényi Alfréd Matematikai Kutatóintézetének osztályvezetője.

- **Miért lettem matematikus?** Negyedikes gimnazistaként döntöttem el, hogy a TTK matematika szakára jelentkezem. Sokminden érdekelt, elsősorban a matematika, a gépek és a fizika. Így harmadikos koromban még három dolog közül kellett választanom. Ma úgy gondolom, hogy ha a mémöki vagy fizikus pályát választom, akkor is „boldog emberré” váltam volna. De nem bántam meg döntésemet, hogy matematikus lettem.

Édesanyám eredetileg matematika-fizika tanár volt, sok éven át dolgozott a Tankönyvkiadóban, így nagyon sok matematika- és fizikakönyvem volt otthon. Ő beszélt rá, hogy olvassam a Középiskolai Matematikai Lapokat, és oldjam meg a feladatokat belőle. Versenyeket nyertem, így tagja lettem a Reiman István által vezetett kitűnő matematikai szakköröknek. Reiman és (közvetve) a többi tanítványa is nagyon hatott rám. Szoktuk persze mondani, hogy akkoriban (a hatvanas években) a matematika közvetlenebbül, erősebben vonzotta a matematikailag tehetséges középiskolásokat. Ez jó volt a matematikának, de talán a mai helyzetnek is vannak előnyei, amikor sokan a legjobbak közül más irányba orientálódnak.

Mi befolyásolta életutamat? Elsősorban a tanárain, a környezetem kiváló matematikusai. Kiemelném közülük T. Sós Verát, Erdős Pált és Turán Pált. De rajtuk kívül még nagyon sokan hatottak rám (szerintem pozitívan). Hadd említsem meg közülük Hajnal Andrást, Rényi Alfrédet, Gallai Tibort. Témaválasztásomban mindegyiknél T. Sós Verát és Erdős Pált emelném ki. De meg kell említenem azt is, hogy a velem hozzátvetőleg azonos korú kiváló társaim is nagyon sokat segítettek abban, hogy matematikussá válhassak. És mint mindenkinek, az én életutamat is számtalan véletlen befolyásolta, jó és rossz irányban egyaránt.

- Mindig érdekelték a tudomány alkalmazásai, ezen belül a matematika alkalmazásai is. Tusnády Gáborral például éveken át szemináriumokat tartottunk a TTK matematikus hallgatóinak alkalmazásokról, ahova elhívtunk alkalmazott matematikusokat, hogy munkájukat közvetlenül ismertessék velünk. Írtam egy középiskolás számítástechnika tankönyvet is, amellyel az volt az egyik fő célom, hogy az alkalmazásokat megszerettessem a letehetősebb diákokkal.

Az alkalmazásokon belül számos olyan kérdés iránt érdeklődöm, melyeket valamilyen értelemben a mesterséges intelligenciához sorolnánk. Mondhatom-e, hogy alkalmazott matematikus is vagyok? Nem, mert az alkalmazások teljes embert követelnek, és az én szakterületem elsősorban az alap kutatásokhoz tartozik.

- A matematikai kutatás kevésbé tervezhető, mint sok más tudományág kutatása. De még a matematikán belül is vannak olyan területek, ahol a kutatás jobban tervezhető. Az enyém nem ilyen. Ezért az alábbiakat rövidre fogom. Közvetlen kutatási területem a kombinatorika és a gráfelmélet, az utóbbin belül az extrémális gráfelmélet. Mondhatnám tehát a fenti kérdésre, hogy szeretnék még sok szép gráfelméleti tételt bizonyítani. Másik kutatási területem a randomizált algoritmusok elmélete. Egy harmadik kutatási területemen belül a véletlen és a determinisztikus objektumok viszonyát is kutatom.



PATKÓS ANDRÁS

1947-ban, Budapesten született. Jelenleg az ELTE Atomfizikai Tanszékének tanszékvezető egyetemi tanára.

• Középkorú nyelv- és humán érdeklődésemet követve választottam magamnak. Az orosz (és a szüleim előrelátásából tanult két nyugati) nyelv, a történelem és a szépirodalom szeretete végigkíséri életemet, de érdeklődésem a II. gimnázium elején radikálisan megváltozott.

Simonovits András barátom mutatta meg a KöMaL feladványait; tőle hallottam az országos tanulmányi versenyekről is. Sokféle versenyen indultam kamaszos, válogatás nélküli sikervágytól űzve. Kiderült, hogy földrajzból, kémiából, matematikából és fizikából sokkal sikeresebb lehetek, mint versmondásból vagy esszéírásból (ezekkel is próbálkoztam). Kugler Sándorné fizikatanárnőmnek és Borszéki Sándorné kémiantárnőmnek köszönöm, hogy a feladatmegoldási receptek „bevágásának” csapdáján túlségítettek. Magam számára is felfedezés volt, amikor negyedik osztály elejére rájöttem: fizikus akarok lenni.

Az egyetemen kiderült, hogy az elméleti fizika áll közel hozzám. Am Jánossy Lajos, Pál Lénárd, majd Marx György nagyhatású előadásai inkább bénítottak, mint döntésre bátorítottak a fizika óriási témagazdagságát kínálva. Két esztendő töltem a KFKI Optikai Osztályán Farkas György intuícóját csodálva, mégis azonnal pozitív választ adtam Kuti Gyula diploma-munka-ajánlatára. Kuti 1969 februárjában azzal

állt elő, hogy a részecskefizikai világkonferencián alighogy bejelentett ténynek az ellenőrzését, miszerint a protonnak kísérletileg kimutatható pontszerű belső szerkezete van, egy újabb kísérleti javaslat kidolgozásával mi mozdítsuk előre. Először láttam magam előtt valakit, akinek számára a fizika életre-halálra szóló kihívás és nem szellemi zsonglőrmutatvány volt.

Kuti körül velem egy időben kezdte pályáját Gálfi László, Gnädig Péter, Niedermayer Ferenc, majd rövidesen beszállt Szalay Sándor is. Ennek a generációs szerveződéssel csapatnak a vonzókörében mozgott még Hasenfrazt Péter, Rácz Zoltán és Ruján Pál. A velük versengő együttműködésben dönt el, hogy az életem a kvantumtérelmélet, az elemi részek és az Univerzum létrejöttének bővítésében zajlik le.

• A fizika azon fejezetének, amelyben dolgozom, számomra az a legfontosabb fejleménye, hogy értjük, hogyan lehet matematikailag ellentmondásmentesen a „semmitől tetszőleges számú és különböző új (mikro)világot teremteni”. Ennél szélesebb kutatási területre soha nem merészkedtem, gyönyörködöm a létező Univerzumok sokféleségében.

A fizika más területein, a magfizikában, a statisztikus fizikában és az asztrofizikában vizsgált kérdések jelentősen hatnak munkámra. Eredményeimnek ezeken a területeken mérhető visszhangja támadt, ami fizikai kutatási ágak között átívelő együttműködéshez is elvezetett.

• A belátható fél évtizedben a klasszikus és kvantumtereknek az egyensúlytól távoli időbeli fejlődése megértésében szeretnék előrelépni. Az ősrobbanás szinte bizonyosan minden anyagi tulajdonságban instabil állapotot eredményezett. Egyes alapvető tulajdonságok, pl. az anyag és az antianyag ma tapasztalt előfordulási gyakorisága ennek az állapotnak a lenyomata. A Világegyetem gyorsuló tágulására utaló megfigyelések azt sejtetik, hogy az Univerzum alakulását egészében jellemző kölcsönhatások ma is egyensúlytól távoli üzemmódban hatnak. Az új kihívások Boltzmann azon várakozásának kozmikus léptékű vizsgálatára ösztökélnék, miszerint minden sok szabadsági fokú, elszigetelt rendszer elegendő hosszú idő elteltével termikus és kémiai egyensúlyba kerül.



VAJDA MIHÁLY

Budapesten született 1935-ben. Egyetemi tanár, a Debreceni Egyetem Filozófiai Intézetének igazgatója.

• Hogy milyen körülmények játszottak szerepet pályaválasztásomban és befolyásolták későbbi életutamat? Ezek a körülmények legalább olyan rendhagyóak voltak, mint maga a filozófia. S én tulajdonképpen nem is a filozófiát választottam – vagy talán nagyon is azt.

1949-ben végeztem el az általános iskolát, s egyrészt, hogy négy év múlva szakma legyen a kezemben (szüleim szegények voltak), másrészt mert nagyon szerettünk Rabinovszki barátommal, aki később francia tévérendező lett, „kísérletezni” (robbantgatni, piros lötyyből zöld lötyöt csinálni), harmadrészt mert vonzott a kihívás: abban az időben a Vegyipari Gimnáziumba (így hívták) volt a legnehezebb bejutni – ebbe a szakiskolába jelentkeztem, majd a sikeres felvételi után ide is iratkoztam be. Pár hónap után rájöttem azonban: a vegyészet nem nekem való. Amiben tehetségesnek látszottam, az a matematika volt. Úgy a harmadik osztály tájáig az is volt a szándékom, hogy matematika szakra jelentkezem, de a Rákosi-korszaknak is talán a legszörnyűbb éveiben (1951–1952) arra ébredtem rá, hogy nem értem magam körül a világot. Miért hazudják, hogy az életszínvonal nő, amikor rohamosan csökken, miért telepítik ki szüleik „bűneiért” barátaimat, akik éppúgy meggyőződéses fiatal kommunisták, mint mindad-

dig magam is voltam stb.? Mi ez itt egyáltalában? Meg kell ismernem a marxizmust, amire a rendszer hivatkozik. Legszívesebben persze Lukácsnál tanultam volna, de ő akkor már félre volt téve, az ELTE bölcsészkarán nem is képezték filozófiatanárokat. A Lenin Intézetbe iratkoztam be marxizmus szakra. 1953 és 1956 között, a zűrzavar éveiben maguk az *elvtársak* is meg voltak zavarodva, egyéb származásom ellenére felvettek hát ebbe a káderképzőbe, ahol persze sem a marxizmust meg nem ismerhettem, sem gyötrő kérdéseimre nem kaptam választ. Másodéves voltam, amikor a „tudományos szocializmus” és a filozófia között választhatunk, én persze az utóbbit választottam. S lássatok csodát, egy Ladányi Péter nevű fiatalember tanított nekünk antik filozófiatörténetet, valaki, aki értette a görögöket, s nem beszélt nekünk olyan szerzőről, akinek minden fennmaradt sorát ne olvasta volna. Általa jelent meg gondolkodásomban ténylegesen a filozófia. Ladányi néhány évvel később öngyilkos lett, hogy a forradalom utáni megtorlás idején elszenvedett meghurcoltatásai miatt-e, azt nem tudom. Az viszont egyértelműen a forradalommal függ össze, hogy 1956 és 1958 között kapcsolatba kerültem Lukács tanítványaival, Heller Ágnessel, Hermann Istvánnal, Almási Miklóssal, Fehér Ferencsel, aztán később, az ő révükön magával a mesterrel is.

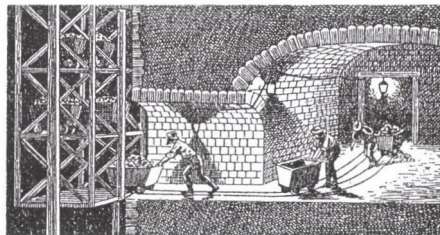
Megérteni akartam a világot. Ezért lettem „filozófus”, s mindaz, ami a későbbiekben történt velem, összefügg a megértésnek ezzel az akarásával. Mint „ellenforradalmár” semmiféle tudományközeli állást nem kaphattam, évekig általános iskolában tanítottam, aztán a lassan beálló „kádárizmusban”, előbb csak demonstrátorként, bekerülhettem az MTA Filozófiai Intézetébe. Szigeti akadémikus abban a pillanatban szempontomból pozitív, később aztán ugyancsak negatív szerepét elemezni nincsen helyem itt. Ha nem jön közbe megint a világtörténelem, azaz ezúttal 1968, akkor tudományos karrierem lassan a szokványos mederbe terelődött volna. De közbejött. 1973-ban kitettek bennünket, a Lukács által *Budapesti Iskolának* nevezett társulat tagjait nemcsak az intézetből, hanem a magyar kultúrából mint olyanból is. 17 évig „szabadúsztam”, szociológiai kérdőíveket kódoltam, a Kossuth Könyvkiadótól kapott,

nekünk kirendelt orosz „filozófiai” szövegeket fordítottam, majd már a felbomlás időszakában magán-nyelviskolóban némettanárkodtam. A „liberálisabb” pillanatokban egy-egy külföldi vendégprofesszúra elfogadását sem akadályozta meg az aczéli kultúrpolitika: tanítottam Brémában, New Yorkban, meg a Trent University-n, Kanadában. Így lettem aztán 1989-ben professzor Debrecenben, ahol máig is azon igyekszem, hogy ne elsősorban – a természetesen ugyancsak elengedhetetlen – „megismerésre”, hanem inkább „gondolkodásra” ösztönözsem tanítványaimat.

- Hogy vannak-e kapcsolódásaim messzebb álló tudományterületekkel? Úgy sejtem, hogy a fenti szöveg alapján érthető, ha a következőket mondom: a megszokott értelemben ilyen kapcsolataim nincsenek, s nem is törekszem arra, hogy legyenek. Az én szememben nincsen olyan, hogy a filozófia mint tudomány az egyik tudományhoz közelebb állna, a másikhöz kevésbé közel, hogy a filozófia egy területe valamely tudomány iránt nagyobb affinitással rendelkezne, míg egy másik területe egy másik iránt. Minthogy azonban gondolkodni – ami egyfajta kritikai tevékenység, divatos, s mégis fontos szóval „dekonstruktív” tevékenység – ismeretek híján nem lehet, a filozófiának látnia kell, hogy mi is történik a megismerés területén, ezen belül mindenekelőtt a megismerésnek a

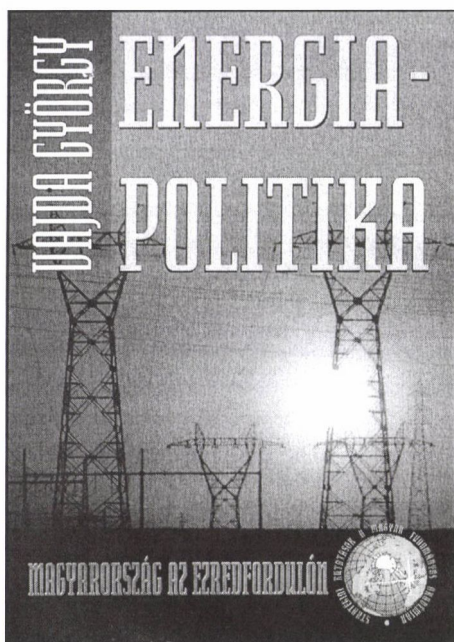
modernitás által legpreferáltabb területén, a tudományban. De nem a részleteket kell ismerünk: inkább a tudományos tevékenységre egy adott pillanatban jellemző tendenciát, a tudományosságának egy adott pillanatban érvényesülő súlypontjait kell látnunk. Csak egy, szükségképpen felületes, példa: nem kell tudnom, hogy pontosan hol állnak ma mikrobiológiai ismereteink. De nem lehet nem látnom azt, hogy milyen fantasztikus fejlődésen ment keresztül a biológia az elmúlt évtizedekben, s hogy ez milyen problémákat vet fel korunkban.

- Terveim? Meglehet felesleges, hogy erről szójak: leszámítva kezdő éveimet, amikor is mintegy azt próbáltam ki, hogy képes vagyok-e vajon a filozófia „tudománya” által a művelője elé állított követelményeknek megfelelni, soha nem azt csináltam meg, amit elterveztem. Ma ugyancsak nagyra törő terveim vannak: szeretnék ugyanis olyan formát találni kritikai-dekonstruktív tevékenységem számára, mely anélkül, hogy mintegy visszalökne valamifajta megismerő-tevékenység irányába, lehetővé teszi, hogy e kritikai tevékenységem mégis bizonyos értelemben zárt formájú művé alakuljon. Valamivé, ami nem boldog beszéd, mégha nincs is benne rendszer. Hogy ebbe csak belebukni lehet? Magam is úgy gondolom. De mit tegyek, ha a filozófia szememben ilyen kísérleti tevékenység – nem az experimentum, hanem az esszé értelmében?



Vajda György *Energiapolitika*

A kerekén 400 oldalas legújabb Vajda-könyv jól tükrözi azt a fél évszázados fejlődést és tapasztalatot, amelyet a második világháború után egy széles látókörű magyar energetikus tudós kritikusan és hangszorgalommal összegyűjtött és utódainknak szeretne örökölt hagyni. Ezt a szándékát igen nagyra értékelem, mivel kutató egyéniségének megállapításai jól tükrözik és zömében összevágnak a saját energetikai gyakorlatomból leszűrhető mai helyzetértékeléssel. Mindezt a rendkívül bonyolult nemzetközi gazdasági viszonyok között hasznos tanácsként javasolhatjuk az ország vezetőinek és az energetikában érintett valamennyi résztvevőnek. Mivel ebben az energiatermeléstől a felhasználásig, a könyv alapgondolata szerint, valamennyi állampolgár érdekelt, a társadalom egésze látná hasznát a könyvben összefoglalt és leszűrhető energiapolitikai irányelvek beépítésének az időszerű kormányprogramokba, amit a GM-nek kétvétenként kellene energiakonceptió címen az országgyűlés elé terjesztenie. A könyv tartalma szorosan összefügg a szerző életében betöltött munkahelyek ismeretbővüléseivel. Vajda György akadémikust 1957 óta ismerem, amikor őt a bányá- és energiaügyi miniszter a Villamosenergia-ipari Kutató Intézet (VEIKI) igazgatóhelyettesének nevezte ki. Az intézet a Villamosenergia-ipari Igazgatóság felügyelete alá tartozott. Új munkahelyén érdeklődése a villamos energetika felé fordult. Amikor 1963-ban, a francia EdF mintájára, megalakult az MVM Tröszt, Vajda György lett a NIM új Villamosenergia-ipari Főosztályának vezetője, akinek hivatalból kellett a villamosenergia-iparág felügyeletével, távlati fejlesztési problémáival foglalkoznia. Az 1970-ben történt újabb iparszervezés során mint a VEIKI igazgatója fordult teljes erejével az energetika felé. Ennek bizonyítéka az 1975-ben *Energetika és a társadalom* címen megjelent könyve, majd az 1981–84-ben kiadott *Energetika I.–II.* kötetek.



Mindezt azért tartottam fontosnak felsorolni, mivel az új könyv tartalmazza az előzőekből ma is időszerű részeket, amelyeket a teljesség érdekében szükségesnek vélt megismételni. Ez némi hátrányt is jelent, mivel az egyes fejezetek az energiapolitika tárgykörében nem azonos fontosságúak. Ennek legfontosabb hazai és nemzetközi tapasztalatai és problémái ugyanis elsősorban az állam gazdasági és tudományos vezető szervezeteit érdeklik, a technikai részletek viszont csak a szakértőket és a tudósokat. A könyv tehát emiatt kissé lexikális jellegű, amiből sorolni volna érdemes a különböző érdeklődési szintre ajánlható részeket. Az egyes fejezetek ugyanezen okból a teljesség érdekében többszöri ismétléseket is tartalmaznak. Ennek előnye is van, mert a fejezetek közötti átutalások nélkül is rámutatnak a kapcsolódásokra, és így azok önállóan is kezelhetők. A szöveg olvasmányos, a fogalmakat és téziseket röviden, szabatosan és jó magyarsággal fogalmazza meg.

Rá kell még mutatnom egy fontos tényezőre, ami a villamosenergia-iparág sajátossága és a

szerzőre is jellemző háttérrel jelent. Ebben az iparágban közvetve vagy közvetlenül szinte valamennyi tudományág közreműködik. A hagyományos erőművekben a turbina és a generátor közötti tengelykapcsoló választja szét a termikus és az elektromos energia birodalmát és vezet visszafelé a primer energiaforrásokig, illetve a villamosenergia-fogyasztókig. Így kap szerepet a geológus, a bányász, az atomfizikus, a vegyész, a gépész, a villamosmérnök, a számítástechnikus, a gazdasági szakember a már működő üzemben. Ha a berendezések gyártását és telepítését is nézzük, a kutatók, a tervezők, a közgazdászok, a beruházók sora működik közre a villamosenergia-rendszer elemeinek bővítésénél, amely mindenfajta energiatermelő és-átalakító berendezés gyártásához szükséges. Ebben megtaláljuk a műszaki tudományok minden ágát, a metallográfiától a távközlésig. Az iparágban dolgozó kb. 40.000 ember szakmai ismerete a vezetési hierarchiában szükség-szerűen bővül. Míg egy laboratóriumi szakértő megmaradhat eredetileg tanult tudásánál, a főmérnöknek már illik ismernie mind a termikus, mind a villamos berendezések lényegét és a gazdaságos és üzembiztos üzemvezetés szabályait. A társaságok, a holdingok gazdasági irányítása, a villamosenergia-rendszer üzemvezetése, fejlesztése, az iparág nemzetgazdasági kapcsolódásának biztosítása és felügyelete pedig megköveteli a műszaki mellett a megfelelő közgazdasági képzettséget is. Az új erőművek optimális hajtóanyagának kiválasztásához ismerni kell a primer energiaforrások világszintű beszerzési lehetőségeit, amely ma már 25–50 évre szabja meg a működési feltételeket. Így bővül ki a villamos energetika ismeret általános energetikai tudománnyá. Vajda György ezen tudomány birtokában van, ezért energiapolitikai tanácsaira érdemes odafigyelni az ország legfőbb vezetőinek is, és biztosítani azok meghallgatását és megvitátását mind az illetékes akadémiai bizottság, mind az energetikáért felelős hatóságok körében. Ez biztosítaná a közmegelegetést jelentő, politikamentes, hosszú távra irányadó energiakonceptió kialakítását.

A fentiekben kifejtett indokok alapján a könyvet, a tartalomjegyzék szerint, két részre bontva vizsgálom.

A magyar energiapolitika időszerű megfogalmazásához a kormánytagok, az országgyűlési képviselők, az MTA vezetése számára is hasznos ismeretanyagként tartom a könyv *Bevezetés, az Energiaigények, Energiaforrások, Gazdasági kölcsönhatások és Állami szerepvállalás* című fejezeteit, valamint az angol nyelvű összefoglalást (magyarul is), amelyek kb. a könyv felét ölelik fel. Az érdekelt szakértők számára tartom inkább igen hasznos kézikönyvnek a legfrissebb nemzetközi irodalom alapján készült *Kölcsönhatások, Környezeti hatások, Egészségkárosodás, Energetika és Társadalom* című fejezeteket, amelyek az anyag másik felét képezik. Mindkét rész bőséges nemzetközi és hazai irodalmi forrásanyagot sorol fel. (Ez utóbbitől sajnos néhány nem, így pl. az MVM Rt. Villamos Energia Statisztikai Évkönyvei.) Értékes felsorolást találunk a fejezeteket érintő hazai és nemzetközi jogszabályokról, ami bőséges alapot nyújt további elemzésekhez is.

A fentiek szellemében fűzök a két fejezet-csoporthoz néhány megjegyzést.

A *Bevezetés* maga röviden bemutatja a világi mai és várható energiahelyzetét és megfogalmazza a szerző célját a könyv megírásánál: „... az energetikai döntésekhez szükséges részismeretek mozaikszerű bemutatása”. Úgy vélem, ez a cél teljesült. A világ 400 Exajoule (EJ) 2000. évi összes primerenergia-felhasználása iszonyatosan nagy érték. Még a szakértők sem érzékelik azonban ezen mértékegységben volumenét. Ezért számítják át újabban az OECD-IEA, EU kiadványok is a természetes egységben megadott részadatokat nemcsak joule-ra, hanem kőolajtona egyenértékre is, ami 41,86 GJ energiát jelent. Ezzel osztva a fenti számot ($400 \times 10^{18} : 41,86 \times 10^9 = 9,56 \times 10^9$), azaz 9,56 milliárd tonna kőolajnak megfelelő energiát használt fel a világ az elmúlt esztendőben. Tájékozottatásul ennek magyar megfelelője a múlt évben mindössze 24,9 millió tonna (0,27%) volt. Kifogásolható azonban, hogy a szerző is több helyen használja az SI rendszer prefixumait pénzürtékeknél, ami másoknak is például szolgálhat, holott azokat hivatalosan csak a nemzetközi mértékegységekre engedi meg a KSH rendelete. Erre a célra az ezer, a millió és a Mrd szavak, illetve rövidítés, a 10 hatványai, vagy ezek neve, a billió, trillió stb. kiírva használandó.*

Az *Energiagények, az Energiaforrások* és a többi (kormányzintre érdemes) fejezet legfőbb tanulsága, hogy az embereknek az energia nyújtotta szolgáltatásokra folyamatosan növekedő mértékben van szükségük, és az energiát végső formájában hőre, fényre, mechanikai munkára, anyagok kémiai és fizikai átalakítására, információra, szórakozásra stb. hasznosítják, ezért az igények exponenciálisan növekednek. A takarékosági intézkedések, a technológiai hatásfokjavítása, az árak emelkedése, a környezetvédelmi szigorítások, a háborús konfliktusok a növekedést hosszú távon csak mérsékelni tudják, mivel az emberiség is exponenciálisan szaporodik, s a fejlődő országok és régiók utol akarják érni az élenjárókat.

Fontos, hogy a végső felhasználásmérlelet megkülönböztessük a primer energiahordozómérleltől és -felhasználástól, mivel ez a nemzetközi összehasonlításoknál téves következtésekre vezethet. A világ energiaszerkezete a rendelkezésre álló források mennyisége, kitermelési, szállítási és a végső felhasználásra történő átalakítás költsége szerint változik.

A távlati energiaszükségletek és azok optimális kielégítésének tervezése a legfőbb feladata az ország energiapolitikáért felelős szerveinek. Az olajválságok utáni időszak egyik legfontosabb tanulsága a WEC tanulmányai szerint is az volt, hogy a nemzetgazdaságok fejlődését jelző GDP index nem a primer energiafelhasználás indexével arányos, hanem azt legjobban a villamos energia felhasználásának indexe követi. Ennek magyarázata az, hogy a villamos energiát használó korszerű gyártási technológiák, még az átalakítási veszteséget is figyelembe véve, kevesebb primer energiát igényelnek, mint a más bázison működők. Ezért az IEA, az EU energiastatisztikái mindkét mutatót figyeltetik a távlati energiahiány becslésénél. Ennek a körülménynek határozottabb figyelembevételét javaslom a szerző ajánlásai mellé. Hosszú távon, a statisztikák szerint, a villamosenergia-igény növekedésének évi százaléka általában kétszerese az összes energiaigénynek. Itt hívom

* Az SI-prefixumok használata pénzügyi értékek mellett egyáltalán nem tilos, és az egységes szemlélet kialakítása szempontjából kedvező is, ezért a szakemberek többsége nem osztja a recenzens véleményét. – A szerkesztő.

fel a figyelmet az energiastatisztikák fontosságára, amelyek nélkülözhetetlenek a nemzetgazdasági tervezésekhez, és hatósági támogatásra szorul készítésük az új tulajdonosok képviselőinek gyakran téves titkossági aggályai miatt.

Fontos ajánlás az is, hogy a távlati energiamérlegeket 20 évnél hosszabb időtartamra nem szabad komolyan venni, mivel a tervezési feltételek gyökeresen megváltozhatnak. Ezért nevezik a nemzetközi szervezetek is csupán becsléseknek. Viszont a távlati energetikai tervek minimum 15–20 évre szükséges készíteni, az energetikai főberendezések (pl. nagyerőművek, olajfinomítók, tengeri fúrótornyok stb.) ennél hosszabb élettartama, az új energiaátalakítási technológiák (pl. tüzelőanyag-cella, fotovillamos erőmű) gyakorlati elterjedésének lassú volta, a primer energiabázisokban a fosszilis energiahordozók nagy részaránya és relatíve alacsony költség-szintje miatt. A megújuló energiahasznosítás versenyképessége ilyen távon kormánytámogatással sem javul olyan mértékben, hogy átvegye a többiek szerepét. A tervekben szereplő konkrét létesítmények időbeni megvalósítását azonban mozaikszerűen változtatni lehet, különböző alternatívák időszerűsége szerint. Lényeg az, hogy villamos energia hiánya ne gátolja a nemzetgazdaságok működését, mint az legutóbb Kaliforniában történt.

Komolyan kell venni a szerző azon jogos aggodalmát is, hogy Európában legnagyobb hányadú földgázfelhasználásunk a mérlegben kellemetlen meglepetést okozhat a gázárak várható növekedése miatt. A gázturbinák gyors létesítési lehetősége csak átmeneti forráspótlást eredményez. Hőszolgáltatással kapcsolt kombinált ciklusú egységek telepítésére pedig nincs akkora igény, amely a rendszerben selejtezésre megérett elavult egységek, illetve távlatilag szükségessé válható olcsón termelő, új atomerőmű vagy hazai, külső hatásoktól független lignit erőmű létesítését ki tudná váltani. A csúcs-gázturbinák szerepét az alaperőművekből éjjel feltölthető szivattyús energiatárolóval (SZET) lehetne kiváltani a leggazdaságosabb módon. Erre kész kiviteli tervek vannak, a prédikálószerű, 1200 MW teljesítményre alkalmas SZET-re kidolgozva.

Világszintű probléma a CO₂ okozta légszennyezés csökkentése. Látható, hogy a kiotoi konferencia nem tudja megakadályozni a világ

évi CO₂ kibocsátásának 2020-ig közel kétszere-
sére becsült növekedését. Szkizofréniának te-
kinthető, hogy az ultrazöldre a leghatékonyabb
megoldást, az atomenergia újbóli bővített hasz-
nosítását elvetik, holott már az USA is ezt a meg-
oldást választotta. Tiltakoznak a paksi erőmű
élettartam-növelése ellen is. Hazánkban, a világ-
gyakorlattal ellentétben, a kormány nem tart
igényt a Bős–Nagymarosi Vízlépcsőkből ha-
zánknak járó 2 Twh megújuló villamos ener-

giamennyiségre sem, ami ugrásszerűen, olcsón
javítaná meg energiamérlegünket.

Fentiekből kitűnik, hogy az állami szerep-
vállalás nélkülözhetetlen az energiapolitikai
kérdések irányításában. Energetikai vállalataink
a jelenlegi viszonyok mellett csak törvényi
támogatással lehetnek versenyképesek a liberali-
zált európai árampiacon, ha az Európai Unióhoz
csatlakozni fogunk.

Kerényi A. Ödön

Energiagondok a világban és nálunk

A Stratégiai Füzetek sorozatában legújabbán
megjelent kiadványban civilizációnk egyik
központi kérdéséről: az energiáról van szó, –
ahogy az előszóban megfogalmazzák – „a
21. század egyik kulcsfontosságú problémájá-
ról”. Már itt az előszóban előrevetítik a szerzők
egyik, a következőkben részletesen tárgyalt
végkövetkeztetésüket, nevezetesen azt, hogy
a liberalizált energiapiac veszéllyel jár, töb-
bek között „nem kedvez a hosszú távú ener-
giagazdálkodási koncepcióknak”.

Egyébként a negyedik és egyben utolsó feje-
zet foglalkozik általában a világ energiaproblé-
máival, pontosabban a kérdés várható alakulá-
sával a következő fél évszázadban (az OECD
Energy: The Next Fifty Years című konferencia-
kiadványa alapján, szerk. Radnóti László és
Szegő Lívia), az első három főleg a magyar
helyzetet tárgyalja.

Mindenekelőtt a fentebb említett negyedik
fejezetet kívánom ismertetni, amely megállapí-
tásait ábrákkal és táblázatokkal is alátámasztja.
Kiindulópontja az a jól ismert tény, hogy míg
az energiaigények nőnek a világon (a követke-
ző ötven év alatt mintegy két-háromszorosára)
– főleg a fejlődő országok felzárkózása miatt –
addig az ún. fosszilis energiahordozók (kőolaj,
földgáz, szén) kifogyóban vannak, ezek közül
is főleg a legkedvezőbbben használható és legin-
kább elterjedt kőolaj és földgáz. Ehhez járulnak
a fosszilis energiahordozók által okozott
környezeti ártalmak (üvegházhatás – globális
klímaváltozás!). Ezért alapvető fontosságú a
kutatás-fejlesztés, főleg az ún. alternatív energia-

források kutatása (nap-, szél-, bio-, geotermi-
kus stb. energia). Ugyanakkor érthetetlennek
tűnik, hogy világszerte csökkentek az energeti-
kai kutatásokra fordított összegek. Ez csakis
mind a kormányok, mind a magánszektor rövid
távú gondolkodásával magyarázható.

A jövőre vonatkozó előrejelzések meglehe-
tösen bizonytalanok, de az elkövetkező tíz-
húsz évre nemigen vár senki az energetika, ill.
az energiaforrások felhasználásában drámai
változást. Egyesek szerint komoly változás 2020-
ra, mások szerint igazi „pályamódosítás” az
energetika területén csak 2050-re várható. A nuk-
leáris energia aligha lesz nélkülözhető. Ugyan-
akkor „A nukleáris energia terjedése ... nagy
mértékben függ új, biztonságos technológiák
kidolgozásától és társadalmi elfogadottságuk-
tól.” (60. o.).

Az ún. *fenntartható fejlődés* kisebb energia-
fogyasztást, ill. a környezetkárosítás csökkenté-
sét vagy teljes megszüntetését követeli.

A kötet első három fejezete – bár vannak
általános vonatkozásai – főleg a magyar hely-
zetről, mindenekelőtt az energiapolitikáról szól
(Járosi Márton). Az olajjár jelentős tényező a
világpolitikában, és kialakításában döntő sze-
repe van az OPEC-nek, amely a világ nyers-
olajtermelésének 40 %-át adja. Ma a kőolaj és
a földgáz a meghatározó energiaforrások és
mellettük a kőszén és a nukleáris erőművek
(Franciaországban a villanytermelés 80 %-át
az utóbbiak szolgáltatják). Hazánk részben az
üzemanyagimport, részben a nagy nemzetköz-
i energiaszolgáltatók piacmeghatározó tulaj-
dona miatt meglehetősen kiszolgáltatott hely-
zetben van. Vita folyik arról, hogy a villamos
energia döntő részét hazai erőművekben kell-e
előállítani. A tanulmány kritizálja az energia

liberalizációt és csak az EU-csatlakozás által megkövetelt legkésőbbi időpontban vezetné be, mert károsan befolyásolja az energiaárakat és sújtja a legszegényebb rétegeket.

A rendszerváltás utáni három kormány energiapolitikáját elemző tanulmány (Járosi Márton, Petz Ernő) igen negatívan értékeli a végrehajtott privatizációt. Hangsúlyozza, hogy az ország és a fogyasztók érdekében az állam jelentős tulajdonosi szerepére van szükség. A

mai magyar energiapolitikával foglalkozó dolgozat (Radnóti Éva) elsőrendű célként az energiaellátás biztonságát jelöli meg és a liberalizációt csak fokozatosan bevezetve tartja célszerűnek. Fontos kérdés az energiatakarékosság és a környezetvédelem, továbbá az energiahatékonyság növelése. (Stratégiai Füzetek 6. Miniszterelnöki Hivatal, Stratégiai Elemző Központ, Budapest, 2000. 750 o.)

Berényi Dénes

Antal–Járó–Somogyi–Várallyay:
A XIX. századi
folyószabályozások és
ármentesítések földrajzi és
ökológiai hatásai

A Kárpát-medencébe 1100 éve beköltözött magyar nép változatos története mellett az új hazát a XIX. századig – földrajzi viszonyait tekintve – eredeti állapotában birtokolta. Az akkor – különböző természeti-gazdasági okok kényszerítésére – elvégzett folyószabályozó, ármentesítő és belvíz-lecsapolási munkálatok a mai országterületnek közel negyedét, kihatásaiban közel felét érintették. A nyomukban bekövetkezett környezet-ökológiai változások megítélése évszázados vita tárgya. E kérdések korunkban ismételten felvetődnek, és a sokszor laikus vélemények a hírközlő szervek útján gyakran széleskörű tájékoztatlanysághoz vezetnek. A nagyszabású természeti környezeti változásoknak vannak máig kiható pozitív és negatív következményei is, amelyekről mindenkori tudásunk és tapasztalataink alapján esetenként szükséges újabb mérleget vonni. A kutatási munka ilyen szemléletű feldolgozását lehetővé tette az arra hivatott természeti társtudományok képviselőinek e feladatra vállalkozó közössége, amelyek tagjai előtanulmányokban gazdag életművük vonatkozó tapasztalatait is összefoglalták ebben az anyagban.

Az idézett, Somogyi Sándor által megfogalmazott előszó, majd a hazánk természeti környezetének jellemzőit vázoló bevezetés után a könyv öt részben tárgyalja mondanivalóját.

Az I. rész a magyar medence folyószabályozások és ármentesítések előtti természeti viszo-

A XIX. SZÁZADI
**FOLYÓSZABÁLYOZÁSOK
ÉS ÁRMENTESÍTÉSEK**
FÖLDRAJZI ÉS ÖKOLÓGIAI HATÁSAI



MTA FÖLDRAJZTUDOMÁNYI KUTATÓINTÉZET

Budapest 2000

nyait veszi számba. Foglalkozik a földtani-domborzati fejlődés jellemző vonásaival és tendenciájával, éghajlatunk főbb sajátosságaival és a természeti beavatkozásokra való érzékenységgel, a folyóhálózat kialakulásával és természetes fejlődésével, az alföldi növénytakarások kialakulásának ökológiai tényezőivel, továbbá az ország folyószabályozások előtti talajviszonyaival, a talajképződés folyamataival.

A II. rész a természeti viszonyok változásának és társadalmi átalakításának XIX. századig terjedő történelmi menetét idézi, a természetes tájfejlődésnek, az éghajlat hosszú idejű változásának, a vízrajzi viszonyok mesterséges átalakítása kezdeteinek bemutatásával.

A III. rész a vízrajzi viszonyok átalakításának szükségességének felismerésének történetét, és a munka XIX. századi lebonyolítását mutatja be. Részletezi a vízrajzi átalakítás természeti és gaz-

dasági okait, a folyószabályozás és ármentesítés munkálatait előkészítő vízrajzi felmérések, térképezések és tervek lényeges részeit, az elvégzett munkák általános jellemzését és méreteit.

A IV. rész az elvégzett természetátalakítónak is nevezett munkálatok ökológiai hatásait részletezi. Szó esik itt az árterek domborzatfejlődést is előidéző átalakulásáról, a helyi klímamódosulásokról, a felszíni és felszín alatti vizek állapotában tükröződő változásokról, az alföldi növénytakaró módosulásának és módosításának menetéről, a vízrendezések és lecsapolások talajviszonyokra gyakorolt befolyásáról, a beavatkozásoknak az ország gazdasági életében, településképében, a lakosság életmódjában és egészségi viszonyaiban tájrajzi vonatkozásokban megmutató hatásairól.

Az V. rész a XIX. századi természetátalakítás eredményeit a mai földrajzi környezet viszonyaival hasonlítja össze. Vonatkozik ez a lezajlott állandó és időszakos ökológiai változások mai értékelésére, a talajtani hatásokra, valamint a keletkezett környezetváltozások mai megítélésének pozitívumaira és negatívumaira.

Az irodalmi hivatkozások gazdag jegyzéke a könyv tárgyalt szakterületei szerint épült fel. Az általános rész, a geológia és geomorfológia, valamint a vízrajz vonatkozásában Somogyi Sándor, az éghajlatban Antal Emánuel, a növényföldrajzban Járó Zoltán, míg a talajtanban Várallyay György gyűjtötte és rendezte a tanulmányozott, hivatkozott, vagy az olvasóknak ajánlott szakirodalmat.

Érdeemes idéznünk a könyvből néhány jellegzetes, a könyv mondanivalója szempontjából is alapvetőnek tekinthető megállapítást.

„Az ármentesített területeinken sem a csapadék, sem a hőmérséklet idősorában látható ingadozás és az egyirányú trend nem tulajdonítható határozottan az antropogén tevékenységnek, pl. a térség vízháztartásába történő drasztikus beavatkozásnak, vagy a területhasznosításban bekövetkezett számottevő változásoknak, avagy az üvegház-gázok összetétele megváltozásának. Sokkal inkább arról van szó, hogy a szerteágazó emberi tevékenység mindenképpen kihat a klímára, pozitív és negatív hatásokat egyaránt előidézve, ám ezek a klímaváltozások a jelenlegi vizsgálati módszerekkel, illetve a rendelkezésre álló adatbázis alapján

nehezen kimutathatók és számszerűsíthetők, főként akkor, ha egy-egy emberi tevékenység klíma-következményét külön-külön is ki akarjuk mutatni. Másrészt az is nehézségekbe ütközik, ha a globális klímaváltozásokat (ami még csak-csak kimutatható) regionális méretekben is értelmezni, sőt kvantifikálni kívánjuk.” (Antal)

„Az ember a mezőgazdasági termelés érdekében irtotta az erdőt, nemcsak az Alföldön, de a Kárpát-medence vízgűjtő területének hegy- és dombvidéki részein is, növelve a felszíni lefolyást, a víz-erózió okozta talajpusztulást, a mélyebb fekvésű területek árvíz- és belvízveszélyét. Ez utóbbiak csökkentése érdekében folyószabályozásokat, lecsapolásokat hajtott végre, majd a fokozott kiszáritást öntözéssel igyekezett ellensúlyozni. A nagyobb terméshozamok érdekében – eredményesen – használta a korszerű agrotechnika minden eszközét. Mindez jelentős mértékben hatott a talajképződési folyamatokra, a talajok tulajdonságaira, termékenységére. Hol kedvezően, hol kedvezőtlenül, de feltétlenül sokféleképpen, alapot adva ezzel a túlzott és megalapozatlan általánosítások közti éles vitákra és álvitákra, amelyekben a magyar talajtani tudomány története nem szükkölködött. A viták által kikényszerített tudományos kutatások és érvelések emelték a magyar talajtani tudományt a világ élvonalába. Különösen a Kárpát-medencével, ill. az Alfölddel kapcsolatos tudományterületen: pl. a szikkutatásban, az eróziókutatásban, a talaj vízgazdálkodásának kutatásában stb. Az álviták és a döntéshozók által nem tudományos érvek alapján, hanem határozatokkal lezárt viták ugyanakkor komoly töresekkel jelentettek az ország gazdasági fejlődésében; nagy, gyakran jövótételen károkat okoztak hazánk környezeti állapotában.” (Várallyay Gy.)

„Összegezve az elmondottakat, megállapíthatjuk, hogy az ország területének 24 %-át kitevő árter ármentesítése, lecsapolása természeti kihatásaiban valamilyen módon ma felszínének közel 50 %-ára terjed ki. A végbement változásoknak a környezet-ökológiai tényezők szemszögéből általában pozitív, alárendelten negatív következményei is vannak. Az a hatalmas gazdasági-társadalmi fejlődés azonban, ami az elvégzett vízrendezések nyomán kibontakozott, képessé teszi a társadalom józan elemeit a tárgyilagos felmérésre, és az egyértelműen káros

folyamatok elszigetelésére, megállapítására, esetenként a környezeti károsodás regenerálására is. Természetesen az ilyen munkálatok komoly anyagi terheket rónak a társadalomra, de azokat azok a területek bőven fedezik, amelyeket csak a folyószabályozások és ármentesítések révén tudtak a termelés szolgálatába állítani." (Somogyi)

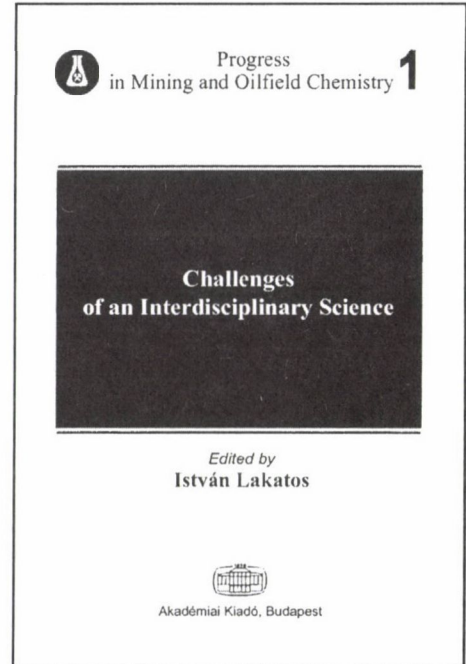
Az MTA Földrajztudományi Kutatóintézetének munkaközössége nagy feladatra vállalko-

zott és dicséretes munkát végzett. A könyv segíteni fogja a közvélemény, a vízügyi szakterület, és a társtudományok képviselőinek tisztánlátását a XIX. századi hazai folyószabályozások és árvízmentesítések problémakörében és a mai időszakra terjedő hatásainak tényszerű értékelésében. (MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, 2000, 302 o., 82 ábra)

Vágás István

Progress in Mining and Oilfield Chemistry. *Edited by István Lakatos*

A két nagyon szép nyomdai kiállítású kötet megjelentetésének célját jól megfogalmazza az 1. kötet bevezetésében, ill. a kötet hátoldalán a szerkesztő által adott annotáció néhány mondata, amelyek értelmében – ha nem is szó szerint idézve – az egyes szerzők, ill. szerzői teamek által írott közleményeket tartalmazó összeállítás célja, hogy ösztönözze az interdiszciplináris eszmecseréket a bánya-, olaj- és vegyész-mérnökök között. Ez ma már feltétlenül szükséges, mert az utóbbi fél évszázadban egyre inkább végbement a tudományok diverzifikálódása, és az egyes részterületek mind mélységükben, mind szélességükben továbbfejlődtek. Míg korábban az egyes mérnöki technológiák kidolgozásakor, ill. továbbfejlesztésekor elég volt jól ismerni a szóban forgó mérnöki területet, amit megalapozott külön-külön a matematika, a fizika és a kémia, ma már mind a tudományos kutatás, mind pedig az alkalmazás terén a szakembernek együttesen kell rendelkeznie mindezen tudományoknak a megfelelő mérnöki szakokhoz rendelt átfogó, naprakész ismeretével. A meg nem újítható természeti erőforrások kezelésével kapcsolatosan, a növekvő emberi fogyasztás kielégítése érdekében dolgozó eme adott szakterületen pedig különösen azért alapvető követelmény mindez, hogy minél nagyobb mértékű lehessen a nyersanyag – legyen az olaj, gáz, szén, érc, víz vagy kő – kinyerése, fejlődjék feldolgozása, szállításának és tárolásának technológiája. A lehető legkisebbre kell csökkenteni a mai módszerekkel már ki nem termelhető, visszamaradó anyag-tömeget



úgy, hogy közben biztonságosan megvédhető legyen a környezet mind a kitermelés során elkerülhetetlenül megjelenő melléktermékektől, mind pedig a helytelen, ill. gondatlan kezelésből adódó szennyeződésektől.

Az 1. kötet az ezekkel a kérdésekkel foglalkozó 1998. évi siófoki 6. Bányászati Kémiai Szimpózium magyar és külföldi szakemberek által tartott 46 előadásának a szerkesztett szövegét tartalmazza. A közlemények négy fejezetre bontva (Konvencionális és intenzív olaj- és földgáztermelés; Szerves és szervetlen geokémia; Bányászati kémia; Környezeti kémia) mutatják be a legújabb kutatási eredményeket és az előrehaladás irányait. Jellemzésül álljon

itt az összeállítás néhány főbb és alapvető kérdéscsoporttal foglalkozó előadásának a címe: *A telítődés matematikai modellje; A homogén és többrétegű porózus magpróbákon végzett vízelárasztásos kísérletek fő jellemzői; A hagyományos és serkentett olajkitermelés határfelületi reológiai aspektusai; Az állapotegyenlet-számítás alkalmazása sokfázisú fázisegyensúlyok esetére; Nyersolaj – rétegvíz – gáz rendszer egyensúlyi határfelületi feszültségének vizsgálata; Geokémiai paraméterek korrelációja arének és telített szénhidrogének összetételével kapcsolatosan; He, He, és Ar meghatározása földgázban és az analitikai adatok interpretációja geokémiai vizsgálatokban; A metántermelés lehetőségei kis permeabilitású szénrétegekből; A CO₂ preszorpciójának hatása a szén szorpciók kapacitására tekintettel a metánra és a szorpcióval kapcsolatos deformációra; Kolloid diszperziók töltés nélküli polimerek általi flokkulációja; Szén-szuszpenziók elektrokinetikai sajátosságai; Az olaj mikrobiális lebomlása a környezetben; Szerves hulladékokból származó termékek felhasználása a serkentett olajkitermelésben és az in-situ szénkonverzióban; Koagulálószerkesztés felhasználása olajtartalmú szennyvizek kezelésére – stb.*

A 2. kötet 32 közleménye már az előbb említett szimpóziumon közölt eredmények alapján követendő, ill. esetenként már követett utat mutatja be, bizonyítva, hogy a technológiákban a továbblépéshez az intenzív kutatás és fejlesztés vezet, aminek eredményeit sikeresen felhasználja is a nemzetközi olaj- és gázpiac. Ennek megfelelően álljon itt is a különböző hazai és külföldi jönevű kutatóhelyeken dolgozó szerzők néhány főbb közleményének címe: *Kulcs a sikeres serkentett olajtermeléshez; Horizontális kutak alkalmazása; Analitikai technikák a*

relatív permeabilitás meghatározására; A serkentett olajkitermelésben alkalmazott géllépcső rendszerek kinetikai és reológiai jellemzőinek szabályozása; Polimer szilikátos kútkezelési technikák; A géllépcső potenciális lehetősége; Geokémiai technológiák az olajtermelés elősegítésére; A kútáram szilárdanyag-termelésének kvantitatív meghatározása; Adalékok és vegyszerek az olaj- és gázszállításban; Az „azonos állapotok”: PVT számítási módszer rezervoármérnökök számára; A kisnyomású vízelárasztás laboratóriumi modellezése; Különböző értékű krómionok diffúziója hidrogélekben; Geotermométerként használatos kollotelinit reflexiója stb.

Összefoglalóan megállapítható, hogy mindkét kötet a terület világviszonylatban is ismert és neves mintegy 50 külföldi (albán, angol, egyiptomi, francia, jugoszláv, kanadai, lengyel, német, norvég, orosz, török) és mintegy 50, többségében ugyancsak már jelentős nevet szerzett magyar szerzőjének 78 közleménye értékes hozzájárulást jelent e – talán valóban a leginterdiszciplinárisabbnak tekinthető – műszaki terület továbbfejlesztéséhez. Jól mutatja ugyanakkor mind az egyes országok kutatóhelyei közötti, mind pedig a nemzetközi kapcsolatok gyümölcsöző és mind eredményesebb együttműködését. A Miskolci Egyetem Alkalmazott Kémiai Intézete igazgatójának színvonalas szerkesztésével közreadott kétkötetes mű mindenképpen hasznos segítség a területen dolgozó, ill. annak sikeres továbbfejlesztésén munkálkodó elméleti és gyakorlati szakemberek számára. (Akadémiai Kiadó, Budapest. Vol. 1. Challenges of an Interdisciplinary Science. 1999, pp. 358; Vol. 2. Novelities in Enhanced Oil and Gas Recovery, 2000, pp. 349.)

Berecz Endre

Helyreigazítás

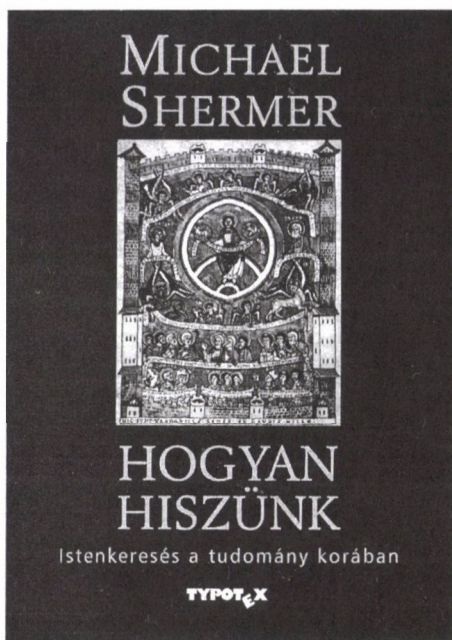
Októberi számunk néhány tévedését sajnálatos módon már csak a kinyomtatott példányban fedeztük fel. Berényi Dénes könyvkritikájában (*Tudomány és társadalom*, 1252. o.) egy hibás adat szerepel; a hazai kutatástámogatás 1966-ban nem a GDP 6,7, hanem 0,67 százaléka volt. Ráadásul a hibák vonzzák egymást; ugyanez az írás tévesen szerepelt a tartalomjegyzékben is. Berényi Dénes természetesen nem a saját kötetéről írt kritikát. A hibákért a szerző és Olvsóink szíves elnézését kérjük.

Michael Shermer: Hogyan hiszünk

Istenkeresés a tudomány korában

Néhány évvel ezelőtt az MTA Ádám György akadémikus vezette – azóta megszűnt – Ismeretterjesztő Bizottsága *Vallás és tudomány* címmel vitautülést rendezett a Tudomány Hete rendezvényt sorozat keretében. Az ülés azzal a céllal szerveződött, hogy a tudományos közösség megismerje a különböző egyházak véleményét a vallás és tudomány viszonyáról, ezért fő előadói a történelmi egyházak magas rangú képviselői közül kerültek ki. Sajnos az ülés eredményessége nem felelt meg a jóindulatú várakozásnak, mivel a különböző vallások képviselőinek véleménye között jelentős különbségek mutatkoztak a tudomány hatáskörét és szerepét illetően. Volt egyházi vezető, aki Heisenberg határozatlansági elméletére hivatkozva kijelentette, hogy *a tudomány semmi biztosat nem képes állítani*. Egy másik egyház teológusa ezzel szemben azt bizonygatta hogy a teológia (saját egyháza megfogalmazásában) ugyanolyan tudomány mint az összes többi, mindössze a csodákat kell beilleszteni a „hagyományos” tudomány módszertanába és logikai struktúrájába. Igen érdekes volt az egyik előadónak az a fontos, alapvető szociológiai vizsgálatokon alapuló észrevétele is, hogy a mai piacgazdaság keretei között a vallás is árucikké vált (országunkban közel 70 egyház van bejegyezve), az emberek pedig ugyanúgy válogatnak közöttük, mint a bevásárlóközpontokban, előnyben részesítve a legtetszetősebb csomagolást.

Érdekes megjegyezni, hogy ezzel egyidőben az Egyesült Államok Nemzeti Tudományos Akadémiája már túljutott az alapvető vitákon, és 1997-ben Washingtonban a következő hivatalos állásfoglalást tette közzé: „A *hit* rendszerint olyan hiedelmeket jelent, amelyeket empirikus bizonyítékok nélkül elfogadnak. A legtöbb vallásban vannak hittételek. A tudomány azért különbözik a vallástól, mert a tudomány természetéből adódóan a magyarázatokat a természettel összevetve újra és újra próbára teszi. Ezért a tudományos magyarázat olyan ismeretekre épül, amelyeket minden újabb információ, vagy a régiek egy új szempontból való



értékelése szükségképpen módosít. Ez radikálisan különbözik a legtöbb vallásos hittől...

A tudomány olyan módszer, amellyel ismereteket szerünk a valóságos világról. Természetes okok miatt ez a módszer a természet világra korlátozódik. A tudomány semmit nem tud mondani a természetfeletről. Hogy Isten létezik-e vagy sem, ez olyan kérdés, amelyben a tudomány semleges álláspontot foglal el.”

Ilyen előzmények után dicséretes, hogy a Typotex Kiadó megjelentette *Szeptikus Könyvek* sorozatában Michael Shermer művét, amely a vallás és tudomány viszonyát, és azt az alapvető kérdést vizsgálja, hogyan és miért hiszünk.

A szerző pszichológiából és kísérleti pszichológiából szerzett diplomát, majd tudomány-filozófiából doktorált. Ő maga agnosztikusnak vallja magát, és az amerikai szeptikus közösség kiemelkedő egyénisége, főszerkesztője a Kaliforniában megjelenő *Skeptic* c. népszerű folyóiratnak. A könyvet egy amerikai írta amerikaiaknak, ezért vált szükségessé a kiadó szerint egy olyan előszó – Lakatos László tollából –, amely a magyar közönség számára megfelelő bevezetést nyújt a lényegi részhez.

Shermer a vallásos hit okait egy agnosztikus szemszögéből vizsgálja, rengeteg tudományte-

rület eredményeire hivatkozva, és hatalmas anyagot feldolgozva. Stílusa olvasmányos, rengeteg konkrét példával, amit ő maga a következőképpen indokol: „A pszichológusok megfigyelései szerint az emberek kedvezőbbben viszonyulnak a történetekhez, mint a pusztá logikához vagy az objektív tényekhez. Egyszerűen könnyebb nyomon követni egy bonyolult érvelést, ha az embereket, helyszíneket és eseményeket tartalmaz, mintha csak pozícióciók, szillogizmusok és a szimbolikus logika kapnak helyet benne.”

A könyv áttekinti a hit eredetét, kialakulását és az egyes társadalmakban betöltött szerepét, megismerteti a teológiai istenérvekkel, vizsgálja a hit, értelem és a tudomány viszonyát a különböző korokban. A szerző véleménye szerint az ember *mintázatkereső állat*, ezért a hit iránti igény „hardveresen” be van építve az emberbe. Az agyban létezhetnek különböző, a gondolkodást és a viselkedést befolyásoló „modulok”, így elképezhetően létezik egy „vallási” modul is, bár szerinte azért a helyzet ennél bonyolultabb. Shermer szerint a vallásos hit fontos szerepet töltött be az emberi faj evolúciójában, az emberi közösségek túlélésében, a közösségek összetartásában és a viselkedési normák, az erkölcs kialakulásában.

A könyvben természetesen szó esik irracionális vallási hiedelmekről, így külön fejezet foglalkozik Michael Drosnin *A Biblia kódja* c. 1997-ben megjelent bestsellerével, amely a legprimitívebb áltudomány kategóriába tartozik, s amelyet sajnos a hazai olvasóközönség rekordgyorsasággal kaphatott kézbe magyar fordításban.

A könyv sokféle szerteágazó érdekességét nehéz egy recenzió keretében akár csak felvázolni is, azonban a szerző igyekezett minél több, esetenként egymástól eltérő, álláspontot ismertetni. Megszólaltatja a világhírű elméleti fizikus és kozmológus Stephen Hawkinget: „Nehéz úgy beszélni a világegyetem kezdetéről, hogy közben ne említsük meg Isten fogalmát. A világegyetem keletkezését firtató munkám a tudomány és a vallás közötti választóvonalon mozog, de én a határ tudományos oldalán igyekszem megmaradni. Nagyon is lehetséges, hogy Isten olyan módon tevékenykedik, amely nem írható le a tudomány törvényei segítségével. Ebben az esetben viszont csupán a személyes hit az, amihez igazodhatnánk.”

Carl Sagan, a népszerű és híres csillagász-űrkutató szerint: „A tudomány állítólagos bűneinek egyike, hogy föltárta: legkedvesebb történeteink a világegyetemben betöltött helyünkről, ill arról, hogy ezt a helyet miként foglaltuk el – félrevezető. A tudomány jóval öregebb és terebélyesebb Univerzumot tár elénk ahelyett a tarkos és antropomorf színpad helyett, amelyen elődeink a nagy eredettörténeteket megírták...”

E nézőpontból szemlélve az az elgondolás, hogy bolygónk az Univerzum középpontja, ugyanolyan patetikus, mint hogy az Univerzum létezésében központi az emberi szempont.”

Szót kap az 1995-ös Templeton-díjas, hívő fizikus Paul Davies is: „Az Istenbe vetett hit nagyrészt izlés dolga, amely sokkal inkább magyarázóértéke, mint a logikai szükségyszerűség mércéje szerint ítélendő meg. Személy szerint én sokkal kényelmesebben érzem magam, ha mélyebb szintű magyarázatot találok, amelyet a fizika törvényei szolgáltatnak. Hogy ezen a szinten az *Isten* terminus használata helyénvaló-e vagy sem, az persze további vita tárgya.”

A könyv rendkívül érdekes olvasmány, mivel gondolkodásra késztet, főleg annak tudatában, hogy sokan nem értenek egyet a szerző egyes gondolataival, amelyekből ő természetesen nem is csinál titkot.

A szép kiállítású könyvnek vannak azonban szokatlan vonásai, amelyeket a recenzensnek kötelessége megemlíteni. Az egyik, más kiadónál ez ideig még nem tapasztalt jelenség, hogy a könyvből hiányzik a terjedelmes irodalomjegyzék, amely a további olvasáshoz nélkülözhetetlen segítséget jelentene. Ahogy azt a 4. oldalról az olvasó megtudhatja, az érdeklődők a 19 oldalas listát a www.typtex.hu webcímről tölthetik le – természetesen csak akkor, ha hozzá tudnak férni az internethez.

Szót kell említeni a hiányzó irodalomjegyzéknél terjedelmesebb, 21 oldalas előszóról. Lakatos László elmarasztalja a szerzőt abban, hogy a pszichológia, antropológia, filozófia, agykutatás, kozmológia és fizika mellett nem szentelt szerinte elegendő figyelmet a szociológiának. Ahogy ez megfogalmazásra kerül a külön cikknek is beillő *Előszó* végén: „Tévedés, félreértés ne essék, nem azt kérem én számon Shermeren, hogy miért nem egy népszerű valásszociológiai munkát írt inkább. Én magam

persze azt gondolom, hogy a vallásos hit változásait vagy éppen változatlanóságát csakis társadalomtörténetileg lehet megérteni és magyarázni, tehát akár helyes a szekularizáció elmélete, akár nem, a magyarázat jellegét, a megközelítés módját mindenképpen helyesnek, sőt egyedül üdvözítőnek találom. De elismerem Shermernek azt a jogát, hogy másfelé keresgélje a megoldást. Mindössze azt teszem szavá (beismerem: kissé neheztelőleg), hogy nagyívű áttekintéséből bizony kimaradt valami, ami fontos lenne. Úgy vélem, e bevezetés írójaként kötelességem is felhívni erre az olvasó figyelmét. Egy tudománynépszerűsítő könyvben, amelyek a vallássosságról szól és dicséretes módon egy sor tudomány eredményeit felvonultatja, illett volna a szociológia ide vonatkozó legjelentősebb elméletét is bemutatnia.”

Ami a recenziót illeti, az *Előszó* utolsó bekezdéséről nem tudta eldönteni, hogy szerzője silány viccnek szánta-e, vagy csupán teret engedett a szkeptikusokkal szembeni malíciájának: „A szkeptikusok Marx jelszavát követik. *Mindenben kételkedni!* Jó jelszó, vegyük komolyan. Olvassuk szépséggel a szkeptikusok könyveit is.”

Nos, Lakatos László nyilván nincs tudatában annak, hogy a hazai szkeptikus mozgalom alapító elnöke, a néhai Szentágothai János akadémia-

kus, hívő protesztáns és a Pápai Tudományos Akadémia tagja volt. Éppen ezért az sem véletlen, hogy ennek az egyesületnek a hivatalos neve: *Tényeket Tisztelők Társasága*/Szentágothai professzor klasszikus műveltségének nem volt szüksége a munkásmozgalom klasszikusának a régi görögöktől kölcsönzött bölcs mondására, hiszen nemes anyagként kapásból tudta idézni Cicerót: *Dubitando ad veritatem pervenimus* (Kétkeldeve jutunk el az igazsághoz), vagy Descartes közismertebb mondását: *Dubium sapientiae initium* (A kételkedés a bölcsesség kezdete).

Az érdekesség kedvéért érdemes megemlíteni, ha már a jelszó szóba került, hogy az amerikai szkeptikusok Descartes híres mondását kissé átalakítva azt mondják: *Vagyok, tehát gondolkodom*. A hazai szkeptikusok a sajátos magyar és közép-európai igények szerint tovább csavartak egyet, és nemhivatalos jelszavuk: *Gondolkodjunk, ha már vagyunk!* Mindkettő jó jelszó, ezért ajánlom az *Előszó* írójának, hogy ezeket is vegye komolyan.

Összességképpen mindenkinek jó lélekkel tudom ajánlani Michael Shermer könyvét. Élvezetes és gondolatébresztő olvasmány a nagyközönség számára, na persze nem árt az internethez való hozzáférés, ha a teljes könyv tartalmára kíváncsi az olvasó. (Typotex, Bp., 2001.)

Bencze Gyula

Energy- Environment - Economy

Our present publication consists of five parts. In the introduction the guest editor of this issue György Varga provides the keynote by outlining the general situation, connections, trends and possible tasks. In the chapter on Technical trends and prospects we examine the different energetic resources as well as production technologies. Béla Nagy writes primarily about domestic coal and uranium supplies with a slight polemic overtone. Dániel Magyar and László Tihanyi provide excellent analysis on one of the most important and, due to the processes in world politics and economy, the most worrisome resources of the present and the near future - hydrocarbones. Károly Reményi as well as Zoltán Szatmáry describes the new technological possibilities of two different, competing types of power plants - coal and nuclear, both of determining importance from the viewpoint of energy production in the coming one or two decades. Gergely Büki writes about expectable breakthroughs in power plant technologies. In our present issue we cover two of the renewing resources: Gábor Horváth and László Tóth analyse the utilisation of wind energy and Dániel Duppán that of bio-fuels.

The next chapter of our volume examines the more and more prominent environmental impacts. Erno Mészáros's primary focus is on whether the climatic changes of the previous years have been due to natural processes or human activities. György Bárdossy and Árpád Veres outline in their studies an outstandingly important field which is causing great concern or even anxiety among societies: the handling, disposal and possible utilisation of nuclear waste. Imre Szabényi also discusses environment-related issues.

The next chapter examines a field of a great complexity and many aspects. Rudolf Czelnai in his excellent essay analyses the complex problems related to the environment and the influencing of society. László Kapolyi and Gyula Lengyel describe the economical and price-related questions of electric energy systems with an original approach. László B. Sztanyik examines the physiological impacts and consequences of energetic environmental effects of interest to the society and individuals alike. Tamás Katona, Sándor Rátkai, Ágnes Jánosiné Bíró and Csaba Gorondi discuss an issue of basic influence on the Hungarian electric energy supply in connection with capacity and life-time increase of the nuclear power plant in Paks. Balázs Kováts analyses social opinion about nuclear energy production based on data from a series of surveys over several years, while Ada Ámon discourses on the energetic conception of greens with more of an emotional than factual approach.

The last chapter contains two book reviews in connection with energy with the writings of Ödön A. Kerényi and Dénes Berényi.

A final apologetic remark: it would only be proper by the reader to miss from this selection such important, variously applicable and increasingly developed renewing energy resources such as fuel-cell power supplies, systems directly utilising solar energy or the most important renewing resource: hydroelectric power. Besides, less important, not very economical or for some other reason less significant solutions are also missing, such as geothermal energy utilisation or tidal power plants, which hardly come into question in Hungary anyway. One such publication however (which does not aspire to achieving a handbook status), can only be finished and not completed, and what is more, our intentions were limited by size constraints as well. We promise however, that - similarly to our other thematic issues (like in the case of the one on Information Society, the topics of which we have returned to several times since its first publication) - we are going to continue this present one, partly with those fields listed here, partly with new discoveries and implementations, or even with so called 'crazy ideas'.