

Magyar Tudomány

ATOMENERGIA

Vendégszerkesztő: Csom Gyula és Gyulai József

BESZÉD ÉS BESZÉDTUDOMÁNY I.

Vendégszerkesztő: Gósy Mária

A jövő potenciális energiaforrásai

A tudós számára elfogadható hit

2007•I

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA FOLYÓIRATA. ALAPÍTÁS ÉVE: 1840 167. ÉVFOLYAM – 2007/I. SZÁM

Főszerkesztő:

CSÁNYI VILMOS

Vezető szerkesztő:

ELEK LÁSZLÓ

Olvasószerkesztő:

MAJOROS KLÁRA

Szerkesztőbizottság:

ÁDÁM GYÖRGY, BENCZE GYULA, CZELNAI RUDOLF, CSÁSZÁR ÁKOS, ENYEDI GYÖRGY,
KOVÁCS FERENC, KÖPECZI BÉLA, LUDASSY MÁRIA, NIEDERHAUSER EMIL,
SOLYMOSSI FRIGYES, SPÄT ANDRÁS, SZENTES TAMÁS, VAMOS TIBOR

A lapot készítették:

CSAPÓ MÁRIA, GAZDAG KÁLMÁNNÉ, HALMOS TAMÁS, JÉKI LÁSZLÓ, MATSKÁSI ISTVÁN,
PERECZ LÁSZLÓ, SIPOS JÚLIA, 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

Kiadja az Akaprint Kft. • 1115 Bp., Bártfai u. 65.

Tel.: 2067-975 • akaprint@akaprint.axelero.net

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: 8064 Ft

Terjeszti a Magyar Posta és alternatív terjesztők

Kapható az ország igényes könyvesboltjaiban

Nyomdai munkák: Akaprint Kft. 26567

Felelős vezető: Freier László

Megjelent: 11,4 (A/5) ív terjedelemben

HU ISSN 0025 0325

TARTALOM

Atomenergia • Vendégszerkesztő: Csom Gyula és Gyulai József

Vajda György: Bevezető	2
Csom Gyula: Energiapolitikai prioritások	4
Aszódi Attila: Atomerőművek a villamosenergia-termelésben	11
Holló Előd: Atomerőművek kockázatának értékelése	19
Katona Tamás János: A paksi atomerőmű üzemidő-hosszabbítása	23
Hegyháti József: Radioaktív hulladékok kezelése és végleges elhelyezése	27
Gadó János: A maghasadáson alapuló energiatermelés jövője	31
Fehér Sándor: Radioaktív hulladékok transzmutációja	36
Zoetnik Sándor: A fúziós energiatermelés jelenlegi helyzete és távlatai	40
Hózer Zoltán: A hazai nukleáris kutatás-fejlesztés	45

Beszéd és beszédtudomány I. • Vendégszerkesztő: Gósy Mária

Gósy Mária: Bevezető	49
Gósy Mária: A semleges magánhangzó: a funkció, a kiejtés és az akusztikum összefüggései	50
Markó Alexandra: A társalgás hangtana	54
Olaszy Gábor: Beszédstratégiák a prozódia tükrében	58

Tanulmányok

Füst Antal – Hargitai Róbert: A jövő potenciális energiaforrásai	62
Eric A. Ash: A tudós számára elfogadható hit	73
Braun Tibor – Dióspatonyi Ildikó – Zádor Erika – Zsindely Sándor: Élvonalbeli egyetemek a természettudományos folyóiratok kapuőrein alapuló mutatószám szerint	82

Tudós fórum

Dinnyei Márton: Kuhn és a relativizmus. Tudományos konferencia	102
Akadémikusok nyílt levele az országgyűlési képviselőkhez	107
2008 – a Föld bolygó nemzetközi éve	108

Megemlékezés

Sarkadi János (<i>Kádár Imre</i>)	III
---	-----

Kitekintés (Jéki László – Gimes Júlia)

III3

Könyvszemle

Tanulmánykötet az iparművészet változó szerepéről (<i>Tőszegi Zsuzsanna</i>)	117
Kozma Tamás: Kisebbségi oktatás közép-Európában (<i>Berényi Dénes</i>)	119
Csákvári Béla és Rohonczy János: Nemesgáz-clusterek előállítása, szerkezetvizsgálata és felhasználásuk a környezetkímélő szintézisek kifejlesztésében – Nemesgáz- clusterek felhasználása a környezetkímélő szintézisek terén a legújabb szakirodalmi adatok tükrében című könyvfejezeteiről (<i>Braun Tibor</i>)	121
Hunyady György: A szociálpszichológia történeti olvasatai (<i>Dr. Fülöp Márta</i>)	122
Kik azok a tékozlók és mit tékozlottak el? – Megjegyzések Kende Péter <i>Eltékoztolt forradalom?</i> című könyvéhez (<i>Gombár Csaba</i>)	125

Atomenergia

BEVEZETŐ

Vajda György

az MTA rendes tagja – vajda@haea.gov.hu

Az atomenergetika kilátásainak napirendre tűzését egyaránt indokolják a külföldi és a hazai fejlemények. Számos körülmény támasztja alá, hogy az atomenergia hasznosítása új fellendülés előtt áll. Tanúsítja ezt az antinukleáris és pronukleáris országok között egyensúlyozó nemzetközi szervezetek (például az OECD vagy az EU Bizottsága) magatartásának változása. Korábban azzal tértek ki az állásfoglalás elől, hogy az atomenergia alkalmazása az országok belügye, mostanában azonban rámutatnak az atomerőművek pozitív szerepére az ellátásbiztonság erősítésében és a környezetszennyezés csökkentésében, a Bizottság legutóbbi „zöld könyvében” egyenesen a nukleáris erőművekkel kapcsolatos politika újragondolását ajánlja.

A legnagyobb változás az Egyesült Államok energiapolitikájában következett be. Ott mintegy három évtizede, a harrisburgi Three Mile Island atomerőműben bekövetkezett nagy üzemzavar óta gondolni sem lehetett új atomerőmű létesítésére, most viszont a világpolitika és az energiahelyzet alakulásának hatására az atomenergia a Bush-adminisztráció energiapolitikájának egyik pillérévé lépett elő. Ennek egyik következménye,

hogy tömegessé vált a működő atomerőművek élettartamának meghosszabbítása. A működő 103 nagy atomerőművi blokk harmadának már engedélyezték, hogy az eredetileg jóváhagyott negyven éven túl további húsz évig üzemben maradjon, a második harmaduknál az engedélyezés folyamatban van, és a többiek is tervezik ezt a lépést. Időközben a nagy energetikai gépgyártók kifejlesztették az atomerőművek harmadik generációját, melyek a jelenleg üzemben lévő második generációnál sokkal biztonságosabbak és gazdaságosabbak. Első két példányuk Japánban már működik, az Egyesült Államokban pedig öt tőkeerős konzorcium alakult ilyenek létesítésére a meglévő telephelyeken. Az elsőként üzembe lépő öt blokknak az amerikai Kongresszus jelentős adókedvezményt szavazott meg.

Az atomerőmű-építés másutt is fellendülőben van, leginkább harmadik generációs típusokkal. Kína és Oroszország évente egy-két blokk üzembe helyezését tervezi a következő tíz-tizenöt évben, ambiciózus tervei vannak Indiának, jó néhány országban folytatódhatnak a korábbi programok (például Japán, Korea, Tajvan, Brazília), és új országok (példá-

ul Indonézia, Dél Afrika) is erre az útra lépnek. Európában is vannak fejlemények, Finnország és Franciaország elindította 1,6 GW-os harmadik generációs erőművének létesítését, az olasz ENEL cég vállalta a szlovákiai mohi atomerőmű kétblokkos bővítését, az oroszok bővítik a bolgár atomerőművet, a kanadaiak pedig Romániában építenek atomerőművet.

Az amerikai Energia Minisztérium nagyszabású kutatási programot indított a negyedik generációs atomerőművek kifejlesztésére. Ehhez számos ország már csatlakozott, ez Magyarországnak is szándékában van. Teljesen új elveken működő megoldásokat kívánnak kialakítani, hogy az atomerőmű-ellenes érvek okafogyottá váljanak. Cél, hogy vagy a rendszer működési elve zárja ki a környezetet veszélyeztető kibocsátásokat (inherens biztonság), vagy annak valószínűsége elhanyagolhatóan kicsi legyen. Élni kívánnak a transzmutáció lehetőségével, amivel a hosszú felezési idejű radioaktív hulladékok rövid felezési idejű vagy stabil izotópokká alakíthatók. Ha a hasadás termékei közül a hasadóanyagokat visszavezetik az energiatermelésbe, a többi aktinidát pedig transzmutálják, akkor kiküszöbölhető a felhasználás lehetősége fegyvergyártásra.

A tapasztalatok szerint a Paksi Atomerőmű működését – viszonylag kis ráfordításokkal – meg lehet hosszabbítani a tervezett harminc éven túl, a biztonság veszélyeztetése nélkül. Ennek a lehetőségnek a kiaknázása az ország energiaellátásának biztonsága, a beruházási feszültség enyhítése és az energiaárak leszorítása érdekében a magyar energiapolitika kulcskérdése. Jelenleg az ország teljes energiafelhasználásának mintegy há-

romnegyedét importtal fedezzük, ami sérülékeny. Ennek ellensúlyozására kevés az eszközünk, hazai ásványi és megújuló energiavagyonunk csekély, geopolitikai helyzetünk és gazdasági erőnk kevés lehetőséget ad az import diverzifikálására, jóformán csak az atomerőmű stabilizáló szerepére tudunk hagyatkozni. A reaktorba helyezett fűtőelemeket négy-öt év alatt „égetik ki”, és további évekre könnyen tárolható friss üzemanyag, az energiahordozók helyettesíthetősége révén ez kedvezően hat az energiaellátás más szektoraira is. Bizonytalan, hogy gazdaságilag vonzó lesz-e Magyarországon alaperőművet építeni, pedig a következő tizenöt évben mintegy 6 GW-nyira lesz szükség, amit Paks bezárása 2 GW-tal növelne. Paks annyi széndioxid-kibocsátást takarít meg, amennyi az összes többi magyar erőmű emissziója, ezért leállítása lehetetlenítené kiotói vállalásunk teljesítését. Az sem közömbös, hogy a magyar erőművek között Paks önköltsége a legalacsonyabb, ami hozzájárul a lakosság közhangulatát erősen befolyásoló energiaárak leszorításához.

Mindez meggyőzően hatott a politikai elitre, az Országgyűlés majdnem egyhangúlag támogatta a törekvést az atomerőmű élettartamának meghosszabbítására. Ez nem jelent engedélyt – annak kiadására a feltételek teljesülését ellenőrző hatóságok illetékesek –, de a támogatás jelentősége nagy egy ilyen közérdeklődésre számot tartó kérdésben. Engedélyezte viszont az Országgyűlés Bátaapátiban egy radioaktív hulladéktároló létesítését, ami elősegíti az élettartam-hosszabbítást.

Kulcsszavak: *energiapolitika, kilátások, Paks jelentősége*

ENERGIAPOLITIKAI PRIORITÁSOK

Csom Gyula

DSc, professor emeritus
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
csom@reak.bme.hu

Az energiapolitika legutóbbi, 1993. évi megfogalmazása és parlament általi elfogadása óta alapvető változások mentek végbe Magyarország nemzetgazdaságában, annak részeként az energiaszektorban és az energetika hazai és nemzetközi peremfeltételeiben (energiaigényesség csökkenése, magántulajdon térnyerése, versenypiaci feltételek kialakulása a vezetékes energiahordozók területén is, a kőolaj és a földgáz vilápiaci árának drámai növekedése stb.). Mindezek miatt új energiapolitika megfogalmazására van szükség. A következőkben egy szakértői bizottság által összeállított dokumentumra (Csom et al., 2006) és az azt előkészítő tanulmányokra alapozva foglalom össze egy új energiapolitika javasolt legfontosabb prioritásait.

Ennek során azzal kell számolni, hogy a figyelembe vett (2030-ig terjedő) időtávon is igen nagy változások mehetnek végbe a világpolitikában és -gazdaságban, az energia-technológia színvonalában, amelyek miatt változik az energetika feltétel- és célrendszere. Elégge megbízhatóan prognosztizálhatók már ma is a következők:

- tendenciáját tekintve az energia a következő 25 évben tovább drágul;
- az energia rendelkezésre állásának mai kockázatai hosszú távon is érvényesülnek;
- a környezetvédelmi követelmények szigorodni fognak;

- Magyarországnak – mint az Európai Unió tagállamának – az energiapolitikát az EU irányelveit is figyelembe véve kell végrehajtania.

Fentiek következtében *a feltételrendszerhez alkalmazkodni tudó, a gazdaságpolitika részeként megfogalmazott, a nemzeti preferenciákat figyelembe vevő, de az Európai Unió erőterébe helyezett, rugalmas energiapolitikára van szükség, ami rendszeres felülvizsgálatot és aktualizálást feltételez.*

Néhány fontos európai uniós irányelv és azok továbbfejlesztésének indokai

Az Európai Unió által 2000-ben kiadott *Zöld Könyv* megállapítása szerint – amit több más EU-s dokumentum is megerősített – az energiapolitika legfontosabb alapkövetelményei, illetve alappillérei a következők (Ligeti et al., 2006):

- az energiaellátás biztonságának szavatolása;
- a fenntartható fejlődés feltételeinek biztosítása, ami egyrészt a természeti erőforrások kímélésének, másrészt a környezet megóvásának és a környezeti szennyeződés mérséklésének követelményét jelenti;
- a gazdaságosság, a gazdasági versenyképesség biztosítása;
- szociális felelősség a nehéz helyzetben lévő állampolgárokkal szemben.

A *Zöld Könyv* által megfogalmazott legfontosabb prioritások, illetve eszközök a fenti alapkövetelmények teljesítése érdekében:

- az energiahatékonyság, az energiamegtakarítás fokozása, s ezáltal az energiaigények, illetve azok növekedésének mérséklése;
- megfelelő energiahordozó-struktúra kialakítása, s azon belül a megújuló energiaforrások részarányának erőteljes növelése az energiateljesítményekben;
- jó gazdasági és politikai kapcsolatok fenntartása az energiaszállító és -tranzitáló országokkal;
- energiaforrás-diverzifikáció szélesítése, a szállítási kapacitások bővítése, a szállítóvezeték-rendszerek fejlesztése.

Az atomenergia energetikai felhasználásának megítélése nem egységes az Európai Unióban. Vannak az atomenergiát favorizáló (például Franciaország és Csehország), az atomenergia alkalmazását nyitott opcióként kezelő (például Finnország és Magyarország), az atomenergia fokozatos kiiktatását tervező (például Svédország és Németország) és az atomenergiát teljesen elvető országok (Ausztria és Olaszország).

Ezeket figyelembe véve a már említett *Zöld Könyv* azt prognosztizálja, hogy az atomerőművi villamosenergia-termelés részesedése 2010-től kezdve fokozatosan csökken az Európai Unióban.

Az elvégzett elemzések szerint a fentiekben röviden vázolt eszközök alkalmazása önmagukban nem vezetnek a várt eredményre. Az EU-25 energetikai importfüggése továbbra is gyorsan növekszik (1. táblázat), a CO₂-kibocsátás az EU által elvárt csökkenés helyett jelentősen nő a következő 25 évben (2. táblázat). A CO₂-kibocsátás 2010-től, azaz a nukleárisenergia-termelés *Zöld Könyv* szerint prognosztizált tetőzését követően jelentősen felgyorsul. Az adatok azt jelzik, hogy ha csak a fentiekben vázolt intézkedések történnek, akkor a következő 25 évben az Európai Unióban sem az ellátásbiztonsági, sem a környezetvédelmi stratégiai célok nem fognak teljesülni. Ennek egyik fő okaként az atomenergia-felhasználás 2010 utánra prognosztizált csökkenése tekinthető. Nem véletlen, hogy az atomenergiát eddig negatívan értékelő több ország újabban atomenergiát elutasító poli-

	2000	2010	2020	2030
Szilárd tüzelőanyagok	30,1	37,4	50,8	65,7
Folyékony tüzelőanyagok	76,5	81,4	86,1	88,5
Földgáz	49,5	61,4	75,3	81,4
Összes fosszilis tüzelőanyag	47,2	53,3	62,1	67,5

1. táblázat • Az EU-25 importfüggésének alakulása a fosszilis primerenergia-ellátásban, %

	2000	2010	2020	2030
Összes kibocsátás, Mtonna	3665	3757	4041	4304
%	100	102,5	110,3	117,4
Ebből vill.energia, Mtonna	1193,3	1218,7	1393,6	1600,4
%	100	102,1	116,8	134,5

2. táblázat • A CO₂-kibocsátás alakulása az Európai Unióban 2000–2030 között

tikájának felülvizsgálatát fontolgatja, illetve egyesek már bizonyos intézkedéseket is hoztak ennek megfelelően.

Fő alapkövetelmények Magyarország energia-politikájában

Magyarország energiapolitikájában ugyanazokból az alapkövetelményekből indulhunk ki, amelyeket az EU-ra az előzőekben írtaknak megfelelően megfogalmaztak. A legfontosabb prioritások, illetve eszközök azonban a felvetett problémák kiküszöbölése, ill. enyhítése céljából kiegészítésre szorulnak.

A megfogalmazott követelmények (energetikai ellátásbiztonság, környezetvédelem, gazdaságosság, illetve gazdasági versenyképesség, szociális felelősség) sok tekintetben ellentmondanak egymásnak, ezért maradéktalan együttes kielégítésük valószínűleg nem lehetséges. Emiatt *a magyar energiapolitika legfontosabb stratégiai célja az, hogy a hosszú távú szempontokat is mérlegelve optimalizálja az ellátásbiztonság, a gazdaságosság, a gazdasági versenyképesség, a környezetvédelem és a szociális felelősség közötti ellentmondások feloldását, azaz a lehető legjobban összeegyeztesse e követelmények kielégítését.*

Az alapkövetelményeket kielégítő hazai energiapolitika fő prioritásai, illetve eszközei

Részen azonosak az európai uniós szinten megfogalmazottakkal (Csom et al., 2006):

- az energiahatékonyság, az energiamegtakarítások fokozásával az energiaigények növekedési ütemének mérséklése;
- a megfelelő energiahordozó-struktúra kialakítása, az energiahordozó-fajták diverzifikálása;
- a földgázfelhasználás részesedése további növekedésének mérséklése, illetve megállítása;

- a megújuló energiaforrások részarányának növelése;
- az atomenergia felhasználása hosszú távon is;
- az energiaellátás biztonságának fenntartásához szükséges és a fogyasztói érdekeket szolgáló verseny piac, továbbá a befektetésbarát gazdasági környezet megteremtése, illetve folyamatos fenntartása;
- az energiaforrás- és szállítástervezési szűkítés;
- megfelelő stratégiai készletezés feltételeinek megteremtése és folyamatos fenntartása;
- az Európai Unió ez irányú törekvéseinek részeként jó gazdasági és politikai kapcsolatok szűkítése az energiaszállító és -transzport országokkal.

Az energiahatékonyság növelése alapvető prioritás, mivel ez az egyetlen olyan eszköz, amely az energiapolitika valamennyi alapkövetelményének teljesítéséhez hozzájárul (Szerdahelyi et al., 2005). Minthogy az egyik legfontosabb energiahatékonysági mutató az ország által egy év alatt megtermelt GDP és az évenkénti energiafelhasználás hányadosa, e prioritás érvényesítése megköveteli, hogy az energiafogyasztás lassabban növekedjen, mint a GDP (Tombor et al., 2005), és javuljon az összes többi hatékonysági mutató is. Az energiafogyasztás lassabb növekedése energetikán belüli feladat (az energiatermelés és -fogyasztás határfokának javítása, ehhez technológiafejlesztés, energiatakarékoság, energia- és környezettudatos szemlélet kialakítása stb.), a GDP gyorsabb növekedése a nemzetgazdaság értékteremtő képességének növelését, azaz energetikán kívüli feladatot jelent. Az energiahatékonyság reciprokja az energiaigényesség, ami Magyarországon (vásárlóerő-paritáson mérve) ma mint-

egy 20 %-kal magasabb az európai uniós átlagnál. A fentiek révén *el kell érni, hogy az energiahatékonyság Magyarországon legkésőbb 2020-ig érje el az Európai Unió mai átlagát, 2030-ig pedig az akkori átlagát.* A villamos energiára vonatkoztatott energiaigényesség már ma is megfelel az európai uniós átlagnak, sőt valamivel kisebb is annál.

A megújuló energiahordozók részarányának növelése egyszerre csökkenti Magyarország importfüggőségét, és javítja a fenntartható fejlődés feltételeit, benne a környezet- és klímavédelmi célok teljesíthetőségét. Támogatás nélkül azonban a megújuló energiák alkalmazása ma még általában nem gazdaságos, és – különösen a szélenergia – rendszer szabályozási problémákat is okoz. Részben ez utóbbiak figyelmen kívül hagyása miatt, a megújuló energiák a közvélekedésben túlértékelték. A vázolt előnyök és hátrányok együttes figyelembevételét az jelenti, hogy a megújuló energiák alkalmazásával nem célzerű túllépni a támogatások még tolerálható és a rendszerirányítás által még kezelhető szintjét. Reális értékelés szerint *a magyarországi megújuló energiafelhasználás részaránya 2030-ig mintegy 10 %-ot érhet el* (Giber et al., 2005). Magyarországon mindenekelőtt a biomasszának, a bioüzemanyagnak, kisebb mértékben a szélenergiának, valamint lokálisan, decentralizáltan a földhőnek (geotermikus energiának) és a napkollektoros hőtermelésnek van jelentősége. *A biomasszaerőműkapacitás csak részben és átmenetileg támaszkodhat a hagyományos erdőgazdálkodásra, a távlati bázist az élelmiszer- és takarmánycélú termelésből kivonandó földterületek hasznosításához, a vidékfejlesztéshez és a vidéki foglalkoztatáshoz is hozzájáruló energiaültetvényekkel kell biztosítani* (Giber et al., 2005). Ugyanilyen szinergikus hatásai vannak a bioüzem-

anyagok termelésének is, ha az hazai agrárbázison valósul meg. A megújuló energiaforrások gazdasági versenyképessége nő, ha az ún. *külső (externális) költségeket* valamennyi energiatípusánál teljes egészében figyelembe vesszük.

A nukleáris üzemanyag könnyű és biztonságos beszerezhetőségéből, hosszú időre (akár több évre) szóló, műszakilag könnyű és gazdaságilag nem megterhelő stratégiai készletezhetőségéből adódóan a fűtőelemek importból történő beszerzése nem jelent ellátásbiztonsági kockázatot, azaz az atomenergia alkalmazása az ellátásbiztonság javításának egyik leghatékonyabb eszköze. Jelentősen hozzájárul az üvegházhatású gázok (CO₂ stb.) környezetbe bocsátásának csökkentéséhez és ezáltal a környezet- és a klímavédelmi célok eléréséhez. Segíti az olcsóbb villamosenergia-termelést, az árstabilitást, a hosszú távú gazdasági előretervezhetőséget és ezeken keresztül a magyar nemzetgazdaság versenyképességének emelését. Ezek miatt az atomenergiának nemcsak ma, hanem hosszú távon is folyamatos és jelentős szerepet kell kapnia a hazai energiaellátáson belül. Ez azt jelenti, hogy *a paksi atomerőmű tervezett üzemidő-hosszabbításán túl nyitott opciónak kell tekinteni új atomerőművi blokk(ok) 2030 előtti létesítését is* (Csom et al., 2006). Ehhez a nukleáris biztonság prioritását továbbra is fenn kell tartani, és a terveknek megfelelően időben meg kell oldani a radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére alkalmas tároló üzembe helyezését.

Alapvető fontosságú *a kiegyensúlyozott forrásszerkezet elérése és fenntartása.* Ma indokolatlanul magas arányt képvisel (több mint 45 %-ot) az energiafelhasználáson belül a földgáz. Az EU-25-ön belül csak Hollandiában magasabb kicsivel a földgáznak energiafelhasználáson belüli részesedése, de ez az

ország nettó kivittel rendelkezik ebből az energiahordozóból. Minthogy nálunk nem ez a helyzet, a földgáz magas részaránya az igen magas importfüggőségen keresztül ellátásbiztonsági kockázatot jelent. Ennek csökkentése hosszabb távú prioritás. Egyetlen hosszú távon is számottevő hazai energiaforrásunk a lignit (Gács et al., 2006). Felhasználása csökkenti az importfüggőséget, növeli azonban a CO₂ környezetbe bocsátását, ami a környezet- és klímavédelmi célok elérését veszélyeztetheti. Az elvégzett vizsgálatok szerint (Gács et al., 2006) *e komplex problémán a megújuló energiaforrások és különösen az atomenergia – már vázolt – fokozottabb alkalmazása segíthet.*

A kőolaj- és földgázszükséglet több mint háromnegyedét már ma is importból szerezzük be, a földgáz több mint 80 %-át Oroszországból, nagyrészt egyetlen vezetékrendszeren keresztül (Tihanyi et al., 2006). A kőolaj egyelőre nem nélkülözhető a közlekedésben, a többirányú zavarmentes beszerezhetősége miatt azonban ez nem okoz gondot. A földgázfelhasználás mértéke csak részben, és nagyon lassú ütemben fogható vissza. Emiatt *forrás- és szállításdiverzifikációval kombinálva fejleszteni kell a határkereszteső importbeszállító kapacitásokat, el kell érni, hogy Magyarország a földgázszállítás tekintetében tranzitországgá váljon.* Az energiahordozók stratégiai készletezésének legfontosabb célja, hogy bármilyen ellátási nehézség esetében elkerülhetők legyenek a korlátozások, illetve csak végső esetben, a hazai és a nemzetközi együttműködési lehetőség kimerülése esetén kerülhessen azokra sor. *Olyan földgázról rendszert kell kiépíteni, amely a hazai kereskedelmi és biztonsági készletezés kielégítésén túl regionális tárolási szerepvállalást is lehetővé tesz.*

A stratégiai célok elérésének néhány peremfeltétele és azok megteremtése

2030-ig – döntően a műszaki állapot és a gazdasági ellehetetlenülés miatt kiselejtezendő erőművek pótlására, kisebb részben a növekvő igények fedezése céljából – mintegy 8000 MW új erőművi kapacitást kell megépíteni. A létesítési, engedélyezési feltételrendszerben mindenfajta opciót nyitva kell tartani. Fontos szempont e tekintetben is a kiegyensúlyozott forrásszerkezet, az ellátásbiztonság, a környezetvédelem és a gazdaságosság követelményeinek összehangolt kielégítése (Tombor et al., 2005). Ebben a szerkezetben helye lehet a lignittüzelésű erőmű építésének is, ha a CO₂-kibocsátás emiatt bekövetkező növekedését a megújuló energiaforrások és különösen a nukleáris energia fokozottabb alkalmazásával ellensúlyozzuk. Az atomerőművi részarány, a kevésbé rugalmas – de igen jó hatásfokú energiatermelést biztosító – kapcsolt energiatermelés, a nagy kihasználásra törekvő biomassza-erőművek és a – fogyasztói igényeket követni nem tudó – sztochasztikusan változó szélerőművi villamosenergia-termelés miatti rendszerszabályozási feladatok gazdasági szempontokat is figyelembe vevő megoldhatósága céljából *a vizsgált időszakban szükségessé válik szivattyús tározós vízerőmű(vek) létesítése, esetleg 600–900 MW összkapacitással.*

Indokolt a villamosenergia-hálózat fejlesztése. Ennek *fontos célja valamennyi szomszédos állammal/rendszerrel egy átviteli vezeték kiépítése, de az üzemszabályozásának megakadályozása érdekében a túlzott „támaszkodás” elkerülése* (Lengyel et al., 2005). El kell érni, hogy az átviteli hálózat ne jelentsen korlátot a liberalizált villamosenergia-piacon.

A gazdaságos *távhőszolgáltatás* meglévő rendszerei hosszú távú fenntartásának nincs ésszerű és gazdaságosan megvalósítható alternatívája. Indokolt a *kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés* szorgalmazása és az *épületek energiahatékonyságának* javítása (Tarján, 2005).

Liberalizált piaci körülmények között a kiegyensúlyozott, optimális energiahordozó szerkezet elérésére, az ellátásbiztonságot garantáló vezetékrendszerek és tárolók megvalósíthatóságára, a fogyasztói költségek minimalizálására törekvő *termelőkapacitás-fejlesztésre csak társasági döntések alapján van lehetőség, de ez nem bízható kizárólag a piac önszabályozási mechanizmusaira. Az államnak is nagy szerepe van a* kívánatos irányú fejlődést elősegítő jogi, adózási, támogatási rendszerek, a megfelelő beruházási és működési feltételek, az ösztönző gazdasági környezet létrehozásával és fenntartásával. A piacnyitás során az ellátásbiztonság, a fogyasztói érdekek és a nemzeti vagyon értékének megőrzését a fogyasztói költségek minimalizálását alapvető elvárásként kell figyelembe venni.

Figyelembe véve a máig kialakult tulajdonosi szerkezetet is, *a hazai energetikán belül továbbra is helye van az állami és magántulajdonnak.* Ez megköveteli, hogy az erős állam és a multinacionális nagyvállalatok optimális együttműködést alakítsanak ki. Az állami tulajdonú társaságok egyenlő, diszkriminációmentes működési feltételeinek biztosításával *arra kell törekedni, hogy az energetikán belüli jelenlegi hazai tulajdonosi struktúra a következőkben ne tolódjon el még inkább a külföldi tulajdonú nagy multinacionális cégek irányába.*

Az energiaforrásokért, energetikai befektetésekért folyó versenyben különösen fontos, *hogy a magyar államigazgatás a változásokat*

megfelelően előkészítse, az EU és más – különösen az energiaszállító és tranzitáló országokkal való – nemzetközi együttműködésekben és külpolitikában az ország érdekeit kellő hatékonysággal képviselje.

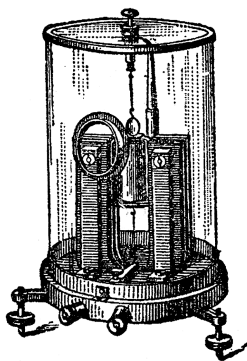
Az árakat a piaci folyamatoknak kell kialakítaniuk, de az államnak maga eszközeivel – többek között megfelel adó- és támogatáspolitikával – olyan befolyásolásra kell törekednie, ami az energiamegtakarításra, az energiaszükséglet csökkentésére ösztönöz, és megdrágítja a csúcsidejű fogyasztást (Békés, 2006). Bizonyos alacsony kockázatviselő képességű és szegényebb csoportok esetében szükséges a piaci hatások tompítása az alapvető szolgáltatásokhoz való hozzáférés elérhetősége és a társadalmi szolidaritás jegyében.

Fontos az energetikán belül is a megfelelő színvonalú hazai szakmai kompetencia folyamatos fenntartása, illetve fejlesztése. Ez magas szintű hazai energetikai *K+F tevékenységet* (Tihanyi et al., 2006) és *szakemberképzést* tesz szükségessé. Megfelelő oktatás- és információpolitikával energia- és környezettudatos szemléletet, közgondolkodást kell fenntartani, illetve kialakítani. Ezek elősegítésére az energetikai cégek bevonásával *elkülönítetten kezelt, energetikai kutatási-fejlesztési-oktatási pénzalapot kell létrehozni.*

Kulcsszavak: *energetikai ellátásbiztonság, fenntartható fejlődés, környezetvédelem, gazdasági versenyképesség, szociális felelősség, energiahatékonyság, fosszilis energiahordozók, megújuló energiaforrások, atomenergia, forrásdiverzifikáció, szállításviverzifikáció, CO₂-ki-bocsátás, importfüggőség, stratégiai készletezés, biomassza, erőműépítés, távhőszolgáltatás, energiapiac, tulajdonosi struktúra, szakmai kompetencia, K+F, szakemberképzés*

IRODALOM

- Békés Gy. (2005): *A vezetékes energia árai és állami befo-lyásolásuk lehetőségei. Energiaárak és társadalmi szoli-daritás*. Tanulmány. Budapest, 2005. december
- Csom Gyula et al. (2006): *A nukleáris energia szerepe a jövő energiaellátásában, különös tekintettel a paksi atom-erőmű jövőjére*. Tanulmány. Budapest, 2006. január
- Csom Gyula et al. (2006): *Magyarország energiapoliti-kája 2006–2030, (Javaslat)*. Tanulmány. Budapest, 2006. június 25.
- Gács Iván et al. (2006): *Magyarország primerenergia-hordozó struktúrájának elemzése, alakításának stratégiai céljai*. Tanulmány. Budapest, 2006. március
- Giber János et al. (2005): *A megújuló energiaforrások szerepe az energiaellátásban*. Tanulmány. Budapest, 2005. szeptember
- Lengyel Gyula et al. (2005): *Az egységes európai piacra és a többi szomszédos országgal kialakított regionális háló-zatra való bekapcsolódás fejlesztési igényei az energia-szektorban*. Tanulmány. Budapest, 2005. június
- Ligeti Pál et al. (2006): *Az új magyar energiapolitika mozgástere az EU piacnyitási szabályaival és stratégiá-jának függvényében*. Tanulmány. Bp. 2006. január
- Poós Miklós – Rácz László (2005): *A hazai energiael-látással kapcsolatos közép- és hosszú távú környezetvé-delmi követelmények*. Tanulmány. Budapest, 2005. december
- Szerdahelyi György et al. (2005): *Energiatakarékosság a magyar energiapolitikában*. Tanulmány. Budapest, 2005. november
- Tarján R. (2005): *A magyarországi távhőszolgáltatás helyzete, szerepe az energiapolitikában*. Tanulmány. Budapest, 2005. december
- Tihanyi László et al. (2006): *Az energetikai K+F szere-pe*. Tanulmány. Budapest, 2006. január
- Tihanyi László et al. (2006): *Rendelkezésre álló fosszilis források*. Tanulmány. Budapest, 2006. február
- Tombor Antal et al. (2005): *A hazai energiaigény prognózisai és az azokból levonható következtetések*. Tanulmány. Budapest, 2005. december



ATOMERŐMŰVEK A VILLAMOSENERGIA-TERMELÉSBEN

Aszódi Attila

PhD, igazgató, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Nukleáris Technikai Intézet
aszodi@reak.bme.hu

Az atomerőművek a világ jelenlegi villamosenergia-termelésében körülbelül 16 % részesedést adnak, fontosságuk tehát megkérdőjelezhetetlen, és a közeljövőben egész biztosan nélkülözhetetlen marad ez az energiaforrás. Az atomenergia részaránya az áramtermelésben az Európai Unióban 35 %, az Egyesült Államokban 20 %, hazánkban pedig közel 40 %. Az atomenergia alkalmazása mellett mind gazdasági, mind műszaki érvek szólnak: Magyarországon a paksi atomerőmű például a hazai termelők közül a legolcsóbban állítja elő a villamos energiát, miközben a blokkok biztonságát a hazai és nemzetközi felülvizsgálatok alapján magas színvonalúnak tartják, a biztonság színvonala megfelel a hasonló korú nyugati blokkokénak. Az atomerőművek alkalmazása segíti az ellátásbiztonság növelését is, hiszen segít az ellátás diverzifikálásában, és csökkenti a szénhidrogének miatt kialakuló egyoldalú importfüggőséget is.

Az új atomenergiái beruházásokkal kapcsolatos döntések ezen előnyök ellenére igen nehezen születnek meg, aminek talán legfőbb oka a hatalmas beruházási költség, de egyes társadalmi csoportok ellenállása és a szabályozás hiányosságai is szerepet játszanak.

Az elmúlt évtized atomerőmű-ellenes trendje a világban mindazonáltal megfordulni látszik, hiszen több európai ország is bejelentette új atomerőmű építését, vagy korábban megkezdett és felfüggesztett építés befejezését. Az atomenergia szerepének megőrzésében a jelenleg igen nagy számban zajló üzemidő-hosszabbítási projektek is fontos szerepet játszanak. Az Egyesült Államokban eddig 42 atomerőművi blokk kapott húsz évvel meghosszabbított üzemeltetési engedélyt, az eredeti negyvenről hatvan évre növelve a blokkok üzemidejét. A paksi blokkok üzemidő-hosszabbítása is stratégiai feladat hazánk villamosenergia-ellátása szempontjából.

Villamosenergia-termelés atomerőművekben

Az atomerőművek többnyire alaperőműként kapnak szerepet a villamosenergia-rendszerben, azaz szinte folyamatosan üzemelve, nagy kihasználtsággal működve elégítik ki a villamosenergia-igény állandó, időjárástól és időponttól-napszaktól független részét. E kategóriába célszerűen nagy teljesítményű, magas rendelkezésre állású, alacsony termelési költséggel üzemelő erőművek tartozhatnak. Hazánkban a hagyományos

fosszilis erőművek inkább menetrendtartó erőműként üzemelnek, azaz teljesítmény-változtatással követik a fogyasztás változásait. A gyorsan indítható gázturbinák (és ahol léteznek ilyenek, a tározós vízerőművek) rövid időszakokra üzemelnek, a gyors fogyasztásnövekedéseket kielégítve.

Az atomerőművekben történő villamosenergia-termelés elve igen hasonló a hagyományos, fosszilis erőművekéhez. A fő különbség a gőz előállításához szükséges hőtermelés módjában van: az atomerőművek esetében a megszokott kazán helyére az atomreaktor és az ezt hűtő ún. primer kör lép (Szatmáry – Aszódi, 2005).

A hagyományos fosszilis tüzelésű erőművekhez képest az atomreaktorokban hatalmas energiasűrűség jön létre, mivel egy urán atommag hasadásából felszabaduló energia hat nagyságrenddel (több mint egymilliószor) nagyobb, mint egy szénatom kémiai oxidációjából (égéséből) felszabaduló energia. Adott energia előállításához emiatt például 2,6 milliószor nagyobb tömegű feketeköszénre van szükség, mint amennyi tiszta U-235-re. A teljes hazai éves villamosenergiafogyasztás fedezhető lenne 5600 kg tiszta U-235 elhasításából, míg ugyanehhez az energiamennyiséghez 14,5 millió t feketeköszén kellene.

A magas teljesítménysűrűségből következik, hogy az atomerőműben szükséges üzemanyag éves mennyisége viszonylag csekély – Pakson például évente kb. 40–50 t friss üzemanyagot töltenek a négy blokkba összesen –, és ennek köszönhetően az üzemanyag-kazetták viszonylag egyszerűen készíthetők. A paksi atomerőműben jelenleg két évre elegendő friss üzemanyagot tartalékolnak, ez a mennyiség azonban kis befektetéssel természetesen tovább lenne

növelhető. Ilyen, több évre elegendő mennyiségű biztonsági, stratégiai tartalék tartása kőolajból vagy földgázból hatalmas beruházási költséget igénylő tároló létesítményekben lenne csak megvalósítható.

Az urán ráadásul – az olajjal és a földgázzal ellentétben – nem a világ krízisrégióiból származik, ezért annak hisztérikus árváltozása a világpiacon nem jellemző. Meg kell jegyezni, hogy az elmúlt években az uránerc ára folyamatosan nő, részben az új atomerőmű-építések iránt újra megéledő érdeklődésnek, részben más nyersanyagpiaci változásoknak köszönhetően.

Az atomerőművi villamosenergia-termelés gazdaságossága

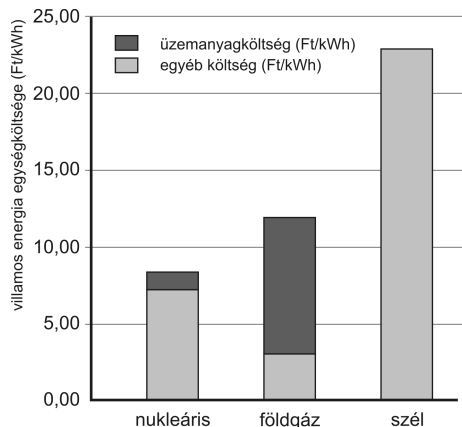
Az atomerőművi villamosenergia-termelés jellegzetessége, hogy az atomerőművek építésükkor igen nagy beruházási költséget igényelnek, az üzemeltetési költségek azonban – a többi energiaforráshoz képest – viszonylag alacsonyak. Összességében az atomerőművi villamosenergia-termelés egységköltsége világszerte versenyképes a fosszilis és megújuló forrásokkal szemben, a legtöbb európai országban az atomenergia előállítása a legolcsóbb.

A költségekről szemléletes képet ad a jelenleg építés alatt álló finn Olkiluoto-3 (EPR – Európai Nyomottvizes Reaktor típusú) reaktor költségvetése: az 1600 MW elektromos teljesítményű blokk beruházási költsége fix áras szerződés szerint 3 milliárd euró lesz, azaz a beruházási egységköltség kW-onként 1875 euró. A nagy rendelkezésre állás, a magas kihasználhatóság és az alacsony üzemeltetési költségek miatt azonban a villamosenergia-termelési egységköltség a tervek szerint mindössze 2,47 eurocent/kWh, ami lényegesen kedvezőbb az alterna-

tívaként felmerült gáztüzelésű erőmű (3,06 eurocent/kWh), széntüzelésű erőmű (3,28 eurocent/kWh) vagy fatüzelésű erőmű (3,93 eurocent/kWh) egységköltségéhez képest (TVO, 2002). Ez az előny az ún. externális (számszerűsíthető, de a termelési költségben nem jelen lévő, pl. a környezetszennyezés miatt nem közvetlenül az erőműben felmerülő) költségek figyelembevételével tovább javulna.

Hazánkban jelenleg a legolcsóbb és legnagyobb villamosenergia-termelő a paksi atomerőmű, 2005-ben 8,32 Ft/kWh áron értékesítette az elektromos energiát. A második legolcsóbb termelő a lignit alapú mátrai hőerőmű, ahol az áram ára 10,3 Ft/kWh, míg a földgázt tüzelő erőművek tipikusan 12–16 Ft/kWh áron tudtak 2005-ben áramot termelni (Energia Hivatal, 2005).

Az atomerőművi villamosenergia-termelés költségét jelentősen stabilizálja az a tény, hogy az előállítási költségben csak kis hányadot (kb. 10–15%) tesz ki az üzemanyag költség (1. ábra). Ez nagyban csökkenti az atomerőművi villamosenergia-termelés árszékenységét: az üzemanyagköltség akár megduplázódása is csupán 10–15 % körüli áremelkedést okozna az áram előállítási költségében. Ezt az árszabotást tovább javítja a már említett könnyű készletezhetőség, amely lehetővé teszi, hogy az atomerőművek kedvező piaci feltételek mellett szerezhessek be üzemanyag-tartalékaikat. Ezzel szemben a fosszilis tüzelésű erőművekben termelt villamosenergia árban lényegesen nagyobb hányadot jelent az üzemanyag: gáztüzelésű erőmű esetén például az említett finn elemzés szerint 75 % az üzemanyag költséghányada. A gázár megkétszereződése tehát 70 %-nál nagyobb emelkedést jelentene az áram árában.



1. ábra • A villamos energia egységköltsége és azon belül az üzemanyagköltség különböző típusú erőművek esetén

Az új atomerőművek építése a nagy beruházási költség és a hosszú megtérülés miatt igen tőkeerős, stabil befektetők esetén lehetséges csak. Ismét a finn példát említve: az új finn EPR blokk beruházásában ipari nagyfogyasztók is részt vesznek, így csökkentve a befektetők kockázatát, és biztosítva saját előjogaikat az olcsóbb atomáramhoz.

Az atomenergia versenyképessége természetesen a többi energiaforrás áráról is függ. Egy elemzés szerint Európában megéri új atomerőmű építésébe beruházni, ha a villamosenergia-árak a 2000. évi szint felett maradnak, amire a jelenlegi magas olajárak mellett minden esély megvan. Szintén a befektetők kockázatát növeli több országban a törvényi szabályozás bizonytalansága, például az engedélyezett üzemeltetési időtartam vagy az adózási feltételek meghatározásának hiánya. Emiatt nagyobb számú új atomerőmű építések csak a törvényi feltételek rendezése után várhatók. Ilyen jellegű törvénymódosítás született például 2006 első felében az Egyesült Államokban a befektetési kedv növelése érdekében. Ez a mó-

dosítás – többek között – jelentős adókedvezményt is ígér az első öt új atomerőmű építőjének az USA-ban.

Atomenergia, klímavédelem, környezetvédelem

Az atomerőművi villamosenergia-termelés a klímavédelem szempontjából is kedvező megoldás, mivel az atomerőművek üzemelésük során nem bocsátanak ki üvegházhatású gázokat, így a villamosenergia-ipar teljes szén-dioxid-emisszióját is csökkentik. Az erőműépítés és a berendezések gyártása során is viszonylag csekély a CO_2 -emisszó, így az atomenergia kimondottan klímabarát technológia.

A paksi atomerőművel hazánk évente kb. 5–10 millió tonna szén-dioxid kibocsátását kerüli el ahhoz képest, mintha ezt az energiamennyiséget modern szén- vagy gáz-tüzelésű erőművel termelnénk meg (nagyságrendileg kb. ennyi CO_2 -t bocsátanak ki évente a hazai gépjárművek is). Az atomerőművek CO_2 -kibocsátás-mentessége gazdasági következményekkel is jár: a szén-dioxid-kibocsátási adó bevezetése tovább javíthatja az atomerőművek versenyképességét a fosszilis erőművekkel szemben, egyúttal a megújuló energiák jelenlegi árhátrányát is csökkentheti. Az atomerőművek működése nem jár kén-dioxid, nitrogén-oxid, por, hamu vagy szén-monoxid termelésével sem, így a fosszilis alapú energiatermeléshez képest jelentősen csökkentik a környezetünk károsanyag-terhelését.

Kétségtelen ugyanakkor, hogy az atomerőmű működése során keletkeznek a környezetre veszélyes radioaktív hulladékok is. Ezek mennyisége azonban korlátozott, és a környezet megóvása érdekében összegyűjtjük, kezeljük és biztonságosan elhelyezzük

azokat. A Tolna megyei Bábaapátiban jelenleg épül a kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére szolgáló föld alatti tároló, amely be fogja fogadni az atomerőmű működése és majdani leszerelése során keletkező kis- és közepes aktivitású hulladékokat (Hegyháti, 2006).

A kis mennyiségben keletkező nagy aktivitású hulladékok végleges elhelyezése a Bács-Kiskun megyei Boda térségébe tervezett mélygeológiai tárolóban nagy valószínűséggel lehetséges lesz (Hegyháti, 2006). A kiégett atomerőművi üzemanyagot sokan nagy aktivitású hulladéknak gondolják, pedig a hatályos törvényi definíció értelmében nem az. A kiégett kazettákban további jelentős energiatermelési potenciál van, amely a jövőben értékes energiaforrásunk lehet. Más részről olyan, hosszú felezési idejű izotópok találhatók a kiégett atomerőművi üzemanyagban, amelyek – kikerülésük esetén – a környezetre nagy veszélyt jelenthetnek, így hasznos lenne, ha ezeket a hulladékokat át lehetne alakítani, és ezáltal „ártalmatlanítani” lehetne. Megfelelő kutatás-fejlesztés után erre nyújthat megoldást a transzmutáció (Fehér, 2006), ill. az azt alkalmazó, negyedik generációs reaktorok (Gadó, 2006).

Atomenergia és megújuló energiaforrások

A megújuló energiaforrások az atomenergiához hasonlóan klímabarát megoldást jelenthetnek a fosszilis energiától való függés csökkentésében. Ezen energiaforrások azonban jelenleg nem – és minden bizonnyal a következő néhány évtizedben sem – képesek önmagukban előállítani a szükséges villamosenergia-mennyiséget. Az EU országai-
ban a megújuló energiaforrások részaránya a villamosenergia-termelésben jelenleg 12 % körül van, ezt az arányt az Unió 2010-ig

20 %-ra szeretné növelni. Ez a részesedés néhány, nagy esésű folyókkal jól ellátott országban (például Ausztria, Svédország, Portugália) már most meghaladja a 40 %-ot. Ausztriában például a teljes vízerőműpark beépített kapacitása 12 ezer MW (ez kb. kétszer akkora, mint a magyar villamosenergia-csúcsfogyasztás), ezek a nagyerőművek főként a Dunán és a Dráván helyezkednek el. Ausztria villamosenergia-termelésének közel 60 %-a származik vízerőművekből. Hazánkban ma a teljes villamosenergia-fogyasztás 4,5 %-át fedezik megújuló energiaforrások alkalmazásával.

Kérdéses, hogy a kisebb vízenergia-potenciállal rendelkező országok hogyan valósíthatják meg az EU célkitűzéseit. A Duna magyarországi szakasza alkalmas lenne arra, hogy azon egy közepes teljesítményű vízerőmű épülhessen, ezt a kérdést azonban az elmúlt másfél évtizedben – elsősorban politikai okokból – nem lehetett objektíven megtárgyalni a közvéleménnyel. A vízenergián túl jelenleg elsősorban a biomassza el-tűzésén alapuló erőművek jelentősebb ki-használása tűnik megvalósíthatónak, míg kisebb mértékben a szélenergia is fejleszthető. Ám mindkét megújuló forrás esetén figyelembe kell venni a viszonylag magas villamosenergia-előállítási egységköltséget. Hazánkban – hasonlóan az európai gyakorlathoz – a megújulók esetében magasabb garantált átvételi ár érvényesül: ahogy az 1. ábrán is látható, a széllel vagy biomasszával megtermelt áram garantált ára 23 Ft/kWh, ami szükséges ahhoz, hogy ezek a beruházások rentábilisak lehessenek. Ezzel szemben az atomerőmű 8,32 Ft/kWh áron termeli az áramot.

A szélenergia esetén további problémák is felmerülnek az időjárás változékonysága

és kiszámíthatatlansága miatt: a szélerőművi kapacitás 80–90 %-ának megfelelő, ún. forgótartalékot kell tartani ahhoz, hogy a villamosenergia-rendszer kompenzálhassa a széljárás változása miatt bekövetkező ingadozásokat. Ez tovább növeli a szélerőműhöz kapcsolódó termelési költségeket, és a forgótartalék – mivel általában fosszilis alapú erőművekben áll rendelkezésre – maga is szén-dioxid-kibocsátással jár. A villamosenergia-rendszer szabályozása miatt, a szél-erőművek részarányának növelése miatt is nagyon hasznos lenne egy folyami vízerőmű és/vagy egy szivattyús tározós vízerőmű megépítése Magyarországon.

Atomerőművek biztonsága

Az atomerőművek normál üzemelésük során nagyon csekély mennyiségű radioaktív anyagot bocsátanak ki a környezetbe, ennek maximális megengedhető mennyiségét hatósági korlátok szabályozzák. A paksi atomerőmű normál üzemi kibocsátása általában a természetes eredetű sugárterhelés mintegy tízezred része, ez nem okoz számottevő egészségügyi kockázatot a lakosságnak. Az atomerőművekkel kapcsolatos ellenérzések többnyire nem is a normál üzemre, hanem a kis valószínűséggel bekövetkező üzemzavarokra, balesetekre vonatkoznak. A nukleáris biztonság ezek megelőzését, illetve következményeik csökkentését is magában foglalja.

A nukleáris biztonság megvalósítása az atomerőmű tervezésekor kezdődik: az erőművet úgy kell megtervezni, megépíteni és üzemeltetni, hogy még egy baleset bekövetkezésekor is biztosítva legyen a környezetnek biztonsága. Az üzemeltetés során törekedni kell a biztonság folyamatos, további növelésére, ennek alapja a biztonság rendszeres felülvizsgálata és újraértékelése azért,

hogya a tudomány új eredményei és más erőművek üzemeltetési tapasztalatai hasznosuljanak minden atomerőműben.

A radioaktív anyagok környezetbe jutását normál és baleseti szituációban az úgynevezett „mérnöki gátak” akadályozzák meg. Az első mérnöki gát maga az üzemanyag-pasztila, az üzem közben keletkező hasadási termékek jelentős része ugyanis beágyazódik a keramikus üzemanyagmátrixba, amely így akadályozza azok kikerülését.

A második mérnöki gát az üzemanyagpálca burkolata, amelybe az urán-dioxid pasztillákat töltik. Ezt a – többnyire cirkónium-ötvözet anyagú – burkolatot a gyártás során nemesgázzal töltik fel, majd hermetikusan lezárják. Így a burkolat a gáznemű hasadási termékeket is magába zárja. A normál üzemeltetés során az első két mérnöki gát felelős a radioaktív anyagok visszatartásáért.

A harmadik fontos védelmi eszköz a reaktortartály – amelyben az aktív zóna elhelyezkedik – és a primer kör. Az igen nagy nyomásra és hőmérsékletre méretezett, rozsdamentes acéltartály az üzemanyag esetleges sérülése esetén is további védelmet jelent a radioaktív anyagok környezetbe jutása ellen. A negyedik mérnöki gát a teljes primer hűtőkört körülvevő biztonsági védőépület (konténment), amelyet az ún. méretezési balesetek során kialakuló túlnyomásra méreteznek, és folyamatosan, ellenőrzött módon, szűrőkön keresztül szellőztetnek.

A tervezés és üzemeltetés során a nukleáris biztonság fenntartását az ún. mélységi védelem elve garantálja. Ez a 60-as években az Egyesült Államokban kidolgozott módszer a balesetek megelőzését, a balesetre utaló jelek figyelését és az esetleges balesetek következményeinek enyhítését is magában foglalja. A mélységi védelem elvét alkalmaz-

va normál üzemben csak elhanyagolható radioaktív kibocsátás történhet az atomerőműből, és baleseti szituációban is a minimumra csökkenti a környezetre gyakorolt káros hatásokat. A mélységi védelem elve alapján az erőműnek rendelkeznie kell olyan, ún. baleset-elhárítási intézkedési tervvel is, melynek segítségével – ha a korábban említett műszaki intézkedés ellenére számottevő radioaktív anyag-kibocsátás történne a környezetbe egy extrém kis valószínűséggel bekövetkező esemény esetén – minimalizálni lehet a káros egészségügyi következményeket.

Az atomerőmű biztonságát belső és külső biztonsági rendszerek sokasága garantálja. Belső, inherens biztonságról akkor beszélhetünk, ha a reaktort úgy tervezik meg, hogy benne a teljesítmény növekedése csökkentse a reaktor reaktivitását (így a maghasadások számát, vagyis magát a teljesítményt is). Ezek a negatív visszacsatolások fizikai folyamatokon alapulnak, ezért kikapcsolhatatlanok, és üzemzavari vagy baleseti helyzetben is védik a reaktort az ún. megszaladás ellen.

A külső biztonsági rendszerek fő célja a reaktor teljesítményének szabályozhatósága (és szükség esetén leállíthatósága), a felszabaduló hő elszállítása és a radioaktív anyagok kikerülésének megakadályozása. Ez utóbbi funkciót a már említett mérnöki gátak látják el. A láncreakció szabályozására és a leállításra rövid távon a szabályozó rudakat, hosszú távon a primer hűtőközegbe oldott bórsavat használják. Ezek elnyelik a reaktorban levő szabad neutronokat, ezáltal csökkentik a maghasadások számát.

Az atomerőművek sajátossága, hogy a reaktorban a hőfejlődés a láncreakció leállítása után sem szűnik meg azonnal, mivel a korábbi üzemelés során keletkezett radioak-

tív hasadási termékek bomláshője továbbra is felszabadul. Közvetlenül leállítás után ez a maradékhő (az ún. remanens hő) a névleges üzemi teljesítmény kb. 7 %-a, ami a leállítás óta eltelt idő függvényében folyamatosan csökken. A remanens hő miatt a reaktor hatékony hűtésére nem csupán a normál üzem során, de leállított állapotban is szükség van. A külső biztonsági rendszerek fontos részét képezik az üzemzavari hűtőrendszerek, amelyek ezt a hűtési feladatot még a primer hűtőkör sérülése (egy ún. csőtöréses vagy hűtőközeg-vesztéses üzemzavar) esetén is ellátják. A ma használt atomerőműveket úgy tervezték meg, hogy még a legnagyobb átmérőjű primer körű vezeték teljes keresztmetszetű törése esetén is biztosítható a reaktor szükséges mértékű hűtése.

A biztonságvédelmi rendszereket a redundancia elve alapján többszörözve építik be, hogy az egyes elemek esetleges meghibásodása ellenére is működőképes maradjon a védelmi rendszer. A diverzitás elve alapján pedig arra törekednek, hogy több, különböző gyártmányú vagy eltérő működési elvű biztonságvédelmi rendszer is elláthassa az adott feladatot, hogy a különböző rendszerek közös módú meghibásodását el lehessen kerülni.

A megfelelő tervezés, a mélységi védelem és a mérnöki gátak szerepét jól szemlélteti a két eddigi legsúlyosabb atomerőmű-baleset összevetése. 1979-ben az Egyesült Államokban a TMI atomerőmű 2. blokkjában hűtőközeg-vesztést követően – több operátori hiba hatására – részleges zónaolvadás következett be. Az olvadék azonban a reaktortartályon belül maradt, a konténment pedig szerepének megfelelően visszatartotta a radioaktív anyagok döntő részét. A környezetbe így csupán némi radioaktív nemesgáz-kibocsátás történt, ez azonban csak elhanyagol-

ható többletterhelést okozott a lakosságnak. Ezzel szemben a csernobili atomerőmű 4. blokkjában 1986 áprilisában történt súlyos, reaktormegszaladásos baleset során konstrukciós hibák következtében a reaktorban nem voltak meg az inherens biztonsághoz szükséges negatív visszacsatolások, a külső biztonsági rendszerek egy részét pedig kikapcsolták, aminek következtében a reaktor felrobbant. Nagy teherbírású reaktortartály és megfelelő védőépület hiányában nem voltak meg azok a védelmi eszközök sem, amelyeket a magyar vagy a nyugati reaktoroknál megkövetelünk, így nagy környezeti kibocsátás történt, és a lakosság sugárterhelése is igen jelentős volt.

A nukleáris biztonsággal foglalkozva feltétlenül meg kell említenünk a paksi atomerőmű 2. blokkjában 2003 áprilisában bekövetkezett üzemzavart. Ennek során a reaktoron kívül, egy ideiglenesen odateleptett víz alatti tisztítótartályban következett be harminc fűtőelem-kazetta sérülése. A sérülést a kazetták nem megfelelő hűtése okozta, így a magas remanens hő miatt a kazetták túlhevültek, elridegedtek, majd az elárasztásuk után széttöredeztek. A sérült fűtőelemekből a gáznemű radioaktív hasadási termékek egy része a környezetbe jutott (az első két mérnöki gát sérült), jelentős környezeti kibocsátás azonban nem történt. A kibocsátás következtében a lakosság sugárterhelése elhanyagolható volt: a leggerheltebb paksi lakos 0,13 μSv többletterhelést kaphatott, ami kb. 80 percnyi természetes háttérugárzásnak felel meg.

Az erőmű biztonságának fontos komponense az üzemeltető személyzet biztonság iránti elkötelezettsége, a szervezet biztonsági kultúrája. Ez az üzemeltetők és karbantartók magas színvonalú és folyamatos képzésével,

a biztonságtudatos szemlélet erősítésével biztosítható. A nukleáris létesítmények üzemeltetői és vezetőik felé alapvető elvárás, hogy a biztonságot mindenek fölé álló, elsődleges szempontnak tekintsék, s azt a mindennapi munkájuk során folyamatosan szem előtt tartásuk. A műszaki rendszerek és a személyzet így biztosíthatják együttesen az elvárt biztonsági színvonalat.

Összefoglalás

Az atomerőművek olyan hőerőművek, amelyek kis mennyiségű hasadóanyag felhasználásával képesek nagy mennyiségű, olcsó villamos energiát előállítani, biztonságosan, nagy rendelkezésre állással, a klímát károsító anyagok kibocsátása nélkül. A hasadóanyag többletes készletezhetősége és az üzemanyag árának kis aránya a villamos energia egység-költségében segíti a hosszú távú árstabilitást.

A legtöbb fejlett országban, így hazánkban is, a következő évek legfontosabb feladata a meglévő blokkok üzemidejének meghosszabbítása addig a határig, ameddig az

biztonsági oldalról, műszakilag és gazdaságilag lehetséges. Emellett dolgozni kell a megújuló energiahordozók (elsősorban a biomassza és a víz) minél nagyobb mértékű felhasználásán, ezek azonban nem alternatívái, hanem nagyon jó kiegészítői az atomenergiának a fosszilis energiahordozóktól való függés csökkentésében. Finnországhoz és Franciaországhoz hasonlóan itt az ideje, hogy Magyarország is előkészítse új atomerőművi blokk vagy blokkok építését.

Mind az üzemidő-hosszabbítások, mind az új erőműépítések nagy szakemberigényt jelentenek, ezért idejében gondoskodni kell az új szakember-generáció képzéséről, és hasonlóan fontos a generációk közötti tudásátadás elősegítése is. Ebben különösen nagy feladat hárul az egyetemekre és a velük együttműködő akadémiai kutatóintézetekre.

Kulcsszavak: atomenergia, nukleáris biztonság, ellátásbiztonság, áramár, rendelkezésre állás, üzemidő-hosszabbítás, megújuló energiaforrások, vízerőmű, szélerőmű, biomassza

IRODALOM

- Csom Gyula (2004): Atomerőművek. Magyar Atomfórum Egyesület
 Energia Hivatal (2005): Villamosipari társaságok 2004. évi adatai. Magyar Energia Hivatal
 Fehér Sándor (2007): Radioaktív hulladékok transzmutációja. Magyar Tudomány. 1. (jelen cikkkel egy kötetben megjelenő cikk)
 Gadó János (2007): Negyedik generációs nukleáris

- rendszerek. Magyar Tudomány. 2006/1.
 Hegyháti József (2007): Radioaktív hulladékok kezelése és végleges elhelyezése. Magyar Tudomány. 1. (jelen cikkkel egy kötetben megjelenő cikk)
 Szatmáry Zoltán – Aszódi Attila (2005): Csernobil. Tények, okok, hiedelmek. Typotex, Budapest
 TVO (2002): Construction of the Nuclear Power Plant Unit at Loviisa or Olkiluoto. TVO Teollisuuden Voima Oy, Helsinki

ATOMERŐMŰVEK KOCKÁZATÁNAK ÉRTÉKELÉSE

Holló Előd

szakigazgató, VEIKI Villamosenergiaipari Kutató Intézet Zrt.
hollo@aed.veiki.hu

A veszély, biztonság és kockázat kapcsolata

A műszaki fejlődés nemcsak előnyökkel, hanem újabb kockázatokkal is jár. Érvényes ez a különböző energiatermelési módokra is, amelyek technikai eredetű veszélyeket jelentenek az emberek és a természeti környezet számára. E veszélyek egy része

- *permanens veszély*, amely hatása folyamatosan és biztosan érvényesül az általa okozott környezeti ártalmakon keresztül. A veszély realizálódása során általában ártalmas anyagok kerülnek a környezetbe, amelyek súlyosságát a veszélyes anyagok kibocsátásának intenzitása jellemzi,
- *potenciális veszély*, amely az adott technológia normál üzemállapotának megszűnésekor lép fel. A veszély realizálódása általában együtt jár nagymértékű energiafelszabadulással, amelynek súlyosságát az előidézett következmények nagysága és bekövetkezésének valószínűsége együttesen jellemzi.

Az atomerőművekről megállapítható, hogy normál üzemük során nincs káros hatásuk, és nem okozzák a környezet károsodását. Ugyanakkor potenciális veszélyforrások, mivel többszörös meghibásodások esetén akut veszélyhelyzetet idézhetnek elő.

Az atomerőművek minőségi sajátossága a *biztonság*, amely kizárja a személyzet és a lakosság életének, egészségének, valamint a létesítmény és a környezet épségének adott kockázati szinten felüli veszélyeztetését. Azaz a biztonság annak mértéke, hogy mennyire vagyunk védettek az atomerőmű üzeméből adódó potenciális, káros következményekkel szemben.

Az atomerőművek üzemeltetésének mennyiségi jellemzője a *kockázat*, amely a normál üzemtől eltérő üzemállapotok lehetséges következményeinek és azok bekövetkezési valószínűségének a szorzata. Azaz a kockázat annak mértéke, hogy mennyire vagyunk kitéve a potenciális következmények hatásának.

Az atomerőművek tervezése és üzemeltetése során alapvető szempont a magasfokú biztonság elérése és fenntartása, ami egyidejűleg a kockázat alacsony szintjét is jelenti. Ezek biztosításának eszköze részben a technológiai rendszerek fizikai felépítésének megfelelő kialakítása, korszerű műszaki megoldások alkalmazása, másrészt az üzemeltetés, a szervezeti felépítés és munkaszervezés magas színvonalú megvalósítása.

Ezek az eszközök a kockázat mindkét összetevőjét kedvező irányban befolyásolhat-

ják, azaz egyrészt az atomerőmű működésével együtt járó potenciális veszélyek realizálódásának valószínűségét kis értéken tartják, másrészt a várható következményeket korlátozzák.

A kockázat értékelésének folyamata

Az atomerőművek biztonságának növeléséhez, kockázatának csökkentéséhez kiindulásként ismerni kell az ezeket meghatározó tényezőket, hiszen e tényezők befolyásolásán keresztül lehet biztosítani a megfelelő szintjüket. A műszaki fejlődés során a biztonság-, illetve kockázatértékelések két általános szemlélete (módszere) alakult ki, a mai korszerű biztonsági és kockázatelemzések a két megközelítést együttesen, egymást kiegészítve alkalmazzák:

- *a determinisztikus szemlélet*, amely a névlegestől eltérő üzemállapotokban kialakuló folyamatok fizikai jellemzőit vizsgálja és értékeli, s ezen keresztül bemutatja, hogy a biztonságot garantáló feltételek a tervezés körébe bevont esetekben teljesülnek. A determinisztikus biztonsági elemzések az üzemvitel engedélyezésének alapját képezik,
- *a valószínűségi szemlélet*, amely a fizikai folyamatok kialakulásának valószínűségét befolyásoló tényezőket vizsgálja és értékeli, s ez alapján bemutatja, hogy a potenciális veszélyhelyzetek bekövetkezésének valószínűsége az elfogadható tartományon belül van. A valószínűségi biztonsági elemzések kiemelt figyelmet fordítanak az operátori tevékenységek biztonságra gyakorolt hatásának elemzésére.

Az atomerőművek biztonságát általánosságban a mélységben tagolt védelem biztosítja, ennek megfelelően a valószínűségi biztonsági elemzések (PSA – Probabilistic Safety

Assessment) a legsúlyosabb következményként a zónasérülést (1. szintű PSA) és a környezeti radioaktivitás-kibocsátást (2. szintű PSA) tekintik.

Az elemzések akkor tekinthetők teljes körűnek, ha a zónasérülés, illetve a radioaktivitás kibocsátás gyakoriságát az erőmű összes üzemállapotában (névleges teljesítményű üzem + leállás/visszaindulás különböző fázisai) feltételezhető valamennyi kezdeti esemény (technológiai meghibásodások, belső és külső veszélyek, például: tűz, elárasztás, földrengés) következményeként meghatározzák. A kibocsátások elemzése során a teljeskörűséghez hozzátartozik minden lényeges aktivitásforrás (elsősorban az aktív zóna és a pihentető medence fűtőelemei) hatásvizsgálata.

Az értékelések folyamatának lépéseit három fő csoportba lehet sorolni:

- *eseménylogikai modellek kidolgozása*, amely során először fel kell mérni azokat a veszélyhelyzeteket (kezdeti eseményeket), amelyek következményei zónakárosodáshoz, illetve aktivitás-kibocsátáshoz vezethetnek. Determinisztikus folyamat-szimulációval meg kell határozni a kezdeti eseményt követően a biztonságvédelmi rendszerek meghibásodása esetén kialakulható üzemzavari és baleseti folyamatokat (eseményláncokat). A folyamatszimuláció során be kell azonosítani a rendszerek sikeres beavatkozásának szükséges és elégséges feltételeit (sikerkritériumokat). Rendszerelemzéssel fel kell tární a sikeres beavatkozásokat megakadályozni képes meghibásodásokat (hibaeseményeket) és azokat a logikai feltételeket, amelyek fennállása esetén a funkcióvesztés fellép (hibafák). Az eseménylogikai modellt a kezdeti eseményekhez tartozó eseményláncok össz-

szességet grafikus formában tartalmazó eseményfák és hibafák képezik. A Paksi Atomerőmű technológiai eredetű kezdeti eseményeihez tartozó 1. szintű eseménylogikai modellje mintegy 53 db eseményfát, 600 db eseményláncot, 25 000 logikai kapuból és 5000 hibaeseményből álló hibafarendszert tartalmaz,

- meghibásodási adatok összeállítása, amely során az eseménylogikai modellben szereplő hibaeseményeket jellemző információkat kell meghatározni. Ez kiterjed a kezdeti események várható fellépési gyakoriságára [1/reaktorév], a hardver berendezések független és függő meghibásodásainak hibarátájára [1/óra], az emberi hibák elkövetésének valószínűségére, valamint az üzemeltetés és karbantartás egyes elemi tevékenységeinek időparamétereire (például javítási idő [óra], tesztelési ciklusidő és időtartam [óra]).
- A számítások bemeneti adatkészlete mind erőműspecifikus statisztikai adatokat, mind külföldi adatbázisokban található nemzetközi adatokat tartalmazhat. A két forrástípusból származó információkat a Bayes-elmélet összefüggései alapján kombinálva lehet az elemzések bemeneti adataiban rejlő bizonytalanságokat csökkenteni,
- számítások elvégzése, eredmények értékelése, amelynek során egyrészt feladat a zónakárosodás, illetve aktivitáskibocsátás valószínűsége pontértékeinek kiszámítása, másrészt az eredmények bizonytalansága mértékének a megbecsítése. Ez utóbbit a valószínűségi pontértékek eloszlás- és sűrűségfüggvényei, illetve ezek paraméterei jellemzik.

Az eredmények értékelése a valószínűségi pontértékek megengedhető határértékekkel való összevetését és a bizonytalansági jel-

lemzők értéke elfogadhatóságának megítélését jelenti. Az értékelések emellett kiterjednek ezen eredményeket dominánsan meghatározó hatások, tényezők beazonosítására érzékenységi vizsgálatokon keresztül, amelyek információt szolgáltatnak az esetlegesen szükséges biztonságnövelő/kockázatsökkentő intézkedések meghatározásához.

A Paksi Atomerőmű kockázatának jellemzői

Az atomerőmű kockázata megítélésének egyik szempontja az, hogy mértéke mennyiben felel meg a nemzetközi elvárásoknak. Ez utóbbitakat a *Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) ajánlásai* testesítik meg, melyek szerint üzemelő blokkokra a zónasérülés valószínűsége egyéves üzemidő alatt ne haladja meg a $1,0 \times 10^{-4}$ értéket, tervezett újabb blokkokra az $1,0 \times 10^{-5}$ értéket (INSAG, 1988).

A *Paksi Atomerőmű kockázatának mértékét* illetően a jelenlegi tényhelyzet az, hogy teljesül a fenti nemzetközi elvárás, az atomerőmű négy blokkjának a kockázati (biztonsági) szintje közel azonosnak tekinthető. A blokkok kiegyenlített műszaki konstrukciójúak, azaz nincs olyan berendezés, rendszer, illetve tényező, amely aránytalan mértékben járulna hozzá az erőmű kockázatához.

A Paksi Atomerőmű az elmúlt években jelentős biztonságnövelő intézkedéseket (BNI) valósított meg. Ezek hatására a biztonság színvonalra számottevően javult, a kockázat mértéke fokozatosan csökkent, és jelenleg azonos nagyságrendű a vele azonos korú nyugati atomerőművekével. A BNI-k kedvező hatását illusztrálja a zónasérülési valószínűség időbeli változása (Bareith et al., 2005).

A *Paksi Atomerőmű stratégiai célkitűzéseit* úgy valósítja meg, hogy az üzemeltetés biztonságát elsődleges fontosságúnak tekinti.

A megvalósítás fázisában levő, kb. 8 %-os teljesítménynövelés hatása a zónakárosodás valószínűségére gyakorlatilag elhanyagolható (~1 % növekedés). Az előkészítés alatt álló mintegy húszéves üzemidő-hosszabbítás időszaka alatt az erőművet úgy kell működtetni, hogy a biztonság színvonala ne csökkenjen, az üzemeltetésből származó kockázat ne növekedjen. Ezt a berendezések és rendszerek szisztematikus élettartamgazdálkodásával, öregedéssel való kezelésével és hatékony karbantartásával tervezik biztosítani.

A jövő atomerőművei kockázatának jellemzői

Az atomerőművek üzemeltetésének távlati, globális biztonsági célkitűzése, hogy a potenciális balesetek kockázata ne növekedjen, sőt csökkenjen a beépített nukleáris kapacitás bővülése ellenére is. E célkitűzés elérésének módja az, hogy a már üzemelő atomerőművek biztonságát – dinamikus minőségi jellemzőként kezelve – megfelelő intézkedé-

sekkel növeljék (lásd: BNI programot a Paksi Atomerőműben), az újabb atomerőművek esetén pedig szigorúbb kockázati kritériumokat is kielégítő műszaki megoldásokat alkalmazzanak. Ez utóbbi elvet veszik figyelembe

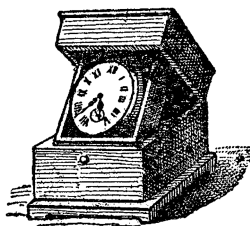
- a kiviteli tervezés fázisában levő harmadik generációs (evolúciós) atomerőművek, ahol a szigorúbb tervezési követelményeket passzív védelmi megoldások és az eddigieknél nagyobb megbízhatóságú rendszerelemek alkalmazásával elégítik ki, valamint
- a koncepcionális tervezés fázisában levő negyedik generációs (innovatív) atomerőművek, ahol újabb reaktortechnológiák kifejlesztésével törekszenek a kockázati szintek további, jelentős mértékű csökkentésére.

Kulcsszavak: *veszély, kockázat értékelés, valószínűségi biztonsági elemzés*

IRODALOM

Bareith Artita – Holló Előd et. al. (2005): *Összefoglaló a Paksi Atomerőmű biztonságának aktuális megítéléséről a valószínűségi biztonsági elemzések szemszögéből*. 22.21-803/14 számú VEIKI jelentés.

INSAG – International Nuclear Safety Advisory Group (1988): *Basic Safety Principles for NPPs*. Safety Series No. 75-INSAG-3, IAEA, Vienna



A PAKSI ATOMERŐMŰ ÜZEMIDŐ-HOSSZABBÍTÁSA

Katona Tamás János

CSc, tudományos tanácsadó, Paksi Atomerőmű Zrt.
katonat@npp.hu

Bevezetés

Hazánk energiastratégiájában, amely a környezetvédelmi, ellátásbiztonsági és gazdasági célok megvalósítását egyaránt szolgálja, a paksi atomerőmű hosszú távú, biztonságos üzemeltetésének fontos szerepe van. Bizonyítható, hogy a paksi atomerőmű az eredetileg tervezett harminc év üzemidőt követően még további húsz évig biztonságosan és gazdaságosan üzemben tartható.

A paksi atomerőmű üzemidő-hosszabbítása komplex feladat, amelynek számos előfeltétele van, amely az erőmű üzemeltetési engedélyének megújítását követeli meg, s amely folyamatos és rendszeres tevékenységet jelent a meghosszabbított üzemidő végéig. Mindezek lényege, hogy biztosítani és igazolni kell az atomerőmű biztonságát, fenn kell tartani az erőmű megkövetelt műszaki állapotát, versenyképesnek kell maradni, továbbá meg kell őrizni a társadalom bizalmát, támogatását. Itt az üzemidő-hosszabbítás specifikus műszaki feladatait mutatjuk be.

Az üzemidő-hosszabbítás sajátos műszaki feladatai

A paksi atomerőmű üzemidő-hosszabbításának lehetősége bizonyos adottságoknak,

mint a terv robusztussága, és az eddigi üzemeltetői gyakorlatnak, a biztonságnövelő programoknak, a műszaki felülvizsgálati és állapotfenntartási tevékenységnek köszönhető. Az üzemidő-hosszabbítás előfeltétele az atomerőmű biztonsága. Ez nem az üzemidő-hosszabbításhoz kötődő specifikus feltétel, jól lehet az üzemidő-hosszabbítás centrális kérdése lényegében biztonsági.

Az üzemidő-hosszabbítás nem más, mint az üzemeltetési engedély újbóli megszerzése, s mint ilyen az engedélyezési eljárás által vezérelt, tartalmában és folyamatában ezáltal meghatározott tevékenység. Köztudott, az üzemidő-hosszabbítás engedélyezésének két fő vonulata van: a környezetvédelmi és a nukleáris biztonsági.

A nukleáris biztonsági engedélyezés feltétele, hogy legyen az üzemeltetőnek programja, amely megvalósításával az erőmű hosszú távon, biztonságosan üzemeltethető. Ennek középpontjában a passzív, hosszú élettartamú, nem cserélhető vagy ésszerűségi szempontok alapján nem cserélendő, az üzemidőt ténylegesen meghatározó szerkezetek és komponensek öregedésének kezelése áll. Az üzemidő-hosszabbítás engedélyezéséhez és a szükséges program kidolgozásához három fő műszaki feladatot kell végrehajtani:

- Meg kell vizsgálni, és értékelni kell az erőmű műszaki állapotát.
- Igazolni kell, hogy az öregedéskezelési programok biztosítják a hosszú távú, biztonságos üzemeltetést, s ha nem, módosítani, fejleszteni kell azokat.
- Meg kell vizsgálni, hogy az üzemidőt explicite tartalmazó elemzések, mint például a fáradásszámítások, korlátozzák-e a hosszú távú üzemeltetést, s ha igen, kezelni kell a problémát.

Az üzemidő-hosszabbítás programja akkor teljes, ha az élettartamot korlátozó szerkezetek, komponensek öregedéskezelését kiegészítik az üzemeltető egyéb programjai, amelyek az aktív rendszerek, rendszerelemek, az erőmű egésze megkövetelt műszaki állapotának fenntartását szolgálják. Ilyen a karbantartás, műszaki felülvizsgálatok programja, a karbantartás hatékonyságának biztonsági szempontok szerinti értékelése, ellenőrzése, a minősített állapot fenntartását szolgáló programok, az állapotfüggő, az erkölcsi avulást is kezelő fenntartások, cserék, rekonstrukciók programja. Mindezek együtt az öregedéskezelési programmal az erőmű komplex élettartam-gazdálkodását adják ki.

Öregedéskezelés

Az öregedés a szerkezet jellemzőinek fokozatos változása az idő múlásával az üzemeltetés, az üzemi körülmények hatására. Az öregedés nem iktatható ki, legfeljebb lassítható. Az öregedés az anyag és a környezet, a szerkezet és a terhek bonyolult fizikai, kémiai kölcsönhatása, amelyet a romlási folyamatok és a következmények, illetve a funkció és a biztonság összefüggésében kell vizsgálni és értékelni. Azon túl, hogy a biztonsági funkció megítélése sem egyszerű kérdés, a fő problémát a dolgok sokfélesége, valamint a degradációs

folyamatok komplexitása okozza. Az anyagokat tekintve számolni kell például a földművekben lévő talajtól kezdve a különféle anyagminőségű, tulajdonságú beton-, vasbeton és acélszerkezetekkel, szintetikus anyagokkal. A közeg, amelyben az atomerőmű szerkezetei működnek, igen sokféle, közel száz lehet, például: levegő, talajvíz, talaj, technológiai közegek. Ha csak az anyagok és a környezet megvalósuló párosításait számba vesszük, könnyen belátható, hogy ez a sokféleség bizony nehezen kezelhető. Ha ehhez hozzávesszük újabb rendező szempontként a berendezés típusát, biztonsági osztályát, harminceznél több tételt kapunk csak a gépésztechnológiai területen, amelynek öregedéskezelését biztosítani kell.

A szerkezet és a terhelések összerendelése is sokrétű feladat, amihez tudni kell, hogy bizonyos terhelési esetek milyen számban fordulhatnak elő az erőmű teljes élettartama alatt, s ismerni kell azokat a szilárdsági, törésmechanikai elemzéseket, amelyek eredménye a terhelési esetek számát korlátozza. S itt elkerülhetetlen a terhek újbóli meghatározása, a szerkezet és a terhek összerendelése. Ez az üzemi és üzemzavari állapotok, tranziensek elemzésén alapul, amelyből meg kell határozni az erőmű szerkezeteire, komponenseire ható terheket. Ez a teherkatalógus szükséges ahhoz, hogy az élettartam-korlátozó folyamatokat elemezzük, a kritikus helyeket meghatározzuk. Lényegében az erőmű legfontosabb berendezéseinek újratervezése történik, mert megváltozott a tervezési alap, megváltoztak a követelmények, amelyet az erőműnek teljesíteni kell, megváltozott sok esetben a konstrukció az átalakítások miatt, de leginkább megváltoztak az elemzési módszerek, a számítási technikák, s az alkalmazott szabványok. Tekintettel arra, hogy a korábbi

számítások konzervatív módon történtek, a beépített, betervezett mérnöki tartalékok, ma pontosabb elemzéssel feltárhatók, amelyek lényegében az üzemidő-hosszabbítás lehetőségét biztosítják.

Az öregedési mechanizmusok a terhelések és környezeti hatások által okozott romlási folyamatok, amelyek lehetnek például az általános és lokális korrózió, az anyag tulajdonságok változása, a fáradás. Az öregedési mechanizmusok eredményeként bekövetkező hatások lehetnek például a repedéskeletkezés, a törési szívósság csökkenése. Az öregedéskézelési program kidolgozásához még hozzá tartozik a romlás szempontjából kritikus helyek meghatározása, amelyek lehetnek például a varratok, a csomópontok környezete.

Fentiek minden bonyolultság ellenére csak az öregedéskézelési program alapját adják. Az öregedési folyamatokat, hatásokat ellenőrizni, monitorozni kell, sőt lehetőség szerint mérsékelni kell a romlás ütemét. Ehhez meg kell határozni a jellemző paramétereket, azokat mérni, felülvizsgálni és értékelni kell. Az állapot jellemzéséhez szükség van kritériumokra, amelyek származhatnak szabványokból, a tervből, vagy ezeket is újírolag meg kell határozni. A programot teljessé az öregedés mérséklése teszi, ha ez lehetséges. Az öregedés ütemének mérséklése sokféle módon történhet a korrózióvédelmet nyújtó festéstől kezdve a reaktortartály hőkezeléséig.

A végcél az, hogy minden említett lépést, fázist öregedéskézelési programokká integráljunk, melyek meghatározó elemei az atomerőmű hosszú távú üzemeltetését szolgáló programnak.

Tudományos feltételek

Az előzőekből látható, hogy az üzemidő-hosszabbításhoz azonosítani kell az öregedés okát,

folymatát és következményeit. Az öregedett állapotot megfelelő paraméterek monitorozásával, egyértelmű kritériumok alapján értékelni kell, s lehetőség szerint lassítani kell a romlási folyamatot, vagy kontrollálni, csökkenteni kell a következményeit. Ehhez igen jelentős műszaki tudományos ismeretek felhasználására van szükség az atomerőművek tapasztalatainak értékelésén túl.

A tudományos támogatásra, a célzott kutatásokra a biztonsági relevanciától és a gyakorlatban tapasztalt öregedési folyamat különleges voltától függően különböző mértékben van szükség. Vannak olyan esetek, amikor az általános ipari tapasztalatok, ismeretek elégségesek a csupán vizuális ellenőrzéssel történő állapotértékeléshez, s a műszaki tudományos támogatás mélysége megmarad a tapasztalatgyűjtés és feldolgozás szintjén. Az olyan különleges folyamatokat, mint a reaktortartály anyagának neutronsugárzás által okozott elridegedése az atomi léptékről indulva, a néhány tíz nanométer és nanosekundum skálán át, a molekuláris dinamika tartományában, a mikronos léptékű skálán egyaránt célszerű vizsgálni ahhoz, hogy a mérnöki módszerek teljes megalapozásáig eljussunk.

A kutatás fundamentális fontosságú és nélkülözhetetlen az üzemelés során még nem tapasztalt, látens öregedési folyamatok felismeréséhez, a konkrét problémák szakszerű és megalapozott megoldásához, a szabványokban, előírásokban szereplő mérnöki módszerek fejlesztéséhez és a kritériumok pontosabb tételéhez. Ez utóbbiak adják a konzervatívizmusok megismerése révén a hosszú távú üzemeltetés lehetőségét is.

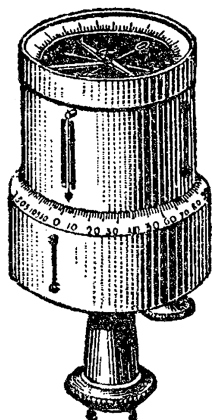
A paksi atomerőmű üzemidő-hosszabbításának a komplex és tudásigényes feladatait a teljes magyar műszaki-tudományos kapaci-

tás bevonásával, közreműködésével lehet megoldani. A munkát szakértői testületek segítik, a legfontosabb területeken, mint a reaktor, a gépésztechnológiai berendezések, az építészeti szerkezetek integritása, az anyagvizsgálat és a vegyészet területén.

A munkában részt vevő magyar szakemberek, tudósok száma nagy. Ha az atomerőművekhez kapcsolódó műszaki diszciplínák képviselői mellett még számításba vesszük a

környezeti hatásvizsgálatban közreműködőket is, akkor elmondhatjuk, hogy a paksi atomerőmű üzemidő-hosszabbítása a magyar szaktudás legösszetettebb gyakorlati alkalmazása, s nemcsak az iparág, hanem egyben a magyar tudomány legnagyobb vállalkozása.

Kulcsszavak: *üzemidő-hosszabbítás, öregedéskezelés, öregedési mechanizmus, öregedési hatások, terhelések, fáradás, felülvizsgálat, engedélyezés*



RADIOAKTÍV HULLADÉKOK KEZELÉSE ÉS VÉGLEGES ELHELYEZÉSE

Hegyháti József

PhD, műszaki tudomány kandidátusa

Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kht.

jozsef.hegyhati@rhk.hu

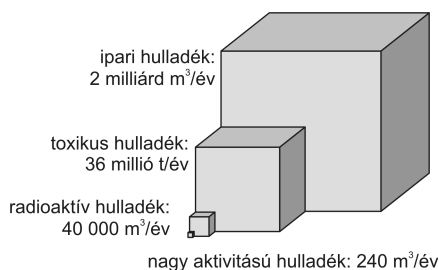
Bevezetés

Életünk elválaszthatatlan részét képezik azok az orvosi, ipari, mezőgazdasági és egyéb kutatási tevékenységek, amelyek során radioaktív anyagokat használnak fel. A nukleáris alapon termelt villamos energia természetes velejárója a kiegészített fűtőelem és a folyamat során keletkező – különböző aktivitású – radioaktív hulladék. Dwight D. Eisenhower, amerikai elnök már 1953-ban az ENSZ közgyűlésén tartott beszédében kiemelte a hasadó és egyéb radioaktív anyagok kezelésének és elhelyezésének fontosságát.

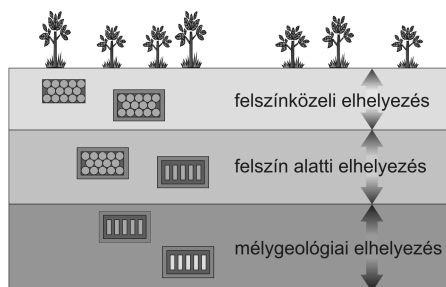
A fél évszázada megfogalmazott igény ellenére a radioaktív hulladék-kezelés és -elhelyezés hosszú ideig sokdrangú kérdés maradt. Annak dacára, hogy a radioaktív hulla-

dékok mennyisége nagyságrendekkel kevesebb, mint a háztartási vagy a veszélyes ipari hulladékoké (1. ábra), az embereket – a radioaktivitással kapcsolatos félelmek miatt – az előbbi sokkal jobban izgatja. Az Európai Unió által nemrég készített közvéleménykutatás (Eurobarometer) szerint az atomenergia alkalmazását ellenzők közel 40 százaléka megváltoztatná véleményét, ha a radioaktív hulladékok kérdését megoldottnak látná.

A hulladékok elhelyezésével kapcsolatos kérdések súlypontja egy ideje a műszaki tudományok területéről a társadalmi-politikai területre tevődött át. Ma már szakmai körökben teljes az egyetértés – még akkor is, ha azt a lakosság egy része nem fogadja el –, hogy a kis és közepes aktivitású hulladékok biztonságos elhelyezése műszaki és tudományos szempontból a tökéletesen megoldható problémák közé tartozik. Jelenleg a világban nemcsak üzemelő tárolók léteznek, de megteltüket követően bezárt telephelyek is. A hulladék elhelyezéssel kapcsolatos – elsősorban politikai és társadalmi indíttatású – viták a fejlett országokban nem a kis és közepes aktivitású hulladékok, hanem a nagy aktivitású és hosszú élettartamú radioaktív hulladékok nagyon távoli jövőre prognosztizált viselkedésének megítélése és biztonsá-



1. ábra • Az Európai Unióban keletkező hulladékok éves mennyisége



2. ábra • Elhelyezés a hulladék fajtájától függően

gos elhelyezése körül folynak. A hulladék-tárolók telephelyének kiválasztása és a tároló megépítése azonban sok helyen még mindig jelentős politikai kérdés.

A hulladék elhelyezésének stratégiája a hulladék fajtájától függően eltérő. A felszín közeli (adott esetben felszíni), illetve a felszín alatti elhelyezés a kis és közepes aktivitású hulladék esetében elfogadott gyakorlat. (2. ábra). Az üzemanyagciklus zárásának lehetőségeit tekintve a nagy aktivitású hulladék és a kiégett üzemanyag miatt a mélygeológiai tároló létesítése a jelenlegi ismeretek szerint nem kerülhető meg. Abban széleskörű szakmai konszenzus van, hogy a hosszú élettartamú hulladékok biztonságos elhelyezésére ez a megoldás a legjobb. Az elmúlt évtizedekben egyébként jelentős előrehaladás történt a geológiai elhelyezéshez szükséges tudományos ismeretekben és technológiákban. A tároló létesítési és üzemeltetési technológiája kellően kiforrott ahhoz, hogy a gyakorlatban bevezethető legyen, amint azt a társadalmi és politikai feltételek lehetővé teszik.

Az elkövetkezendő években, évtizedekben egyre több, működését befejező atomerőmű leszerelésével kell számolni, melyek újabb hulladékkezelési és elhelyezési igényeket vetnek fel. Ezzel a kérdéskörrel az érintett országok már behatóan foglalkoznak.

Nagy erővel kutatják a leszerelés hatékony elvégzéséhez alkalmas műszaki eszközöket, technológiákat, de vizsgálják a csak kismértékben szennyezett anyagok újrafelhasználási lehetőségeit is.

A magyarországi helyzet

A paksi atomerőmű reaktoraiból eltávolított, kiégett nukleáris fűtőanyag az erőművi pihentetés után átmeneti száraztárolóba kerül (3. ábra). A jelenlegi tervek szerint a kiégett kazetták átmeneti tárolójából (KKÁT) ötvenéves tárolás után kerülhetnek a fűtőelemek a végleges tárolóba.

A KKÁT modulrendszerű száraztároló (2005. végén 3767 db kiégett üzemanyag került betárolásra). Bővíthetősége miatt az erőmű élettartama alatt keletkező valamennyi üzemanyag befogadására képes.

A nem atomerőművi kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok a püspökszilágyi



3. ábra • Kiégett fűtőelemek átmeneti tárolója



4. ábra • Medencés elhelyezés

Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló vas-beton medencéiben és csőkútjaiban kerülnek végleges elhelyezésre. Jelenleg a telephely fejlesztése folyik azzal a céllal, hogy a tároló még évtizedekig képes legyen a feladatát ellátni.

Medencékbe kerülnek a hordós vagy konténeres csomagolású szilárd hulladékok, illetve a fémkannákban és hordókban elhelyezett gyöngykovafölddel felitatott, radioaktívan szennyezett szerves oldószerek. (4. ábra) A csőkutak a sugárforrások tárolására szolgálnak.

Az atomerőművi kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék elhelyezésére szolgál majd a Bataapáti térségében rövidesen elkészülő, új hulladéktároló. A beruházás előkészítéséhez szükséges parlamenti döntés megszületett. A lakosság nagy többséggel elfogadta a tároló létesítését. Az illetékes hatóság által jóváhagyott kutatási program a végéhez közeledik, és az eddigi eredmények egyértelműen igazolták a gránitkőzet geológiai alkalmasságát.

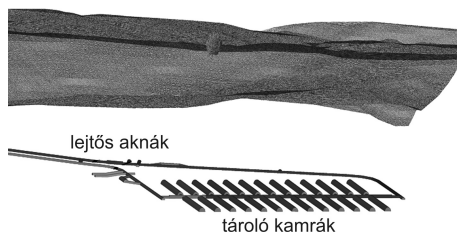
A mintegy 250 méter mélységben elhelyezkedő tárolótereket két, egyenként kb. 1500 m hosszú lejtős aknán keresztül lehet majd megközelíteni. (5. ábra) A 200, illetve 400 literes hordókban érkező hulladék betonkonténerekbe vagy acélkeretbe kerül a tárolóbeli elhelyezés előtt. (6. ábra)

A nagy aktivitású és hosszú élettartamú hulladékok végleges elhelyezésére szolgáló lé-

tesítmény telephelyének behatárolását célzó kutatások az illetékesek által jóváhagyott kutatási terv alapján források hiányában visszafogottan, de megkezdődtek. A kutatási terv szerint a Nyugat-Mecsekben található agyagkőben elsőként ki kell jelölni, majd meg kell valósítani azt a mélygeológiai kutatólaboratóriumot, amelynek bázisán megkezdődhetnek a tároló létrehozásához szükséges, több évet igénylő kutatások. A tároló megvalósításának céldátuma 2047.

Összefoglalás

Az elmúlt évtizedben egyre tudatosabb az a felismerés, hogy a radioaktivitás a természetes emberi környezet része, és ezzel együtt globálisan kell szemlélni a radioaktív hulladékok kérdését is. Világszerte mindinkább tudatára ébrednek a hulladékelhelyezés szélesebb összefüggéseinek. A nemzetközi testületekben és azokon kívül zajló viták nyilvánvalóvá tették, hogy figyelmet kell szentelni olyan kérdésekre is, mint pl. a fenntartható fejlődés, amely nagyon széleskörű társadalmi kérdés, s az energiatermelés és -felhasználás, valamint a hulladékkezelés átfogó vizsgálatát teszi szükségessé. Figyelembe kell venni az ökológiai hatásokat, különösen akkor, ha a hatások irreverzibilisek lehetnek. Innovatív technológiák alkalmazásával folyamatosan csökken az elhelyezésre kerülő hulladék mennyisége, a működő hul-



5. ábra • A hulladéktároló elvi elrendezése



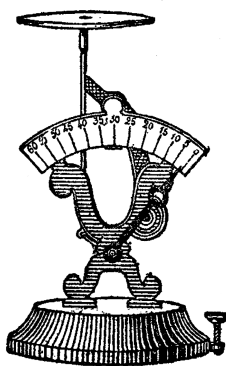
6. ábra • A tároló belső terének elrendezése

ladéktárolók pedig problémamentesen üzemelnek. A jövő legnagyobb kihívása továbbra is a nukleáris fűtőelemciklus lezárása a nagyaktivitású hulladékok végleges elhelyezésének megoldásával.

Magyarországon adott a törvényi és hatósági háttér, kijelölt felelős szervezetként a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kht. rendelkezik a feladatokra vonatkozó közép- és hosszú távú tervekkel, melyek összhangban vannak a nemzetközi trendekkel és törekvésekkel. A működő és a tervezett létesítmé-

nyek közelében élő lakossággal korrekt – a tájékoztatáson és a támogatáson alapuló – kapcsolatot sikerült kialakítani. A hulladéktermelők (döntően a Paksi Atomerőmű Zrt.) befizetéseiből feltöltött Központi Nukleáris Pénzügyi Alap révén biztosított a finanszírozás háttere.

Kulcsszavak: radioaktív hulladék, kiégett nukleáris fűtőanyag, elhelyezési koncepció, Püspökszilágy, bátaapáti tároló, nyugat-mecseki kutatások



A MAGHASADÁSON ALAPULÓ ENERGIATERMELÉS JÖVŐJE

Gadó János

az MTA doktora, igazgató, MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézet
gado@sunserv.kfki.hu

Sokat hallani manapság mind olyan szándékokról, hogy az atomerőműveket sorra bezárják, mind pedig arról, hogy az atomtechnika reneszánszát éli. A valóságban minden komoly előrejelzés szerint a maghasadáson alapuló energiatermelés a jövőben meg fogja tartani jelenlegi részarányát a világ villamosenergia-termelésében. A cikkben a friss fejleményeket ismertetjük.

Bevezetés

Az atomerőművek létesítésének extenzív szakasza a hetvenes évek végén – a nyolcvanas évek közepén lényegében lezárult. Az elmúlt évtizedekben az erőműépítési ütem jelentősen lelassult, a régebbi típusú atomerőművi blokkokat üzemidejük végén sorra bezárják. A megrendelések elmaradásán túlmenően egyes országok elhatározták, hogy a jövőben fokozatosan lemondanak a maghasadáson alapuló energiatermelésről.

A hanyatlásnak több oka volt. Ezek közül az első helyen a társadalmi elfogadottság problémáit kell említeni. A társadalmi elfogadottság viszonylagos hiányát több tényező okozza:

- az atomfegyvertől való jogos félelem az atomerőművekre is kiterjed
- az atomhatalmak fegyverekre vonatkozó és ipari nukleáris kompetenciájának

szétválása, a kormányzatok kivonulása az atomipar mögül

- az atomipar a zöld szervezetek egyik fő célpontja, mert politikai sikereik egyik biztosítékát látják az atomipar elleni fellépésben
- a lakosság, a média és a döntéshozók tájékoztatatlansága a vitatott reaktorbiztonsági és sugárbiztonsági kérdések szakmai részleteiben
- egyes konkurens energiatermelő ágazatok viszonylagos sikerei, irreális reményei
- az atomipar bizonyos fokú arroganciája a társadalmi elfogadottság kérdésének kezelésében.

A társadalmi elfogadottság viszonylagos hiánya miatt a legtöbb országban igen kockázatos és drága atomerőműveket építeni, ugyanis a beruházás ideje a bonyolult hatósági eljárások miatt mindenképp igen hosszú, és esetenként a tervezettnél jóval hosszabb lehet. Mivel az atomerőművek költségeiben köztudottan a beruházás a meghatározó, a társadalmi elfogadottság problémái jelentősen megdrágíthatják az atomerőművekben előállított villanyáramot.

Ebben a helyzetben a maghasadáson alapuló energiatermelést a szakmai kompetencia elvesztése, a biztonság csökkenése és hosszabb távon az eljelentéktelenedés veszélye fenye-

gette. Mára azonban világossá vált, hogy a többi energiatermelési mód összességében belátható időn belül nem tudja biztosítani a Föld teljes lakosságának fenntartható fejlődését, ezért a maghasadáson alapuló energiatermelés újra a figyelem középpontjába került. Ebben a felismerésben különböző geopolitikai tényezők is szerepet játszanak.

Az atomerőművek nemzedékei

Az első generációs atomerőművek tervezett üzemideje véget ért, ezeket szinte kivétel nélkül leállították. A ma működő atomerőművek nagy többsége a második generációhoz tartozik, ezeket a hatvanas-hetvenes-nyolcvanas években építették (ehhez a generációhoz tartozik a paksi atomerőmű is). Ezek az atomerőművek biztonságosan működnek, és általában olyan tartalékokkal építették őket, hogy tervezett üzemidejük lejárta után sem okoz műszaki gondot további működtetésük, az üzemidő tíz-húsz, sőt esetleg harmincéves meghosszabbítása.

Az elmúlt évtizedekben számos atomerőmű-típust fejlesztettek ki, amelyeket összefoglalóan az atomerőművek harmadik generációjának nevezünk. Ezek a második generáció sokirányú továbbfejlesztésével, evolúciós módon jöttek létre. A jobb biztonsági és gazdaságossági paraméterekkel jellemezhető harmadik generációs atomerőművek telepítését az atomerőművek megrendelésének immár több évtized óta tartó hiánya és többek között a második generációs atomerőművek üzemidő-hosszabbításának műszaki lehetősége hátráltatja. Az atomerőművek társadalmi elfogadottságának viszonylagos nehézségei és a magas beruházási költségek kiterjednek a harmadik generációs atomerőművekre is. Ennek ellenére jelenleg is egyre növekvő számban folyik új erőművek építése.

Ilyen háttér mellett kezdődött meg az atomerőművek új generációjának kifejlesztése. Az Egyesült Államok kormányzata néhány évvel ezelőtt kezdeményezte olyan új típusú, negyedik generációs atomerőművek kifejlesztését, amelyek 2025–2030 körül állhatnak üzembe. A harmadik generációs atomerőművek bevezetésére az Egyesült Államokban várhatóan csak elvétve fog sor kerülni, és a második generációs atomerőművek üzemidejének hosszabbítása révén azokat közvetlenül a negyedik generációs atomerőművek fogják felváltani.

A Generation-IV projekt fő céljai

A negyedik generációs atomerőművek kifejlesztésére az ún. Generation-IV projekt keretében kerül sor. A projekt által perspektivikusnak tekintett reaktortípusok egyike sem előzmények nélküli, de a jelenlegi atomerőműpark ilyen típusokat gyakorlatilag nem használ. A szükséges fejlesztések csak jelentős volumenű kutatási programok megvalósításával érhetők el. Valamennyi típussal szemben alapvető követelmények a következők:

- gazdaságosság
- a természeti erőforrások fenntartása
- a keletkező hulladékok minimalizálása
- biztonság és megbízhatóság
- katonai célra való felhasználhatatlanság.

További fontos követelmény a negyedik generációs atomerőművek fejlesztésében az üzemanyagciklus új átgondolása, új típusú üzemanyagciklus kifejlesztése. Ennek három aspektusát érdemes megemlíteni:

- az erőművek biztonságának fokozása (bal esetben az új típusú fűtőelemek nagyobb megbízhatósággal akadályozzák meg a radioaktív anyagok kikerülését),
- az üzemanyagciklus zárása, a keletkező nagy aktivitású hulladék mennyiségének

minimalizálása és felezési idejének csökkentése (az urán, a plutónium és a képződő többi aktinida-izotóp újrafelhasználása az atomerőműveken belül, ami fizikai okokból termikus és gyors reaktorokból álló atomerőműpark kiépítését igényli),

- az üzemanyag minél inkább mentes legyen attól, hogy fegyvert lehessen belőle előállítani.

A nemzetközi projekt

Az Egyesült Államok céljait széleskörű nemzetközi projekt keretében kívánja megoldani. Az ezt a célt szolgáló Generation-IV International Forum (GIF) 2000 januárjában alakult meg. A projektben szinte kezdettől fogva részt vesznek a nukleáris fejlesztésekben jelentős szerepet játszó országok (az Egyesült Államokon kívül Kanada, Franciaország, Nagy-Britannia, Svájc, a Dél-afrikai Köztársaság, Argentína, Brazília, Japán és a Koreai Köztársaság). 2003-ban az Európai Unió (az EURATOM) a nemzetközi projekt tagjává vált. Az EURATOM valamennyi EU-tagországot képviseli. Jelenleg napirenden van Oroszország, Kína és India csatlakozása.

A projekt alapokmányát 2005 februárjában írta alá a résztvevők első csoportja, és ahhoz fokozatosan csatlakoztak a többiek. 2006 májusában az EURATOM felhatalmazása alapján az Európai Bizottság a Közösség nevében aláírta a keretmegállapodást. A keretmegállapodás lehetővé teszi a Közösség közvetlen hozzájárulását a GIF K+F tevékenységeihez, továbbá biztosítja a tagállamok kutatási szervezetei és a nukleáris ipar számára, hogy hozzájáruljanak a GIF K+F tevékenységeihez.

¹ A termikus reaktorokban a hasadásban keletkező nagyenergiájú (1–10 MeV) neutronokat a moderátorközeg termikus energiákra (< 1 eV) lassítja, ahol azok jó eséllyel maghasadást váltanak ki, míg a gyorsreaktorokban valamennyi neutron nagyenergiájú, ezeken az energiákon váltják ki a maghasadást.

A részt vevő tagállamok részben közösen finanszírozzák a projekt munkáit, részben pedig saját maguk finanszírozzák saját kutatóintézeik részvételét, munkáját. Az Európai Unióban egyes projektek az EU 6. Keretprogramjából kapnak célzottan támogatást, de ezek mellett fontos szerepet játszanak az egyes országok nemzeti projektjeiből származó kutatási eredmények is. Az EU 6. és még inkább 7. Keretprogramjának „nukleáris hasadás” fejezetét a Generation-IV-hoz kapcsolódó tevékenységek dominálják.

A projektben végzett tevékenységeket a részt vevő országok finanszírozzák, ami nyilván minden résztvevő számára bizonyos fokú problémát jelent. A probléma még nagyobb hosszabb távon, mivel a projekt nem kíván eljutni a prototípusok megépítéséig, és így nem világos, hogy a projektben létrejövő eredmény, azaz a szellemi termék, *know-how* hogyan kerül át azokhoz az ipari cégekhez, amelyek majd gyártanák az újfajta erőműveket. Mindazonáltal a Generation-IV projekt – amennyire az előre látható – a következő években, egy-két évtizedben a szakmában meghatározó lesz.

A Generation-IV projekt által kiválasztott reaktortípusok és a K+F tervek

A projekt hat perspektivikus reaktortípust választott ki részletes tanulmányozásra.

A nátriumhűtéses gyorsreaktor (SFR) zárt üzemanyag-recirkulációs rendszer, feladata a villamosenergia-termelés és a nagy aktivitású aktinidák – elsősorban a plutónium – hasznosítása, illetve kezelése. A technológia alapvetően ismert, ezért a tökéletesített, új generációs nátriumhűtéses reaktorok bevezetése már 2015–20 között megkezdődhet.

A magas hőmérsékletű gázhűtéses termikus reaktort (VHTR) a villamosenergia-ter-

melésen kívül magas hőmérsékletű folyamat-hő előállítására szánják, például szénélgáz-sítás és termokémiai hidrogéntermelés céljából. Fejlesztése a grafitmoderátoros, héliumhűtésű reaktorokra vonatkozó tekintélyes mennyiségű tapasztalatra alapul. A technológia hátránya, hogy az üzemanyagciklus zárása nem megoldott. Rendszerbe állítása 2020 körülre remélhető.

A szuperkritikus nyomású vízzel hűtött reaktorban (SCWR) a nyomás és a hőmérséklet a víz termodinamikai kritikus pontja (22,1 MPa, 374 °C) felett van. Az SCWR egyszerű felépítése és az ebből adódó alacsony fajlagos beruházási költség, valamint a magas átalakítási határfok miatt gazdaságilag nagyon versenyképesnek ígérkezik, de biztonsági problémái még nem teljesen megoldottak. Az SCWR rendszerbe állítására jó esetben 2020–25-ben kerülhet sor.

Az ólom-bizmut hűtéses gyorsreaktor (LFR) villamos energia és más termékek (például hidrogén és ivóvíz) együttes előállítására tervezik. A kis teljesítményű reaktor ki-elégítheti a kis fejlődő országok és az elszigetelt hálózatok piaci igényeit. A típusra vonatkozó tapasztalatok a szovjet atomtengeralattjárók reaktoraiból származnak. A vonatkozó elképzelések teljes aktinida-recirkulációs üzemanyagciklust vizionálnak. Az LFR rendszerbe állítása legkorábban 2020–25-ben történhet.

A gázhűtéses gyorsreaktor (GFR) héliumhűtésű, zárt üzemanyagciklusú reaktor, 850 °C kilépési hűtőközeg-hőmérséklettel. A magas hőmérséklet egyrészt lehetővé teszi, hogy a GFR-hez közvetlen ciklusú gázturbinás rendszer kapcsolódjék, ami magas energiaátalakítási határfokú (~48 %) villamosenergia-termelést tesz lehetővé, másrészt folyamathő előállítására, így például hidrogéntermelésre is alkalmassá teszi az atomerőművet. A GFR

üzembe állása legkorábban 2020–25-ben kezdődhet.

Az olvadáksó-hűtéses reaktorban (MSR) az urán- és/vagy plutónium-fluoridot tartalmazó olvadt sókeverék szolgál üzemanyagként és hűtőközegként egyaránt. A rendszer fejlesztése az 1940-es, 1950-es évekre nyúlik vissza. Képes a sóolvadékba kevert összes aktinida hatékony kezelésére, illetve átalakítására. Ennek a típusnak a kifejlesztése várhatóan csak 2030 körül fejeződhet be.

Valamennyi kiválasztott reaktortípus kielégíti a fentiekben meghatározott követelmények nagy részét, de mindegyiknél jelentős kutatómunkára van szükség a típus tényleges kifejlesztéséhez.

A Generation-IV projekt célja többek között az is, hogy értelmes kutatómunkával lássa el és hosszú távon is vonzza a fiatal, a nukleáris szakma iránt érdeklődő szakembereket. Túl a működő atomerőművek biztonságának megőrzésén, az Egyesült Államok kormánya azért is lényegesnek tarthatja ezt a célkitűzést, mert nehezen lehetne nemzetbiztonsági célkitűzéseivel összhangba hozni egy olyan világot, amelyben a nukleáris szaktudás az Egyesült Államokból, Kanadából, az Európai Unió országaiból fokozatosan eltűnik, de a Föld más részein továbbfejlődik.

Az ismertetett hat atomerőmű-fejlesztési programhoz önálló K+F tervek tartoznak, amelyek az adott típus legfontosabb problémáinak megoldását célozzák. Ezek mellett megszerveződtek a horizontális – azaz egyszerre több innovációs atomerőmű-típus megalapozásához hozzájáruló – kutatási feladatok is. E területek közül kiemelendő az üzemanyagciklus zárása, tehát a hasadóanyag minél tökéletesebb kihasználása és a hulladék minimalizálása, ami a legfontosabb cél a fenntarthatóság szempontjából, valamint a 900–1000 °C fo-

lyamat-hőmérséklettel összefüggő anyagtudományi kutatási feladatcsomag.

A magyar részvétel

A magyarországi atomenergetikai kutatási igényeket hosszú ideig és még ma is az dominálja, hogy a paksi atomerőművet hozzuk olyan állapotba, hogy az az EU-tagország Magyarországon is zavartalanul működhessen. Ez a cél megvalósult, és ebben a kutatóintézeteknek nem csekély szerepük volt. A hazai atomenergetika mai legfontosabb prioritása a paksi atomerőmű blokkjainak üzemidő-hosszabbítása, és ezzel együtt a blokkteljesítmény növelése és a fűtőelem-gazdálkodás további javítása. A kutatóintézetek lényegében felkészülteknek mondhatóak e feladatokra, és számos kutatásuk éppen e kérdésekre koncentrál. További jelentős prioritást jelent a kiegészítő fűtőelemek, valamint a radioaktív hulladékok elhelyezésének problematikája. E területeken a kutatások jelenleg nincsenek megfelelően koordinálva, és az intézetek felkészültsége, a nemzetközi trendekbe való beágyazottságuk nem igazán megfelelő.

A Generation-IV projektben való magyar részvétel pénzügyi hátterét jelenleg főképpen az NKTH által 2005 elején meghirdetett NAP-pályázatra benyújtott és elfogadott, a Generation-IV kutatásokat, valamint az ITER-hez kapcsolódó fúziós K+F tevékenységet előirányzó *Új nukleáris energiatermelési módszerek technológiai elemeinek fejlesztése* című pályázat biztosítja. A magyar kutatások az MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézetben és a BME Nukleáris Technikai Intézetben folynak, immáron egy éve. A kutatások tárgya a kritikus állapotú vízzel hűtött termikus reaktortípus, ezen belül egyes zónatervezési, termohidraulikai, anyagtudományi és

reaktorbiztonsági problémák tisztázása. A kutatások teljes mértékben beágyazódnak az EU Generation-IV hozzájárulásába, részben a 6. Keretprogram időközben elindított HPLWR projektjén keresztül, részben pedig közvetlenül. A nemzetközi kapcsolatokat előmozdítja a KFKI AEKI együttműködése az EU Joint Research Centre petteni és karlsruhei intézeteivel, valamint a finnországi VTT-vel.

Értékelés

Az atomerőművek szerepe ma jelentős a világ energiatermelésében, ez a belátható jövőben biztosan így is marad. Az atomerőművek társadalmi elfogadottsága azonban nem megfelelő, ebben döntő változást kellene elérni.

A következő évtizedekben egyrészt a ma üzemelő, többségében második generációs atomerőművek üzemidejének meghosszabbításával és harmadik generációs atomerőművek építésével az atomerőművek részaránya a villamosenergia-termelésben fenntartható. Ez gazdaságos megoldás, amelynek nincs biztonsági akadálya. Másrészt a negyedik generációs atomerőművek kifejlesztése a mainál gazdaságosabb, még biztonságosabb és a fenntartható fejlődést jobban szolgáló energiatermeléssel kecsegtet; a radioaktív hulladék mennyiségének jelentős csökkentése, s a hűtőközelekre való alkalmatlanság biztosítása is megoldható. A negyedik generációs atomerőművek kifejlesztése áttörést hozhat a társadalmi elfogadottság területén is, és a szükséges kutatási kihívások jelentősen hozzájárulhatnak a szakmai kompetencia megtartásához is.

Kulcsszavak: *atomenergia, Generation-IV projekt, fűtőelemciklus, fenntartható fejlődés, biztonság*

RADIOAKTÍV HULLADÉKOK TRANSZMUTÁCIÓJA

Fehér Sándor

PhD, egyetemi docens
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
fehersh@reak.bme.hu

Az egyik legnagyobb teherterhelés, amellyel a mai atomenergetikának szembe kell néznie, az atomerőművek üzemeltetése során keletkező nagy aktivitású radioaktív hulladékok kezelésének és végleges elhelyezésének problémája. A manapság világszerte elfogadott elképzelések szerint a nagy aktivitású radioaktív hulladékok és a kiegészítő atomerőművi üzemanyag végleges elhelyezésére a mély geológiai tárolás jöhet számításba. A radioaktív hulladékoknak a kellően stabil geológiai formációkban való elhelyezése – a témával foglalkozó szakemberek véleménye és a vonatkozó vizsgálatok szerint – biztonságos megoldásnak tekinthető. Ugyanakkor világszerte tapasztalható, hogy a radioaktív hulladék-tárolók létesítése esetenként komoly társadalmi ellenállást vált ki, egyrészt az érintett lakosság, másrészt az atomenergia felhasználását ellenzők részéről. Valószínűleg ez a körülmény is közrejátszott abban, hogy az elmúlt másfél évtizedben jelentősen megnőtt az érdeklődés egy olyan új nukleáris technológia, nevezetesen a transzmutáció iránt, amellyel a végleges tárolás gazdaságosabbá és biztonságosabbá tehető. Ebben az írásban a transzmutáció fizikai alapjait, megvalósítási lehetőségeit és az e területen folyó nemzetközi kutatómunkát tekintjük át röviden.

A kiegészítő atomerőművi üzemanyag összetétele és radiotoxicitása

A transzmutáció mibenlétének és szerepének megvilágítása előtt célszerű rámutatni arra, hogy melyek azok a radioaktív hulladékok, amelyek kezelése, illetve végleges elhelyezése gondot jelent, és hogy ezek mennyiségét hogyan befolyásolja a nukleáris üzemanyag-ciklus jellege.¹

A manapság leginkább elterjedt úgynevezett nyomottvízes atomerőművi reaktorok kiegészítő üzemanyagának jellemző összetételét az 1. táblázatban foglaltuk össze. Látható,

¹ A nukleáris üzemanyagciklus nyitott vagy zárt lehet. Nyitott üzemanyagciklus esetén a nukleáris üzemanyagot mindössze egyszer használjuk a reaktorban. Nyitott ciklusnál a kiegészítő üzemanyag radioaktív hulladéknak számít, s egy átmeneti tárolás után végleges elhelyezésre kerül. Ha az atomerőművek kiegészítő üzemanyagát reprocesszáljuk, azaz alkalmas kémiai eljárásokkal szétválasztjuk a benne található uránt, plutóniumot és egyéb összetevőket, akkor az uránt és plutóniumot új üzemanyag gyártásához használhatjuk fel, és így visszakeringethetjük a reaktorokba. Az urán és a plutónium visszakeringetésén alapuló üzemeltetési rendszert zárt üzemanyagciklusnak nevezzük. Zárt üzemanyagciklus esetén többféle reaktor együttműködése (szimbiózis) is megvalósítható. A ma üzemelő reaktorok többségére a nyitott üzemanyagciklus a jellemző, de több ország folytat kiterjedt kutatásokat a ciklus zárása érdekében.

Urán és plutónium	Másodlagos aktinidák	Hosszú felezési idejű hasadási term.	Rövid felezési idejű hasadási term.	Stabil izotópok
955,4 kg U 8,5 kg Pu	0,5 kg ^{237}Np 0,6 kg Am 0,02 kg Cm	0,2 kg ^{129}I 0,8 kg ^{99}Tc 0,7 kg ^{93}Zr 0,3 kg ^{135}Cs	1,0 kg ^{137}Cs 0,7 kg ^{90}Sr	10,1 kg lantanida 21,8 kg egyéb

1. táblázat • Tipikus nyomottvízes reaktor kiégett üzemanyagának összetétele
(kiégettség: 33 MWnap/t, pihentetés: 10 év, összes tömeg: 1 t)

hogyan a kiégett üzemanyag tömegének több mint 95 %-át a maradék urán teszi ki. Ennek ^{235}U tartalma közelítőleg 1 %, azaz magasabb, mint a természetes uráné. A kiégett uránt tehát zárt üzemanyagciklusban enyhén dúsított uránként is hasznosíthatjuk. A második legfontosabb összetevő a csaknem 1 %-ot kitevő plutónium. Zárt üzemanyagciklusban ez is hasadóanyagként hasznosítható. A mindössze 0,1 tömegszázalékot kitevő másodlagos aktinidákról (neptúniumról, ameríciumról és kúriumról) meg kell jegyezni, hogy nagyon radiotoxikusak,² és némelyik izotópjuk igen hosszú élettartamú. A hasadási termékek közül a 16 millió éves felezési idejű ^{129}I és a 200 ezer éves felezési idejű ^{99}Tc jelenti a legnagyobb gondot a végleges elhelyezés szempontjából.

Mivel nyitott üzemanyagciklus esetén a kiégett üzemanyag radioaktív hulladéknak számít, átmeneti tárolás után a fenti anyagok is a végleges tárolóba kerülnek. Felmerül a kérdés, hogy a végleges tárolónak mennyi ideig kell biztosítania, hogy a radioaktív anyagok ne juthassanak ki a bioszférába. Ennek megítéléséhez a relatív radiotoxicitás időbeli alakulását kell figyelembe vennünk.

² Egy radioaktív izotóp radiotoxicitása az adott izotópnak a bioszférára, illetve emberre való veszélyességét méri. A radiotoxicitás a fizikai jellemzőkön (a sugárzás fajtáján és energiáján) túl a kémiai és biológiai hatásokat is figyelembe veszi.

A relatív radiotoxicitás azt adja meg, hogy egy adott izotóp vagy hulladékcsoomag radiotoxicitása (a bioszférára, ill. az emberre való veszélyessége) hogyan aránylik az előállításához felhasznált, kibányászott természetes urán radiotoxicitásához. A végleges tárolónak tehát legalább annyi időre kell elszigetelnie a radioaktív anyagot a bioszférától, míg annak relatív radiotoxicitása 1 alá nem csökken.

A tipikus nyomottvízes reaktorból származó kiégett üzemanyag radiotoxicitásának időbeli alakulására vonatkozó számítások azt mutatják, hogy a szükséges tárolási idő igen hosszú, majdnem egymillió év. A számítási eredmények arra is rámutatnak, hogy a radiotoxicitást néhány száz év után a különféle plutónium-izotópok dominálják, ugyanis a hasadási termékek toxicitása 5-600 év után jelentősen csökken. Ha azonban a plutóniumot zárt üzemanyagciklusban újból felhasználjuk, a radiotoxicitást alapvetően a hosszú felezési idejű másodlagos aktinidák, továbbá a ^{129}I és a ^{99}Tc izotópok határozzák meg.

Megállapítható: a kiégett üzemanyagban lévő bizonyos izotópok miatt igen hosszú elszigetelési időre van szükség. E hosszú tárolási idő és az eltárolandó hulladékmennyiség csökkentésében segíthet a transzmutáció.

A transzmutáció célja és szerepe

A transzmutáció a hosszú felezési idejű izotópoknak speciális reaktorokban vagy gyorsítóval

hajtott szubkritikus (azaz önfenntartó láncreakcióra nem képes) rendszerekben történő olyan besugárzását jelenti, amelynek során ezek az anyagok rövidebb felezési idejű vagy stabil izotópokká alakulnak át.

A transzmutáció alkalmazása feltételezi a nukleáris üzemanyagciklus zárását, ugyanis megvalósításához egy olyan továbbfejlesztett zárt üzemanyagciklusra van szükség, amelyben az urán és a plutónium recirkulációján kívül az egyébként hulladéknak tekintett hasadási termékek egy részének és a másodlagos aktinidáknak a recirkulációjára és ezzel együtt kiégetésére (elhasítására) is sor kerül.

Ahhoz, hogy a hosszú felezési idejű transzurán izotópokat és hasadási termékeket neutron-besugárzással transzmutálni lehessen, szelektív módon le kell választani őket a kiégett üzemanyagból. A szelektív szétbontást particionálásnak hívják. A két kapcsolódó technológiát (particionálás és transzmutáció) P/T-technológiának is nevezik.

Hangsúlyozni kell, hogy *a P/T-technológia nem jelent alternatívát a radioaktív hulladékok végleges elhelyezésével szemben, csak annak kiegészítésére szolgál. Alkalmazása jelentősen csökkentheti a végleges elhelyezésre kerülő hulladék mennyiségét és annak lebomlási idejét.* Ezzel elősegítheti az ilyen geológiai tárolók gazdaságosabb kihasználását, és a jellemző felezési idő csökkentésén keresztül növelheti a végleges tárolás biztonságát.

A transzmutáció megvalósítására szóba jöhető berendezések és rendszerek

A hasadási termékeket neutronbefogással, a másodlagos aktinidákat maghasadással lehet hatásosan transzmutálni. A befogás valószínűsége általában annál nagyobb, minél kisebb a neutronenergia. Az aktinidák egy része csak bizonyos küszöbenergia felett hasad; transz-

mutálásukhoz nagyenergiájú neutronok szükségesek. Az aktinidák esetében a hasadás mellett mindig felléphet a szimpla befogás is, amely eggyel nagyobb rendszámú transzurán kialakulásához vezet. Mivel a transzuránok hasadási valószínűsége a neutronenergia növekedésével általában nő, a transzmutáció szempontjából nemkívánatos befogási reakcióknak az arányát úgy lehet csökkenteni, ha keményebb neutronspektrumban végezzük a besugárzást. Fentiekből következően *a hasadási termékek transzmutálására a nagy fluxusú (nagy neutronsűrűségű), termikus spektrumú (kisebb átlagenergiájú neutronokkal üzemelő) reaktorok, míg a másodlagos aktinidák elhasítására a gyors (keményebb neutronspektrumú) reaktorok, gyorsítóval hajtott szubkritikus rendszerek alkalmasak.*

A transzmutáció rendszerszintű megvalósítására vonatkozó elképzelések két kategóriára oszthatók. Az elsőbe azok a rendszerek sorolhatók, amelyekben termikus és gyorsreaktorok nagyjából azonos arányban vannak jelen, és a gyorsreaktorok a termikus reaktorokból és önmagukból származó plutóniummal és másodlagos aktinidákkal üzemelnek. Az ilyen rendszerekben tehát a másodlagos aktinidák transzmutációja a gyorsreaktorokban valósul meg. A másik kategóriába azok az elképzelések tartoznak, amelyeknél a transzmutáció külön erre a célra fejlesztett (dedikált) berendezésekben történik. Az ilyen ún. kétrétegű rendszereknél a termikus reaktorok vannak többségben, és ezek nagy része a keletkezett plutónium újrafelhasználásával (plutónium-recirkuláltatással) üzemel. A termikus reaktorokban keletkező másodlagos aktinidákat a dedikált berendezések transzmutálják, szintén többszöri visszaforgatással. Számítások szerint egy dedikált transzmuter reaktor 6-10 termikus reaktort tud ily módon kiszol-

gálni. A fenti rendszerekre vonatkozó elemzések azt mutatják, hogy az üzemanyag többszöri visszakeringtetésével elérhető a radiotoxicitás akár századrésztől történő csökkentése a nyitott üzemanyagciklushoz képest (Salvatores, 2006). Ennek eredményeként a szükséges tárolási idő a több százézer éves nagyságrendről néhány száz évre csökken. A transzmutációs rendszerek teljes potenciáljának kihasználása azonban csak akkor lehetséges, ha legalább száz évre elkötelezzük magunkat az alkalmazása mellett.

A költségekre vonatkozó becslések szerint az új technológia mintegy húsz százalékkal emeli meg az ilyen rendszerekben termelt villamos energia árát (Salvatores, 2006).

Nemzetközi kutatómunka a transzmutáció területén

A transzmutáció alapfogolata nem új ötlet, szinte egyidős az atomenergetikával. Már a '40-es években felvetődött a gondolat, hogy a gyorsító technológia hasznos lehet az atomenergetika hulladékainak kezelésében. A neutron-magreakciókat felhasználó transzmutációval kapcsolatos első publikáció 1958-ban jelent meg. 1976-ban a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség egy, a transzmutációt is magában foglaló kutatási programot indított. Az ennek eredményeként 1982-ben született zárótanulmányban arra a következtetésre jutottak, hogy a transzmutáció ugyan technikailag megvalósíthatónak tűnik, ám bevezetése óriási beruházást igényel. Ez némiképp visszavetette a transzmutációval kapcsolatos kutatásokat. A '80-as és a '90-es évek fordulóján azonban új erőre kaptak a kutatások. Ebben nagy része volt a japán kormány 1988-as kez-

deményezésének, amely egy a P/T-technológiára irányuló K+F program indítására vonatkozott. Ez az ún. OMEGA program. A japán kormány meghívására szervezett tudományos eszmecsere eredményeként technikai információcsere-programot indítottak az OECD/NEA keretében a P/T területén. Az első nemzetközi információcsere-találkozót 1990 novemberében, Japánban tartották. Azóta a találkozókat két évente megszervezik. A résztvevő országok és kutatók száma folyamatosan nő, s a témák köre is egyre kiterjedtebbé vált.

Mindezek eredményeként a P/T-technológia ma nagyon perspektivikus, erősen kutatott témának számít. Több ország indított nemzeti kutatási programokat ezzel kapcsolatban. Az elméleti eredmények mellett már sok kísérleti eredmény áll rendelkezésre mind a particionálás (leválasztás), mind a transzmutáció területén. A különböző típusú atomreaktorokban végzett besugárzások bizonyítják, hogy a P/T-technológia ma már nemcsak elméleti lehetőségnek, hanem *műszakilag is végrehajtható hulladékkezelési eljárásnak tekinthető* mind az aktinidák, mind a hosszú élettartamú hasadási termékek vonatkozásában.

A P/T-technológia jelentőségének és elfogadottságának növekedését jelzi, hogy az elkövetkező évtizedek atomerőmű-típusainak nemzetközi együttműködéssel történt kiválasztásánál fontos szempont volt, hogy a kiválasztott reaktorok között legyenek hatásos transzmutációra képes típusok.

Kulcsszavak: *radioaktív hulladékok, radiotoxicitás, transzmutáció, P/T-technológia, zárt üzemanyagciklus*

A FÚZIÓS ENERGIATERMELÉS JELENLEGI HELYZETE ÉS TÁVLATAI

Zoletnik Sándor

kandidátus, KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet
zoletnik@rmki.kfki.hu

Magfúziós alapok

Már több mint fél évszázada ismert, hogy az atommagokat alkotó részecskék – a protonok és neutronok – legerősebben a közepes méretű (körülbelül 50-es tömegszámú) atommagokban kötődnek egymáshoz. Ennek megfelelően nagy atommagok kisebbre hasításával nagy mennyiségű kötési energiát lehet felszabadítani, mint azt a mai atomerőművekben teszik is. Hasonló módon energiát lehetne nyerni a kisebb atommagok egyesítéséből (fúziójából), ilyen folyamatok zajlanak a csillagokban is.

Sajnos az atommagok egyesítését akadályozza, hogy minden atommagban pozitív elektromos töltésű protonok ülnek, így a magok erősen taszítják egymást. Lassan (kis energiával) mozgó atommagok nem tudják legyőzni ezt a taszító gátat, és nem jön létre számottevő valószínűséggel magfúzió. Részecskegyorsítóban néhány tízezer voltos potenciálon felgyorsítva a legkönnyebb elemek atommagjai már képesek magfúziós reakciókra, így ezeket a folyamatokat az 1930-as évektől vizsgálni tudták, ezért ma már részletesen ismertek. Az eredmények azt mutatták, hogy a részecskeütközések nagyon kis részében (tipikusan 1/100 000) következik be magfúzió, leggyakrabban az elektro-

mos taszítás biliárdgolyók ütközésének módján löki szét a részecskéket, így szétosztja az energiát a gyorsítóból érkező gyors részecskék és a céltárgyban állók között. Egy fúziós reakcióban ugyan kb. ezerszer több energia szabadul fel, mint az ütköző részecske energiája, mégis a fenti számok alapján könnyen belátható, hogy gyorsítóval indukált magreakcióban a részecskenyaláb teljesítményének csak kicsi része (nagyságrendileg 1%) szabadul fel a fúziós folyamatokban, ezért energiatermelésre nem használható.

A helyzet gyökeresen megváltozik, ha nem gyors részecskéket lövünk álló céltárgyra, hanem minden részecske gyorsan mozog. Egyensúlyi állapotban a részecskék az ismert Maxwell-féle termikus sebességeloszlást fogják felvenni, és átlagosan nem fog energia átadódni a fúziós reakció nélküli ütközésekben. Szükséges tízezer elektronvoltos részecskeenergiának kb. 100 millió °C hőmérséklet felel meg. Ezen a hőmérsékleten a részecskék mozgási energiája lényegesen felette van az elektronok kötési energiájának, így a közegben nem lesznek atomok, hanem az szabad atommagok (ionok) és elektronok keverékéből fog állni. Ezt az állapotot hívjuk *plazmának*. A feladat világos: a fúziós energiatermeléshez 100 millió °C hőmérsékletű plazmát kell előállítani és egyben tartani. Ilyen magas hő-

mérsékleten természetesen semmilyen tartály nem alkalmazható, hanem mágneses terek szükségesek. Másik lehetőség, hogy nem tartjuk össze a forró anyagot, hanem robbanás-szerűen termelünk fúziós energiát.

A Napban az összetartást a hatalmas méret és a gravitációs nyomás biztosítja, így ott stabilan folyik magfúziós energiatermelés hidrogén atommagok héliummá alakításával. Sajnos a Napban egységnyi térfogatra igen kicsi fúziós teljesítmény jut, így földi körülmények között azok a folyamatok nem alkalmazhatók. A lehetséges magfizikai folyamatok közül fúziós erőműben a deutérium és a trícium (a hidrogén két nehéz izotópja) közötti magreakció lenne a legkönnyebben megvalósítható:



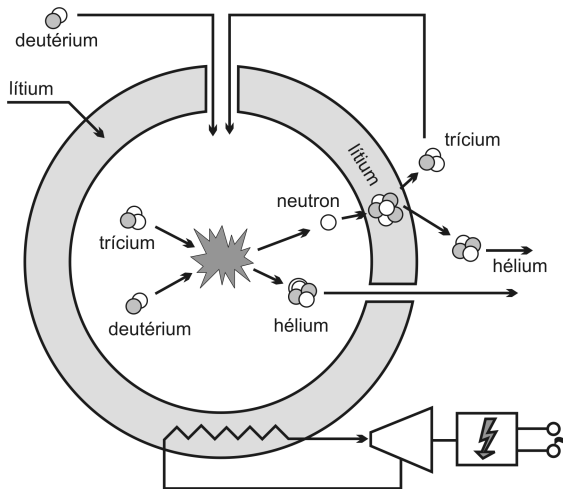
A zárójelbe tett mennyiségek a keletkező részecskék mozgási energiáját jelölik. Mint látható, az energia 80 %-át a neutron viszi el, amely szinte akadálytalanul elhagyja a közeget, és a plazma körüli szerkezeti elemekben lelassítva villamosenergia-termelésre hasznosít-

ható. A ${}^4\text{He}$ atommag (alfa részecske) elektromosan töltött, így nem képes gyorsan megszökni a mágneses térből, hanem energiáját a plazma fűtésére fogja fordítani. Ezzel a sugárzási és egyéb veszteségek ellensúlyozhatók, és a plazma maga fenn tudja tartani a szükséges hőmérsékletet. A rendszer túlmelegedni nem tud, mivel a fúziós reakciók valószínűsége egy optimális hőmérséklet felett csökken.

Alapanyagok, végtermékek, kockázatok

A DT reakció egységnyi tömegből igen nagy mennyiségű energiát termel, egy 1 GW körüli elektromos teljesítményű reaktor évente csak néhány száz kg D és T alapanyagot igényelne.

Ebből a deutérium stabil izotóp, a természetes hidrogénben (pl. vízben) kb. 1/6000 arányban van jelen, tehát szinte korlátlan mennyiségben és egyenletesen elosztva áll rendelkezésre. A trícium ezzel szemben radioaktív, tizenkét év felezési idővel bomlik, ezért a természetben csak nagyon kevés található belőle. Lehetőség lenne viszont T előállítására lítiumból a fúzióban keletkező neutron felhasználásával.



1. ábra • DT reakcióval működő fúziós erőmű elvi vázlata

nálásával. A fent leírt elven alapuló berendezés elvi vázlatát mutatja az 1. ábra. Mint látható a folyamat alapanyagai végül deutérium és lítium, a keletkező anyag pedig kizárólag hélium. A lítium a földkéregben meglehetősen egyenletesen elosztva áll rendelkezésre, nem túl költséges anyag. A világ mai lítiumtermelése is kb. kétszáz fúziós erőmű ellátását tenné lehetővé, tehát ez szintén nem korlát. A héliumkibocsátás évtízezredek alatt sem tudná észrevehetően megváltoztatni a légkör héliumkoncentrációját.

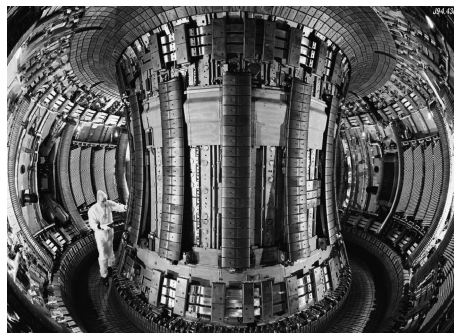
A reakcióban keletkező neutronok a reaktor szerkezeti anyagaiban szintén magreakciókat okoznának, és ezekben valamennyi sugárzó anyag is keletkezne. Ennek mennyisége és milyensége az anyagok megválasztásával befolyásolható. A legfrissebb tanulmány szerint (EFDA2005, 2005) acélszerkezet esetén a sugárzó anyagok kb. száz év alatt bomlanának a veszélyes aktivitás alá, tehát nem jelentenek beláthatatlan időkre problémát.

A fúziós erőművekkel kapcsolatos kockázatok közül elsősorban meg kell említeni, hogy megszaladás, leolvadás jellegű balesetek nem tudnak bekövetkezni, mivel a forró plazma bármilyen probléma esetén a másodperc töredéke alatt lehűl, és a fúziós reakció leáll. A keletkező neutronokkal szemben a berendezés körüli szokásos sugárvédelmi eljárások (például betonfal) tökéletes védelmet nyújtanak. A trícium mennyisége magában a plazmában igen kicsi, kevesebb mint 1 g. Számítások szerint a tríciumszaporító köpenyben, tárolókban, csővezetékekben összesen kb. 1 kg trícium lenne. Egy esetleges baleset során ennek, valamint a szerkezetek felaktiválódása során keletkező más mobilizálható radioaktív anyagoknak az épületből való kiszívargása sem okozna olyan mértékű sugárzást, ami az erőmű területén kívül kitelepítést igényelne.

Hol tartunk ma?

Fúziós kutatások alapvetően két irányban folynak: összetartás nélküli folyamatokkal (inerciális fúzió) és mágneses összetartású plazmákkal. Az előbbi esetén a nyereséges működéshez a felfűtés előtt a DT üzemanyagot a szilárdtestsűrűség kb. tízszeresére kell összenyomni, amelyet nagyteljesítményű lézerekkel, atomnyalábokkal vagy sugárzással próbálnak elérni. Ezek a kutatások várhatóan néhány éven belül be fogják mutatni, hogy egy kapszula felrobbantása lényeges energianyereséggel jár, azonban energiatermelési alkalmazásuk igen sok műszaki és gazdaságossági nehézséget mutat.

A mágnesesen összetartott plazmákkal folyó kísérletek az 1950-es évek óta folynak. Ez alatt számos különböző mágneses konfigurációt próbáltak ki, mai tudásunk szerint ezek közül kizárólag a tórusz alakú berendezések látszanak alkalmasnak energetikai alkalmazásra. Ezek közül is a tokamak nevű konfigurációt jutott legközelebb a gyakorlati hasznosításhoz (2. ábra). Ebben külső tekercek és a plazmában folyó áram mágneses terének eredője adja az összetartó mágneses



2. ábra • A világ legnagyobb tokamak berendezése, a Joint European Torus (JET) karbantartás idején

teret. Az eddigi kísérletek elsősorban a plazma előállítására, fűtésére, mérésére, valamint fizikájának megértésére vonatkoztak, a sugárzási problémák elkerülése érdekében általában tiszta deutériumplazmában. A mai legnagyobb berendezésekben az energetikai alkalmazáshoz szükséges hőmérsékletű és sűrűségű plazmát rutinszerűen elő tudják állítani, a JET tokamakon végzett DT kísérletekben a plazma fűtésére fordított teljesítmény kb. 60 %-át tudták a fúziós reakcióban elérni. A fúziós kutatások történetét foglalja össze nagyon olvasmányosan Kees Braams és Peter Stott könyve (Braams – Stott, 2002). Bár a fúziós plazmák fizikájának megértésében számos hiányosság akad még, a mai eredmények alapján már igen jó bizonyossággal meg lehetett tervezni egy berendezést, amely már reaktorméreteken és -teljesítményekkel lenne képes üzemelni. Ezt a berendezést ITER néven megtervezték, és hét partner (EU, USA, Oroszország, Japán, Kína, Dél-Korea, India) megállapodott a berendezés megépítéséről a franciaországi Cadarche-ban. Jelenleg az engedélyezési folyamat zajlik, és előreláthatóan 2008-ban kezdődik az építkezés. A tervek szerint az ITER 500 MW fúziós teljesítmény előállítását fogja demonstrálni maximum 75 MW fűtési teljesítmény mellett, 500-1000 másodperc hosszú impulzusokban. Elektromos energiát nem fog termelni, és tríciumból sem lesz önfenntartó. Ezzel szemben tesztelni fognak rajta különböző tríciumtermelési eljárásokat, valamint az alfa részecskék fűtőhatását a plazmára. Rövid impulzushossza miatt az ITER-kísérlet egy fontos technológiai kérdést nem tud tisztázni: a szerkezeti anyagok neutronok által történő roncsolását és az ennek ellenálló szerkezeti anyagok kiválasztását. Erre IFMIF néven egy speciális berendezés építése van tervbe

véve, amely egy gyorsító segítségével kis térfogatban olyan energiájú és dózisu neutronbesugárzást tenne lehetővé, amely egy energiatermelő fúziós reaktorban várható. Az IFMIF koncepciói tervei készen vannak, egy EU–Japán megállapodás keretében a közeljövőben kezdődne a mérnöki tervek kidolgozása. Az ITER és IFMIF kísérletek adnák a technológiai alapot az ez után építendő fúziós energiatermelő demonstrációs erőmű (DEMO) építéséhez.

Kereskedelmi fúziós erőművekről 2005-ben készült a legújabb és mindmáig legrészletesebb tanulmány a European Fusion Development Agreement szervezetben (EFDA2005, 2005). Négy tokamakváltozatot vizsgáltak, melyek különböző technológiai megvalósításokat reprezentáltak, valamint megkísérelték figyelembe venni a jövőbeli technológiai fejlődés hatását. Az eredmények szerint a fúziós energiatermelés költsége 3 és 9 eurocent közé becsülhető, tehát valahol a mai hagyományos erőművek és a megújuló források között lenne. Meg kell jegyezni, hogy a fúziós erőművek esetén a működtetési költség csak 10–15 % között van, ezzel szemben a tőkeberuházási költség 65–70 %. Ez utóbbit is néhány nagy alkatrész (szupravezető mágnes, vákuumszisztem) uralja, tehát a technológiai fejlődéssel és szériagyártással együtt járó költségcsökkenés az idő előrehaladásával egyre olcsóbbá tenné ezt a megoldást. Meg kell még említeni, hogy a tokamakok mellett más toroidális konfigurációk fejlesztése is folyik, melyek potenciális előnyökkel kecsegtetnek, azonban még kb. egy generációval a tokamakok mögött járnak.

Mikor lesz fúziós erőmű?

A 2. ábra is érzékelteti, hogy a mai tokamakberendezések nagy méretűek és igen bonyo-

lultak. Az ITER berendezés a JET-nél kb. kétszer nagyobb lesz, a DEMO pedig még akár 50 %-kal ismét nagyobb lehet. Ilyen méretű és bonyolultságú berendezések tervezése, megépítése, kipróbálása egyenként kb. tíz évet igényel. Ennek megfelelően az ITER kísérlet indulását 2016-ra tervezik, először hidrogén-, majd deutériumplazmában. A nagyteljesítményű DT kísérletek valamikor a 2020-as évek elején kezdődhetnek csak. Ezzel párhuzamosan tervezik az IFMIF kísérletet, tehát a 2020-as évek közepére várható, hogy meglesz az összes technológiai információ, hogy a DEMO energiatermelő reaktor terveit befejezzék. Ennek megfelelően a DEMO indítása a 2030-as évek közepére, tehát mostantól kb. harminc évre várható. Ez a szám kísértetiesen emlékeztet az 1950-es évek végén elfogadott nézetre, amikor szintén harminc évre becsülték az első fúziós erőmű megvalósítását. Figyelembe kell azonban venni, hogy

a jelenlegi becslés teljesen más körülmények között született. Az 1950-es években még abban sem volt megállapodás, hogy milyen mágneses geometriát kellene használni nem is beszélve arról, hogy az akkori berendezésekben a maximális hőmérséklet a szükséges érték egy százalékát sem érte el. Evvel szemben ma a plazmák előállításának technikája kiforrott, a bizonytalanság inkább a tartós üzemeltetésben, az optimális szerkezeti anyagokban, a hűtési megoldásban van. A mai információk alapján jó – bár nem 100 % – eséllyel állíthatjuk, hogy három évtized múlva megkezdődhet a fúziós energiatermelés kora. Mivel a technológia elterjedése még ezután is évtizedeket fog igénybe venni, egészen biztos, hogy a fúziós energiatermelés a 21. század első felében nem fog jelentősen hozzájárulni a fosszilis energiahordozók pótlásához.

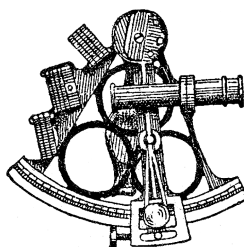
Kulcsszavak: *mágfúzió, plazma, tokamak*

IRODALOM

A Conceptual Study Of Commercial Fusion Power Plants, EFDA-RP-RE-5.0 (a weben: www.efda.org)
http://www.efda.org/eu_fusion_programme/scien-

[tific_and_technical_publications.htm](http://www.efda.org/eu_fusion_programme/scientific_and_technical_publications.htm)

Braams, C. M. (Kees) – Stott, Peter E. (2002): *Nuclear Fusion* – Institute of Physics Publishing, Bristol



A HAZAI NUKLEÁRIS KUTATÁS-FEJLESZTÉS

Hózer Zoltán

PhD, Magyar Tudományos Akadémia KFKI Atomenergia Kutatóintézet
Hozer@sunserv.kfki.hu

Bevezetés

Nukleáris kutatással találkozunk a tudomány számos területén, kezdve az atomfizikától, a biológián, geológián és régészetén át egészen az űrkutatásig. Az alábbiakban elsősorban az atomenergetikához kapcsolódó kutatás-fejlesztésről lesz szó.

Kutatóhelyek

Nukleáris kutató-fejlesztő tevékenységgel több hazai intézmény is foglalkozik, közülük legnagyobb a MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézet (AEKI), ahol közel száz kutató tevékenykedik (MTA, 2005). Az AEKI alaptevékenységének gerincét a reaktorbiztonsági kutatások jelentik, amelyek részben a Pakson üzemelő blokkokra, részben új típusú reaktorokra irányulnak. Az intézetben folyó kísérleti munka kiterjed a reaktoranyagok, a fűtőelemek és a reaktorban végbemenő termohidraulikai folyamatok vizsgálatára normál üzemi és üzemzavari körülmények között, reaktorkémiai és sugárvédelmi mérésekre, valamint a környezeti hatások elemzésére. A Budapest Kutatóreaktor köré települt berendezések a Budapesti Kutatóreaktor Műszerközpont (BKM) keretein belül számos különleges kutatási lehetőséget biztosítanak. Az AEKI-ben kifejlesztett és használt számítógépes modellek lehetővé teszik az atomreaktorok aktív zóná-

jának csatolt neutronfizikai számítását, a termohidraulikai folyamatok korszerű leírását, az atomerőművi blokkok biztonsági elemzéseinek végrehajtását, az ember-gép kapcsolat tökéletesítését és atomerőművi szimulációs szoftverek létrehozását.

A második legnagyobb atomerőműves kapacitással rendelkező kutatóintézet a Villamosenergia-ipari Kutató Intézet Zrt. (VEIKI), ahol az atomerőművi és hőenergetikai divíziókban végeznek ilyen jellegű kutatást. Az intézetben valószínűségi, rendszertechnikai és folyamatszimulációs elemzéseket hajtanak végre a Paksi Atomerőmű biztonság-növelő intézkedéseinek megalapozásához. Számítógépes kódok segítségével súlyos baleseti folyamatokat modelleznek a balesetkezelési stratégiák kidolgozásához. A VEIKI-ben foglalkoznak a paksi konténment modellezésével és vizsgálatával, valamint az atomerőművi berendezések öregedésének kezelésével is.

A hazai oktatási intézmények közül a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nukleáris Technikai Intézetében (BME NTI) folyik a legsokoldalúbb atomenergetikai kutatás. A BME NTI kutatási tevékenysége az Oktatóreaktor mint főberendezés köré csoportosul. Az intézetben akkreditált radiokémiai laboratórium működik. Sugárvédelmi kutatások és nukleáris mérés technikai fejlesztések folynak, és foglal-

koznak a nukleáris energiarendszerek és a nukleáris üzemanyagciklus elméleti vizsgálatával is. Korszerű numerikus módszerekkel reaktor- és neutronfizikai, valamint termohidraulikai elemzéseket hajtanak végre.

A nukleáris kutatás néhány speciális és fontos területét az Országos „Frédéric Joliot-Curie” Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutatóintézet (OSSKI), az MTA Atommagkutató Intézet (ATOMKI), az MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet (RMKI), az MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet (SZTAKI) és az MTA Izotópkutató Intézet kutatói művelik. A Paksi Atomerőmű biztonságos üzemeltetéséhez kapcsolódó kutató-fejlesztő munkában részt vesznek a veszprémi Pannon Egyetem, a Miskolci Egyetem és a Pécsi Tudományegyetem oktatói is.

A nukleáris kutatások finanszírozása

A hazai nukleáris kutatás-fejlesztés finanszírozásának több forrása van. Az MTA költségvetési támogatásával akadémiai kutatóintézetek kapnak lehetőséget nukleáris témák művelésére. Az Országos Atomenergia Hivatal (OAH) az atomenergia békés célú hazai alkalmazásának biztonságával összefüggő kutatási-fejlesztési tevékenységre és a hatósági ellenőrzést szolgáló megalapozó műszaki tevékenységekre ad támogatást pályázatok keretében számos intézménynek (Berki et al., 2005). A Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal (NKTH) által meghirdetett Nemzeti Kutatási és Fejlesztési Programok (NKFP) és a Gazdasági Versenyképesség Operatív Program (GVOP) támogatásával több jelentős hazai nukleáris kutatási-fejlesztési program indult el. Az OTKA-pályázatok csak nagyon szerény részét adják a nukleáris kutatás-fejlesztés évi több milliárd forintra becsülhető költségének. Az Európai Unió (EU) néhány évvel ezelőtt jelentős támogatást

adott az atomerőművek biztonságos üzemeltetéséhez kapcsolódó kutatásokra a volt szocialista országoknak PHARE és TACIS programok keretében. A magyar intézmények már az ország uniós taggá válása előtt részt vehettek az európai kutatási keretprogramokban. A jelenleg futó EU 6. Keretprogram csak minimális finanszírozást irányzott elő a maghasadásos energiatermeléshez kapcsolódó kutatásokra, ennek eredményeként számottevően csökkent a hazai kutatások közvetlen EU-forrásból származó támogatása. A Paksi Atomerőmű Zrt. K+F szerződések formájában komoly összeget fordít az erőmű biztonságos üzemeltetéséhez, fejlesztéséhez kapcsolódó kutatásokra. A Paksi Atomerőmű Zrt. főkonzulensi megbízása alapján az AEKI és a VEIKI közösen vesz részt az erőmű stratégiai döntéseinek előkészítésében.

Nemzetközi együttműködések

Az EU keretprogramok projektjei fontos szerepet játszanak az európai kutatások integrációjában, ill. a kutatási eredmények közzétételében is. A magyar intézmények több projektben is részt vesznek (Gadó, 2004), ezek közül érdemes megemlíteni néhányat. A PERFECT projekt keretében a reaktortartályok anyagainak viselkedését kutatják, a SARNET hálózat az európai súlyos baleseti kutatásokat fogja össze, a HOTLAB projektben pedig meglekamlás kutatások folynak. Korszerű reaktorfizikai és termohidraulikai kódok összekapcsolása a NURESIM projektben lehetővé teszi néhány fontos visszacsatolási mechanizmus jobb megértését. A COVERS projekt a Pakson is működő VVER típusú reaktorok élettartamával és biztonságával foglalkozik. Az ENEN hálózatban részt vevő felsőoktatási intézmények az európai nukleáris mérnök-képzés tapasztalatait osztják meg egymással.

Ma a fejlett piacgazdasággal rendelkező országokat tömörítő OECD által szervezett nemzetközi projektek jelentik a világszínvonalat a nukleáris kutatásokban. A projektben részt vevő intézmények hozzájutnak a projektek keretében született eredményekhez, illetve befolyásolni tudják a tervezett kísérleteket vagy a modellfejlesztések irányát. Az AEKI részvételével zajlik a Halden Reactor Project, amelynek tevékenysége alapvetően három fő kutatási irány köré csoportosítható: atomerőművi fűtőelemek különféle üzemi körülmények között mutatott viselkedésének vizsgálata, atomerőművi szerkezeti anyagok korróziós és öregedési jelenségeinek vizsgálata és számítógépek alkalmazása atomerőművi folyamatok monitorozására, adatfeldolgozásra és az erőművi operátorok tevékenységének támogatására. A súlyos reaktorbaleset során keletkező zónaolvadék tartályon belüli viselkedését kutatja orosz kísérletek alapján a MASCA projekt, míg a zónaolvadék tartályon kívüli kölcsönhatásaival foglalkozik amerikai mérések alapján az MCCI projekt. A két projektben az AEKI, illetve a VEIKI a magyar résztvevő. Az SETH projektben német és svájci nagyberendezéseken végeznek termohidraulikai méréseket, ebben a projektben is az AEKI a magyar résztvevő. A 2003. évi paksi üzemzavart követően jött létre az OECD–IAEA Paks Fuel Project, amelyben jelenleg 14 ország 24 intézménye vesz részt, és a projekt vezetését az AEKI látja el. A projekt jelenleg futó első fázisában a paksi üzemzavar számítógépes analízise folyik. Egy későbbre tervezett második fázisban az üzemzavar során megsérült fűtőelemek melegkamrás vizsgálatára kerülhet sor.

Az OECD mellett működő Nuclear Science Committee 2006-ban felmérte a tagországokban folyó nukleáris kutatásokhoz használt kísérleti berendezéseket. A felmérés-

ben 24 magyar berendezés szerepel, ebből hat az AEKI-ben, nyolc a Budapesti Kutatóreaktor Műszerközpontban, négy az ATOMKI-ben, három a BME NTI-ben és három az Izotóp Intézetben áll rendelkezésre.

Az OECD a számítógépes kódok megbízhatóságának ellenőrzésére könyvtárakat hozott létre, amelyek tartalmazzák a világ legfontosabb nukleáris kísérleteit. Ezekben a könyvtárakban három magyar berendezésen végzett mérések is szerepelnek, mindhárom berendezés az AEKI-ben működik, illetve működött. A 90-es évek elején lezárult ZR-6 méréseket az International Criticality Safety Benchmark Project (ICSBEP) tartja számon. A PMK-2 kísérletek megtalálhatóak a VVER elemzésekhez használandó termohidraulikai rendszerkódok kódverifikációs mátrixában. A reaktortartályon belüli súlyos baleseti folyamatok kódvalidációs mátrixában pedig a CODEX berendezésen végzett kísérletek szerepelnek.

A nemzetközi együttműködésben végrehajtott ZR-6 kísérletsorozat lezárása után Atomic Energy Research (AER) néven magyar vezetéssel létrejött egy szervezet, amely lehetővé teszi az információcserét a VVER blokkokat üzemeltető országok erőművei, hatóságai, tervezői és kutatóintézetei között. A 24 intézmény részvételével működő szervezet alapvető célja a VVER reaktorok biztonságos és gazdaságos üzemeltetésének elősegítése. Az AER jelenleg is több aktív munkacsoportot működtet a zónatervezés, a zónamonitorozás, a hulladékkezelés, a biztonsági elemzések, a hatáskeresztmetszet és a számítási folyamatok dinamikai modellezés területén.

Hazai tudományos együttműködés

A hazai tudományos együttműködés szép példája az új nukleáris energiatermelési módszerek technológiai elemeinek fejlesztésére

létrehozott NUKENERG projekt, amelyet az NKTH finanszíroz. A pályázat célja, hogy a jövő nukleáris energiatermelési módszereinek technológiákat fejlesszen ki, amelyek segítségével a magyar ipar bekapcsolódhat ebbe a kulcsfontosságú iparágba. A pályázat keretében végzendő kutatások egyaránt kapcsolódnak a magfúzió alapuló erőmű prototípusának, valamint a maghasadáson alapuló erőművek új generációjának létrehozásához. A hároméves kutatási program végrehajtására létrejött konzorcium tagja az RMKI, az AEKI, a BME NTI és a BME Műszaki Mechanika Tanszék.

A hazai nukleáris kutatás-fejlesztés eredményeinek bemutatására és megismerésére jó lehetőséget nyújt a Magyar Nukleáris Társaság (MNT) által évente megrendezésre kerülő Nukleáris Technikai Szimpózium

(Aszódi, 2005). A rendezvényen általában ötven előadás hangzik el, ezek jelentős részét fiatal kutatók tartják. A szimpózium megrendezésének kifejezett célja, hogy a külföldi konferenciák mellett magyar nyelvű irodalma is legyen a korszerű nukleáris témáknak.

Következtetések

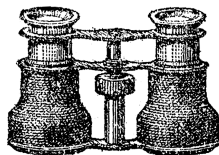
A magyar atomenergetikai kutatásoknak számos, nemzetközi szinten is nyilvántartott eredménye van. A hazai nukleáris K+F tevékenység szorosan kapcsolódik a Paksi Atomerőmű biztonságos üzemeltetéséhez és az atomenergetika jövőbeni, további felhasználásának megalapozásához.

Kulcsszavak: *atomenergia, nukleáris kísérleti berendezések, kutatóhelyek, nemzetközi együttműködések, OECD*

IRODALOM

- Aszódi Attila (2005): Nukleáris Technikai Szimpózium 2004. Magyar Energetika. 1, 21.
 Berki Tamás – Macsuga G. – Szirmai S. (2005): *A magyar nukleáris biztonsági hatóság 2005. évi kutatás-fejlesztési tevékenysége*. MNT szimpózium. Budapest
 Gadó János (2004): Integration of International Research Programmes in Reactor Safety Research:

- Contribution to and Expectations from the New Member Countries. In: Van Goethem, G. – Zurita, A. – Casalta, S. – Manolatos, P. (eds.): *FISA 2003*. EUR 21026, 28–33.
 MTA (2005): *A Magyar Tudományos Akadémia kutatóhelyeinek 2004. évi tudományos eredményei*. I. Természettudományi kutatóintézetek, Budapest



Beszéd és beszédtudomány I.

BEVEZETŐ

Gósy Mária

az MTA doktora, tudományos tanácsadó, egyetemi tanár
MTA Nyelvtudományi Intézet – gosy@nytud.hu

A beszéd mindennapi tevékenységünk, már két-három éves korunktól mindennapjaink része. Elmondjuk a gondolatainkat és feldolgozzuk, értelmezzük mások közléseit. Kiejtjük anyanyelvünk hangjait, szavait úgy, hogy azok mások számára is érthetők lesznek; és rendszerint nem is tudatosodik bennünk, hogy eközben milyen bonyolult feladatokat végzünk. Ezzel csak akkor szembesülünk, ha a folyamatban valahol valami zavar keletkezik, például nem tökéletes a beszélő artikulációja, hezitálások törik meg a folyamatos beszédet, háttérzaj nehezíti a feldolgozást, avagy az észlelési, értelmezési folyamatok hibásan működnek.

A beszéd két alapvető kérdése, hogy a) a beszélő miként alakítja át a gondolatait folyamatos artikulációs mozgásokká, és b) a hallgató miként bontja ki a folyamatosan érkező akusztikai jelsorozatból a nyelvi egységeket, a hallott, eredeti tartalmat. Noha a beszéd kutatás a fonetika tudományának tárgya, tágabban pedig a nyelvtudomány része, az

előbbiekből mégis nyilvánvaló, hogy csak interdiszciplináris megközelítésben vizsgálható, így számos más tudományterülettel tart szoros kapcsolatot (pszicholingvisztika, fiziológia, akusztika, neurológia stb.).

A *Magyar Tudomány* három egymást követő számában összesen több mint tíz cikkben adunk áttekintést a magyar beszédtudományról. A tanulmányok egy része kísérleti kutatásokról szól, más része alkalmazott kutatási eredményeket tárgyal, illetve gyakorlati alkalmazásokat mutat be. A szerzők célja, hogy bepillantást nyújtsanak az olvasónak a beszédprodukció és a beszédpercepció működésére, problémáira, kutatott területeire. A kapott eredmények több tudományterületen használhatók fel, az alapkutatások pedig társadalmi-gazdasági hasznosításokhoz is vezethetnek.

Kulcsszavak: *artikuláció, akusztikum, semleges magánhangzó, hezitálás, társalgás, szünet, hűmögés, alaphangmagasság, prozódia, felolvasás, artikulációs tempó*

A SEMLEGES MAGÁNHANGZÓ: A FUNKCIÓ, A KIEJTÉS ÉS AZ AKUSZTIKUM ÖSSZEFÜGGÉSEI

Gósy Mária

az MTA doktora, tudományos tanácsadó, egyetemi tanár
MTA Nyelvtudományi Intézet – gosy@nytud.hu

A hangszalagokat megrezegtető levegő eredménye a zöngé vagy elsődleges hang, amely a garatüregben, szájüregben, avagy az orrüregben módosul az ott lévő beszédszervek egy adott nyelvre jellemző működése következtében. A szájüreg alakja változik attól a parancstól függően, amit az agy küld egy adott magánhangzó létrehozása céljából. A magánhangzók képzésére a teljes szájüreg a rendelkezésünkre áll, a biológiai rendszer relatív rugalmassága nagymértékben érvényesülhet a kiejtés folyamán. A beszédképzés stabilitását magyarázó ún. kvantális elmélet szerint (Stevens, 1972) egy nyelv artikulációs mozgásai között léteznek olyan igen kicsi változások, amelyeket az ember hallás alapján nem észlel. Az artikuláció tehát rugalmasabban mehet végbe.

A magánhangzók leírásának problémáját úgy igyekeztek megoldani, hogy létrehozták a kardinális magánhangzók rendszerét, amelyben meghatározott észlelési referenciapontok szolgálnak az egyes magánhangzók képzésének elméleti meghatározására. Eredetileg nyolc magánhangzó volt ebben a rendszerben, ami további 22 típussal egészült ki (vö. Gósy, 2004). A semlegesnek nevezett

magánhangzó, a svá középponti helyet foglal el ebben, ejtésekor a nyelv a szájüregben – mindkét irányban – lényegében középen van. Hangzásában a magyar *ö* magánhangzóhoz áll a legközelebb.

A semleges magánhangzónak sokféle neve van, mint homályos, meghatározhatatlan, redukált, centrális, mormolt, illetve hangsúlytalan szótagi magánhangzó. A leggyakoribb megnevezése a *svá*; ez a szó maga a héberből ered, a jelentése ‘semmisség’. Az angolban elsőként Peter Giles használta egy filológiáról szóló tankönyvében 1895-ben. Jelölésére a megfordított „e” betű ([ɘ]) ugyanakkor sokkal régebben megtalálható a fonetikában a mai hangtani szimbólumértékkel. Így elsőként Johann Andreas Schmeller használta 1821-ben. A svá a világ számos nyelvében megtalálható, ám ejtésük nagy különbségeket mutat.

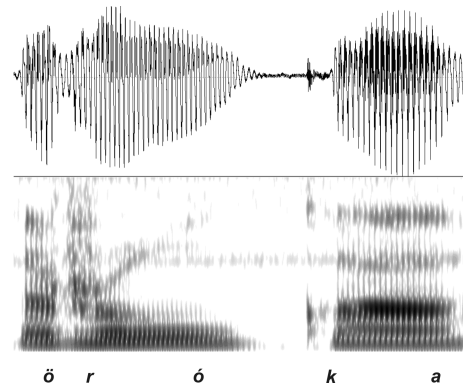
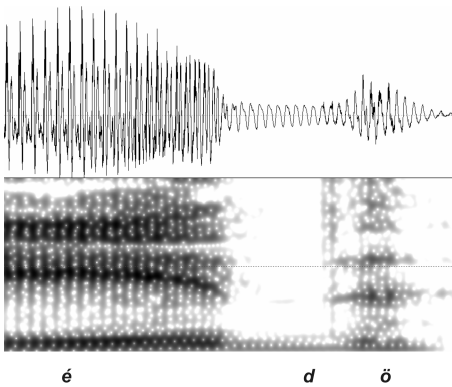
A magyar hangtan történetében hárman foglalkoztak a „határozatlan hangszínű” magánhangzókkal (vö. Vértess, 1980). Kyss Sándor a 19. század legelején „vocalis elementaris”-nak nevezte, és úgy vélte, hogy orrhangú magánhangzó, amelyre a – bár nem kizárólagos – zárt szájjal való ejtés a jellemző. Szerin-

te csupán a *l*, *r*, *m*, *n* mássalhangzókkal alkotott szótagot. Néhány évtizeddel később Matúsik András leírja, hogy a nyögő betegek is hallatják ezt a hangot, valamint hogy a sírásban, a nevetésben, a morgásban is hallható; továbbá az igenlésben, a tagadásban, sőt a csodálkozás kifejezésében is tettenérhető. Kerekes Ferentz fontos megállapítása volt a század közepén, hogy összekapcsolta a felpattanó zárhangok ejtésével. A semleges magánhangzó említése a magyar fonetikákban a 20. század végéig azonban csak elvétve fordult elő.

A svának csak egyik sajátossága, hogy nyelvenként eltérő lehet a kiejtése. Ez a magánhangzó a szokásosnál több nyelvi funkcióval rendelkezik egy nyelven belül is. A különféle nyelvek magánhangzórendszerét áttekintve azt látjuk, hogy lehet fonéma, ami azt jelenti, hogy szavak jelentéseit különíti el, mint pl. az amharik, a sindi vagy a szlovén nyelvben. Előfordul ilyen funkció nélkül is, egyszerű változatként, pl. a horvátban, a katalánban vagy az írban. Létrejöhet valamiféle szabály eredményeként, mint a hollandban. A németben egyidejűleg fonéma és variáns; a héberben pedig egy másik magánhangzó hiányát

jelzi. Gyakran egyéb magánhangzókat helyettesít, így az angol spontán beszédben 22,9 %-ban, a németben mintegy 30 %-ban, a franciában 7,6 %-ban, a magyarban akár 30–40 %-ban is. Ez utóbbiak oka egyfelől a beszédtempóban, másfelől az elnagyolt artikulációban keresendő.

További funkciójában a magyar nyelvben a svá megjelenik a beszédhangok egymásra hatásának következményeként. Ez egyfajta fiziológiai kényszer, vagyis a beszélő szándéka ellenére ejti ki egy adott hangkörnyezetben a semleges magánhangzót. Ha odafigyelve mondjuk a gnú (ejtésben: *gönü*) vagy a teknő (ejtésben: *tekönő*) szavakat, akkor érzékelhető lesz a két mássalhangzó közötti magánhangzó. A szó végén előfordul egy mássalhangzó (ha nem követi őket újabb szó) is csak úgy ejthetők ki, hogy hallható lesz a svá, például az ad (ejtésben: *adö*) szóban. A *r* mássalhangzónk szó eleji helyzetben egy rövid svát tartalmaz, amit nem is veszünk észre, amikor például a róka szó hangzik el, pedig valójában azt halljuk, hogy *öróka*. A *véd* és a *róka* szó ejtéséről készült rezgésképet (felső ábrarész) és hangszínképet (alsó ábrarész) szemlélteti az 1. ábra.



1. ábra • A semleges magánhangzó a (*v*)éd szóban abszolút mondatvégi helyzetben és szó eleji helyzetben a róka szóban (a függőleges tengelyen a frekvencia, a vízszintesen az időtartam látható)

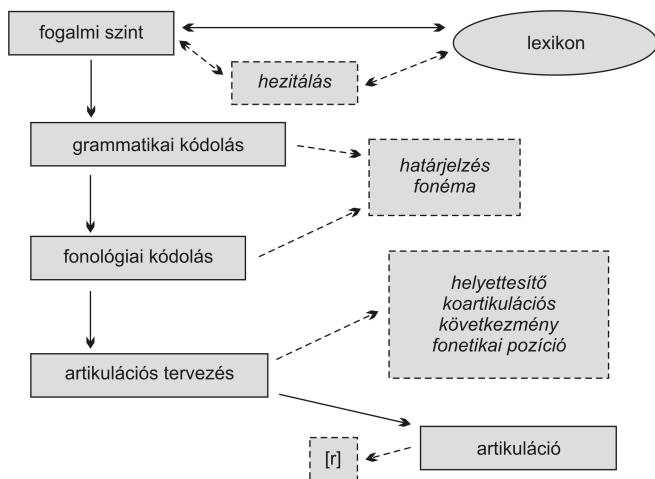
Sok esetben a beszélő értelmi, érzelmi vagy egyéb okból hangsúlyozni kíván valamit a beszéd során. Ilyenkor is rendszerint megjelenik a semleges magánhangzó. Például egy haragosabb, mérgesebb ejtésben a *Tedd le!* felszólítás első szavának végén hallható lesz. Hasonlóképpen a svá egyértelműsíti, hogy pl. az hangzott-e el, hogy *halálok*, avagy *halál ok*. Egy egészen más funkcióban találjuk a semleges magánhangzót az anyanyelv-elsajátítás gögicselési szakaszában. Ekkor proto-magánhangzó, amit a csecsemő nem tudatosan hoz létre. A felnőtt környezet pedig a hangélményt a semleges magánhangzóval azonosítja.

A spontán beszéd egyik jellemzője, hogy a beszélő a tervezési, tartalmi bizonytalanság, illetőleg az átmeneti szótalálási nehézségek következtében megakad, s ez nemegyszer hangadással jár együtt. Ezt nevezzük hezitálásnak, ismertebb nevén *özésnek*. A magyarban a hezitálás leggyakrabban a svászerű hanggal történik, vagyis a semleges magánhangzó egy újabb funkcióban, a beszédtervezési folyamat problémajelzőjeként jelenik meg. A magyarban összesen nyolc

különböző funkcióban fordulhat elő a semleges magánhangzó (a gögicselt svák nélkül), s ezek a beszédproduktions folyamat különböző szintjeihez kapcsolhatók (2. ábra).

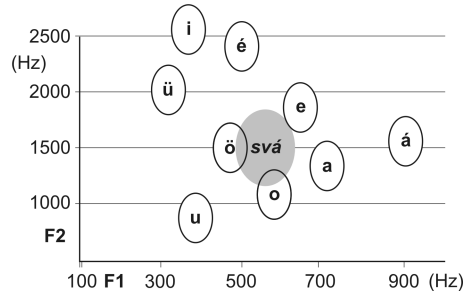
A beszédést egyrészt az átadásra szánt gondolat megtervezése, másrészt az annak megfelelő aktuális nyelvi forma hozzárendelése előzi meg. A kettő rendszerint olyannyira egyszerre zajlik, hogy a beszélő nincs is tudatában a kétféle folyamatnak. A fogalmi szinten történik az üzenet generálása, amelyhez helyzetismeret, háttértudás, a diskurzus sajátosságai és más tényezők ismerete szükséges. A preverbalis üzenet ekkor lényegében megszületik, majd először a grammatikai, azt követően pedig a fonológiai kódolás megy végbe. Mindkettő kapcsolatban van a mentális lexikonnal. A grammatikai és fonológiai tervezést követően létrejön az artikulációs tervezés, a kivitelezés előkészítése, és ezt követi a kiejtés.

A fonetikai kutatásnak választ kell adnia arra a kérdésre is, hogy vajon a funkcióknak megfelelően van-e különbség a semleges magánhangzók képzetében, és ez akusztikailag ki-



2. ábra • A semleges magánhangzó megjelenése a beszédproduktions folyamatban

mutatható-e. A svák időtartamának elemzései azt igazolták, hogy szignifikáns a különbség a hezitáláskor előforduló és a más nyelvi funkciójú svák között. A magánhangzók minőségét meghatározó akusztikai összetevők, a formánsok alakulása is egyértelműen igazolta a funkciófüggőséget. Az első formáns (F1) értéke mintegy 320–640 Hz, a második formánsé (F2) pedig 1300–1900 Hz között realizálódik, a funkciótól függően szignifikáns különbségekkel. A 3. ábra az F1/F2 koordináta-rendszerében ábrázolja a magyar magánhangzókat és a svát. A koartikulációban megjelenő semleges magánhangzók első formánsainak frekvencia-értéke jelentősen különbözik az összes többitől; a legnagyobb a szórás a határjelzés esetén és a pergőhang részeként. A második formáns adatai csak a szórástartományban mutatnak eltéréseket. Ez az eltérés valószínűsíthetően a funkcionális különbségek hordozója. Ha mind az első, mind a második formáns értékeit egyidejűleg vesszük tekintetbe, akkor a koartikuláció és a hezitálás, valamint a szóvég és a határjelzés svái között találunk szignifikáns akusztikai eltérést. A svá és a magyar ö magánhangzó akusztikai szerkezete szintén döntően különbözik. Mindez azt jelenti, hogy a beszélők talán nem tudatosan, de bizonyos fokig eltérően ejtik a semleges magánhangzót az egyes nyelvi funkciók realizálásakor. Még a gögicsélt svák és a gögicsélt ö hangok első formánsai is szignifikáns különbséget mutatnak.



3. ábra • A magyar magánhangzók és a svá sematizált elhelyezkedése az F1/F2 függvényében

A semleges magánhangzót életünk első heteitől használjuk a legkülönbébb helyzetekben és funkciókban. Ez a centrális, multifunkcionális magánhangzó nagyon sok nyelvben fellelhető. Más nyelvek semleges magánhangzóit hallgatva, egy magyar anyanyelvű nem feltétlenül svát fog észlelni, hiszen a 'semlegesesség' fonetikailag azt jelenti, hogy az adott nyelv magánhangzórendszerében tekinthető ez a hang semlegesnek vagy köz(ép)pontinak. Több mint 200 évvel ezelőtt Kempelen Farkas azt írta a könyvében, hogy az emberi fül könnyen „becsapható”, hiszen azt hallja, amit akar hallani (1791). A semleges magánhangzó példája nyilvánvalóan igazolja ezt a régi megállapítást.

Kulcsszavak: *beszédproduktions folyamat, fonetika, semleges magánhangzó, artikuláció, formánsok, a svá funkciói*

IRODALOM

- Gósy Mária (2004): *Fonetika, a beszéd tudománya*. Osiris, Budapest
 Kempelen, Wolfgang von (1791): *Mechanismus der menschlichen Sprache nebst der Beschreibung seiner sprechenden Maschine*. Wien

- Stevens, Kenneth N. (1972): The Quantal Nature of Speech: Evidence from Articulatory-Acoustic Data. In: David, E. E. – Denes, P. B. (eds.): *Human Communication: A Unified View*. McGraw Hill, New York, 51–56.
 Vértés O. András (1980): *A magyar leíró hangtan története az újgrammatikusokig*. Akadémiai, Budapest

A TÁRSALGÁS HANGTANA

Markó Alexandra

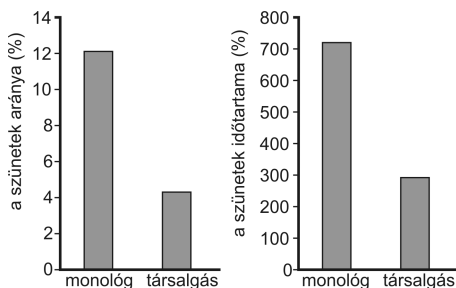
PhD, Eötvös Loránd Tudományegyetem Fonetikai Tanszék
markoxa@ludens.elte.hu

A társalgás a legtermészetesebb és legáltalánosabb beszédhelyzet, a magyar prozódiai¹ kutatások mégis csak a legutóbbi időkben irányulnak a többszereplős beszédformákra – a spontán beszéd vizsgálatának részeként. A külföldi szakirodalomban sok szempontú elemzések olvashatók a társalgások hangtanáról (például Couper-Kuhlen – Selting, 1996) – a magyar anyagon végzett prozódiai szempontú elemzések eddigi talán legérdekesebb eredményei a társalgás szünetezésének és (a nem verbális hangzási sajátosságok közül) a hűmmögésnek a vizsgálatából születtek.

A társalgás szünetezése több vonatkozásban is eltér a monologikus (vagy interjúszerű) helyzetek szünetezésétől, hiszen jelentős különbséget okoz az aktív beszélők száma. Kutatásunkban egy négy résztvevős, közel kétórás társalgás időparamétereit vizsgáltuk – összevetve ugyanazon beszélőknek egy történet elmesélésekor (azaz monologikus helyzetben) mért szünethasználatával. Azt találtuk (1. ábra), hogy a beszélők a teljes beszédidő arányában csak harmadannyi szünetet tartanak a társalgásban, mint a monológban; és a szünetek átlagos időtartama is több mint felével csökken (az eltérések szignifikáns voltát a statisztikai próbák igazolták).

¹ *Prozódia*n (más néven szupraszegmentális szerkezeten) a beszédhangokon túli, globális beszédjellemzőket; a beszéd dallamot (hanglejtést), hangsúlyt, beszédtempót, ritmust, a szünetet, a hangerőt és a hangszínezetet értjük.

Ezt azzal magyarázhatjuk, hogy a társalgásban sokkal hatékonyabban kell kihasználnunk a rendelkezésre álló időt, hiszen ha túl hosszú szünetet tartunk, azzal lehetőséget adunk a partnernek, hogy átvegye a szót. Természetesen ennek ellenére előfordulhat, hogy a szünet hosszára nyúlik (valamilyen beszédtervezési probléma miatt), mégsem szól(nak) közbe a beszélőtárs(ak). Megnéztük ezért, hogy a hosszú (fél másodpercet meghaladó) szünetek esetében mi akadályozza meg a szóátvételt. Az esetek közel 80 %-ában a nyelvtani szerkezet nem teljes – többnyire kötőszó után tart szünetet a beszélő, ritkábban névelő után, de az is előfordul, hogy a jelző és a jelzett szó vagy az ige és a vonzata között. Ugyancsak a folytatás szándékára utal, ha a beszéddallam megemelkedik a szünet előtt, vagy tartalmilag hiányos a közlés. Ilyen jelekből tudja a többi résztvevő, hogy nem érkezett el a szóátvétel ideje.



1. ábra • A szünetek aránya a teljes beszédidőhöz viszonyítva (balra) és átlagos időtartamuk (jobbra) a monológban és a társalgásban

Más, kiegészítő magyarázat is kínálkozik a társalgásbeli kevesebb és rövidebb szünetre – mégpedig az, hogy ilyenkor a többiek beszéde alatt lehetőség van (legalább részben) a mondandónk előzetes megtervezésére. Ezzel szemben a monologikus helyzetben a tervezés és a kivitelezés egy időben zajlik (és akár meg is zavarhatja az egyik a másikat). Ezt a feltevést könnyen be is bizonyíthatjuk, hiszen a pszicholingvisztikában általánosan elfogadott nézet, hogy az ún. kitöltött szünetek (hétköznapi néven az *özés*) megjelenése mindig valamilyen beszédtervezési problémára utal (vö. Gósy, 2005). Ha tehát a társalgásban kevesebb kitöltött szünet fordul elő, az azt jelenti, hogy ekkor valóban könnyebb a beszédfeladat. Feltevésünk igazolódott: minden beszélőnél 50 %-kal vagy még többel csökkent a kitöltött szünetek előfordulása a társalgásban, függetlenül attól, hogy mennyire jellemző az illető beszédére ez a sajátosság. Összességében harmadannyi „özés” fordult elő a társalgásban, mint a monológokban (ez az eltérés is szignifikáns).

Eddig az egyes beszélők által tartott szüneteket vizsgáltuk meg, összehasonlítva a társalgásra és a monológokra jellemző értékeket. A társalgásban azonban vannak olyan „csönd”-ek is, amelyek két beszélő megszólalása között jelennek meg a szóátadás-szóátvétel helyén. Elemeztük ezeknek a **hallgatások**nak a jellemző időparamétereit is, és azt találtuk, hogy a hallgatásnak létezik maximális időtartama, ameddig a résztvevők „eltűrik”, hogy nem szólal meg senki. Az általunk rögzített társalgásban ez mintegy öt másodperc volt. Ha ennél hosszabb ideig volt csönd, akkor a beszélők kommentálták a kellemetlen helyzetet, például: „na, valaki mondjon valamit, mert szerintem csalódnai fognak”; vagy: „ketyeg az óra”; de az is előfordult, hogy

nevetés tört ki. Ez az eredmény bizonyítja a Geoffrey N. Leech (1983) által felállított udvariassági alapelvek közül az ún. *fatikus maxima* létét, amely szerint a társalgásban kerülni kell a csendet. Valószínűsíthető, hogy a hallgatás maximális időtartama nemcsak kultúránként változó, hanem azt a résztvevők száma, kora, neme, társadalmi státusa stb. is befolyásolja.

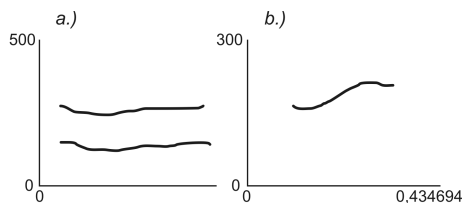
A társalgás nemcsak prozódiai jegyeiben tér el a monológtól, hanem – egyebek között – abban is, hogy előfordulnak benne bizonyos hangzó, mégis a nem verbális jelek közé tartozó jelenségek, amelyek a monologikus helyzetekben (ugyanilyen funkcióban) sohasem jelennek meg. Ilyen az általunk „**hümmögés**” gyűjtőnévvel illetett jelenségkör is, amelynek több formája van, s mindegyikük más-más jelentést hordoz. A hümmögés első hangtani meghatározása Vértes O. Andrásnál (1987) olvasható, aki *hmgetés* néven tárgyalta a nyelven kívüli hangjelek között – a köhögés, a tüszentés, a torokköszörülés, a sóhajtas stb. mellett. Vértes a hümmögést létrehozó artikulációs folyamatot így határozta meg: „hmgéteskor zöngét és [ŋ]-féle hangot képzünk, ezek levegője orrunkon át távozik” (56).

A hümmögés első kísérleti vizsgálatát magyar adatközlőkkel 2005-ben végeztük el, itt a beszélőknek (10 nő és 10 férfi) elképzelt helyzetekben, megadott jelentést kifejezve kellett hümmögniük. Közel 400 előfordulás alapján hümmögéstípusokat határoztunk meg, megvizsgáltuk ezek akusztikai jellemzőit, és észlelési tesztek segítségével ellenőriztük az eredmények valóságát. Mivel a tesztekben nemcsak magyar anyanyelvűek vettek részt, az is bizonyítást nyert, hogy a vizsgált hümmögésformák több európai nyelvben azonos szerepben használatosak. Pontosítottuk a Vértes-féle definíciót: megállapítottuk,

hogy a [ŋ]-szerű zörej csak egyes típusokra nézvést kötelező vagy lehetséges, néhány hümmögéstípusban kerülendő (Markó, 2005).

A kísérleti helyzetben rögzített hanganyagok elemzése után szükségesnek és időszerűnek láttuk spontán módon megvalósult hümmögések vizsgálatát is, így ezt a fentebb bemutatott négy szereplős társalgás alapján tettük meg. Összesen 63 hümmögést találtunk a felvételen, körülbelül egyenlő arányban a négy adatközlőtől. Ezek közül 33 azonban akusztikai fonetikai eszközökkel nem volt elemezhető, mert valamely beszédpartner közlése alatt hangzott el. A vizsgálat anyagát tehát végül 30 hümmögés képezte. Funkciójuk szerint ezek elsősorban egyetértést és odafigyelést jelző hümmögések (22 előfordulás); 7 hümmögés kérdő jellegű; és mindössze egyetlen olyan hümmögés van a korpuszban, amely a közlő egyet nem értését fejezi ki. Megjegyezzük, hogy a társalgásbeli összes hümmögés túlnyomó többsége (mintegy 70 %-a) is egyetértő, jóval ritkábbak a kérdők (17,5 %), és nem találtunk több nemleges funkciójú hangjelenséget az egész társalgásban sem (a maradékot más funkciójú hümmögések teszik ki, például meglepődést, elismerést stb. kifejezők). Valószínűsítjük, hogy ezek az arányok a hétköznapi informális társalgásokban megjelenő hümmögések megoszlását is jellemzik.

Az eredmények közül az egyetértő és a kérdő hümmögés akusztikai sajátosságait mutatjuk be röviden. Az **egyetértő hümmögések** egy szótagnyi időtartamban valósulnak meg, a nőknél általában valamivel hosszabban, mint a férfiaknál. Időszervezetük egyharmad-kétharmad arányú egységeket tartalmaz, és mindegyiknél megjelenik a [ŋ]-szerű zörej a tagoló pontnál. A dallammenet lapos rajzolatú, és jellemző rá az ereszkedő-emelkedő



2. ábra • Két hümmögéstípus jellemző dallammenetei: a) egyetértő; b) kérdő hümmögés (az *x* tengelyen az idő, az *y* tengelyen a frekvencia látható)

hangmenet. A hangterjedelem szűk. A 2. a) ábrán egy női és egy férfi adatközlő egyetértő hümmögésének dallamgörbéje látható, a vonalak szinte párhuzamosan futnak. A **kérdő** hümmögések időtartama valamivel rövidebb, mint az egyetértőké, nem tagolódnak, és nem jelenik meg bennük [ŋ]-szerű elem. A dallam jellemzően emelkedő. A hangköz általában nem tágabb, mint az imént vizsgált típusban, de magasabb hangfekvésben valósul meg a hümmögés (2. b) ábra).

Ha összevetjük a társalgás és a célzott kísérlet korpuszáinak hümmögéseit, azt találjuk, hogy a kísérleti anyagban markározottabbak, mint a spontán helyzetben. Ezt a tanulságot kiterjesztve feltételezzük, hogy más nyelvi adatok spontán és „laboratóriumi” megvalósulásait összevetve ugyancsak jelentős különbségeket találhatunk a kidolgozottság és a tervezettség tekintetében. Vagyis elképzelhető, hogy a laboratóriumi korpuszok olyan ideális formákat tartalmaznak, amilyeneket a normál beszédtevékenység során alig tapasztalunk, csak prototípusokként írhatók le. Ugyanakkor a laboratóriumi korpuszok sokkal alkalmasabbak arra, hogy sok adatközlőtől nyerjünk nagyszámú vizsgálható hangzó jelenséget, így statisztikai jelentőségük is van – szemben a természetes helyzetekben rögzített beszédkorpuszokkal, amelyeknél az adatközlők és az előfor-

dulások száma csak igen hosszadalmas gyűjtő és elemző munka révén érheti el a statisztikai módszerekkel is elemezhető mennyiséget.

Többek között ez is alátámasztja a spontán beszéd egyre szélesebb körű és részletezőbb vizsgálatának fontosságát.

Kulcsszavak: *társalgás, prozódia, szünet, hallgatás, hümmögés, korpusz*

IRODALOM

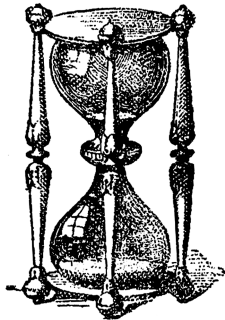
Couper-Kuhlen, Elizabeth – Selting, Margret (eds.)
(1996): *Prosody in Conversation. Interactional Studies*.
Cambridge University Press, Cambridge

Gósy Mária (2005): *Pszicholingvisztika*. Osiris, Bp.

Leech, Geoffrey N. (1983): *Principles of Pragmatics*.
Longman, London

Markó Alexandra (2005): „Szavak nélkül”. Nonverbális
vokális közlések fonetikai elemzése. Magyar Nyelvőr.
129, 1, 88–104.

Vértes O. András (1987): *Bevezetés a magyar hangstilisztika*
kába. Nyelvtudományi Értekezések 124. Akadémiai,
Budapest



BESZÉDSTRATÉGIÁK A PROZÓDIA TÜKRÉBEN

Olaszy Gábor

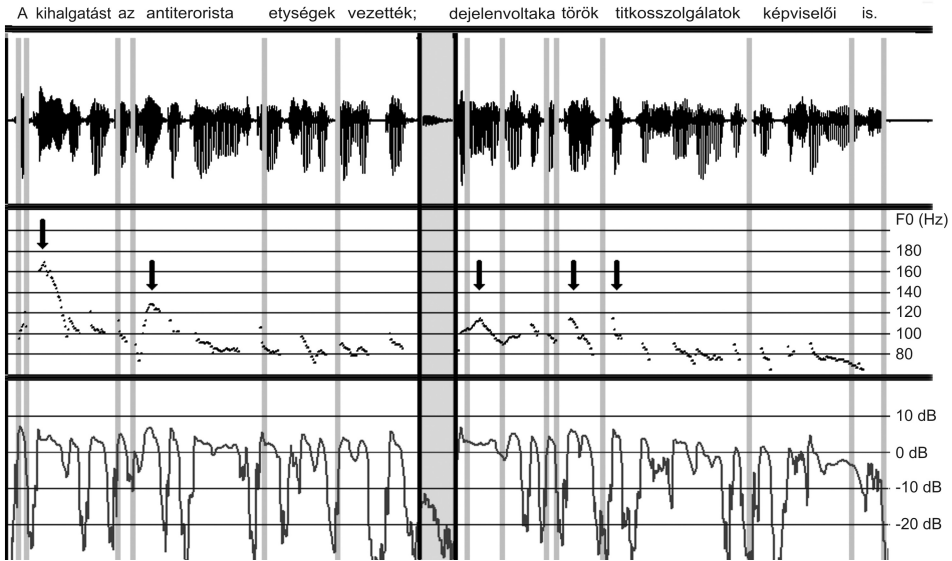
az MTA doktora, tudományos főmunkatárs, egyetemi tanár
MTA Nyelvtudományi Intézet
olaszy@nytud.hu

A beszéd egyedi és egyéni produktum. Egyedi, mivel ugyanazon beszélő sem tud két teljesen azonos hullámformával rendelkező beszédjelet létrehozni, a finom részletekben mindig van eltérés. Mindez a beszélés biológiai rendszeréből fakad. Egyéni pedig azért, mert a megformálás mindig egy adott személyhez kötődik. Az egyedi és egyéni sajátosságok egyszerre vannak jelen a beszédjelenben. A prozódia, vagyis a dallam, a kiejtés sebessége, a ritmus, a hangsúlyozás, a hangerő és a hangszínezet változtatása adja a beszéd kifejező erejét; érzékeltethetjük vele a mondatok különbözőségét, a lelkiállapotunkat, azt is, hogy mit tartunk fontosnak a közlendőnkben és mit nem, nemegyszer a tartalom egyértelműsítését biztosítjuk ezen a módon. A szöveg tartalma is befolyásolja a prozódiai megformálást, felolvasáskor is. A beszélő ekkor szinte automatikusan alkalmaz egyfajta stratégiát a szöveg függvényében. Másként olvassuk a híreket, másként egy novellát, egy mesét, egy hirdetést, illetve megint más beszédstratégiát alkalmazunk, ha szabadon, spontán fogalmazunk. A kérdés, hogy tudományos módszerekkel miként lehet a hallott különbségeket jellemezni, rendszerezni, leírni.

A jelen kutatás célkitűzése az volt, hogy számadatokkal határozzuk meg azokat az

invariáns (állandó) prozódiai jegyeket, amelyekkel az egyes szövegtípusokhoz tartozó felolvasási stílusok köthetők, illetve a spontán beszéd jellemezhető. A kutatónak az elhangzó beszéd, valamint a származtatott szöveg áll a rendelkezésére. A beszéd prozódiai szerkezetének megformálásakor elméletileg két szintet különböztetünk meg, a nyelv által meghatározottat és a beszélő személyt mint a produkciót közvetlenül megvalósító és befolyásoló tényezőt. A nyelv határozza meg a prozódia alapelemeit, a jellemző dallamformákat, a hangsúlyozást, az időszerkezetet (hangidőtartamokat, artikulációs sebességet, ez utóbbit hang/secundumban [hang/s] megadva), a szó ritmusát, a szünetek időtartamát és számát, valamint a hangerő-változtatásokat. A nyelvi szintű prozódiai elemekkel fejezzük ki alapvetően a mondatok modalitását (típusát) is (*i. ábra*).

A magyar és más nyelvek prozódiai alapelemeinek feltárása már nagyrészt megtörtént (például: Hirst – Christo, 1998; Varga, 1994; Olaszy 2002, 2005). A beszédjel tartalmazza a beszélő személy egyéni megformálásait is, azt, hogy a nyelvi szintű prozódiai elemeket milyen módon variálja a különböző beszédstratégiák alkalmazása során. A beszédstratégiák ilyen szempontú jellemzése a



1. ábra • A kihallgatást az antiterrorista egységek vezették; de jelen voltak a török titkosszolgálatok képviselői is. A mondat rezgéskepe (fent), dallamgörbéje, nyilakkal jelölve a hangsúlyokat (középen) és intenzitásviszonyai (alul). A két mondatrész közötti néma szünetet szürke sáv jelöli.

jelenlegi kutatások egyik legfontosabb területe. Vizsgáltuk a hírolvasást, a mesemondást, a prózafelolvasást, a reklámok hangzását, valamint a riportelbeszélést mint spontán beszédet. Mindegyik sajátos, jól elkülöníthető beszédstratégiával hangzik fel, relatíve függetlenül a beszélőtől. Az elemzési eredmények közül itt az időszerkezeti tényezőkre kapott megállapításokat tárgyaljuk.

A hírolvasás. A beszélő egyik legjellegzetesebb időszerkezeti paramétere az artikulációs sebesség. Az elnevezés azt jelenti, hogy ténylegesen hány hangot ejt másodpercenként a

beszélő, milyen gyorsan mozognak az artikulációs szervei. A tartott szüneteket nem vesszük figyelembe a számításnál. A hírolvasáskor mért adatokat (négy férfi, két női bemondó) az 1. táblázat mutatja.

Az artikulációs tempó beszélőfüggő, azon belül is széles skálán valósul meg mindegyik bemondónál. A közlemény elejét a beszélők a rájuk jellemző átlagos artikulációs tempónál magasabb értékkel, azaz gyorsabban indítják. Ha hangsúlyozott szóval kezdődik a mondat, akkor ez különösen jellemző lesz. A közlemény hosszától és összetettségétől

Artikulációs sebesség (hang/secundum)	Bemondók					
	F1	F2	F3	F4	N1	N2
Átlagérték	13,26	14,3	14,1	14,8	13,8	13,8
Minimumérték	11,22	10,83	10,53	12,15	9,45	11,76
Maximumérték	15,12	16,66	15,79	17	16,9	16

1. táblázat • Hat hírolvasó artikulációs sebességének adatai

függően relatíve széles tartományban (20 % körüli eltérések is lehetnek) variálódhatnak az artikulációs tempók. A változások természetesen összefügghetnek a szöveg tartalmával. A mondat belseji szerkezethatár előtt lassítás, illetve szinten tartás tapasztalható. A lényeges információt hordozó szövegrésznél, főleg a mondat belsejében, a hangsúlyozás a tempó lassításában jelentkezik a hangsúlyozni kívánt szótagban. A nem hangsúlyos rész pedig gyorsul. Ezt a stratégiát fordítva is alkalmazták, a lényeg a tempóváltoztatás. A szünettartással kapcsolatban is jellegzetes tendenciák állapíthatók meg. A szerkezethatárokon megjelenő szünetek hossza mondatokon belül is módosul. A szünetek időértékei jellemzők a bemondó személyre. A mondatközi szünetek lényegesen hosszabbak, mint a mondat belsejiek. A hangnyújtást rejtett szünet kialakítására használják, ezzel ritmikai és hangsúlyozási komponenset visznek a beszédjelbe.

A mesemondás. Az artikulációs sebesség ekkor kisebb, mint a hírolvasás esetén; három beszélő átlagértékei a következők: 11,9 hang/s (8,25–14,5 hang/s), 12,2 hang/s (9,2–15,9 hang/s) és 11,4 hang/s (8,97–15,4 hang/s). A mondatok átlagos hossza rövidebb és egyértelmű tagolásuk gyakoribb a hírolvasáshoz képest. A mesemondók több mondat belseji szünetet tartanak, ezek a szünetek átlagosan hosszabbak is. Mindezek következménye, hogy a mesemondás nyugodt, jól értelmezhető beszédstílust valósít meg.

Prózafelolvasás. Ekkor egyértelmű összefüggés mutatható ki az artikulációs sebesség változása és a szöveg tartalma között. A feszültséggel teli részeknél nő a sebesség, a leíró jellegűeknél csökken. Az artikulációs tempó változása a mondatokon belül hasonlóan gazdag, mint például a hírfelolvasásnál,

noha a skála szélesebb; az átlag 13,2 hang/s, a minimumérték 8,9 hang/s, a maximumérték 16 hang/s volt. Némegyszer igen lassú tempó is előfordult. Az egyes mondatok közötti szünetek széles temporális tartományban valósulnak meg. Ez arra utal, hogy ezekkel a szünetekkel szabadabban bántunk (akár lényegesen meg is nyújthatjuk őket), mint a mondaton belüli jelkimaradásokkal. További szünetezési jellemző, hogy a prózafelolvasásnál a szünetek aránya nagyobb, mint például a hírfelolvasásnál, ugyanakkor kisebb, mint a mesemondásnál. Ez a műfaji kategória tehát az időszerkezeti alapadatok tekintetében a hírolvasás és a mesemondás között áll.

Reklámfelolvasás. A hangos reklám a média műsoraiban vezető helyet foglal el. Ezért is fontos az akusztikai-fonetikai vizsgálata, hiszen ennek révén kapunk képet arról, hogy pontosan mi érkezik a hallgatóhoz. A reklámok beszédstratégiájának egyik alapvető komponense a gyors beszéd. Ennek oka lehet, hogy a reklámszöveget tervezők megadott, rövid időkeretbe a lehető legtöbb információt kívánják belezsúfolni. Az általunk elemzett reklám 20 másodperces időtartamú gyógyszerreklám volt, női és férfi bemondók felolvasásában. Az artikulációs sebesség átlaga 17,2 hang/secundum, a minimumérték 12 hang/s, a maximumérték pedig 22 hang/s volt. Részletesen elemeztük a jól ismert felhívást a négy bemondó produkciójában: A kockázatokról és mellékhatásokról olvassa el a betegtájékoztatót, vagy kérdezze meg kezelőorvosát, gyógyszerészét! E mondat átlagos artikulációs tempója 20,1 hang/s volt. A szöveget szünet nélkül mondták el a felolvasók. A leggyorsabb tempót minden esetben az „olvassa el a betegtájékoztatót” részben valósították meg, átlagosan 21,4 hang/s,

igen magas értékkel. A hirdetési szövegekben – a beszédhangok rövid időtartamán túl – azért is érezzük gyorsnak a beszédet, mert a nagy sebesség nemcsak egy-két szóra vonatkozik, hanem a teljes közlésre. Mind ezen felül még a szünetekkel is mintegy „takarékoskodik” a bemondó, illetve ha egyáltalán tart szünetet, akkor az nagyon rövid. A reklámokban a szöveg mondat szerinti tagolása nem jellemző, itt a folyamatosság a fő szempont.

Spontán beszéd. Az előre nem megtervezett, illetve nem felolvasott szövegek egybevető vizsgálatai azt mutatják, hogy az artikulációs sebességek átlaga nem különbözik lényegesen a hírolvasásban mért értékektől. A narratívában a beszédtempó nem lényegesen gyorsabb vagy lassabb a hírolvasásénál. Az artikulációs sebesség ingadozása éppúgy megtalálható a spontán beszédben, mint a felolvasásban. A spontán beszéd időszerkezeti jellemzését tehát más időszerkezeti elemekben kell keresnünk. Ilyen például a folyamatossági paraméter. A spontán beszéd töredezett, sok szünettel tarkított, viszonylag rövid beszédszakaszokkal rendelkező produkció. Ez az azonnali beszédtervezés következménye (Gósy, 2004). A szünetek biztosítják a tervezéshez szükséges időt. A be-

szelő a szöveget nem mondategységekben valósítja meg. A spontán beszéd szüneteinek más a szerepük, mint a felolvasásban. A „virtuális” mondatok belsejében megjelenő, valamint a mondatok közötti szünetnek nevezett időszerkezeti elem gyakorlatilag elveszti azt a szerepét, amit például a felolvasásnál betöltött. A narratívában a gondolati egységen belüli szünetek rendszerint hosszabbak, mint a mondatok közöttiek. A leglényesebb különbség a felolvasás és a spontán beszéd között az, hogy a spontán beszélő három-négyszer több szünetet iktat a beszédébe. Ebből arra következtethetünk, hogy a szünetezés a spontán beszéd talán legjellegzetesebb temporális eleme.

Az ismertetett adatok igazolják, hogy az egyes beszédstratégiák között számadatokkal is kimutatható különbségek vannak, amelyek nemcsak a beszélő, de a hallgató szempontjából is meghatározók. Az eredmények felhasználhatók a beszéd mesterséges előállításában, a beszédfelismerésben, a beszédstratégiákra készítendő modellek tervezésénél, valamint a verbális kommunikáció számos gyakorlati formájában.

Kulcsszavak: *felolvasások típusai, narratíva, artikulációs tempó, szünetek, beszédstratégia*

IRODALOM

- Gósy Mária (2004): Fonetika, a beszéd tudománya. Osiris, Budapest
- Hirst, D. – Di Cristo, Albert (1998): Intonation Systems. A Survey of Twenty Languages. Cambridge University Press
- Olaszy, Gábor (2002): The Most Important Prosodic Patterns in Hungarian. Acta Linguistica Hungarica. 49, 277–306.
- Olaszy Gábor (2005): Prozódiai szerkezetek jellemzése a hírfelolvasásban, a mesemondásban, a novella- és a reklámok felolvasásában. In: Gósy Mária (szerk.): Beszédkutatás 2005. MTA Nyelvtudományi Intézet, Budapest
- Varga László (1994): A hanglejtés. In: Kiefer Ferenc (szerk.): Strukturális magyar nyelvtan 2. Fonológia. Akadémiai, Budapest, 468–546.

Tanulmány

A JÖVŐ POTENCIÁLIS ENERGIAFORRÁSAI

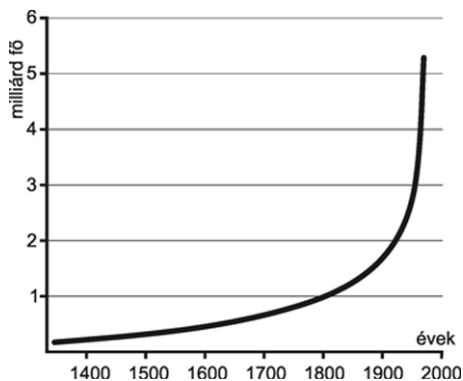
Füst Antal

okl. bányamérnök, az MTA doktora
ELTE Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszék, Budapest,
drfustnetranthi.h anh@chello.hu

Hargitai Róbert

okl. bányamérnök, a műszaki tudomány kandidátusa, PhD, Visiting Professor of
Colorado School of Mines, Department of Mining Engineering
Golden, Colorado, USA – rhargita@mines.edu

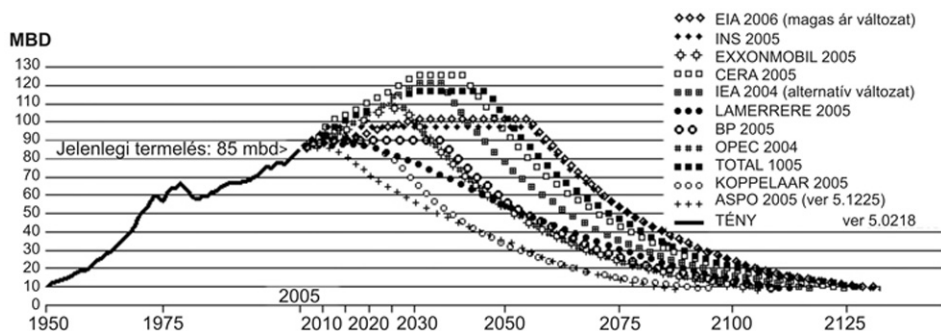
A mai modern társadalom legfontosabb energiaforrásai a kőolaj és a földgáz. Az állami adóbevételek zöme, közvetlenül vagy közvetve, a kőolajat és a földgázt felhasználók megadóztatásából ered. A jelenlegi körülmények és gazdasági szerkezetek mellett az állami bevételek csökkenése gazdasági katasztrófákhoz



I. ábra • A Föld népességének változása
1400 és 2000 között (Matt Savinar után)

vezethet, ám az is látható, hogy a szénhidrogénkészletek csökkenése, illetve a szénhidrogénforrások néhány kézben való összpontosulása hasonlóan veszélyes és kiszámíthatatlan helyzetet idézhet elő. Dr. Emhő László az *Energia audit a változó világban* című tanulmányában (Emhő, 2006) idézi Lontay Zoltán figyelemreméltó megállapítását: „...az elkövetkezendő 50 év a rendelkezésre álló olaj- és földgázalapú energiaellátás műszaki-, finansziális és társadalmi kihatásaiban jelentős negatív átrendeződést, megoldandó kritikus válságot fog hozni”. Ezért feltétlenül szükséges az egyes országok összefogásával megtalálni az emberiség új energiaforrásait, és a gazdaságokat folyamatosan átvezetni az új energiaforrásokon alapuló gazdasági környezetbe. Ennek két közvetlen indoka is van, nevezetesen

- az emberiség létszámának és ezzel energiaigényének állandó növekedése (I. ábra), valamint



2. ábra • Egymásnak ellentmondó olajtermelési prognózisok (Freddy Hutter után)

- a Föld szénhidrogénkészleteinek rohamos csökkenése.

A világ szénhidrogénkészletei végesek, így pár évtized múlva az emberiségnek új energiaforrások után kell néznie. A problémát előre jelzi, hogy a szénhidrogén-kutatás hatékonysága rohamosan csökken, míg a felhasználási igény növekszik (2. ábra).

Ez a megállapítás még akkor is helytálló, ha figyelembe vesszük a szénhidrogén-kutatásnak azt a sajátosságát, hogy a magas kutatási költségek miatt a kutatók csupán a mindenkori piaci igény kielégítéséhez szükséges készletek meglétének igazolására törekednek. A kutatás tehát csak minimális idővel előzi meg a termelést, és nincsenek későbbi felhasználásra váró megkutatott készletek. Kétségtelen, hogy a szénhidrogének készletszámítása számos bizonytalansággal terhelt (Bárdossy – Lné Felvári, 2006). Kétségtelen az is, hogy ez a bizonytalanság jelentős kihatással van akkor is, amikor az emberiségnek meg kell válaszolnia azt a kérdést, hogy mikor kell áttérni a szénhidrogénekről valamely más energiahordozóra. Természetesen a készletek mennyiségében rejlő bizonytalanság és az ebből eredő kockázat mérsékelhető egyrészt a készletszámítási eljárások fejlesztésével, másrészt a más energiahordozóra való áttérés előkészítésének mielőb-

bi elkezdésével. Ebben segítséget nyújthat az a megfigyelés, hogy a különböző, többé-kevésbé független készletbecslések átlaga a valóságot általában igen jól közelíti.

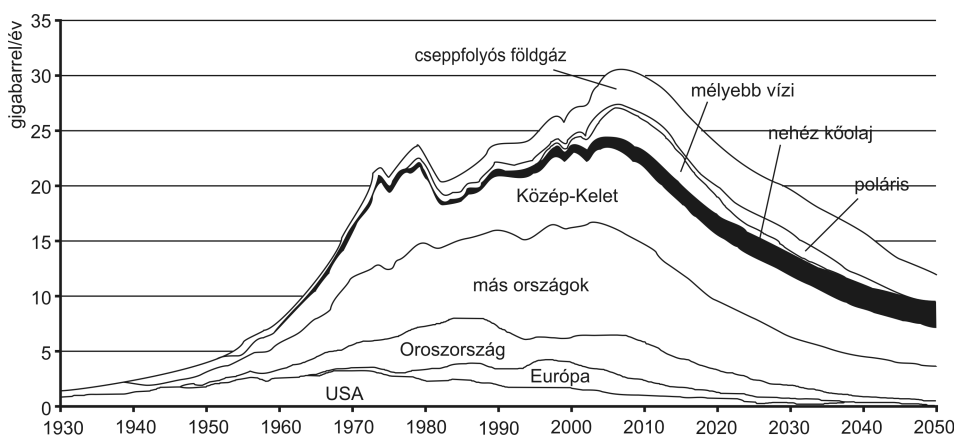
M. King Hubbert elmélete szerint a kitermelés időbeli változása egy Gauss-görbéhez hasonlít. A kitermelést a kutatási eredmények determinálják, de amint ez a görbe eléri maximumát, a „Hubbert-csúcsot”, akkor ez egyben egy leszálló ág kezdete is. Megítélésünk szerint, mind a felszálló, mind a leszálló ág két részre osztható. A kitermelés kezdetén, amikor a rendelkezésre álló készletek korlátlan lehetőséget adnak a növekvő igények kielégítésére, a kitermelés exponenciálisan növekszik mindaddig, ameddig az igények és a kitermelés növekedése egyensúlyba nem kerül (inflexiós pont). Ezt követően az igények kielégítése csak további lelőhelyek időigényes megkutatása révén biztosítható. Ezt egyre nehezebben és egyre drágábban lehet biztosítani, így a kitermelés növekedése egyre inkább csökken, és a növekedés a Hubbert-pontban válik nullává. A leszálló ág ismét két részre osztható, az első szakaszban a csökkenés mértéke kezdetben lassú, majd egyre intenzívebb lesz, és az inflexiós pontban éri el maximumát. Az utolsó szakaszban a kereslet is egyre jobban mérséklődik (az emberiség fokozatosan más energia-

hordozóra áll át), a mérséklődés üteme csökken, és a kitermelés mennyisége fokozatosan nullává válik. A különböző elemzők szerint egyértelmű, hogy napjainkban a szénhidrogén-kitermelés elérte a lehetséges maximumot, így a jövőben rohamos csökkenésre lehet számítani. A csökkenés mértékére többféle változat készíthető. Ezek a változatok három csoportba sorolhatók. *Optimista* változatról beszélünk akkor, ha az a jövőben a szénhidrogén-kitermelés fokozatos növekedésével számol. *Szinten tartó* az a változat, amely feltételezi, hogy a jelenlegi termelés továbbra is fenntartható, és pesszimista az a változat, amely a kitermelés kisebb vagy nagyobb ütemű mérséklődését prognosztizálja (OIScenarios.info, 2006). Az előbb említett három változatot további részekre szokták bontani.

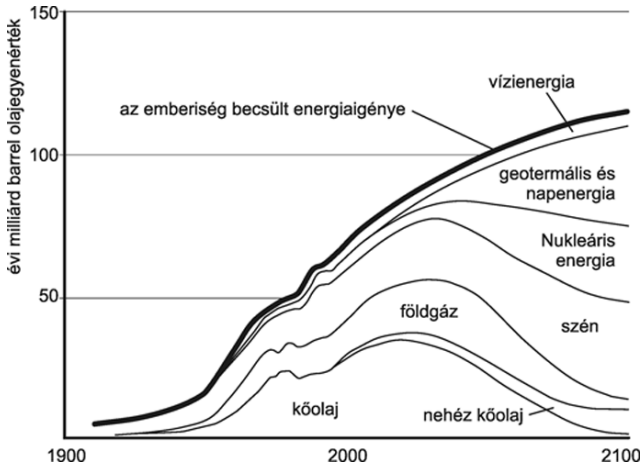
A termelés várható csökkenésére számos prognózis készült. Ezek közül a 2. ábrán a 2006. évi, Freddy Hutter által készített prognózisösszesítőt mutatjuk be. A prognózisok egyike sem tekinthető optimistának annak ellenére, hogy némelyik rövid távú termelés-emelkedést valószínűsít.

A 2. ábrán látható görbék a Hubbert-függvényhez hasonló formát mutatnak annak ellenére, hogy némelyik rövidebb-hosszabb stagnáló termelési szakaszt is feltételez. A stagnáló szakasszal rendelkező, trapéz formájú termelési görbék az egyedi kitermelési helyekre igazak, de azok összességére már nem. A 2006. évi prognózisok jelentős változást mutatnak a 2005. évben közzreadott változatokhoz viszonyítva. 2005-ben a prognóziskészítők hosszú stagnáló termelési szakaszokat jósoltak, a görbék aszimmetrikusak voltak, és inkább hasonlítottak a lognormális eloszlás sűrűségfüggvényére, mint a Hubbert-görbére. Megjegyezzük, hogy a 2006. évi prognózisok némelyikén még fellelhető stagnáló szakaszokat eleve életszerűtlennek tartjuk; realitásuk a népszaporulat és a lakossági igények fokozatos növekedése mellett erősen megkérdőjelezhető.

A szénhidrogénkészletek zöme viszonylag kis területre, a Közép-Keletre koncentrálódik, így a 3. ábra szerint az Egyesült Államok és Európa kőolajtermelése 2040 után gyakorlatilag megszűnik, de a legnagyobb kőolajtermelők továbbra is a közép-keleti országok maradnak.



3. ábra • Folyékony szénhidrogén-termelés, tény és előrejelzés
(Aleklet után; forrás: Bárdossy – Felvári, 2006)

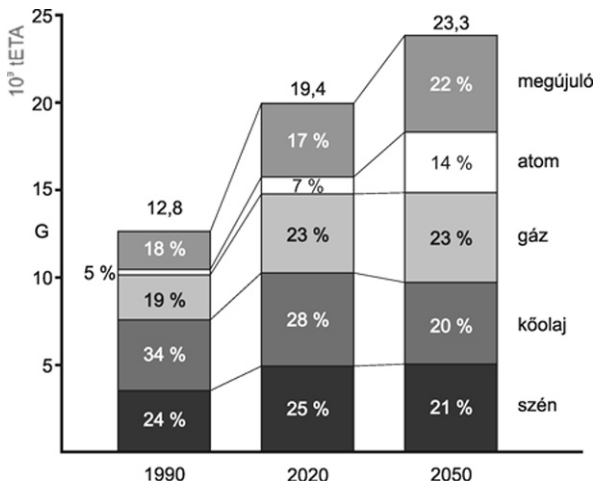


4. ábra • Várható energiabázisok a XXI. század végéig (Geothermal Explorers Ltd. után, forrás: I. Yantovska)

A *British Petroleum Statistical Review* 2005. szeptemberi számában a kőolajkészletek régiók szerinti megoszlására a következőket írja: A Közel-Keleten található a kőolajkészletek 57 %-a, az Egyesült Államok és Kanada együttesen birtokolja a készletek 14,5 %-át, és Európában a készleteknek csupán 1,5 %-a található. Amerikai szakértők, így M. R. Simmons is, a közel-keleti készleteket nagyobbra értékelik (66 %), míg, az USA és Kanada készleteit csak

5 %-nak tüntetik fel. Az egyenetlen területi eloszlás egyértelmű magyarázatot ad a közel-keleti konfliktusokra.

Napjainkban egyes kutatók nagy reményeket fűznek a bioüzemanyagok alkalmazásához. Világszerte számos bioüzemanyag-gyártó üzem létesül, így Magyarországon is sor kerül a közeljövőben három bioetanol-üzem létesítésére Hajdúnánáson, Marcaliban és Csurgón. Becslések szerint a világ bioetanol-



5. ábra • A világ felhasznált energiaforrásainak becsült struktúrája (forrás: Büki, 2006)

felhasználása 2020-ra eléri a 120 000 millió litert, és ezzel a szénhidrogénekből származó üzemanyag mintegy 6 %-át lehet majd kiváltani. Magyarország a saját felhasználású üzemanyag 0,4-0,6 %-át kiváltani képes gyártási kapacitás létesítését vállalta (Világgazdaság, 2006). Ha összehasonlítjuk a szénhidrogén-termelési prognózist, a bioüzemanyagok gyártási prognózisával, azt a megállapítást tehetjük, hogy 2020-ig, még pesszimista szénhidrogén-termelési jóslatok mellett is a bioüzemanyag, amennyiben a piaci igények nem növekednek, ellensúlyozni tudja a szénhidrogén-kitermelés csökkenéséből adódó hiányt. Nehéz azonban elképzelni, hogy az emberiség üzemanyagok iránti igénye változatlan marad, és a bioüzemanyag-gyártási kapacitás azonos mértékben növelhető 2020 után is.

Az előbbieik alapján belátható, hogy az olajkorszaknak – Matt Savinar szavaival élve – vége, vagy legalábbis belátható időn belül vége lesz. Ez esetben azonban felmerül a kérdés, hogy akkor milyen bázison fogjuk kielégíteni az emberiség energiaigényét a XXI. század közepén. Erre vonatkozóan számos prognózis készült. Ezekből két változatot mutatunk be. I. Yantovska hannoveri kutató az emberiség várható energiabázisaira a 4. ábrán látható prognózist adta.

Várhatóan tehát a XXI. század közepétől az eddiginél kissé növekvő szerepet kap a szén, a nukleáris energia, a geotermális energia és a napenergia. Az 5. ábrán ettől kissé eltérő prognózist láthatunk (Büki, 2006).

A 5. ábrán látható prognózis abban tér el a 4. ábrán láthatótól, hogy a megújuló energiaforrások részarányát jóval nagyobbra becsüli, és kevésbé pesszimistán ítéli meg a szénhidrogének kitermelhető mennyiségét.

A Magyar Geológiai Szolgálat *Magyarország ásványi nyersanyagvagyonai 2005* című

jelentésében a Föld feketekőszén, barnaszén és lignit ipari ásványvagyonát 984 453 Mt-ban, az ipari kőolajvagyonát 162 Mrd t-ban, ipari földgázvagyonát 155,78 Tm³-ben, maximum 130 USD/kg költséggel kitermelhető uránércvagyonát 3182,5 kt-ban adja meg (MGSZ, 2005). Arra vonatkozóan, hogy a Föld szénhidrogénkészletei mennyi időre elégségesek, számos becslés készült. Büki Gergely szerint „Jelenleg kőolaj esetén az ellátottság 50–60 évre tehető, földgáz esetén nagyobbra, 70–80 évre becsülik.” (Büki, 2006). Természetesen léteznek az előbbinél pesszimistább változatok is. A különböző kutatók a világ energiahordozóinak készletét, különböző módon és különböző feltételezések mellett megbecsülve a következő időszakra tartják elegendőnek:

Kőolaj	43 – 67 év
Földgáz	64 – 50 év
Kőszén és lignit	200 – 1500 év
Uránium	40 – 500 év

Ha az előbbiekhöz még hozzávesszük a földhőt és a napenergiát, melyek élettartama – emberi léptékkal mérve – végtelen, akkor egyértelmű, hogy az emberiség rendelkezik olyan alternatív energiaforrásokkal, amelyek a kőolaj és a földgáz helyébe képesek lépni. Tekintettel azonban arra, hogy a nukleáris energia elfogadottsága világviszonylatban nem egyértelmű, feltétlenül szükséges alternatívát biztosítani az atomenergia esetleges kiváltására is. A potenciális energiaforrások közé az előbbieken túl feltétlenül indokoltnak tartjuk felvenni még a vizet is. Ennek különleges indokairól azonban majd csak a későbbiekben szólnunk. Mielőtt a következőkben sorra vennénk a különböző potenciális energiaforrásokat, és indoklását adjuk alkalmazásuknak, vizsgáljuk meg, hogy a különböző energiahordozókra vonatkozó becslések mekkora hibával terheltek.

Ennek vizsgálata során a földhőre, a napenergiára és a vízre vonatkozó élettartamot végtelennek tekintjük.

Feltételezve, hogy az előbbi élettartam-becslések 99 %-os valószínűségi szinten adják meg az élettartam minimumát és maximumát, azaz a kettő különbsége a szórás hatszorosának felel meg, a várható átlagos élettartamok és szórások a következők:

Energiahordozó	átlagos élettartam	szórás
Kőolaj	55	4
Földgáz	107	14
Kőszén és lignit	850	217
Uránium	270	77
Naphő	∞	0
Földhő	∞	0
Víz	∞	0

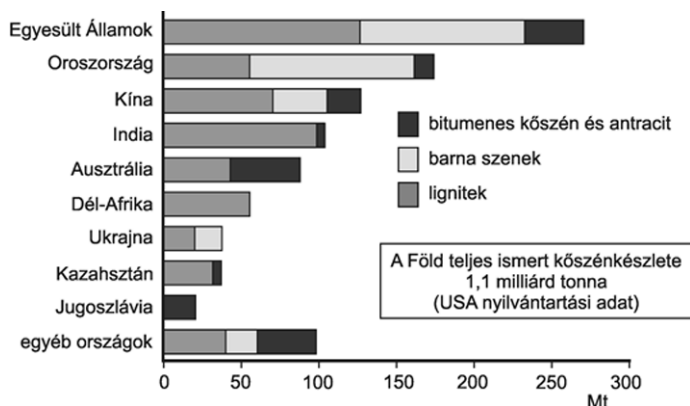
Az elvégzett vizsgálatok alapján egyértelmű, hogy a XXI. század második felére az emberiség már nem fog rendelkezni számottevő kőolajkészletekkel, ugyanakkor a földgáz még várhatóan a XXI. század energiahordozója lesz, de súlya és jelentősége rohamosan csökken. A kőolajkészletek elfogyásának drámai következménye, hogy a világ gépkocsiparkját más energiabázisra kell átállítani, és erre az

emberiségnek csak alig néhány évtizede, kevesebb, mint egy emberöltőnyi ideje maradt.

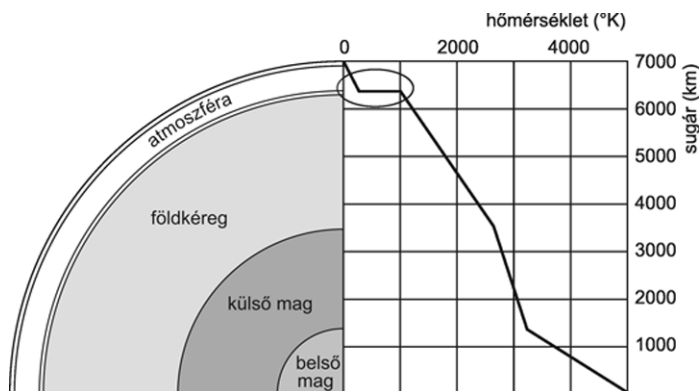
A következőkben vegyük sorra a XXI. század potenciális alternatív energiaforrásait.

1. A szén

A Föld szénkészletei több száz évre elegendőek, így feltétlenül indokolt hasznosításukról gondoskodni. A jövőbeli szénhasznosítás azonban nem a hagyományos bányászkodás és a szokványos széntüzelés újjáélesztését jelenti, hanem az úgynevezett „tisza szén technológia” bevezetését. Ez gyakorlatilag a szén elgázosítását, a szénből nyert gázok szeparálását és frakciónkénti felhasználást jelenti. A technológia régen ismert, a II. világháborúban a német hadsereg számára a szén elgázosítása révén gyártottak benzint. A kőolajárak rohamos növekedésével ez a technológia még hagyományos szénbányászati kitermelési módszerek alkalmazása mellett is hamarosan versenyképesé válhat. Ha azonban a szén kitermelési technológiáján változtatunk, és hidromonиторos jóvesztéssel, vagy az *in situ* állapotú széntest elgázosításával jutunk a kívánt termékhez, ez a megoldás, költségeit tekintve, ma is versenyképes a szénhidrogén-



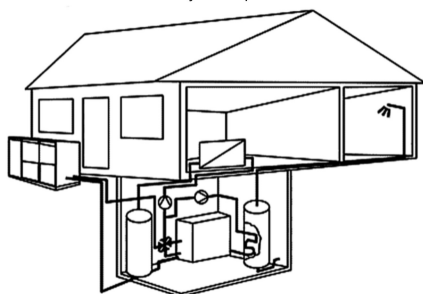
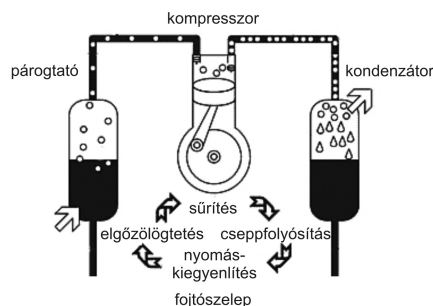
6. ábra • A Föld ismert kőszénvagyonának megoszlása (forrás: Rozgonyi et al., 2006)



7. ábra • A hőmérséklet változása a földkéregben
(Geothermal Explorers Ltd. Forrás: I. Yantovska)

árakkal. Az elgázosítási megoldás olcsósága mellett főként azért javasolható, mert az ígényeknek megfelelően szabályozható, nem jár a külszín megbolygatásával, és nem okoz a felszínen később rekultiválandó tájsebeket. A szakemberek nagy hangsúlyt fektetnek a je-

lenleg is szinte korlátlan mennyiségű kőszén-készlet „tisztá” kitermelési technológiájának kifejlesztésére és ipari alkalmazása bevezetésére. A világ jelenleg ismert kőszénkészletének túlnyomó többségét birtokló Egyesült Államok akár több száz évig is fedezni tudja energiaigényét ebből az energiaforrásból. A kőszén alapú motorüzemanyagok ipari mértékű előállítására több eljárás is ismert, s ezek a szénhidrogénkészletek csökkenése vagy túl magas ára esetén azonnal gazdaságossá válhatnak.



8. ábra • A hőszivattyú működési elve és alkalmazása egy családi házban
(Stumphauer – Csiszár után)

2. A nukleáris energia

A világ urániumkészletei – egyes becslések szerint – szintén hosszú távra elegendőek, a nukleáris energia alkalmazásával szemben azonban jelentős lakossági ellenállás nyilvánul meg. Ennek oka, a katonai felhasználás lehetősége mellett, főként abban keresendő, hogy bár az atomerőművek nagyon olcsón szolgáltatják a villamos energiát, ma még nem ismeretes olyan technológia, amely lehetőséget adna az atomerőművek működésével és megszüntetésével járó hulladékok és bontási anyagok sugárzásmentesítésére. Teller Ede a halála előtt pár évvel egy ilyen technológia

kifejlesztését húsz-huszonöt éven belül jósolta. Függetlenül attól, hogy az emberiség 2020–2025 táján már várhatóan rendelkezni fog ilyen technológiával, a radioaktív hulladékok kezelése és tárolókban való elhelyezése addig is jelentős költséggel jár, ráadásul minden országnak saját magának kell megoldani a tárolást, szigorú nemzetközi előírások betartása mellett. Mindebből az következik, hogy az emberiségnek biztosítania kell, hogy az atomenergiának legyen kevésbé veszélyes alternatívája is. A lehetséges alternatívák közül nem célszerű kihagyni a ma még vitatott hidegfűzítőt sem (Beck, 1994; 2006; Jéki, 2006).

3. A földhő

A földkéregben a hőmérséklet befelé haladva egyre növekszik. A hőmérséklet változását a 7. ábrán láthatjuk. A földhő hasznosításának – jelenlegi ismereteink szerint – a következő háromféle megoldása lehetséges:

- a hőt szállító közeg (a termálvíz vagy nagy entalpiájú vízgőz) kiemelése, a hő hasznosítása, majd a lehűlt termálvíz visszasajtolása vagy a felszíni vízfolyásokba való bevezetése;
- egy zárt rendszerben cirkuláltatott folyadékkal a közethőmérséklet levétele és a hő felszíni hasznosítása;
- a földhő hőcsövekkel (heat-pipe) való felszínre szállítása és a hőenergia felhasználása.

A három megoldásból az első már korszerűtlennek minősíthető, főként azért, mert a magyarországi geológiai viszonyok nem túl kedvezőek a termálvíz visszasajtolására, és tekintettel a termálvíz magas sótartalmára, élővizekbe vezetése jelentős só- és hőszennyezést eredményez.

A második megoldást hőszivattyúval kombinálva elterjedten alkalmazzák családi házak

fűtésére. Tekintettel arra, hogy a rendszernek viszonylag magas a létesítési, viszont alacsony a működtetési költsége, a szükséges berendezések általában állami dotációval szerezhetők be. Ezzel a megoldással a családi közösségek fűtés és melegvíz-ellátás szempontjából önellátóvá válnak (8. ábra), és nincsenek kitéve a távhőellátási rendszerek zavarainak, illetőleg a velük kapcsolatos ármozgásoknak. A második megoldás természetesen áramtermelési céllal is létesíthető, és gyakorlatilag kimeríthetetlen energiaforrásként működtethető.

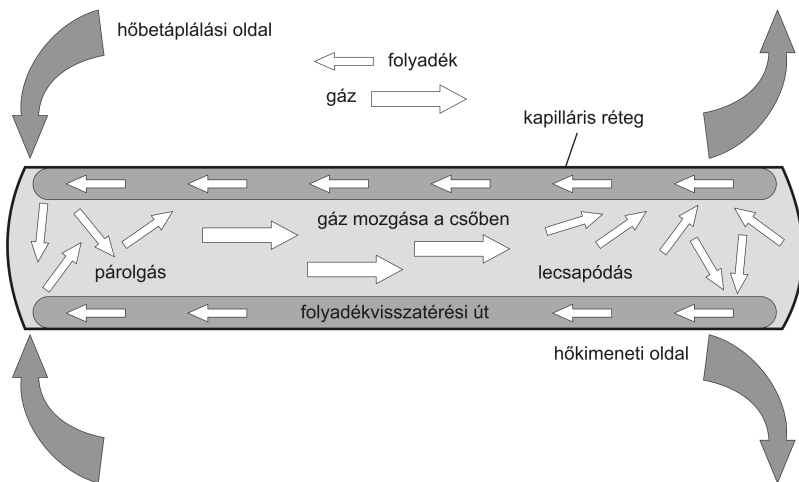
A harmadik megoldás napjainkban még kísérleti stádiumban van, annak ellenére, hogy nagy kapacitású és elenyészően alacsony veszteséggel működő hőcsövek előállítására létezik magyar szabadalom is. Ez a megoldás tehát államilag finanszírozott fejlesztést igényel. A fejlesztés eredményeként akár a távhőszolgáltató hálózatok is rendszerükben és működési elvükben is megújíthatók lennének. Ezért feltétlenül javasolható az ilyen jellegű fejlesztések állami finanszírozása.

A hőcső (9. ábra) nem más, mint egy három elemből álló (1. Zárt cső, 2. Kapilláris rendszer, 3. Munkafolyadék) zárt rendszer, amelyben zárt ciklusban, a párolgási és kondenzenergia-átalakulások dinamikai mikrofolyamatain alapulva, nagy sebességgel hőenergiát továbbítunk, külső energiaigény és hőveszteség nélkül.

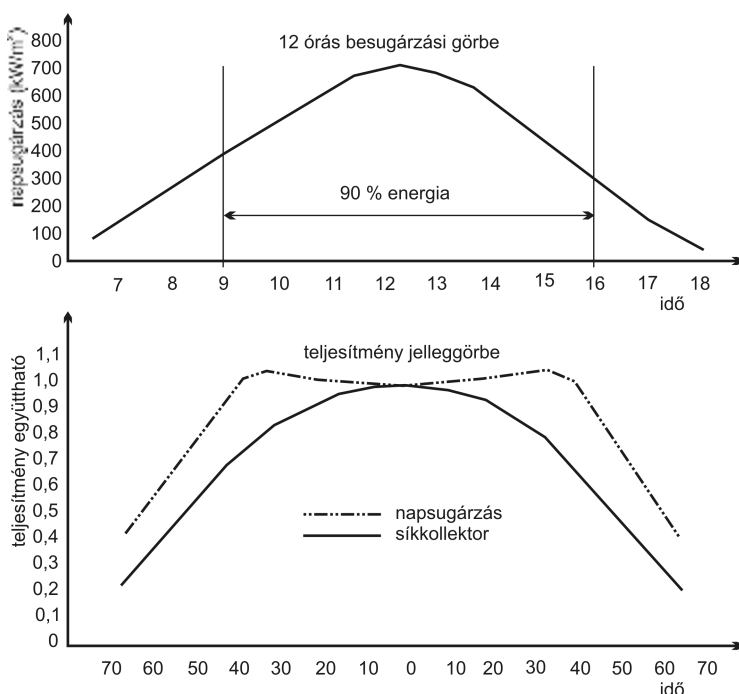
A magyar szabadalom, egy $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ gradiens pontossággal kalibrálható érzékenységgű, a hőt legalább $1,6\text{ Mach}$ sebességgel továbbítani képes rendszer, amely akár $1,5\text{ kW}/\text{cm}^2$ hőmennyiséget is képes elvezetni. Ezek kiemelkedően magas értékek.

4. A napenergia

A napenergia hasznosítása – a ma ismert eljárással – a bőséges kínálattal jelentkező piacon



9. ábra • A hőcsőben lezajló termodinamikai folyamatok. (Az ábrát a *Heat-pipe elméletben és gyakorlatban* című dokumentumból, a „hőcső” működését ismertető anyagrézsr alapján készítettük el [http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_pipe, vagy <http://www.cheresources.com/htpipes.shtml>])



10. ábra • A napenergia egyik hasznosítása a síkkollektor. (Az ábrát a www.karpi.hu/akciók.html oldalon található, a *heat-pipe* rendszerű réz fűtőcsövek és vákuumcsöves napkollektorok működését ismertető anyag alapján készítettük)

is megtalálható napkollektorok (napelemek) segítségével valósítható meg. A rendszer itt is fejlesztést igényel, és a fejlesztésnek célszerűen a hatásfok növelésére kell irányulni. A napelemek tömeges alkalmazásának ma egyetlen gátja van, az ár. Egy napkollektoros fűtési rendszer létesítése olyan nagyságú beruházási összeget jelent, még egy családi ház esetében is, hogy megtérülése csak évtizedek múlva esedékes. Ezért itt sem várható áttörés állami segítség nélkül. A napenergia erőművi hasznosításához további fejlesztések szükségesek.

5. *A víz mint energiaforrás*

Vízerőművek már régóta működnek a világon, ezek azonban gyakorlatilag csak a víz helyzeti energiáját hasznosítják. Napjainkban létezik egy másik megoldás is, amely az előbbinél jóval hatékonyabb. Ennek lényege, hogy miként a benzinmotor hajtóanyaga a benzin, egy vízzel működő motoré a vízplazma. Az eljárás magyar ember, Gróf Spanyol Zoltán szabadalma, melyet 1985-ben Németországban jegyeztek be. Az USA-ban 1992-ben született meg Randell Mills eljárása, amely bizonyítottan annyi hőt termel a vízből, szennyezés nélkül, mint amennyi a hagyományos üzemanyagok elégetésével nyerhető. Az oroszok 1998-ban készítették el egy vízplazmával működő hegesztő- és vágógépet, amely mintegy 1600 W áramfelvétel mellett 8000 °C-ot állít elő (Spanyol, 2006). A vízplazmával hajtott motor alkalmazása forradalmian módosíthatja a közlekedést és általában a gépipart, hiszen módot ad a szénhidrogének kiváltására. Ráadásul a motor égésterméke víz, tehát semmiféle környezetszennyező hatás nem lép fel. Ha a fentiek igazak, akkor egy ilyen erőforrás alkalmazásának elterjedését nagy valószínűséggel nem tervezi segíteni az olajérdekeltségek mindent átszövő hálózata.

Végezetül megemlítiük, hogy természetesen van az energiával való gazdálkodásnak és tervezésnek egy másik olyan része, amelynek fontosságát még nem, vagy csak nagyon kevesen ismerték fel. A feleslegesen a környezetbe jutott hő két szempontból is káros. Egyfelől felesleges volt megtermelni, másfelől károsítja a környezetet, így védekezni kell ellene, vagy rehabilitálni az okozott környezeti károkat. Itt természetesen nem elsődlegesen a háztartások nem megfelelő hőszigetelésére vagy a huzatos nyílászáróira kell gondolni, hanem azokra a nagy hőtermelőkre, amelyek „hulladékhője” akár nagyobb városrészek, távfűtésére is elegendő hőmennyiséggel egyezik meg.

Magyarország energiafüggőség szempontjából manapság sajnos a világelsők között található. Ehhez társul, hogy a világ energia-hordozó-váltás előtt áll. Ebben a helyzetben feltétlenül szükség van egy országos energia-konceptió megalkotására. Hazánk villamosenergia-felhasználásának forrás szerinti megoszlása a következő (MGSZ, 2005):

Szén	20,2 %
Szénhidrogén	31,3 %
Atom	29,3 %
Vízi energia	0,5 %
Hulladék, szélenergia	0,2 %
Import	8,5 %

Ezzel szemben az országszénhidrogénkészletei kifogyóban vannak, a 2005. január elsejei állapotnak megfelelő ipari kőolajvagyonunk 19,57 Mt, földgázvagyonunk 67,07 Gm³. A hazai termelés az igényeknek csak egyre kisebb hányadát képes kielégíteni. Ezzel szemben az ország jelentős szénkészletekkel rendelkezik. A rendelkezésre álló ipari szénmennyiség 3,3 Gt, melynek legnagyobb hányada lignit (2933,4 Mt). De feketekőszénből és barnaszénből is számottevő készleteink van-

nak (198,8, ill. 170,3 Mt), így az elgázosítási technológiát felhasználó szénbázisú energia-termelésnek Magyarországon nincs akadálya.

Energiafüggőségünk fokozott mérséklése és megszüntetése érdekében tehát rendelkezünk megfelelő nyersanyagbeli adottságokkal,

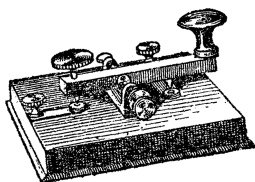
és a szükséges szellemi tőke is rendelkezésre áll, csupán a célratörő fejlesztési irányok kijelölése és a finanszírozásra vonatkozó döntés várat magára.

Kulcsszavak: *energiabázis, szénhidrogén, szén-elgázosítás, nukleáris energia, energiafüggőség*

IRODALOM

- Bárdossy György – Lelkesné Felvári Gyöngyi (2006): Gondolatok és kételyek földünk szénhidrogénkészletével kapcsolatban. *Magyar Tudomány*. 1, 62–71.
- Beck Mihály (1994): A hidegfűtési rejtélyének megoldása. *Természet Világa*. április 1.
- Beck Mihály (2006): *Parajelenségek és paratudományok*. Vince, Budapest
- Butter, Bill (2006): The Rollever Juggernaut – World Oil Depletion and the Inevitable Crisis. <http://www.durangobill.com/Rollover.html>
- Büki Gergely (2006): Alapelvek a magyar energetikai koncepcióhoz. *Mérnök Újság*. XIII, 4, 24–27.
- Emhő László (2006): Energia audit a változó világban. *Mérnök Újság*, XIII, 4, 10–12.
- Heat-pipe elméletben és gyakorlatban 2006*. el [http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_pipe, vagy http://www.cheresources.com/htpipes.shtml]
- Jéki László (2006): Hidegfűtési: egy új remény. 2006. febr. 19. <http://www.origo.hu/tudomany/technika/20060219hidegfuzio.html>
- MGSZ (2005): *Magyarország ásványi nyersanyagvagyo-na*. Magyar Geológiai Szolgálat, Budapest

- OILScenarios.info, 2006: What is the Future of World Production. <http://www.oilscenarios.info/>
- Rozgonyi Tibor G. – Ozdemir, L. – Hargitai, R. – Grubb, J. – Schissler, A. – Szigeti L. Z. (2006): *U. S. Coal Industry 2006 – From Coal Extraction to Coal Utilization – A Technology Update. Presentation at “Resources and Environment 2006 – Coal and China” Symposium, 2006*. 30–31/03, Freiberg, Saxony, Germany
- Savinar, Matt (2006): The Oil Age is Over. www.mrexcessive.net/oilage/
- Spanyol, Z. (2006): Mérleg. Új idők, Budapest, március 1., 4. old.
- Stumphauer Tamás – Csiszár Anatl (szerk.) (1999): *Energiahatékonysági Kézikönyv Ház- és lakástulajdonosok részére*. Regionális Energia- és Anyagtakarekossági Központ, Eger.
- Swenson, Ron (2006): Presentations on the Coming Global Energy Crisis and Solar Energy Potential. <http://www.hubbertpeak.com/swenson>
- Világgazdaság (2006): Beindul a hatalmas biobiznisz. *VILÁGGAZDASÁG*, 38, 59, (9324.) március 24. www.karpi.hu/akciok.html oldalon található, a heat-pipe rendszerű réz fűtőcsövek és a vákuumcsöves napkollektorok működését ismertető anyag



A TUDÓS SZÁMÁRA ELFOGADHATÓ HIT¹

Eric A. Ash

Ezen előadásra készülve Gábor Dénes több olyan írását is elolvastam, amelyeket korábban egyáltalán nem ismertem, ami külön haszonnal járt számomra.

Tudományos életművét persze mindig mohón követtem, nemcsak akkor, amikor tanítványa voltam. A fizika és a műszaki tudományok egészen eltérő területeihez való, megdöbbentően eredeti és úttörő hozzájárulásai erős érvekként szolgálnak az előadásomban kifejtendő nézetek mellett. Gábor Dénes a 20. századi alkalmazott fizika legnagyobb alakja, a holográfia pedig döntő bizonyíték a hit tudománybeli szerepével kapcsolatban.

Emlékszem, hogy amikor 1972. február 22-én Nobel-előadását ismételte az Imperial College-ban, az elektromos művek dolgozói éppen sztrájkot tartottak, ezért az előadás közben kialudtak a fények. Előadását ezért Gábor Dénes vetítés nélkül, a vészvilágítás homályában folytatta, és az így is ragyogóan sikerült. Az élete csúcspontjára került tudósról én is jól tudtam, mint minden ismerőse, hogy nem érdemtelenül került oda.

¹ A BMGE és a NOVOFER Alapítvány által a Magyar Tudományos Akadémián szervezett Gábor Dénes-emlékülésen, 2006. május 26-án tartott előadás szerkesztett változata. Sir Eric A. Ash (1928–), Gábor Dénes tanítványa, 1985–1993 között a londoni Imperial College rektora, 1997–2002 között a Royal Society alelnöke, az emlékülés díszvendége ez alkalommal kapta meg a Nemzetközi Gábor Dénes-díjat. (Az előadás szövegét Szabados László fordította.)

A tudománynak és a műszaki színvonalnak az emberre gyakorolt hatásával foglalkozó írásairól viszont szinte semmit nem tudtam még akkor. Amikor *A jövő feltalálása* 1960-ban megjelent, először csupán az *Encounter* cikkeként, érdeklődve és lelkesen elolvastam ugyan, de az igazat megvallva azt gondoltam róla, hogy a nyugalomba vonult tudós időskori hobbiként ragadott tollat ilyen témában. Utólag viszont látom, hogy az emberiség nagy kérdéseivel való foglalkozás tudományos munkássága ellenpontjaként szolgált, és ez a kreatív gondolkodás méltóképpen zárta le életpályájának utolsó másfél évtizedét. A gyümölcsöző gondolat-sorok mögött a világszerte elismert tudós zsenialitása állt.

Hallgatójaként azt is szerettem volna, hogy képes legyek beszédbe elegyedni vele olyan témákban, amelyekről tudtam, hogy számára intellektuálisan fontosak. Ha most azt kérdezem magamtól, hogy ez miért nem sikerült, az a válaszom, hogy egyáltalán fel sem fogtam, mekkora volt az e körbe tartozó témák választéka, és persze a fiatalságom is probléma volt. Bernard Shaw is ekként panaszkodott: a fiatalság csodálatos dolog, milyen kár, hogy azt ifjan elpocsékoljuk.

Annak érzékeltetésére, hogy Gábor Dénes milyen szenvedélyesen foglalkozott az emberi lét problémáival, hadd idézzek egy 1936-ban írt esszéjéből, amelyet az Imperial

College gazdag Gábor-archívumában őriznek. A *Mibe kerül a béke?* így kezdődik: „Az utolsó nagy esély a békére 1918–19 telén volt, a fegyverszünet kezdete és a versailles-i konferencia megnyitása között.” Az 1936-ra már teljesen nyilvánvalóvá vált problémákat Gábor a békeszerződésnek tulajdonítja. A szerződés keretében etnikailag homogén új országok sokaságát kellett volna létrehozni. Szerinte végzetes hiba volt, hogy a világbékét kis szuverén államok egybeolvasztásával akarták elérni. Azután így folytatatta: „aki nem riad vissza attól a gondolatától, hogy a saját országának életszínvonalát nem védheti kereskedelmi korlátokkal [...] és a más országokból érkező munkaerő távoltartásával, az hajlandó megfizetni a béke árát. Attól tartok, hogy ennél kisebb áron nem is lehet.”

Ne feledjük, ekkor három évvel a második világháború kitörése előtt járunk, az Európai Unió pedig három évtizeddel később kezd kibontakozni.

Egy, az archívumban őrzött másik dokumentumot, *A béke kilátásait* tíz évvel később, 1946-ban írta. Csípős hangnemét illetően hasonló az előbb idézett írásához, de ezt már azok alapján fogalmazta, amit saját, magyarországi családja átélt: több családtagja elpusztult, egyikük Auschwitzban, egy másik pedig a bergeni koncentrációs táborban.

Térjünk most át az előadás fő témájára! A BBC mellett egészen a közelmúltig működött egy tanácsadó bizottság tudományos ügyekben, amelynek hosszú ideig tagja voltam. A BBC műsorait készítők többségének nem volt természettudományi végzettsége, emiatt pedig érdekes diszkussziókra is sor került. Egyet hadd idézzek fel ezek közül.

Egy amerikai feltaláló forradalmian új autót készített, amelynek elektronikus rend-

szerét hétpecsétes titokként őrizte. Pedig a rendszer arra volt képes, hogy a vizet hidrogénné és oxigénné bontsa. Az autót azután ez a hidrogén hajtotta. Üzemanyagként tehát egyáltalán nem kellett kőolajszármazék.

A BBC forgatócsoportot küldött, hogy megörökítsék a találmányt, és interjút készítsenek a feltalálóval. Azonban éppen a felvétel napján valamilyen technikai nehézség lépett fel az autónál, úgyhogy aznap nem láthatták működés közben. A történet aztán tárgyilagosan, elfogultság nélkül úgy került adásba, hogy a találmányban lehet valami, ám előfordulhat, hogy mégsem.

Elképesztően nehéz volt megmagyaráznom a műsor producerének, hogy a feltaláló csakis szélhámos lehet, és erre esküdni mernék, akár a gyermekeim és az unokáim élete árán is. De a producerrel nem sikerült megértetnem, hogy miért vagyok ennyire biztos kijelentésem igazában.

A tudósok bizonyos dolgokat biztosan tudnak. Természetesen ez a biztos tudás az alapja az emberiség technológiájának. Itt az a fontos, hogy *létezik* biztos tudás. A vélekedések világában ugyanis a legkülönbébb vélemények fordulnak elő. Ez most nem értékelés kíván lenni a biztos hit javára. A lényeg, hogy ne tévesszük össze a kettőt, és ebben különösen nagy a tudósok felelőssége.

A megalapozott tudományos ismeret fő jellemzője, hogy minden tudós elfogadja azt, nemzetiségi, vallási vagy nemi hovatartozástól függetlenül. A tudósok és a mérnökök tudják, hogy a vízajtású autó ellentmond az energiamegmaradás elvének. Az ilyen találmány megvalósításának lehetősége az *én első példám a tudós számára nem elfogadható hitre.*

Tegyük hozzá azonban rögtön, hogy az energia megmaradása nem szükségszerűen

univerzális igazság. Ismeretes, hogy ez a törvény egészen rövid időskálán sérül. Az energia ugyanis ilyenkor sokféle formájának egyikében jelenik meg. Richard Feynman *A fizikai törvények jellege* című könyvében² ragyogó példákkal szemlélteti az ebben rejlő komplexitást.

Az a tény viszont fontos, hogy léteznek minden tudós által elfogadott tudományos igazságok. Hasonlóképpen fontos ennek az a folyománya is, hogy léteznek olyan szilárd vélemények, amelyeket nem osztanak széles körökben. A tudomány világába azonban beletartozik egy jókora adag bizonytalanság is, ami pedig élénk vitákhoz vezethet.

Két példát ismertetek olyan tudományos kérdésekre, amelyekkel kapcsolatban a tudósoknak kiforrott véleményük van – de nem egységes, hanem egymásnak éppenséggel ellentmondó. Az első példa az élőlényeket erő ionizáló sugárzás hatása. A röntgen-sugárzás felfedezése³ után röviddel, a 20. század elején ismertté vált, hogy a sugárzásnak kitett szövetben kóros elváltozás léphet fel, akár tumor is kialakulhat. Egy évszázad alatt hatalmas adatmennyiség gyűlt össze a sugárzás biológiai hatásairól. Az információ-özön nagy része sajnálatos módon Hirosimából és Nagaszakiból származik. A dózis-egyenérték, amelynek egysége a sievert (Sv), megmutatja, hogy a test tömegegysége mennyi sugárzó energiát nyel el. Tudjuk, hogy ha valaki 5 Sv dózisegyenértékű sugárzásnak volt kitéve, az nem élheti túl azt. Azt is tudjuk, hogy a csekély sugárzás növeli a tumorképződés valószínűségét: minél erősebb a sugárzás, annál nagyobb a kockázat.

² Magyarul megjelent az Akkord Kiadó gondozásában (Budapest, 2005).

³ Wilhelm Konrad Röntgen által 1895-ben

A kettő között nagyjából egyenes arányosság áll fenn. Az alapkérdés ezért így hangzik: vajon a lineáris összefüggés érvénye kiterjeszthető-e a legenyhébb sugárzási szintekig? Ez a kérdés valójában gyakorlati szempontból is fontos.

Mire előadásom szövegének végére érnek, az olvasókat fejenként néhány százmilliomod sievert dózisegyenértékű sugárzás éri. De ez a sugárzás helyről helyre eltérő erősségű. Angliát tekintve példaként: Cornwallban kétszer olyan erős, mint Londonban. Tehát a cornwalliak közül kétszer annyian lesznek rákosak, mint a londoniak? Ezt *senki nem tudja* biztosan. Amúgy is kicsi annak az esélye, hogy a természetes háttérsugárzás rákot okoz. Valamitől azonban meg kell halnunk, és erre a félelmetes kaszás egyik leginkább bevált trükkje a rák. Az ionizáló háttérsugárzás hatása elenyésző a rák kockázatával járó egyéb hatások mellett.

Sok mindent tudunk arról, hogy a sejt szintjén milyen mechanizmussal fejt ki rákkeltő hatást a sugárzás. Tekintsük például sejtek egy csoportját! Ha az egyik sejtet eltalálja egy foton, akkor abban a sejtben a DNS megsérülhet. Ismeretes, hogy a DNS képes kijavítani önmagát, és különösen akkor, ha a foton csak egyetlen ponton okozott hibát a DNS-ben, a sejt nagy valószínűséggel meg is gyógyítja magát. Van olyan mechanizmus, amelynek során – ha a dolgok elég rosszul alakulnak – a sejt öngyilkossághoz folyamodik. Ez az apoptózis megszünteti a tumor kifejlődésének kockázatát. Vagyis egyetlen sejtre nézve elenyésző annak az esélye, hogy a sugárzás fotonja daganatképződést indít el. De ezek a mechanizmusok önmagukban nem jelentenek érvet azzal szemben, hogy a lineáris összefüggést a zérus sugárzási szintig extrapoláljuk – csak a kapcsolatot leíró

görbe iránytangensét befolyásolják. Tegyük fel, hogy most ugyanabban a sejtcsoportban levő másik sejtbe is foton csapódik be. A tumorképződés esélye most megduplázódott ebben a sejtgyűttesben. Most pedig azt tételezzük fel, hogy egy harmadik foton éppen az előző sejtrel *szomszédos* valamely másik sejtet találja el. Tudjuk, hogy az egymás melletti sejtek szoros kapcsolatban vannak egymással. Előfordulhat-e, hogy a szomszédos sejtek károsodása esetén több mint kétszeresére nő a tumor kialakulásának esélye? Igen, előfordulhat, még a sejtbiológiával foglalkozó kutatók szerint is. Ez viszont azt jelentené, hogy egyre csökkenő intenzitású sugárzásnál a sejt kisebb valószínűséggel károsodik, mint az a lineáris modellel alapján várható. Számít ez? Igen, még hozzá több szempontból is.

Az egyén jelentős sugárterhelésnek van kitéve orvosi vizsgálatok során. A páciens javát szolgáló előny mellett minden röntgen-átvilágításnak megvan a maga kockázata is. A kettő közötti egyensúly és a követendő gyógyászati stratégia attól függ, hogy milyen modellel közelítjük az alacsony dózisú sugárzás kockázatát.

A kérdés érinti továbbá a nukleárisenergia-ipart is. Legfeljebb mekkora dózison lehet kitenni az atomerőművekben dolgozókat? A *gyengén sugárzó* nukleáris hulladékok temetője környékén milyen a még megengedhető sugárzási szint?

Az ilyen sugárzás veszélyességének megítélésekor a csernobili katasztrófa történetéről alkotott nézetek is módosultak. Az IAEA⁴ újabb jelentésében az szerepel, hogy hatvan körüli volt a halálos áldozatok száma. A lineáritás hipotézisét elfogadva és Európa sok-sok milliós lélekszámát tekintve azon-

⁴ Nemzetközi Atomenergia Ügynökség

ban ez a szám több ezer is lehetett, és bár ezt szinte észre sem lehet venni a rák normális előfordulási gyakorisága mellett, mégsem lehet figyelmen kívül hagyni.

A problémával foglalkozó tudósok között nincs egyetértés, továbbra is vitáznak egymással. A nyilvánvaló tényektől – e témának pedig hatalmas a szakirodalma – teljesen függetlenül az ember nem képes egészen elvonatkoztatni a személyes érzelmeitől. A nukleáris energiát ellenzők például nagyobb kockázattal járónak tartják az atomenergiát, mint az ahhoz a táborhoz tartozók, akik növelnék az atomerőművek szerepét az energiaellátásban. A Francia Tudományos Akadémia arra a nézetre hajlik, hogy létezik egy küszöb, amelynek szintje alatt veszélytelen a sugárzás. Vajon van-e ebben szerepe annak, hogy Franciaország elektromos energiájának nagy részét atomerőművekben állítják elő?

Kétféle következtetés is levonható egyidejűleg: az első az, hogy a lineáris modellben való kategorikus hit a tudós számára nem elfogadható hit. A másik pedig az, hogy az a tudós, aki biztos állításként hirdeti, hogy a lineáris modell jelentősen eltúlozza az alacsony szintű sugárzás kockázatát, szintén nem elfogadható hitet tesz magáévé. A vizsgálat folytatódik...

Az általam ismertetendő másik példát a kozmológia területéről veszem. Aki ismer engem, jogosan kérdezheti, hogy konyítok-e egyáltalán a kozmológiához. Joggal csodálkoznak, hiszen a válaszom: csak egészen kicsit értek hozzá. De Martin Rees *Csak hat szám* című lebilincselő könyvéből⁵ sokat tanultam, mert azt a hozzám hasonló laikusoknak írta.

⁵ Magyarul megjelent a Vince Kiadó gondozásában (Budapest, 2001).

Az elmúlt fél évszázad során a részecskefizika standard modellje és a relativitáselmélet együttesen jelentősen járultak hozzá a Világegyetem megértéséhez. Az elméletekből hatásosan következik a szerkezet, de néhány olyan szám is szerepel a leírásban, amelyek értékét mérésekkel kell meghatározni. Amennyire tudjuk, ezek egyike sem olyan szám, amelyekre tisztán matematikai vagy ismert fizikai elvekből következtetni lehetne. Martin Rees könyve hat ilyen állandóról szól. Az igazán figyelemreméltó e konstansok esetében az, hogy mindegyikük számértéke kritikus a Világegyetem létezése szempontjából. Ha a hat szám közül bármelyik csak egy picit kisebb vagy nagyobb lenne, az Univerzum nem fejlődhetett volna úgy, hogy csillagok képződjenek benne, azok körül bolygók alakuljanak ki, amelyek a periódusos rendszerben található kémiai elemekből állnak, és mi sem lehetnénk itt. E konstansok némelyike egészen kritikus. Az egyik például azt határozza meg, hogy a hidrogén héliummá történő fúziója során a hidrogén nyugalmi tömegének mekkora hányada szabadul fel. Ennek a konstansnak 0,07 az értéke. Ha csak néhány százalékkal eltérne ettől, már nem lehetne olyan az Univerzum, amilyenben mi is létezni tudnánk.

Hogyan alakulhatott ez így? Teljesen véletlen módon? Vagy valamiféleképpen ilyennek tervezték? Martin Rees könyvéből megtudjuk, hogy a lehetséges alternatíva az univerzumok végtelen sokasága, amelyek mindegyikében más-más értéket vesznek fel ezek a kritikus konstansok. Így azután nem meglepő, hogy mi történetesen éppen abban az Univerzumban élünk, amelyben a konstansok megfelelő értéke lehetővé teszi, hogy lakható legyen az az univerzum. Mérnökként szemlélve aggódni kezdtem a ráné-

zésre borzasztóan pazarló folyamat miatt. Végére is egy univerzum nem csekélység. Bizonyos értelemben nem pazarlás az, hogy olyan sok univerzum van? Ám aztán olyasvalamit olvastam Martin Rees könyvében, ami miatt részben belenyugodtam a helyzetbe. Természetesen hatalmas energiamennyiséget kell figyelembe venni – aminek tömege (m) van, az energiát (E) képvisel az $E = mc^2$ összefüggés alapján. Viszont az is kiderül, hogy ezt az energiát teljesen kiegyenlíti a gravitációs energia, amely e szempontból negatívnak tekintendő, a szükséges összenergiát nullára csökkentve. A mérnök számára vonzó egy olyan elgondolás, hogy egy egész univerzumra is szert lehet tenni a legcsekélyebb energiabefektetés nélkül.

Sokaknak viszont az az elgondolás a vonzó, hogy e természeti állandók éppen megfelelő értéke gondos tervezés eredménye. Olvashatunk az Amerikai Egyesült Államokban növekvő befolyást szerző jobboldali protestáns mozgalomról, amely a darwini evolúcióelmélet alternatívájaként az értelmes tervezettséget hirdeti – és maga az amerikai elnök is támogatja e mozgalmat. Mármost, ha az intelligens tervezettség hívei engem kérdeznének – bevallom, nem is számítok arra, hogy ezt megteszik –, azt tanácsolnám, hogy szüntessék be a Darwin elleni támadást, mert a darwinizmus bevezetetlen erődítmény. Ehelyett inkább az Univerzum fejlődését meghatározó hat természeti állandóval foglalkozzanak. A bibliai Isten mint intelligens tervező azután már ártalmatlan fogalom, legalábbis a tekintetben, hogy nem ingatja meg a természettudományok oktatását.

Fontos az elfogadható és a nem elfogadható hit megkülönböztetése. A nem elfogadható hitek tovább csoportosítandók, mégpedig

ártalmatlan és veszélyes hitekre. *A jövő fel-találása* című művében Gábor Dénes kettőt is említ a nagyon veszélyesek közül. Az egyik az, hogy bolygónk képes befogadni a gyors ütemben szaporodó népességet. A másik pedig az, hogy a világ nincs kitéve az emberi tevékenységből származó károsodásnak. Ez mindkettő olyan veszély, amely csak lassan érik be, hiszen következményeinek leg-java csak több generáció múlva jelentkezik. Ezen ügyek megoldására nehéz kötelezettség-vállalással járó politikai akaratot találni, mivel a politikára jellemző néhány éves ciklus egy nagyságrenddel rövidebb a néhány év-tizedes generációs időskálánál.

A tudósok bizonyos dolgokat biztosan tudnak, és azokra vonatkozóan teljes az egyetértés. Számukra például könnyen felismerhető, hogy hol húzódik a határ az egyöntetűen elfogadott ismeret és a szűkebb társadalmi körben, térben és időben lehatároltan jelentkező hitrendszerek között. A politika, a filozófia, a művészetek, a vallás, a társadalom teljes építménye szenvedélyes hiteket ébreszt, amelyek csak bizonyos csoportokban találnak egyetértésre. Ezek a hitek éles vitákhoz vezethetnek, amelyek némelyike akár ártalmatlan is lehet. A 19. század végén a zenei ízlés terén Németország kettészakadt: a Wagner-rajongókra és Brahms híveire. Volt olyan hangversenyterem, ahol a vészkiárat fölő a „Kijárat Brahms zenéje esetén” táblát helyezték.

Sajnálatos módon, s ezt is nagyon jól tudjuk, nem minden vita ennyire ártalmatlan. A konfliktusok az emberiség történetének velejárói, és gyakran az erőforrásokért való verseny váltja ki azokat. Darwini konfliktusokként is jellemezhetjük őket. Ha sikerül elérnünk a világ fenntarthatóságát – amire megalapozott optimizmussal számíthatunk

–, az efféle darwini konfliktusok lecsillapodnak. A múltbeli és a jelenlegi konfliktusok jó része nem az erőforrások birtoklásához kapcsolódik, hanem hitrendszerek szenvedélyes lelki csatája. A vallás az egyik fő, ám nem az egyetlen forrása az ilyen hiteknek, amelyek véres összetűzésekhez is vezethetnek.

Hogyan viszonyult Gábor Dénes a valláshoz? Írásaiban erre semmilyen nyom nem utal. Csak gondolom, hogy nem egykönnyen vonzották a nem bizonyítható alapon nyugvó hitrendszerek. Emlékszem, hogy egyetemi hallgatójaként egyszer azt kérdezte, hogy mi a véleményem a telepátia-ról. Éreztem a csalódottságát, amikor nem vágtam rá azonnal és kategorikusan, hogy az teljes lehetetlenség, amikor pedig a gondolatátvitel valóban az.

Az emberi állapot megértésének igénye nem a történelmi időkben kezdte foglalkoztatni az emberi szellemet, hanem már jóval korábban, és ez a vallásos hitek fő forrása is. Az ilyen hitekben különböző csoportok eltérő nézeteket vallanak, és mivel azok nem tényeken alapulnak, megalkotásukban szabad teret kap az emberi képzelőerő. A bizonyossággá emelt hitet még a más nézeteken alapuló vallási rendszerek léte sem rendíti meg. Konkurenciában pedig nincs hiány.

Az evidenciaalapot nélkülöző hitrendszereknél az a tendencia figyelhető meg, hogy fokozatosan szétváltnak. Például a protestáns vallás is ilyen szakadásokon ment át a 16. századi kialakulása óta. Becslés szerint a protestantizmusnak ezer körüli elismert ága van csak az Egyesült Államokban. Némelyikük úgy tekinthető, mint variációk egy témára. Más változatoknak annyira eltérő ma hitrendszerük, hogy az egymással való párbeszéd és a közös imádkozás is nehézséget okoz.

Ha a 17. és a 18. századi világot tekintjük, az nemcsak rejtélyesebb volt a mostaninál, hanem a filozófusok számára jóval veszélyesebb is. Az egyházi tekintélyek tanításaitól való legcsekélyebb eltérést is börtönnel sújthatták, és onnan esetleg már kiút sem volt. Példaként soroljuk fel néhány tekintélyes gondolkodó nevét, akik az emberi létet új módon kezdték szemlélni, azt is megemlítve, hogy tanaikért milyen politikai következményekkel vagy más veszélyekkel kellett szembenézniük.

Francis Bacon elég ügyes volt, hogy elkerülje a személyes megpróbáltatásokat, csak rövid ideig kellett a londoni Tower börtönében raboskodnia.

Thomas Hobbes 11 évet töltött franciaországi száműzetésben. Az 1660-as restauráció után néhány kéziratát is el kellett égetnie.

René Descartes első fontos munkáját (*Le Monde*) 1634-ben fejezte be, ám közlését visszatartotta, meghallva, hogy egy évvel korábban Galileinek milyen gondjai támadtak az inkvizícióval. Csak az analitikus geometriával foglalkozó írásait tartotta biztonságosan közölhetőnek.

John Locke-ot öt évre Hollandiába száműzték. Néhány munkáját a szerző megjelölése nélkül kellett megjelentetnie.

Baruch Spinozát kiközösítették a zsidó közösség tekintélyes vezetői, és még az apja cégénél betöltött állását is fel kellett adnia. Egy ideig optikai lencsék csiszolásából tartotta fenn magát. Élete végéig nem sikerült kiadnia az etikáról szóló fő művét. A posztumusz megjelent könyvet Hollandiában azonnal betiltották.

Jonathan Swift sohasem volt börtönben, de több munkáját névtelenül kellett közölnie.

Jean-Jacques Rousseau 1762-ben jelentette meg a *Társadalmi szerződés*-t – és azonnal Svájcba kellett menekülnie.

Jól érzékelhető, hogy a felvilágosodás korában a filozófusok nem voltak egyszerű helyzetben, de még biztonságban sem. A felvilágosodás mégis bekövetkezett. A toleranciát egyre többen kezdték támogatni. John Locke a türelemről szóló híres levelében – amelyet 1683-ban írt, de csak később és akkor is névtelenül közölhetett – a következő problémát emelte ki: *„A vallások azok, amelyek talán a leginkább megkülönböztetik az embert az állattól, és azoknak kellene racionális teremtményekké emelniük bennünket a barmokkal szemben, ám a vallások által az ember gyakran a legirracionalisabb, a vadállatoknál is esztelenebb.”*

A tudomány némileg más megvilágításba helyezte a felvilágosodás kori vitákat – főként a lélek természetével és isten létezésével kapcsolatos vitákat befolyásolta. Voltaire gondolkodására különösen nagy hatással volt.

A gondoskodó és mindenható isten létének kérdésén elmélkedő Voltaire gondolkodásmódjában felismerhetők a tudományos módszer elemei, amikor a bizonyítékokat kereste, és törekedett azok mérlegelésére. Emlékezetes példa erre, ahogy a Lisszabont 1755. november 1-jén délelőtt 11 órakor megrázó földrengésre reagált. Maga a földrengés és az azt követő tűzvész iszonyú pusztítást végzett, sőt a rengés hatására szökőár is keletkezett. Lisszabonban legalább 30 ezer halálos áldozatot számoltak, Cádiz városában, ahol a cunami is végigsöpört, még több. A veszteség azért volt ennyire nagy, mert Mindenszentek napja lévén a hitbuzgó lakosság többsége éppen a templomban volt. Voltaire költeményében szenvedélyes hangon és megbélyegzően filozofált a katasztrófáról és isten szerepéről:

„...»Minden jól van« – no, most mondjátok,
becsapott
Bölcselők, nézzetek e rémisztő romokra,

*E tetemekre itt, törmelékkel borítva,
Hol nők és gyermekek egymásra hulltanak,
E roncs tagokra a tört márványtömb alatt!
Elnézve ezeket, kiket a föld zabál fel,
Kik még vonaglanak, törten, vérző sebekkel,
Akik elevenen temetve a saját
Háztetőik alá, itt várják a halált,
Míg fel-felhallik a haldoklók végnyögése,
A lángoló romok e rémképére nézve:
»Ez az örök törvény« – még ezt mondjátok-e?
S hogy ez egy jóságos Isten ítélete?
S így szóltok-e ezen holtak halmára látva:
»Ez Isten bosszúja, ez bűneiknek ára?«
Mi bűnben vétkesek vajon a kisdetek,
Kik anyjuk kebelén most törten vérzenek?
Lisszabonban, amely nincs többé, tán bűnösebb
Volt, mint London s Párizs, mely kéjben
hempereg?
Lisszabon leomolt, Párizsban táncot
ropnak. ...”⁶*

Természeti szerencsétlenségek azóta is vannak, és az okukat még mindig keressük. A holokauszt csapását egyes rabbik isten haragjának tulajdonítják, amiért is a zsidóság nem volt megfelelően engedelmes. Nemrég pedig az Egyesült Államokban azt olvastam, hogy egy evangélikus lelkész szerint a Katrina hurrikán pusztítása megérdemelt bosszú volt azért, mert St. Louis éppen melegfesztyál rendezésére készült.

A viták nincsenek eldöntve. Ezzel kapcsolatban két egészen friss példára utalok. Mindkettő olyasvalakihez kapcsolódik, aki a cambridge-i egyetem oktatója, egyben az anglikán egyház felszentelt papja. Az első *John Polkinghorne*, a kiváló fizikus, aki *Isten-hit a tudomány korában* címmel írt könyvet. A fizikai állandók rendkívül pontosan han-

golt értékét – amiről már volt szó – a szándékos teremtés látható jelének tartja. Polkinghorne azután egy óriási hitbeli ugrással a teremtés feladatát a Bibliában szereplő istenre ruházza. Miközben egy röpké mondatban üdvözli a többi vallást, magabiztos a tekintetben, hogy a végső okot helyesen jelölte meg.

A másik példa *Don Cupitt* és az ő műve, az *Eltűnt istenek nyomában*.⁷ Az objektív teizmus és a bibliai eseményekről szóló beszámoló szöveg szerinti elfogadása szerint tele van belső ellentmondásokkal. Azonban csak a dogmatikus hitet veti el, nem magát a vallást. Látja, hogy a vallási dimenzió milyen mértékben gazdagítja a személyes létet, üdvözli a más vallásokkal – különösen a buddhizmussal – való kapcsolatot.

Azok a vallásos hitek, amelyek a bizonyosságot hirdetik, de különösen azok a kijelentések, amelyek szerint a többi vallás érvénytelen és a vakhit mind megosztó, a történelem során mindvégig – nemkülönben napjainkban – halálos konfliktusok fő okozói. *Az a hit, amelyet minden más felett álló, szó szerinti, kizárólagos igazságként tüntetnek fel, nézetem szerint nem elfogadható hit a tudós számára.*

Ettől függetlenül továbbra is magasra értékeljük azt, hogy a kultúrtörténet legjavát a vallásos érzület inspirálta. A *Máté-passió* megindító ereje egyáltalán nem csökken, Händel *Messiása* ma és a jövőben is rendszeresen hallható, csakúgy, mint a születése óta eltelt több mint negyed évezredben. Az emberek ezentúl is ihletért fordulnak a Bibliához, a Tórához, a Koránhoz, és merítenek is azokból. Továbbra is titok hatja át a világot, továbbra is ki-ki a saját látásmódja szerint szabadon értelmezi a végső kérdésre azokban leírt választ.

⁷ Magyarul megjelent a Kulturtrade Kiadó gondozásában (Budapest, 1997).

⁶ Petri György fordítása

*

Valamennyien a számunkra legszimpatikusabb forrást választjuk iránymutatónak. Az egyik ilyen jelentős útmutató a néhai *Jacob Bronowski*, aki egyebek között a BBC által is bemutatott, közkedvelt tévésorozataról, *Az ember felemelkedéséről* is ismert. Egy rövid részletet idézünk a sorozat szövegkönyvéből. Ebben az epizódban Bronowski Auschwitz-ba látogat, és éppen azon elmélkedik, hogyan is történhetett a borzalom:

„Ebbe a kis tóba vagy négymillió ember hamvait szórták. Végzetüket nem a gáz okozta, hanem önteltséggel, dogmával és tudatlansággal irtották ki őket. Amikor egyesek a valósággal történő összevetés nélkül azt hiszik, hogy az abszolút tudás birtokában vannak, akkor ilyené fajul a viselkedésük. Ilyet cselekszik az, aki isteni tudásra vágyik. A tudomány a tudás egészen emberi formája, folyton a megismerés határán vagyunk, és mindig a reménybeli felé tapogatózunk. Minden tudományos vélemény személyes, és a hibahatárra esik. A tudomány tisztelet az iránt, amit tudhatunk, de gyarlók vagyunk.”

Egyetlen betűt sem szabad változtatni a tudós víziójának ilyen remekbe szabott kifejezésén. A tudósok nem állítják, hogy bölcsebbek lennének bárki másnál. Nincsenek olyan bűvös kulcs birtokában, amelynek segítségével a szemünk elé lehetne tární a lét hét lakat alatt őrzött végső titkait. Egy szempontból azonban mégis különleges a tudósok helyzete, és előadásomnak ez a vezérmotívuma: van, amit biztosan tudnak, és ehhez az egyetemes tudáshoz, valamint a számukra elfogadható hitek összességéhez mind hozzáférnek. De éppen ezen tudás következtében válnak felelőssé azért, hogy felismerjék a nem ellenőrizhető alapokon nyugvó állításokat, amelyek személyes vélemények, és csak az illető személy számára érvényesek és értékesek. A tu-

dósok felismerik, ha másnak az övéktől eltérő, akár azzal összeegyeztethetetlen a véleménye. Ennek tudatában nincs-e különleges társadalmi felelősségük a tudósoknak?

Szerintem – van. Először is természetesen a türelem gyakorlásában, amint azt John Locke majdnem négy évszázada javasolta. Ám az nem elegendő. Mindaddig, amíg a gyermekek az „igaz” hitet tanulják, és ennek a tanításnak része az, hogy a más hitet gyakorlókat vakoknak ábrázolják, a tanulókat az a nézet fertőzi meg, hogy az eltérő hitűekben előbb-utóbb tudatosul a saját hibájuk. A történelem, a múlt és a jelen azonban tragikusan mutatja, hogy a „tudatosítást” csupán egyetlen lépés választja el a véres konfliktustól.

Létezik olyan javaslat, hogy a tudományos pályára lépőknek egyfajta hippokraté-szi esküt kellene tenniük. Ennek hátterében az áll, hogy nem szabad olyan kutatásokkal foglalkozni, amelyek potenciális veszélyt jelentenek. Ezt az igényt kezdettől fogva teljesíthetetlennek tartottam. Ritkán látszik a legelején, hogy milyen eredményre vezet a tudományos kutatás, nem is említve az eredmények későbbi felhasználási lehetőségeit.

Meg vagyok győződve a tudósok különleges felelősségéről. Nekik kell élen járniuk annak a nézetnek széles körű megértésében, hogy a szubjektív hitek és azok objektív igazságokként való beállítása fenyegeti leginkább az emberi faj békés együttélését, hosszabb távon pedig talán az egész emberiség létét.

Úgy hiszem, hogy Gábor Dénes egyetértett volna ezzel a következtetéssel. Természetesen ezt igazából nem tudom – ez tehát nem egy elfogadható hit. Ez egyszerűen csak az, amit gondolok.

Kulcsszavak: *hit, létezés, természet, tudomány-filozófia, tumorképződés, vallás*

ÉLVONALBELI EGYETEMEK A TERMÉSZETTUDOMÁNYOS FOLYÓIRATOK KAPUŐREIN¹ ALAPULÓ MUTATÓSZÁM SZERINT

Braun Tibor

MTA doktora, c. egyetemi tanár, ELTE Kémiai Intézet
MTA–KSzI Tudományelemzési és Információtudományi Kutatócsoport, Budapest
braun@mail.iif.hu

Dióspatonyi Ildikó

PhD, tudományos munkatárs,
MTA–KSzI Tudományelemzési és Információtudományi Kutatócsoport, Budapest

Zádor Erika

PhD, tudományos munkatárs
MTA–KSzI Tudományelemzési és Információtudományi Kutatócsoport, Budapest

Zsindely Sándor

PhD, szerződéses munkatárs
MTA–KSzI Tudományelemzési és Információtudományi Kutatócsoport, Budapest

Bevezetés

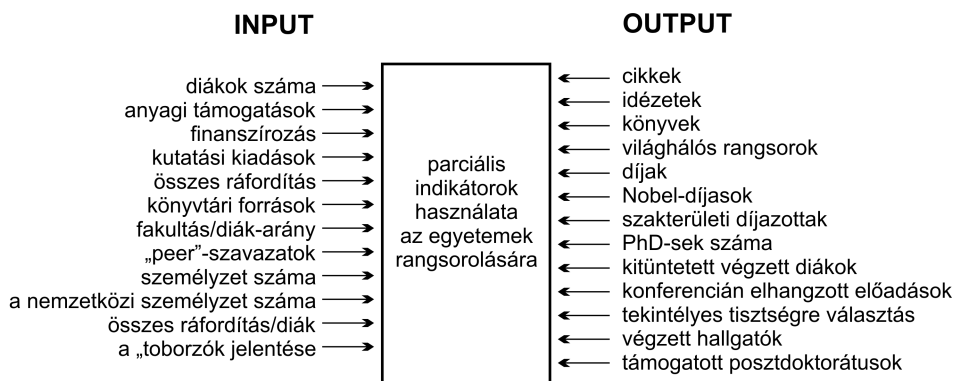
Az egyetemek a felsőoktatás és a tudományos kutatás zászlóvivői és hordozói. Minden kutatással foglalkozó egyetem igyekszik magáról a lehető legkedvezőbb képet nyújtani, és ezért részt vesz abban a versengésben, mely a lehető legjobb minőség megszerzése érdekében folyik. Az egyetemek tevékenységének iránya a múltban is rendkívül fontos volt és most is az, mivel egyre élénkebb piacon kell helytállniuk. Helyzetük illusztrálására és összehasonlítására leginkább nemzetközi és nemzeti rangsorokat szoktak közzétenni. Ilyen rangsor-táblázatok egész sora jelent már

meg, néhány példát itt is megemlítünk (url 1–4, Liu – Liu, 2005; Miguel et al., 2005; Eccles, 2002; Jobbins, 2002; Liu – Cheng, 2005).

Azonban az egyetemek multidimenziós természete és komplex volta miatt csak nehezen találunk olyan megbízható indikátorokat, melyekkel a teljesítményt mérni lehetne. Kérdéses rangsorok is megjelennek, noha ezek közül éles kritikával illettek egyeseket (van Raan, 2005; Razvan, 2006).

Általában ezek a rangsorolások különböző adatokból képzett összetett mutatószámok alapján épülnek fel. (*1. ábra*)

¹ Az angol *gatekeeper* (Crane, 1967) fordítása



1. ábra • Egyetemek rangsorolásánál használt „input-output” mutatószámok

Jelen dolgozatunkban néhány előzetes mérést teszünk közzé, melyeket egy, egyetlen „output” mutatószám alapján felépített egyetemi rangsor készítésére használtunk. Ez a mutatószám a nemzetközi tudományos folyóiratok kapuőreinek száma. Már több előbbi közleményben közzétettünk eredményeket ennek a mutatószámnak értékelési célra való használatáról (Braun, 2004; Braun – Dióspatonyi, 2005; Braun – Dióspatonyi, 2005). Ha megvizsgáljuk az 1. ábrán feltüntetett „input” és „output” mutatószámokat, úgy tűnik, hogy a kapuőrökön alapuló output mutatószám tükröz leginkább valóban minőségi jellemzőket.

Amint azt már korábban kimutattuk, például a Nobel-díjak számát is magába foglaló mutatószám (ami például a sanghaji [Shanghai] rangsor összetett mutatószámában szerepel) nem tükröz egyértelmű értékelést (Braun et al., 2003).

Alapelvek

A folyóirat kapuőrök szám alapján kialakított mutatószámok azon a tényen alapulnak, hogy a tudományos alap kutatás nemzetközi rendszerének megfelelő működéséhez a tudományos folyóiratok szerkesztőbizottságainak

szűrőtevékenysége rendkívül jelentős, mert ez biztosítja a folyóiratok szakmai színvonalát. Mint ismeretes, a folyóiratok szerkesztőbizottságának kritikai bírálata és megfontolt döntése mindezekig megvédte, és a jövőben is biztosítani fogja a tudomány szociális és intellektuális egységét. A folyóiratok szerkesztői és tanácsadói testületeinek tagjai tehát joggal tekinthetők a folyóiratok kapuőreinek. Ezek a kapuőrök azzal, hogy ellenőrzik a kéziratok értékelésének és kiválasztásának rendszerét, döntő stratégiai helyet foglalnak el a tudományos kutatási tevékenységben. Előzetes eredményeink bizonyították, hogy a kapuőrök kvantifikálásán alapuló mutatószámok jól korrelálnak a folyóiratcikkek produktivitásán és idézettségén számolt tudományos mutatószámokkal (Braun, 2004).

A tudományos folyóiratok kapuőrein alapuló mutatószámok a következő előnyökkel rendelkeznek:

1. A kapuőrök szakterületükön nagyobb elismertségűek, mint a szerzők, mivel az előbbieket kiválasztása kizárólag tudományos teljesítményük alapján történt.

2. A tudományos folyóiratok szerkesztőbizottsági és tanácsadói bizottsági tagjainak azonosítása egyszerű és egyértelmű.

3. A folyóirat kapuőrökön alapuló mutatószámok megbízhatóbbak, mint azok, amelyeket folyóiratcikk és idézetek alapján építettek fel, mert utóbbi esetekben a többszerzős cikkek azonosítása és például egyetemekhez való sorolása hibalehetőségeket jelenthetnek. Ugyanilyen hátrány jelentkezik az idézetek besorolásakor, ami a frakcionális számlálás problémáját veti fel. A kapuőrök esetében ilyen nehézség nem áll fent.

Jelen kapuőr adatbázisunk a 2005. évre vonatkozik és 12 természettudományos szakterület 20-20 magfolyóiratának, vagyis összesen 240 tudományos folyóirat kapuőreit tartalmazza. A folyóiratok kiválasztása egy már korábban közölt módszer szerint történt (Braun – Dióspatonyi, 2005). Az adatbázisban szereplő kapuőrök száma kb. 13 000 volt.

A kapuőröknek az egyes egyetemekhez való besorolását első megközelítésben egy speciális algoritmus szerint végeztük. Az eredmények további pontosítása manuálisan történt. A kapuőrök száma, melynek alapján az egyetem a táblázatba bekerült, nem volt azonos a világrangsor, valamint az egyes országok egyetemeinek esetében.

Az egyes táblázatokban szereplő legelső egyetemhez sorolt kapuőrök számához 100 %-os értéket rendeltünk, és az összes besorolást ehhez az értékhez viszonyítottuk.

Mivel a besorolásban szereplő néhány egyetem kevés kapuőrrel rendelkezik, ezért az egyes országokra vonatkozó táblázat közül néhány elég rövid.

Táblázatok

Lásd a Függelék, amely tartalmazza a vezető egyetemek kapuőr mutatószám szerinti rangsorait.

Rangsorkorreláció

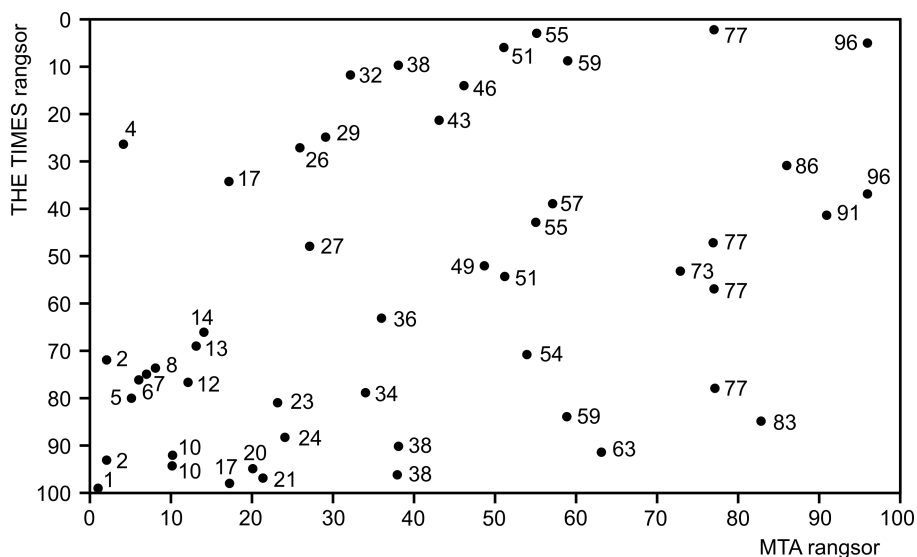
Végül összehasonlítottuk a világ legrangosabb száz egyetemének különböző szempontú rangsorait. A vizsgált korrelációk a következő rangsorokra vonatkoztak: a The Times -féle (Merisotis, 2002), a sanghaji (Shanghai) (Liu – Cheng, 2005) a spanyol (Miguel et al., 2005) (webometrics) és jelen dolgozat szerint készült (MTA rangsor). Az eredményeket a 2-4. ábrán mutatjuk be. A korrelációk eléggé gyengék, ami bizonyítja, hogy az a mutató, mely a rangsorolások alapjául szolgál, lényegesen befolyásolja magát a rangsorolást.

Megjegyzések

1. Hangsúlyozni kívánjuk, hogy a jelen dolgozatban bemutatott eredmények csak első próbálkozást jelentenek annak érdekében, hogy megvizsgáljuk, vajon a kapuőr mutatószám alkalmazható-e egyáltalán az egyetemek rangsorolására.
2. Az eredményeket egyetlen mutatószám alkalmazásával értük el, azonban ez a mutatószám professzionális minőségét illetően elég nagy értéket képvisel.
3. Az az adatbázis, melyből az adatokat nyertük, 480 tudományos folyóiratot és közel 13 000 kapuőrt tartalmaz. Nem zárható azonban ki, hogy amennyiben egy még átfogóbb adatbázist alkalmaznánk, úgy ettől eltérő eredményeket kapnánk.
4. A jelen kapuőr mutatószám a jövőben akár az 1. ábrán feltüntetett mutatószámok némelyikével közösen képzett összetett mutatószámként is használható.

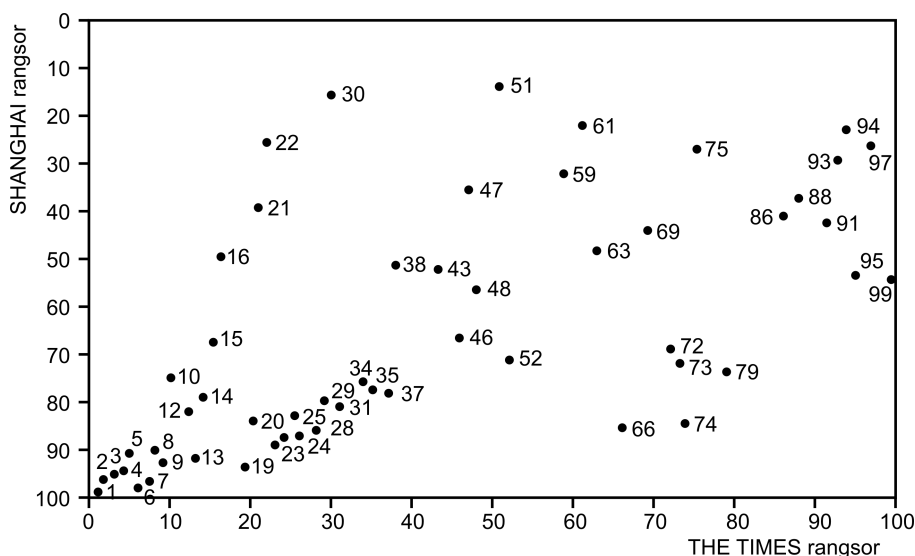
Kulcsszavak: *egyetemek, kapuőr indikátor, világ, Európa, országok, korrelációk.*

MTA rangsor	EGYETEM	ORSZÁG	TIMES rangsor	MTA rangsor	EGYETEM	ORSZÁG	TIMES rangsor
1	Harvard University	USA	1	38	California Inst. of Tech.	USA	4
2	Stanford University	USA	7	38	Swiss Federal Inst. of Tech.	CH	10
2	University of Pennsylvania	USA	28	38	University of Alabama	USA	90
4	University of Washington	USA	74	43	New York University	USA	79
5	U. of California, San Francisco	USA	20	46	University of Rochester	USA	86
6	U. of California, San Diego	USA	24	49	University of Edinburgh	GB	48
7	Johns Hopkins University	USA	25	51	University of British Columbia	CDN	46
8	U. of California, Los Angeles	USA	26	51	University of Vienna	A	94
10	University of Cambridge	GB	6	54	Kyoto University	J	29
10	Yale University	USA	8	55	Pierre & Marie Curie U.	FR	57
12	Cornell University	USA	23	55	King's College, London	GB	97
13	U. of Michigan, Ann Arbor	USA	31	57	Brown University	USA	61
14	University College, London	GB	34	59	Australian National U.	AUS	16
17	U. of California, Berkeley	USA	2	59	University of Bristol	GB	91
17	University of Wisconsin	USA	66	63	Princeton University	USA	9
20	University of Oxford	GB	5	73	University of Heidelberg	D	47
21	Massachusetts Inst. of Techn.	USA	3	77	University of Melbourne	AUS	22
23	Columbia University	USA	19	77	University of Manchester	GB	43
24	University of Tokyo	J	12	77	Catholic University, Leuven	B	53
26	Northwestern University	USA	73	77	University of Amsterdam	NL	98
27	Duke University	USA	52	83	University of Texas, Austin	USA	15
29	Boston University	USA	75	86	Osaka University	J	69
32	Case Western Reserve U.	USA	88	91	Purdue University	USA	59
34	McGill University	CDN	21	96	University of Copenhagen	DK	63
36	University of Toronto	CDN	37	96	Technical U. on Munich	D	95



2. ábra • Rangsortkorreláció: Jelen dolgozat – The Times (rangkorreláció: 0,43)

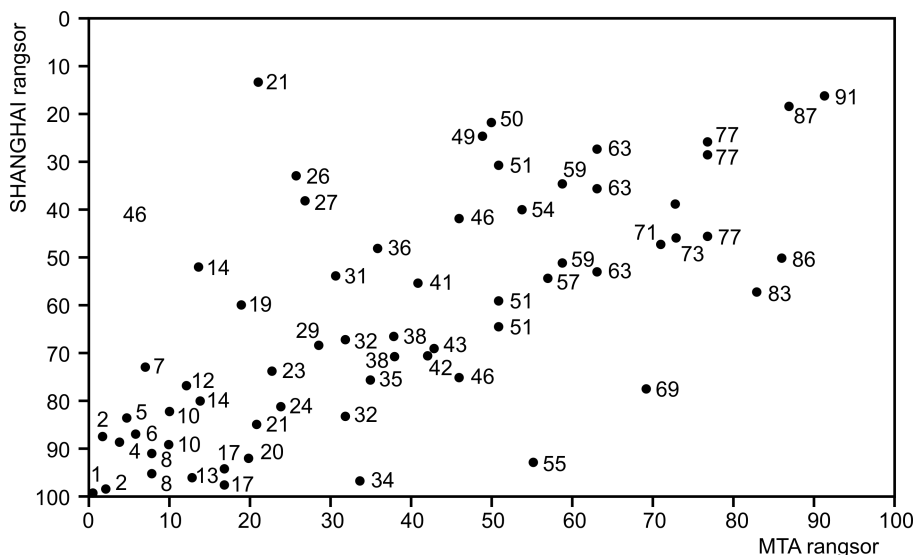
TIMES rangsor	EGYETEM	ORSZÁG	SHANGHAI rangsor	TIMES rangsor	EGYETEM	ORSZÁG	SHANGHAI rangsor
1	Harvard University	USA	1	35	Illinois University	USA	25
2	U. of California, Berkeley	USA	4	37	University of Toronto	CDN	24
3	M. I. T.	USA	5	38	Carnegie Mellon University	USA	54
4	California Institute of Tech.	USA	6	43	University of Manchester	GB	53
5	University of Oxford	GB	10	46	University of British Columbia	CDN	37
6	University of Cambridge	GB	2	47	University of Heidelberg	D	71
7	Stanford University	USA	3	48	University of Edinburgh	GB	48
8	Yale University	USA	11	51	Tokyo Institute of Technology	J	95
9	Princeton University	USA	8	52	Duke University	USA	32
10	Swiss Federal Institute of Tech.	CH	27	59	Purdue University	USA	75
12	University of Tokio	J	20	61	Brown University	USA	86
13	University of Chicago	USA	9	63	University of Copenhagen	DK	57
14	Imperial College London	GB	23	66	University of Wisconsin	USA	16
15	University of Texas, Austin	USA	36	69	Osaka University	J	62
16	Australian National University	AUS	56	72	U. of California, Santa Barbara	USA	34
19	Columbia University	USA	7	73	Northwestern University	USA	31
20	U. of California, San Francisco	USA	18	74	University of Washington	USA	17
21	McGill University	USA	67	75	Boston University	USA	80
22	University of Melbourne	AUS	82	79	New York University	USA	29
23	Cornell University	USA	12	86	University of Rochester	USA	65
24	U. of California, San Diego	USA	13	88	Case Western Reserve U.	USA	69
25	Johns Hopkins University	USA	19	91	University of Bristol	GB	64
26	U. of California, Los Angeles	USA	14	93	Hebrew University of Jerusalem	I	78
28	University of Pennsylvania	CDN	15	94	University of Vienna	A	85
29	Kyoto University	J	22	95	Technical University of Munich	D	52
30	Ecole Normale Sup., Paris	FR	93	97	King's College London	GB	81
31	U. of Michigan, Ann Arbor	USA	21	99	Munich University	D	51
34	University College London	GB	26				



3. ábra • Rangsortkorreláció: Shanghai – The Times (rangkorreláció: 0,63)

4. ábra (szemben) • Rangsortkorreláció: Shanghai – jelen dolgozat (rangkorreláció: 0,75)

MTA rangsor	EGYETEM	ORSZÁG	SHANGHAI rangsor	MTA rangsor	EGYETEM	ORSZÁG	SHANGHAI rangsor
1	Harvard University	USA	1	41	Rockefeller University	USA	30
2	Stanford University	USA	3	42	U. of Southern California	USA	50
2	University of Pennsylvania	USA	15	43	New York University	USA	29
4	University of Washington	USA	17	46	Pennsylvania State University	USA	39
5	U. of California, San Francisco	USA	18	46	University of Rochester	USA	65
6	U. of California, San Diego	USA	13	49	University of Edinburgh	GB	48
7	Johns Hopkins University	USA	19	50	Karolinska Institute	S	45
8	U. of California, Los Angeles	USA	14	51	University of British Columbia	CDN	37
8	Washington U. in St. Louis	USA	28	51	University of California, Irvine	USA	47
10	University of Cambridge	GB	2	51	University of Vienna	A	85
10	Yale University	USA	11	54	Kyoto University	J	22
12	Cornell University	USA	12	55	King's College London	GB	81
13	U. of Michigan, Ann Arbor	USA	21	57	Brown University	USA	86
14	University College London	GB	26	59	Australian National University	AUS	56
14	University of North Carolina	USA	55	59	University of Bristol	GB	64
17	U. of California, Berkeley	USA	4	63	Princeton University	USA	8
17	University of Wisconsin	USA	16	63	University of Utrecht	NL	42
19	University of Pittsburgh	USA	44	63	University of Utah	USA	96
20	University of Oxford	GB	10	69	University of Arizona	USA	74
21	Massachusetts Inst. of Tech.	USA	5	71	Ohio State University	USA	63
21	Vanderbilt University	USA	40	73	University of Zürich	CH	59
23	Columbia University	USA	7	73	University of Heidelberg	D	71
24	University of Tokyo	J	20	77	University of Manchester	GB	53
26	Northwestern University	USA	31	77	Michigan State University	USA	77
27	Duke University	USA	32	77	University of Melbourne	AUS	82
29	Boston University	USA	80	83	University of Helsinki	SF	76
31	University of Minnesota	USA	33	86	Osaka University	J	62
32	University of Florida	USA	58	87	Tufts University	USA	100
32	Case Western Reserve U.	USA	69	91	Purdue University	USA	75
34	McGill University	CDN	67	94	Indiana U., Bloomington	USA	87
35	University of California, Davis	USA	41	94	Texas A&M University	USA	89
36	University of Toronto	CDN	24	96	Technical University of Munich	D	52
38	California Institute of Tech.	USA	6	96	University of Copenhagen	DK	57
38	Swiss Federal Inst. of Tech.	CH	27	96	Lund University	S	99



Függelék

A világ vezető egyetemei*

Rangsor	Egyetem	Ország	Rel. %
1	Harvard University	Egyesült Államok	100,00
2–3	Stanford University	Egyesült Államok	51,18
2–3	University of Pennsylvania	Egyesült Államok	51,18
4	University of Washington	Egyesült Államok	50,00
5	University of California, San Francisco	Egyesült Államok	45,27
6	University of California, San Diego	Egyesült Államok	41,42
7	Johns Hopkins University	Egyesült Államok	41,12
8–9	University of California, Los Angeles	Egyesült Államok	37,57
8–9	Washington University in St. Louis	Egyesült Államok	37,57
10–11	University of Cambridge	Egyesült Királyság	33,14
10–11	Yale University	Egyesült Államok	33,14
12	Cornell University	Egyesült Államok	32,84
13	University of Michigan, Ann Arbor	Egyesült Államok	31,95
14–15	University College London	Egyesült Királyság	31,36
14–15	University of North Carolina	Egyesült Államok	31,36
16	University of Illinois, Chicago	Egyesült Államok	29,59
17–18	University of California, Berkeley	Egyesült Államok	28,99
17–18	University of Wisconsin	Egyesült Államok	28,99
19	University of Pittsburgh	Egyesült Államok	26,30
20	University of Oxford	Egyesült Királyság	26,04
21–22	Massachusetts Institute of Technology	Egyesült Államok	25,74
21–22	Vanderbilt University	Egyesült Államok	25,74
23	Columbia University	Egyesült Államok	25,44
24	University of Tokyo	Japán	24,85
25	Emory University	Egyesült Államok	23,96
26	Northwestern University	Egyesült Államok	23,08
27	Duke University	Egyesült Államok	22,78
28	University of Virginia	Egyesült Államok	22,19
29–30	Boston University	Egyesült Államok	21,60
29–30	University of Texas, Dallas	Egyesült Államok	21,60
31	University of Minnesota	Egyesült Államok	20,71
32–33	Case Western Reserve University	Egyesült Államok	20,41
32–33	University of Florida	Egyesült Államok	20,41
34	McGill University	Kanada	19,23
35	University of California, Davis	Egyesült Államok	18,93
36	University of Toronto	Kanada	18,64
37	Baylor College of Medicine	USA	17,16
38–40	Swiss Federal Institute of Technology, Zürich	Svájc	16,86
38–40	California Institute of Technology	Egyesült Államok	16,86
38–40	University of Alabama	Egyesült Államok	16,86
41	Rockefeller University	Egyesült Államok	15,98
42	University of Southern California	Egyesült Államok	15,68
43	New York University	Egyesült Államok	14,79

* Az egyetemek neve kevés kivétellel általában angolul szerepel.

44	University of Texas, Houston	Egyesült Államok	14,20
45	University of Iowa	Egyesült Államok	13,91
46–48	Mount Sinai School of Medicine	Egyesült Államok	13,61
46–48	Pennsylvania State University	Egyesült Államok	13,61
46–48	University of Rochester	Egyesült Államok	13,61
49	University of Edinburgh	Egyesült Királyság	13,31
50	Karolinska Institute	Svédország	13,02
51–53	University of Vienna	Ausztria	12,72
51–53	University of British Columbia	Kanada	12,72
51–53	University of California, Irvine	Egyesült Államok	12,72
54	Kyoto University	Japán	12,43
55–56	Pierre & Marie Curie University	Franciaország	32,13
55–56	King's College London	Egyesült Királyság	12,13
57–58	Brown University	Egyesült Államok	11,83
57–58	University of Texas, San Antonio	Egyesült Államok	11,83
59–61	Australian National University	Ausztrália	11,54
59–61	University of Bristol	Egyesült Királyság	11,54
59–61	University of Colorado, Boulder	Egyesült Államok	11,54
62	University of Massachusetts, Worcester	Egyesült Államok	11,24
63	University of Utrecht	Hollandia	10,95
64–68	Princeton University	Egyesült Államok	10,95
64–68	Rutgers University	Egyesült Államok	10,95
64–68	University of Colorado at Denver	Egyesült Államok	10,95
64–68	University of Georgia	Egyesült Államok	10,95
64–68	University of Utah	Egyesült Államok	10,95
69–70	University of Arizona	Egyesült Államok	10,36
69–70	University of Illinois, Urbana-Champaign	Egyesült Államok	10,36
71–72	Ohio State University	Egyesült Államok	10,06
71–72	University of Maryland, College Park	Egyesült Államok	10,06
73–76	University of Western Ontario	Kanada	9,76
73–76	University of Heidelberg	Németország	9,76
73–76	University of Zürich	Svájc	9,76
73–76	Albert Einstein College of Medicine	Egyesült Államok	9,76
77–82	University of Melbourne	Ausztrália	9,47
77–82	Catholic University Leuven	Belgium	9,47
77–82	University of Amsterdam	Hollandia	9,47
77–82	University of Manchester	Egyesült Királyság	9,47
77–82	Michigan State University	Egyesült Államok	9,47
77–82	University of Cincinnati	Egyesült Államok	9,47
83–85	University of Helsinki	Finnország	9,17
83–85	George Washington University	Egyesült Államok	9,17
83–85	University of Texas, Austin	Egyesült Államok	9,17
86	Osaka University	Japán	8,88
87–90	Leiden University	Hollandia	8,58
87–90	Oregon State University	Egyesült Államok	8,58
87–90	Tufts University	Egyesült Államok	8,58
87–90	University of Maryland, Baltimore	Egyesült Államok	8,58
91–93	Georgetown University	Egyesült Államok	8,28
91–93	Purdue University	Egyesült Államok	8,28
91–93	University of Tennessee	Egyesült Államok	8,28

94–95	Indiana University, Bloomington	Egyesült Államok	7,69
94–95	Texas A&M University	Egyesült Államok	7,69
96	University of Copenhagen	Dánia	7,40
97–102	Ludwig Maximilians University of Munich	Germany	7,40
97–102	Technical University of Munich	Germany	7,40
97–102	Lund University	Sweden	7,40
97–102	University of Leeds	Egyesült Királyság	7,40
97–102	Oregon Health and Sciences University	Egyesült Államok	7,40
97–102	U. of Medicine and Dentistry of New Jersey	Egyesült Államok	7,40

Európa vezető egyetemei

Rangsor	Egyetem	Ország	Rel. %
1	University of Cambridge	Egyesült Királyság	100,00
2	University College London	Egyesült Királyság	94,64
3	University of Oxford	Egyesült Királyság	78,57
4	Swiss Federal Institute of Technology, Zürich	Svájc	50,89
5	University of Edinburgh	Egyesült Királyság	40,18
6	Karolinska Institute	Svédország	39,29
7–8	University of Vienna	Ausztria	38,39
7–8	Pierre & Marie Curie University	Franciaország	36,61
9	King's College London	Egyesült Királyság	36,61
10	University of Bristol	Egyesült Királyság	34,82
11	University of Utrecht	Hollandia	33,04
12–13	University of Heidelberg	Németország	29,46
12–13	University of Zürich	Svájc	29,46
14–16	Catholic University Leuven	Belgium	28,57
14–16	University of Amsterdam	Hollandia	28,57
14–16	University of Manchester	Egyesült Királyság	28,57
17	University of Helsinki	Finnország	27,68
18	Leiden University	Hollandia	26,89
19–23	University of Copenhagen	Dánia	22,32
19–23	Ludwig Maximilians University of Munich	Németország	22,32
19–23	Technical University of Munich	Németország	22,32
19–23	Lund University	Svédország	22,32
19–23	University of Leeds	Egyesült Királyság	22,32
24–28	Humboldt University of Berlin	Németország	21,43
24–28	Johannes Gutenberg University of Mainz	Németország	21,43
24–28	University of Bonn	Németország	21,43
24–28	University of Hamburg	Németország	21,43
24–28	University of Birmingham	Egyesült Királyság	21,43
29–30	University of Florence	Olaszország	20,54
29–30	University of Wales	Egyesült Királyság	20,54
31–33	University of Basel	Svájc	19,64
31–33	University of East Anglia	Egyesült Királyság	19,64
31–33	University of Nottingham	Egyesült Királyság	19,64
34–36	Tel Aviv University	Izrael	18,75
34–36	University of Geneva	Svájc	18,75
34–36	University of Glasgow	Egyesült Királyság	18,75
37–40	Albert-Ludwigs University of Freiburg	Németország	17,86

37–40	Friedrich-Alexander U. of Erlangen-Nürnberg	Németország	17,86
37–40	Hebrew University	Izrael	17,86
37–40	Free University of Amsterdam	Hollandia	17,86
41–44	Johann Wolfgang Goethe University	Németország	16,96
41–44	University of Milan	Olaszország	16,96
41–44	University of Lausanne	Svájc	16,96
41–44	University of Groningen	Hollandia	16,96
45–50	Free University of Brussels	Belgium	16,07
55–50	University of Aarhus	Dánia	16,07
45–50	Eberhard Karls University of Tübingen	Németország	16,07
45–50	Georg August University of Göttingen	Németország	16,07
45–50	Stockholm University	Svédország	16,07
45–50	University of Newcastle upon Tyne	Egyesült Királyság	16,07
51–53	University of Oslo	Norvégia	15,18
51–53	University of Uppsala	Svédország	15,18
51–53	University of Liverpool	Egyesült Királyság	15,18
54–57	University of Karlsruhe	Németország	14,29
54–57	La Sapienza University	Olaszország	14,29
54–57	Erasmus University	Hollandia	14,29
54–57	University of Southampton	Egyesült Királyság	14,29
58–62	University of Leuven	Belgium	13,39
58–62	Technical University of Denmark	Dánia	13,39
58–62	University Paris-Sud	Franciaország	13,39
58–62	University Paul Sabatier	Franciaország	13,39
58–62	University of Bern	Svájc	13,39
63–68	University of René Descartes	Franciaország	12,50
63–68	University of Munster	Németország	12,50
63–68	University of Barcelona	Spanyolország	12,50
63–68	Cardiff University	Egyesült Királyság	12,50
63–68	University of Dundee	Egyesült Királyság	12,50
63–68	University of Sheffield	Egyesült Királyság	12,50
69–75	Ecole Normale Supérieure	Franciaország	11,61
69–75	University Louis Pasteur Strasbourg	Franciaország	11,61
69–75	University of Montpellier II	Franciaország	11,61
69–75	University of Cologne	Németország	11,61
69–75	Trinity College Dublin	Írország	11,61
69–75	Royal Free and U. College Med. School	Egyesült Királyság	11,61
69–75	University of Leicester	Egyesült Királyság	11,61
76–85	Vienna University of Technology	Ausztria	10,71
76–85	Free University of Berlin	Németország	10,71
76–85	Philipps University of Marburg	Németország	10,71
76–85	Ruhr University of Bochum	Németország	10,71
76–85	University of Padova	Olaszország	10,71
76–85	University of Rome	Olaszország	10,71
76–85	Umea University	Svédország	10,71
76–85	University Hospitals of Geneva	Svájc	10,71
76–85	Radboud University	Hollandia	10,71
76–85	Wageningen University	Hollandia	10,71
86–94	Ghent University	Belgium	10,71
86–94	University of Antwerp	Belgium	10,71

86–94	Helsinki University of Technology	Finnország	10,71
86–94	Heinrich-Heine University of Düsseldorf	Németország	10,71
86–94	Technion - Israel Institute of Technology	Izrael	10,71
86–94	Göteborg University	Svédország	10,71
86–94	Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne	Svájc	10,71
86–94	Technical University of Delft	Hollandia	10,71
86–94	Technical University of Eindhoven	Hollandia	10,71
95–100	University of the Mediterranean	Franciaország	8,93
95–100	University of Aachen	Németország	8,93
95–100	University of Würzburg	Németország	8,93
95–100	Queen's University of Belfast	Egyesült Királyság	8,93
95–100	University of Aberdeen	Egyesült Királyság	8,93
95–100	University of Sussex	Egyesült Királyság	8,93

Argentína vezető egyetemei

Rangsor		Rel. %
1	University of Buenos Aires	100,00
2	University of La Plata	40,00
3	Catholic University of Córdoba	20,00
4	Universidad de Córdoba	20,00
5	Universidad Nacional de Córdoba	20,00
6	Universidad Nacional de Litoral	20,00
7	Universidad Nacional de Quilmes	20,00

Ausztria vezető egyetemei

Rangsor		Rel. %
1	University of Vienna	100,00
2	Vienna University of Technology	27,91
3	University of Innsbruck	16,28
4	Medical University of Vienna	11,63

Ausztrália vezető egyetemei

Rangsor		Rel. %
1	Australian National University	100,00
2	University of Melbourne	82,05
3–4	University of Queensland	58,97
3–4	University of Sydney	58,97
5	University of New South Wales	43,59
6	Monash University	35,90
7–8	Flinders University	28,21
7–8	University of Western Australia	28,21
9–10	Macquarie University	23,08
9–10	University of Adelaide	23,08

Belgium vezető egyetemei

Rangsor		Rel. %
1	Catholic University Leuven	100,00
2	Free University of Brussels	38,30
3–4	Ghent University	23,40
3–4	University of Antwerp	23,40

Brazília vezető egyetemei

Rangsor		Rel. %
1-4	University of Sao Paulo	100,00
1-4	Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro	25,00
1-4	State University of Londrina	25,00
1-4	State University of Campinas	25,00
5-9	Universidade de Brasília	12,50
5-9	Universidade Federal de Minas Gerais	12,50
5-9	University of Bahia	12,50
5-9	University of Santa Catarina	12,50

Dánia vezető egyetemei

Rangsor		Rel. %
1	University of Copenhagen	100,00
2	University of Aarhus	72,00
3	Technical University of Denmark	60,00
4	University of Southern Denmark	32,00
5	Royal Veterinary and Agricultural University	24,00

a Dél-afrikai Köztársaság vezető egyetemei

Rangsor		Rel. %
1	University of Stellenbosch	100,00
2	University of Witwatersrand	100,00
3	University of Cape Town	75,00

az Egyesült Államok vezető egyetemei

Rangsor		Rel. %
1	Harvard University	100,00
2	Stanford University	51,18
3	University of Pennsylvania	51,18
4	University of Washington	50,00
5	University of California, San Francisco	45,27
6	University of California, San Diego	41,42
7	Johns Hopkins University	41,12
8-9	University of California, Los Angeles	37,57
8-9	Washington University in St. Louis	37,57
10	Yale University	33,14
11	Cornell University	32,84
12	University of Michigan, Ann Arbor	31,95
13	University of North Carolina	31,36
14	University of Illinois, Chicago	29,59
15-16	University of California, Berkeley	28,99
15-16	University of Wisconsin	28,99
17	University of Pittsburgh	26,33
18-19	Massachusetts Institute of Technology	25,74
18-19	Vanderbilt University	25,74
20	Columbia University	25,44
21	Emory University	23,96
22	Northwestern University	23,08
23	Duke University	22,78

24	University of Virginia	22,19
25–26	Boston University	21,60
25–26	University of Texas, Dallas	21,60
27	University of Minnesota	20,71
28–29	Case Western Reserve University	20,41
28–29	University of Florida	20,41
30	University of California, Davis	18,93
31	Baylor College of Medicine	17,16
32–33	California Institute of Technology	16,86
32–33	University of Alabama	16,86
34	Rockefeller University	15,98
35	University of Southern California	15,68
36	New York University	14,79
37	University of Texas, Houston	14,20
38	University of Iowa	13,91
39–41	Mount Sinai School of Medicine	13,61
39–41	Pennsylvania State University	13,61
39–41	University of Rochester	13,61
42	University of California, Irvine	12,72
43–44	Brown University	11,83
43–44	University of Texas, San Antonio	11,83
45	University of Colorado, Boulder	11,54
46	University of Massachusetts, Worcester	11,24
47	Princeton University	10,95
48–51	Rutgers University	10,95
48–51	University of Colorado at Denver	10,95
48–51	University of Georgia	10,95
48–51	University of Utah	10,95
52–53	University of Arizona	10,36
52–53	University of Illinois, Urbana-Champaign	10,36
54–55	Ohio State University	10,06
54–55	University of Maryland, College Park	10,06
56	Albert Einstein College of Medicine	9,76
57–58	Michigan State University	9,47
58	University of Cincinnati	9,47
59–60	George Washington University	9,17
59–60	University of Texas, Austin	9,17
61–63	Oregon State University	8,58
61–63	Tufts University	8,58
61–63	University of Maryland, Baltimore	8,58
64–66	Georgetown University	8,28
64–66	Purdue University	8,28
64–66	University of Tennessee	8,28
67–68	Indiana University, Bloomington	7,69
67–68	Texas A&M University	7,69
69–70	Oregon Health and Sciences University	7,40
69–70	University of Medicine and Dentistry of New Jersey	7,40
71–72	University of California, Riverside	7,10
71–72	University of South Carolina	7,10
73–76	Georgia Institute of Technology	6,80

73–76	State University of New York, Stony Brook	6,80
73–760	University of Connecticut	6,80
73–76	University of Kentucky	6,80
77	Thomas Jefferson University	6,51
78–79	Brandeis University	6,21
78–79	University of Missouri	6,21
80	Louisiana State University	5,92
81–84	Carnegie Mellon University	5,62
81–84	Medical University of South Carolina	5,62
81–84	University of Arkansas	5,62
81–84	University of Miami	5,62
85–86	Indiana University – Purdue University, Indianapolis	5,33
85–86	State University of New York, Buffalo	5,33
87–92	Iowa State University	5,03
87–92	University of California, Santa Barbara	5,03
87–92	University of Massachusetts, Amherst	5,03
87–92	University of Nebraska	5,03
87–92	Virginia Polytechnic Institute and State University	5,03
87–92	Wayne State University	5,03
93–94	University of New Mexico	4,73
93–94	Virginia Commonwealth University	4,73
95–98	Medical College of Wisconsin	4,44
95–98	North Carolina State University	4,44
95–98	Rice University	4,44
95–98	University of Kansas	4,44
99	University of Houston	4,14

Az Egyesült Királyság vezető egyetemei

Rangsor		Rel. %
1	University of Cambridge	100,00%
2	University College London	94,64%
3	University of Oxford	78,57%
4	University of Edinburgh	40,18%
5	King's College London	36,61%
6	University of Bristol	34,82%
7	University of Manchester	28,57%
8	University of Leeds	22,32%
9	University of Birmingham	21,43%
10	University of Wales	20,54%
11–12	University of East Anglia	19,64%
11–12	University of Nottingham	19,64%
13	University of Glasgow	18,75%
14	University of Newcastle upon Tyne	16,07%
15	University of Liverpool	15,18%
16	University of Southampton	14,29%
17–19	Cardiff University	12,50%
17–19	University of Dundee	12,50%
17–19	University of Sheffield	12,50%
20–21	Royal Free and University College Medical School	11,61%
20–21	University of Leicester	11,61%

22–24	Queen's University of Belfast	8,93%
22–24	University of Aberdeen	8,93%
22–24	University of Sussex	8,93%

Finnország vezető egyetemei

Rangsor		Rel. %
1	University of Helsinki	100,00
2	Helsinki University of Technology	35,48
3	University of Kuopio	29,03
4	University of Oulu	22,58
5	University of Turku	12,90

Franciaország vezető egyetemei

Rangsor		Rel. %
1	Pierre & Marie Curie University	100,00
2–3	University Paris-Sud	36,59
2–3	University Paul Sabatier	36,59
4	University of René Descartes	34,15
5–7	École Normale Supérieure	31,71
5–7	University Louis Pasteur, Strasbourg	31,71
5–7	University of Montpellier II	31,71
8	University of the Méditerranée	24,39
9	University of Nice-Sophia Antipolis	21,95
10–12	Collège de France	19,51
10–12	École Polytechnique	19,51
10–12	University Denis Diderot	19,51
13–14	University Joseph Fourier	17,07
13–14	University of Caen Basse-Normandie	17,07
15	University of Bordeaux 2 – Victor Segalen	14,63
16	Paris 12 – Val de Marne University	12,20

Görögország vezető egyetemei

Rangsor		Rel. %
1–2	University of Athens	100,00
1–2	University of Crete	100,00
3	Aristotle University of Thessaloniki	80,00

Hollandia vezető egyetemei

Rangsor		Rel. %
1	University of Utrecht	100,00
2	University of Amsterdam	86,49
3	Leiden University	78,38
4	Free University of Amsterdam	54,05
5	University of Groningen	51,35
6	Erasmus University	43,24
7–8	Radboud University	32,43
7–8	Wageningen University	32,43
9–10	Technical University of Delft	29,73
9–10	Technical University of Eindhoven	29,73

Írország vezető egyetemei

Rangsor		Rel. %
1	Trinity College Dublin	100,00
2	University of Dublin	53,85
3	Dublin City University	23,08

Izrael vezető egyetemei

Rangsor		Rel. %
1	Hebrew University	95,24
2	Technion – Israel Institute of Technology	52,38
3	Bar Ilan University	28,57
4	Hadassah Medical University	19,05

Japán vezető egyetemei

Rangsor		Rel. %
1	University of Tokyo	100,00
2	Kyoto University	50,00
3	Osaka University	35,71
4	Tohoku University	25,00
5	Nagoya University	20,24
6	Kyushu University	17,86
7–9	Hokkaido University	9,52
7–9	Tokyo Institute of Technology	9,52
7–9	Tokyo Medical and Dental University	9,52
10–11	Keio University	8,33
10–11	Okayama University	8,33
12–13	Kanazawa University	5,95
12–13	Kumamoto University	5,95

Kanada vezető egyetemei

Rangsor		Rel. %
1	McGill University	100,00
2	University of Toronto	96,92
3	University of British Columbia	66,15
4	University of Western Ontario	50,77
5	University of Alberta	36,92
6	University of Calgary	30,77
7	University of Montreal	26,15
8	McMaster University	21,54
9	University of Ottawa	18,46
10	University of Guelph	16,92
10–11	Dalhousie University	15,38
10–11	University of Waterloo	15,38
15–15	Simon Fraser University	13,85
13–15	University of Laval	13,85
13–15	University of Manitoba	13,85
16–17	Queen's University	10,77
16–17	University of Victoria	10,77
18	Memorial University of Newfoundland	9,23
19	York University	7,69
20	University of Saskatchewan	6,15

Kína vezető egyetemei

Rangsor		Rel. %
1	University of Hong Kong	100,00
2	Peking University	50,00
3	City University of Hong Kong	30,00
4	Hong Kong University of Sci./Tech.	30,00
5	Nanjing University	30,00
6	Tsinghua University	30,00
7	Chinese University of Hong Kong	20,00
8	Fudan University	20,00
9	Hong Kong Polytechnic University	20,00
10–18	China Normal University	10,00
10–18	Dalian University of Technology	10,00
10–18	Hong Kong Baptist University	10,00
10–18	Huazhong Agricultural University	10,00
10–18	Hunan University	10,00
10–18	Shanghai University	10,00
10–18	Sichuan University	10,00
10–18	University Changchun	10,00
10–18	Zhejiang and Northeastern Universities	10,00

Korea vezető egyetemei

Rangsor		Rel. %
1	Seoul National University	100,00
2	Pohang University of Science and Technology	44,44
3	Yonsei University	22,22
4	Ajou University	11,11
5	Ewha Womans University	11,11
6	Hallym University	11,11
7	Hannam University	11,11
8	Korea Institute of Science and Technology	11,11
9	Korea University	11,11

Magyarország vezető egyetemei

Rangsor		Rel. %
1	Semmelweis Orvostudományi Egyetem	100,00
2	Debreceni Egyetem	62,50
3	Szegedi Egyetem	50,00
4	Eötvös Loránd Tudományegyetem	37,50

Mexikó vezető egyetemei

Rangsor		Rel. %
1	Universidad Nacional Autónoma de México	100,00
2	Instituto Politécnico Nacional	50,00
3	San Luis Potosi State University	50,00
4	National University of México	25,00
5	Universidad Cuernavaca	25,00

Németország vezető egyetemei

Rangsor		Rel. %
1	University of Heidelberg	100,00
2-3	Ludwig Maximilians University of Munich	75,76
2-3	Technical University of Munich	75,76
4-7	Humboldt University of Berlin	72,73
4-7	Johannes Gutenberg University of Mainz	72,73
4-7	University of Bonn	72,73
4-7	University of Hamburg	72,73
8-9	Albert-Ludwigs University of Freiburg	60,61
8-9	Friedrich-Alexander-University of Erlangen-Nürnberg	60,61
10	Johann Wolfgang Goethe University	57,58
11-12	Eberhard Karls University of Tübingen	54,55
11-12	Georg August University of Göttingen	54,55
13	University of Karlsruhe	48,48
14	University of Münster	42,42
15	University of Cologne	39,39
16-18	Free University of Berlin	36,36
16-18	Philipps University of Marburg	36,36
16-18	Ruhr University of Bochum	36,36
19	Heinrich-Heine University of Düsseldorf	33,33
20-21	University of Aachen	30,30
20-21	University of Würzburg	30,30
22	University of Stuttgart	27,27
23	University of Constance	24,24
24-26	University of Essen	21,21
24-26	University of Hannover	21,21
24-26	University of Kaiserslautern	21,21
27-29	Justus-Liebig University Giessen	18,18
27-29	University Hospital Eppendorf	18,18
27-29	University of Kiel	18,18
30	Medical University of Hannover	15,15

Norvégia vezető egyetemei

Rangsor		Rel. %
1	University of Oslo	100,00
2	University of Bergen	52,94
3	Norwegian University of Science and Technology	35,29

Olaszország vezető egyetemei

Rangsor		Rel. %
1	University of Florence	100,00
2	University of Milan	82,61
3	La Sapienza University	69,57
4-5	University of Padova	52,17
4-5	University of Rome	52,17
6	University of Naples – Federico II	30,43
7-9	University of Bologna	26,09
7-9	University of Genova	26,09

7–9	University Vita-Salute San Raffaele	26,09
10–13	University of Pavia	17,39
10–13	University of Pisa	17,39
10–13	University of Trieste	17,39
10–13	University of Verona	17,39

Portugália vezető egyetemei

Rangsor		Rel. %
1	Technical University of Lisbon	100,00
2	Instituto Superior de Agronomia	66,66
3	Univesity of Porto	66,66
4	Instituto Superior Técnico	33,33
5	Universidade Nova de Lisboa	33,33

Új-Zéland vezető egyetemei

Rangsor		Rel. %
1	University of Auckland	100,00
2	University of Otago	80,00
3	Massey University	30,00

Spanyolország vezető egyetemei

Rangsor		Rel. %
1	University of Barcelona	100,00
2	Universidad Autónoma de Madrid	92,86
3	University of Sevilla	57,14
4–5	Technical University of Catalonia	28,57
4–5	Universidad Complutense de Madrid	28,57

Svájc vezető egyetemei

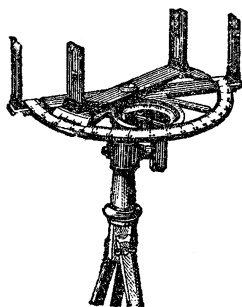
Rangsor		Rel. %
1	Swiss Federal Institute of Technology, Zürich	100,00
2	University of Zürich	47,83
3	University of Basel	31,88
4	University of Geneva	30,43
5	University of Lausanne	27,54
6	University of Bern	21,74
7	University Hospitals of Geneva	17,39
8	University of Vaudois	11,59

Svédország vezető egyetemei

Rangsor		Rel. %
1	Karolinska Institute	100,00
2	Lund University	56,82
3	Stockholm University	40,91
4	University of Uppsala	38,64
5	Umea University	27,27
6	Göteborg University	25,00
7	Chalmers University of Technology	20,45
8	Royal Institute of Technology	18,18

IRODALOM

- Crane, Diane (1967): The Gatekeepers of Science: Some Factors Affecting the Selection of Articles for Scientific Journals, *American Sociologist*, 2, 195–201
- Merisotis, Jamie P. (2002): Summary Report of the Invitational Roundtable on Statistical Indicators for the Quality Assessment of Higher/Tertiary Education Institutions: Ranking and League Table Methodologies. *Higher Education in Europe*. 27, 475–480.
- url 1 – <http://www.webometrics.info/top3000-es.asp.htm>
- url 2 – <http://ed.sjtu.edu.cn/ranking.htm>
- url 3 – <http://ed.sjtu.edu.cn/rank/2005>
- url 4 – <http://www.usnews.com/usnews/edu/college/ranking>
- Liu, Nian Cai. – Liu, Li (2005): University Rankings in China. *Higher Education in Europe*. 30, 217–227.
- Miguel, Jesus M. de – Vaguera, E. – Sanchez, J. D. (2005): Spanish Universities and the Ranking 2005 Initiative. *Higher Education in Europe*. 30, 199–215
- Eccles, Charles (2002): The Use of University Rankings in the United Kingdom. *Higher Education in Europe*. 27, 423–432.
- Jobbins, David (2002): The Times/The Times Higher Education Supplement—League Tables in Britain: An Insider's View. 27, 383–388.
- Liu, Nian Cai – Cheng, Ying (2005): The Academic Ranking of World Universities. *Higher Education in Europe*. 30, 127–136.
- van Raan, Anthony F. J. (2005): Fatal Attraction: Conceptual and Methodological Problems in the Ranking of Universities by Bibliometric Methods. *Scientometrics*. 62, 133.
- Razvan, Florian (2006): Irreproducibility of the Results of the Shanghai Academic Ranking of World Universities. *Ad Astra*. 5, <http://www.ad-astra.ro/journal>
- Braun Tibor (2004): Keeping the Gates of Sciences Journals. In: Moed, Henk F. – Glänzel, W. – Smoch, U. (eds.): *Handbook of Quantitative Science and Technology Research*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 95–114.
- Braun Tibor – Dióspatonyi Ildikó (2005): The Counting of Core Journal Gatekeepers as Science Indicators Really Counts. *The Scientific Scope of Action and Strengths of Nations*. *Scientometrics*. 62, 297.
- Braun Tibor – Dióspatonyi Ildikó. (2005): The Journal Gatekeepers of Major Publishing Houses of Core Science Journals. *Scientometrics*. 64, 113.
- Braun Tibor – Peresztegi-Szabadi Zs. – Németh-Kovács É. (2003): No-bells for Ambiguous Lists of Ranked Nobelists as Science Indicators of National Merit in Physics and Medicine. *Scientometrics*. 56, 3–20.



Tudós fórum

KUHN ÉS A RELATIVIZMUS TUDOMÁNYOS KONFERENCIA

Beszámoló

Dinnyei Márton

PhD-hallgató, BME Technika-, Mérnök- és Tudománytörténet Multidiszciplináris Doktori Iskola
marcibela@vnet.hu

1996-ban, tíz esztendeje hunyt el Thomas Samuel Kuhn, nagyhírű tudományfilozófus-tudománytörténész. Nevéhez a tudományfilozófia kognitív fordulata immár elválaszthatatlanul hozzákapcsolódik. Főművében, *A tudományos forradalmak szerkezeté*-ben felvett tézisek mélyen felkavarták a tudományfilozófia közegét, s élénk reakciókra, szinte minden képzeletet felülmúló mennyiségű interpretációra, kritikára készítették azt. Kuhn a kritikák hullámát érzékelve folyamatosan finomította elméletét, helyenként radikálisnak látszó módon fordított rajta, mégis hű maradt alap gondolataihoz. Talán a kuhni életműből kiolvasható legfőbb konklúzió, mely a tudományos megismerés episztemológiai értelmezési keretét az egyénről a közösségre helyezte át, valamint a paradigma régi-új, lichtenbergi-toulmini közvetítésű, mégis újjáértelmezett fogalma voltak a bírálatok legfőbb kiindulópontjai, s adtak apropót az olyan, mára „standardnak” tetsző vádak megfogalmazásá-

hoz, mint például a relativizmus vagy a tudomány irracionális értelmezése.

Az évforduló alkalmával, 2006. szeptember 11-12-én, kétnapos tudományos konferenciának adott otthont a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem. Az OTKA és az NKTH–KPI támogatásával, az MTA–BME Tudományfilozófiai és Tudománytörténeti Kutatócsoport, a BME Technika- Mérnök- és Tudománytörténet Multidiszciplináris Doktori Iskola és a BME GTK Filozófia és Tudománytörténet Tanszék szervezésében megvalósult rendezvény szinte vitaindító címével is mintegy a kuhni életmű továbbgondolására kívánta ösztönözni a résztvevőket: *Kuhn és a relativizmus*.

A címbeli problémafelvetés orientáló jellege ellenére az előadók által vizsgált kérdések horizontja igen szélesnek tekinthető.

Vajda Mihály szellemes nyitóelőadása (*Relativizmus? Mi volna az?*) a végső tudás elérhetetlenségének elfogadását, s így a rela-

tivizmus negatívumként való értelmezésének elutasítását hangsúlyozta.

A tudománytörténet perspektívájából közelítette meg a relativizmus kérdését Benedek András (*Mi is relatív a tudománytörténet-írásban?*). Előadásában Kuhn történet-fogalmát elemezve vizsgálta a tudomány fogalmára vonatkoztatott megállapítások és a történelem között vonható párhuzamot. Kuhn hatásait elemezte továbbá a tudásszociológia történeti, illetve a történettudomány tudás-szociológiai megközelítése kapcsán.

A természettudományok, valamint a tudományfilozófia relativizmushoz való viszonyát tárgyalta Szegedi Péter előadása (*Tudósok kontra filozófusok a tudomány relativitásáról*). Míg a természettudományokban – széles tudománytörténeti perspektívát tekintve – az objektivista megközelítés vált uralkodóvá, addig a XX. századi tudományfilozófia Popper-től, Kuhn-on és Feyerabend-en át nem riadt vissza a relativista látásmód elfogadásától. Mindez azonban nem jelenti egy szélsőségesen szabados igazságértelmezés legitimálását. Adható a relativista megközelítéseknek egy visszafogott, nagyon is védhető interpretáció, mely a popperi konvencionálisizmusból, a kuhni paradigmaértelmezésből, de a feyerabend-i „bármi elmegy” konklúzióból is bátran kiolvasható. Ezt a közelmúltban kirobant „tudományháborút” emblematikusan jellemző Sokal-féle érvelés sem tudja aláásni.

A relativistának tekintett megközelítéseket, mind a tudományt elemző, mind pedig a tudományt művelő kapcsán gyakorta helyezik Immanuel Kant által bevezetett fogalmi keretek közé. Munkásságával a filozófia „kopernikuszi fordulatát” eredményező gondolkodóra visszavezethető, nagyrészt továbbgondolt, tág perspektívában értelmezett megközelítések, „kanti témák” felkutatása volt

centrális gondolata Kutrovácz Gábor előadásának (*Kanti témák a relativista tudományelemzésekben*). Alapvetően az idealizmus, az apriorizmus vagy a konstruktivizmus alkotja azt a három fő irányt, melyek valamelyike gyakorlta megjelenik a tudományelemzésekben. Ám a kantianizmus fogalma – mutatott rá az előadó – maga is sokféle lehet, s Kuhn egyike azon szerzőknek, aki önmaga is kantianistának vallva magát számos olvasatban, másokat is erősen inspirálva gazdagította azt.

Kuhn önmeghatározásában a kantianizmus együtt jár, mintegy kiegészül a külvilág episztemológiai értelemben szelekciós nyomásként jelentkező hatásával, így összességében a darwinianista perspektívával. Kuhn „kanti témáival” szorosan együtt járó darwinianizmusa adta Paksi Dániel előadásának apropóját (*Darwinianizmus-e Kuhn?*). Az előadó amellet érvelt, hogy Kuhn darwinianizmusa bizonyos értelemben egy neopozitivistai analógiás hasonlat. Létezik azonban egy, a neopozitivistai, individualista perspektívától megszabadított darwini alapú evolúciós szemléletmód is, mely átfogó háttérelméletté gyarapítva, termékenyen előremutató magyarázatul szolgálhatna a tudományfejlődés mély szociológiai, pszichológiai folyamatainak megragadásához.

Kuhn tudományfelfogásának pszichológiai tudományi vonatkozásait elemezte Pléh Csaba előadása (*Kuhn hatásai a pszichológiában: vannak-e pszichológiai paradigmák?*). Kuhn és a pszichológia kapcsolatának három területét vizsgálta: a pszichológia hatása Kuhn elméletének kibontakozására; Kuhn hatása a pszichológiai iskolák kialakulására; valamint a kuhni tudományfejlődési modell, különösen a paradigma fogalmának hatása a pszichológiatörténet-írássra. A kuhni tudományfelfogás – érvelt Laki János kutató-

saira hivatkozva az előadó – eszerint egyfajta – főként piaget-i és New Look-i ánus hatásokon nyugvó – pszichológiai, alaklélektani örökségben gyökerezik. A pszichológia fordulatát –, közvetve részint Kuhn hatását elemezve az előadó kiemelte, hogy az 1960-as években folyamatosan kialakuló kognitív pszichológia kimunkálói („ifjú törökök”) nagyban támaszkodtak a párhuzamos tudományfilozófiai újdonságok relativista demokratizmusára, győzelmüket követően azonban mindinkább a relativizmustól való elfordulás jellemezte őket. Végül kiemelte a paradigma-fogalom fontosságát, s a változatos értelmezések megmutatásán keresztül amellet érvelt, hogy a kuhni terminus összességében ma is gyümölcsöző hatást gyakorol a pszichológia historiográfiájára.

A *Tudományos forradalmak szerkezeté*-nek kritikája során sokan, sokszor hivatkoztak Margaret Masterman híressé vált, a paradigma-fogalom jelentéseit is számba vevő tanulmányára. (Masterman, 1970) E hivatkozások azonban igen gyakran inkább pusztán a paradigma fogalmának képlekenységét, mint egyfajta Kuhnnal szembe helyezhető győzedelmes argumentumot olvasták ki a tanulmányból, figyelmen kívül hagyva a valódi üzenetet. Masterman két tudományfilozófiai tárgyú munkájának bemutatása-elemzése állt Hronszy Imre és Fésüs Ágnes előadásának centrumában (*Masterman paradigmája*). A mastermani elemzéssel – a paradigma szociológiai jelentésének feltárásán és rejtvényfejtő eszközként való értelmezésén keresztül – rámutattak a Kuhn által generált tudományfilozófiai fordulat jelentőségére. Ugyanakkor arra is, hogy a kuhni paradigmák megszületésében, a paradigmák azonosításában milyen szerepet játszik a mastermani „analógiák logikája”.

A kritikai diszkusszióban Kuhnnal szemben megfogalmazódó gyakori vád a tudományos tevékenység implikált irracionálitása. Vitaindító előadásában (*A kuhni tudomány racionalitása*), e váddal szembehelyezkedve, Margitay Tihamér a kuhni koncepció paradigmákon és krízisfolyamatokon átívelő, a tudomány fejlődését összekapcsoló, kutatói tevékenységet mint racionális momentumot tartalmazó értelmezése mellett érvelt. Megkülönböztette a racionalitásnak az elméletek ésszerűségét vizsgáló teoretikus jelentését, valamint az egyéni kutató céljainak és e célok elérésre tett cselekedeteit mérlegelő praktikus racionalitás fogalmát. Az előadó rámutatott arra, hogy ha a radikális jelentésváltozás esetétől eltekintünk, egy, a praktikus racionalitást előtérbe helyező általános cselekvésemélet a kuhni elmélettel összhangban racionális magyarázatot képes adni a kutatási tevékenységre. S mindez garanciául szolgálhat a kialakított tudományos elmélet teoretikus megbízhatóságára is.

Kuhni értelmezésben a normál tudományos kutatás sajátos közösségi tevékenység. Békés Vera előadása (*Igazodás és relativizmus: tanoncok vs. újoncok*) e közösség szerkezetével, a tudományos problémákkal való szembesülés kérdéseivel foglalkozott. Érvelése szerint a normál tudomány paradigma uralta időszakában a tudományos közösség két, egymástól megkülönböztethető közösség együtteséből – a felnőtt kutatókéből és a tudomány művelését tanulók, az ún. tanoncok – közösségeiből tevődik össze. A két csoport felépítésében, helyzetében, mind céljait, feladatait tekintve különbözik egymástól. Így végső fokon a tudomány kuhni értelmű problémáival (összemérhetetlenség, relativitás) való szembesülés vonatkozásában is különböznek. A tanoncok tudománypeda-

gógiai kontextusában lényegében a relativizmus problémája meg sem fogalmazható.

A relativizmus gondolatához, a relativizmus kontextusának elemzéséhez kanyarodik vissza Golden Dániel előadása (*A relativizmus dimenziói – Lakatos esete Kuhnnal*). Referátumában azt vizsgálta, hogy a két nagynevű kutató, álláspontjai, megközelítéseik történeti változása során miként jelentkezett azokban a relativizmus. Értelmezésében három lehetséges történeti alternatíva, „fázis”, relativizmus-viszony fellelése mellett érvelt: a relativista Kuhn és a tudományfejlődés metodológiai racionalitása mellett érvelő Lakatos; az összemérhetetlenség tézisént fenntartó, ám az elméleteket összevethetőnek tekintő Kuhn és az összevetés lehetőségét ugyancsak elfogadó Lakatos; végül a tudománytörténet filozófiai pozíciófüggősége mellett érvelő Lakatos és az őt szinte „pozitivistá” módon bíráló Kuhn esete.

A tudomány fejlődésének nem relativista, racionális jellegű folyamatként való látatására Kuhn életművében több, különböző perspektívában is kísérlet történik. Két ilyen perspektíva – a tudományfejlődés darwinianus analógiája, valamint a tudományos értékek diszciplináris mátrix elemeként való meghatározása, szerepük hangsúlyozása – összevetése alkotja Dinnyei Márton előadásának vezérfonalát (*A darwinizmus metaforája, vagy az értékek logikája?*). Érvelésében Laki János 2006-ban megjelent monográfiájának (Laki, 2006), valamint Robert P. Farrell 2003-as tanulmányának (Farrell, 2003) konklúzióira támaszkodott. Rámutatott, hogy a Laki-féle evolúciós analógiát alkalmazó modell és a Farrell-féle, a tudomány értékeinek sajátos logikáját előtérbe helyező megfontolások két, alternatív perspektíváját mutatják a kuhni elméletnek.

Egyesítve pedig plauzibilis érvelést alkotnak a Kuhnt támadó standard, a paradigmaváltást elsősorban pszichológiai analógiából kiindulva magyarázó, s így azt irracionálisnak tételező kritikával szemben.

A kuhni tudományfejlődési modell kulcsfogalma, az összemérhetetlenség problémája adta Rónai Gábor nyelvfilozófiai megközelítésű előadásának apropóját (*Kommenturabilitás referencia nélkül?*). Kuhn inkommenturabilitással kapcsolatos felfogását Donald Davidson elmélete és értelmezése alapján vette szemügyre. Számba véve és elemézve a dualizmus, a fordítás-fordíthatatlanság, a nyelvhasználat, a konvenció és a nyelvjáték problémáit amellett érvelt, hogy a kuhni értelemben vett inkommenturabilitás elfogadhatatlan.

A kuhni tudományfejlődés és egyes társadalomelméletek között vonható párhuzam – a kritika vélelmezett hiányából kiindulva – a világokban és szituációkban ténylegesen működtethető kritikai pozíciók lehetőségét vizsgálta Ropolyi László előadása (*Demokratizmus és relativizmus*). A tudományt technika és filozófia összefonódó rendszereként értelmezve feltárta a tudományban működő hierarchikus és demokratikus ágensseket, melyek alapján az abszolút avagy relatív érvényességű tudományos magyarázatok születhetnek. Rámutatott továbbá az ezzel párhuzamos társadalmi helyzetek feltételén és feltételes legitimitására, valamint arra, hogy egy adott világ tudományos és társadalmi rendszere a világban érvényes nézetet hordozó filozófia által determinált.

A Kuhn-értelmezésekben vissza-visszatérő elem a tudomány fejlődésének relativista, irracionális ugrásokkal lazán összefűzött, paradigmasorozatként való interpretálása. E standard nézettel szállt vitába Laki János előadása (*A tudományfejlődés „pulzáló” mo-*

dellje), amellet érvelve, hogy Kuhn szöveg-szerű elemzése sokkal árnyaltabb, nem relativista folyamatleírást sugall. Kuhnt elemezve azt találjuk, hogy a paradigmaváltás nem esemény, hanem több fázisból álló racionális folyamat, mely az elszigetelt, konkrét hipotézist eredményező egyéni aspektusváltástól, az elméletkiválasztódáson keresztül a kutatási tradíció kibontakozásáig terjed, mely megalapozza és kiépíti az új paradigmát. E forradalmi folyamatok ágense a tudományos közösség, s a mérvadó racionális döntések orientatív értékek mentén történnek. A racionalitás a tudományfejlődés hosszú távú folyamatában is érvényesül. A tudomány fejlődési mintázata pulzáló, mely a forradalmi versengések és kiválasztódások, valamint a forradalomfeltétel-teremtő, konszenzuális, anomáليافelkutató szakaszok közti periodikus váltakozásból áll, mely újabb és újabb prezentációkat teremt. Mindennek feltétele az európai hagyományban kialakult tudósközösségek értékrendje.

A természettudomány historizálása, történetiségének feltárása alkotja Kuhn főműve talán legjelentősebb hatását. Fehér Márta előadásában (*Kuhn, a bűvészinas*) amellet érvelt, hogy bár e történeti kontextus feltárása megnyitotta az utat a tudomány közösségi szociológiájának megteremtése felé, Kuhn mégis mindvégig idegenkedett a tudásszociológiai természetű magyarázattól, s magától a Bloor-féle programtól is. Kuhn elméletével magyarázatot kívánt adni arra, hogy az egyén hogyan sajátítja el a paradigmát (taxonómia-

rendszer), de arra nem, hogy a paradigmák miért alakulnak ki. Ezzel együtt adós maradt a paradigmaváltás „megindokolásával” és „megokolásával” is, azzal, hogy miért látják ugyanazt a világot időről időre másként az egyes paradigmákat alkotó közösségek. Az előadó kiemelte, hogy a tudományos tudás szociológiájának megteremtése nélkülözhetetlen a továbblépéshez, nemcsak a relativizmusprobléma kiküszöbölése érdekében, hanem a (posztakadémikus) tudomány fejlődésének pontosabb leírása céljából is.

Tíz év telt el Thomas Kuhn halála, s több mint negyven év főműve első kiadása óta. Az azóta eltelt időszak élénk, tudományos szakmai – és nem csak a tudományfilozófia berkeiben folytatott – vitái lezajlottak, értelmezések és kritikák sokasága látott napvilágot. Ám az évforduló kapcsán tartott szakmai rendezvény s az elhangzott előadások mutatják, Kuhn hatása ma is termékeny, s a szakmai viták újult erővel élednek fel. Az előadók számtalan perspektívában ragadták meg a kuhni *oeuvre*-t, megmutatták inspiráló erejét a filozófia, a tudásszociológia, a történettudomány, a szociológia, a pszichológia megannyi tudományterületén. Nincsenek lezárt problémák.

Kuhn életművének gazdagsága, hatása, úgy tűnik, bőven hagy kutatnivalót a következő tudósgeneráció számára is.

Kulcsszavak: *Thomas Kuhn, paradigma, pszichológia, relativizmus, tudományfilozófia, tudománytörténet, tudásszociológia*

IRODALOM

- Farrell, Robert P. (2003): *Feyerabend and Scientific Values: Tightrope-walking Rationality*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht–Boston–London
- Laki János (2006): *A Tudomány természete*. Gondolat, Budapest

- Masterman, Margaret (1970) (1965–): The Nature of a Paradigm. In: Lakatos I. – Musgrave, A. (eds.): *Criticism and the Growth of Knowledge. Proceedings of the International Colloquium in the Philosophy of Science*. Vol. 4. Cambridge University Press, London–Cambridge

AKADÉMIKUSOK NYÍLT LEVELE AZ ORSZÁGGYŰLÉSI KÉPVISELŐKHÖZ

Aggudalomra adnak okot a géntechnológiai törvény módosításáról szóló hírek, hiszen a készülő szabályozás gyakorlatilag gátolni kívánja a géntechnológiával nemesített (GM) növények hazai termesztését. A géntechnológia elleni kampányok génmentes Magyarországot követelnek, amiből látható a nagyfokú tájékoztatatlanság ezzel a csúcstechnológiával kapcsolatban. Európában példa nélküli, diszkriminatív törvény készül, amely korlátozza a magyar gazdák szabadságát a növénytermesztési technológiák kiválasztásában, figyelmen kívül hagyja a tudományos kutatási eredmények sokaságát, gátat szab a versenyképességnek a bioenergia hatékony megtermelésében. Amikor Európa és a világ a géntechnológiára, genomikára épülő bioipar kibontakoztatásán dolgozik, új piacokat, munkahelyeket teremt, mi vélt vagy valós rövid távú érdekeinkhez szabjuk ezt a törvényünket. Sajnos győzni látszik a felszínesség, és figyelmen kívül maradnak a géntechnológia nyújtotta lehetőségek a klímaváltozás kedvezőtlen hatásainak mérséklésében, a környezetbarát mezőgazdasági technológiák megvalósításában. Elhalasztjuk a nagy lehetőséget

arra, hogy Magyarország európai vetélytársait megelőzve kezdeményezőként támogató törvényi háttérrel biztosítson a géntechnológia nyújtotta előnyök kihasználásához. Biztosan jobban járnánk, ha nem sietnénk, és több időt engednénk az igények sokféleségének figyelembevételére. Fontos lenne például az élelmiszer és ipari, energetikai célú termesztés közötti különbségtétel, hiszen már a közeli jövőben kiéleződik az árverseny a kukoricából származó bioetanol-gyártás gazdaságossá tétele érdekében. Egy géntechnológiai törvény üzenettel szolgál a befektetők, a csúcstechnológiai cégek döntéseihez. Biztosan nem célunk, hogy a fejlesztések minket elkerülve versenytársainknál valósuljanak meg. Reméljük, hogy a kutatás szabadsága nem sérül, és a magyar biotechnológiai fejlesztések magas színvonalon tovább folytathatók. Kutatói elkötelezettségünkől fakad a kérés, hogy a jelenlegi törvénytervezet ne kerüljön végszavazásra, hanem előkészítése maradjon napirenden, és ezzel lehetőség nyíljon egy európai színvonalú, a közösségi alapelveknek megfelelő szabályozási rendszer megalkotására.

Aláírók: Balázs Ervin, Bedő Zoltán, Bíró Péter, Csikai Gyula, Czelnai Rudolf, Damjanovich Sándor, Dénes Géza, Dudits Dénes, Fésüs László, Füredi Zoltán, Gnáf László, Hargittai István, Horn Péter, Keszthelyi Lajos, Király Zoltán, Kubinyi András, Kurutzné Kovács Márta, Lovas István, Markó László, Márta Ferenc, Méhes Károly, Nyíri Kristóf, Ormos Pál, Orosz László, Papp Gyula, Páczelt István, Pál Lénárd, Pléh Csaba, Rónyai Lajos, Solti László, Székely György, Vámos Tibor, Várallyay György, Vicsek Tamás, Vigh László, Vizkelety András, Závodszy Péter

2008 – A FÖLD BOLYGÓ NEMZETKÖZI ÉVE

Földtudományok a társadalomért 2007–2009

Az ENSZ közgyűlése 2005. december 22-én közfelkiáltással elfogadta Tanzánia (82 tagállam által is aláírt) határozati ajánlását, amelynek értelmében 2008-at a „Föld Bolygó Nemzetközi Événé” (FBNE) nyilvánítja. Az ENSZ-év a Földtudományok a társadalomért főcímhez kapcsolódó kutatástámogatási és tudományos ismeretterjesztési tevékenységei 2007–2009 között három évet lefedő időtartamot fognak át. A földtudományok eredményeit és lehetőségeit népszerűsítő, tervezett nagyszabású nemzetközi tevékenység 2007. január 1-ével kezdődik, és 2009. december 31-ig tart. Az ENSZ-évvé nyilvánított 2008 lesz az első év, amelyet az ENSZ valaha is a földtudományoknak szentelt.

A Föld Bolygó Nemzetközi Éve a Geológiai Tudományok Nemzetközi Uniójának (International Union of Geological Sciences – IUGS) és az Egyesült Nemzetek Szervezetének (ENSZ) nevelésügyi, tudományos és kulturális intézményének (United Nations Educational Scientific and Cultural Organization – UNESCO) együttes kezdeményezése, melyet a 30. Nemzetközi Geológiai Kongresszuson (Rio de Janeiro, 2000. augusztus) jelentettek be először. Az ENSZ-évnak jelenleg 12 alapító és 27 társult partnerszervezet támogatója van. A kezdeményezést politikailag 97 ország (a Föld lakosságának 87 %-a) támogatta, melyet az UNESCO-ban és az ENSZ-ben Tanzánia terjesztett be.

A kapcsolódó nyilatkozat kijelenti, hogy a Földünkéről (a Föld bolygóról) rendelkezésre álló tudományos ismeretek bősége nagyrészt kiaknázatlan marad, és alig ismert a nyilvánosság, a politikusok és a döntéshozók előtt. Figyelembe veszi azt a döntő szerepet, amit az ENSZ-év tudna játszani abban, hogyan növekszik a közvélemény tudatosságának fontossága, a Föld folyamatainak és erőforrásainak fenntartható fejlődésében és kezelésében, valamint természeti katasztrófák hatásainak csökkentésében és enyhítésében.

Az ENSZ-év célja az, hogy bemutassa a földtudományok területén elért fejlődést és eredményeket, és arra készítse a politikusokat és döntéshozókat, hogy ezeket az ismereteket alkalmazzák az emberiség javára. További cél még az, hogy elősegítse a társadalom és a tudomány közeledését egy olyan komplex területen, mint a földtudományok, amelyek központi szerepet játszanak a műszaki és gazdasági fejlődés fenntarthatóságában, a jobb minőségű emberi élet feltételeinek megteremtésében, mind a fejlett, mind az elmaradott országokban. Tehát a cél a földtudományok iránti érdeklődés növelése a társadalomban, és általában a földtudományok által nyújtott ismeretek eljuttatása a széles közvéleményhez.

Részletebben kifejtve az ENSZ-év célja:

- a természetes és az ember által előidézett veszélyek okozta kockázatok csökkentése,

- egészségügyi problémák csökkentése a földtudományok egészségügyi szempontjai megértésének fejlesztésével,
- új természetes erőforrások felfedezése és hozzáférhetővé tételük fenntartható módon,
- biztonságosabb szerkezetek építése és városi területek kiterjesztése a felszín alatti területek kihasználásával,
- nem humán eredetű tényezők meghatározása az éghajlati változásokban,
- javuljon a természetes erőforrások előfordulásainak megértése úgy, hogy ez hozzájáruljon a politikai feszültség csökkentésére irányuló erőfeszítésekhez,
- felszín alatt mélyen elhelyezkedő és nehezen hozzáférhető vízforrások felfedezése,
- az élet fejlődése megértésének fokozása,
- a földtudományok iránti érdeklődés növelése a társadalom egészében és
- egyre több hallgató ösztönzése az egyetemeken a földtudományok tanulmányozására.

A Föld Bolygó Nemzetközi Évével kapcsolatos publikációk és információs anyagok, tájékoztatók (12 nyelven) az Interneten elérhetők (<http://www.yearofplanetearth.org>).

Az ENSZ-évben az ipartól és a kormányzatoktól érkező támogatás a tervek szerint eléri a 20 millió USD-t, amelyet fele-fele arányban kutatástámogatásra és ismeretterjesztésre fordítanak. Ez az eddigi legnagyobb nemzetközi összefogás a földtudományok támogatására.

Az ENSZ-év kiemelt tíz kutatási téma, melyeket társadalmi fontosságuk, multidiszciplinaritásuk és a közvélemény potenciális elérhetősége alapján választottak ki:

- felszín alatti víz (tartalek a szomszédos bolygónak?),
- veszélyforrások (csökkenteni a veszélyt, növelni a tudatosságot),

- Föld és egészség (növeljük a környezet biztonságát),
- éghajlati változás (a „köben rögzített felvétel”),
- nyersanyag és erőforrások (fenntartható energia a fenntartható fejlődéshez),
- megvárosok (mélyebbre hatolni, biztonságosabban építeni),
- a Föld mélye (a kéregtől a magig),
- az óceán (az idő mélysége/a múltnak kútja),
- a talaj (a Földünk élő héja) és
- a Föld és az élet (a sokféleség eredetei).

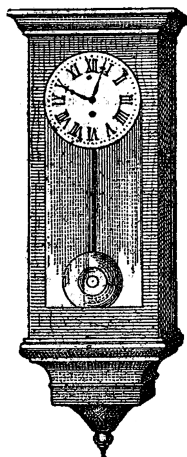
a Föld Bolygó Nemzetközi Éve célkitűzéseinek megvalósítása az egyes tagállamokban alapvető fontosságú az ENSZ-év sikere szempontjából. Ezért felhívással fordultak a világ földtudományi szakembereihez, amelyben arra kéri őket, hogy országaikban keressék meg az IUGS és az UNESCO nemzeti bizottsági képviselőket az ENSZ-év méltó megünneplésére az előkészületek elkezdése céljából, együttműködve az FBNÉ titkárságával. Céljaik szempontjából a három év (2007, 2008, 2009) bármelyikét választhatják, amelyik leginkább megfelel az ENSZ-év eseményeinek megszervezésére az adott országban. Hatékony szervező tevékenység kifejtésére FBNÉ nemzeti bizottságok felállítását ajánlották. Összesen 23 ilyen nemzeti bizottság működik már (többek között például Ausztráliában, Ausztriában, Franciaországban, Indiában, Kanadában, Németországban, Olaszországban, Romániában stb.) és számos országban folyamatban van a szóban forgó nemzeti bizottság felállítása, így hazánkban is. Az MTA Földtudományok Osztályának kezdeményezésére Akadémiánk többi osztályának közreműködésével a Magyar UNESCO Bizottság keretei között hamarosan megkezdji működését az FBNÉ Magyar Nemzeti Bizottsága is.

Az ENSZ közfelkiáltással elfogadott, vonatkozó nyilatkozata azt jelenti valójában, hogy az ENSZ mind az összes, 191 tagállama elfogadta a célkitűzéseket és a „Földtudományok a társadalomért” akciótervet, és mindegyik tagállam kész azokat a saját országában teljesíteni. Mivel az ENSZ-év célja a Föld bolygóra történő fokozott figyelemfelhívás, ezért úgy gondoljuk, hogy ebben ide-

haza is minden tudományterületnek fontos szerepe kell hogy legyen. A Föld Bolygó Nemzetközi Éve eseményeinek megszervezése tehát a magyar tudomány (főként a hazai földtudományok) számára is jó lehetőséget jelent.

Ádám József

az MTA rendes tagja, osztályelnök
MTA Földtudományok Osztálya



Megemlékezés

Sarkadi János vegyészmérnök, a mezőgazdasági tudományok doktora, az MTA Talajtani és Agrokémiiai Kutatóintézetének nyugalmazott osztályvezetője, a Keszthelyi Pannon Agrártudományi Egyetem címzetes egyetemi tanára, az MTA Eötvös Koszorúval kitüntetett tudományos kutatója életének 86. évében, 2006. április 26-án rövid betegség után elhunyt.

Sarkadi János Mados László előadásain szerzett talajtani alapismereteket. Már negyedéves egyetemi hallgatóként részt vett a Kreybig-féle talajterképezés munkálataiban; a Csallóközben kezdett dolgozni a Felvidék visszakerülését követően. Tudományos pályáját a vegyészmérnöki diploma megszerzése után 1942-ben kezdte meg az akkori Magyar Királyi Földtani Intézet Talajtani és Agrokémiiai Kutató Intézete jogelődjében, az FM Agrokémiiai Intézetében, melynek megalakításában jelentős szerepet is vállalt. 1953–1989 között, harmincöt éven át vezette itt a trágyázástani, agrokémiiai és növénytáplálási kutatásokat.

Munkásságát analitikai, módszertani kutatásokkal kezdte, és egész pályafutása során megőrizte ez irányú érdeklődését. Vegyészmérnök lévén elsősorban talaj- és növényvizsgálatokkal foglalkozott. Kezdetben Endrédi irányításával a P-meghatározás korszerű anali-



SARKADI JÁNOS

(1920–2006)

tikáját fejlesztette tovább. Később munkatársaival bevezetésre ajánlotta a talaj szervesanyag illetve a könnyen oldható PK-tartalmának meghatározási módszereit, melyeket számos hazai agrokémiiai laboratóriumban ma is alkalmaznak. Tenyészedény- és szabadföldi trágyázási kísérletek adatai alapján munkatársaival javaslatot dolgozott ki a talaj PK-elátottságának határértékeire.

A kémiai/analitikai munkákon kívül korán felébredt érdeklődése a szántóföldi kultúrnövények trágyázása, ásványi táp-

lálása iránt. Kreybig Lajos irányításával először a különböző istállótrágya-kezelési módszerek kritikai vizsgálatában ért el eredményeket. A humusz, illetve a talaj szervesanyagával és a szerves trágyázás kutatásával kapcsolatos tapasztalatait 1957-ben foglalta össze az *Adatok a talaj szerves anyaga és termőképessége közötti összefüggés megvilágításához* című kandidátusi értekezésében. A kor igényeit, a mezőgazdaság problémáit és a nemzetközi trendeket jobban megismerve érdeklődése egyre inkább a műtrágyázás kérdései felé fordult, rövidesen irányítójává vált az intézetben folyó műtrágyázási kísérleti és kutató tevékenységnek.

Hazai viszonyok között úttörő munkát végzett a korszerű szabadföldi és tenyészedényes trágyázási kísérletezés módszertanának kialakításában, nevezetesen a parcella-

elrendezés, a biometria értékelés, valamint a talaj- és növénymintavételi eljárások kidolgozásában. Munkatársaival végzett kísérletei és kutatásai hozzájárultak ahhoz, hogy a műtrágya-felhasználás az 1950-es évek végével, illetve az 1960-as évekkel dinamikusan emelkedett. A tudományok doktora fokozatot 1972-ben szerezte meg *A műtrágya-igény becslésének módszerei* című értekezésével. Diszertációja hasonló címmel könyv alakban is megjelent 1975-ben.

Sarkadi János egy egész kutatói nemzedéket indított el pályáján. Jómagam 1968 tavasza óta voltam közvetlen munkatársa. Sok örömet, élményt jelentett számunkra az a szabad és közvetlen vitaszellem, ami osztályán mindig is uralkodott. Nem léteztek hamis tekintélyelvek. Mindez kedvezett a szellemi fejlődésnek, ösztönözte a másképp gondolkodást, így a kor változó igényeinek megfelelően mindig megújulhatott a kutatási tematika. Ez talán a „Sarkadi-iskola” egyik legfőbb jellemzője. Kutatói minőségét jellemezte az igényesség és az állandó kétkedés. Mindezek eredménye, hogy az általa fémjelzett kutatások hitelesek és megbízhatóak. A hétköznapi viták elől gyakran kitérő „Főnökünk” soha nem volt hajlandó megalkudni, ha a tudományos igazságról volt szó. Vitapartnereit is rászorította, hogy kijelentéseiket támasszák alá. A kísérleti adatokhoz való hűség és a tudományos igényesség kisugárzását, illetve annak hatását szűkebb és tágabb környezetére jól jellemezte Láng István, amikor a 75 éves Sarkadi János munkásságát méltatta:

„Kutatói pályafutásom legelején már felvilágosítottak a kollégáim, hogy Sarkadi János nagyon kritikus egyéniség, és különösen módszertani kérdésekben (legyen az laboratóriumi vizsgálat vagy szabadföldi kísérlet) rendkívül igényes. Egy kicsit olyan

„mumusnak” is beállították őt a kezdő kutatók előtt, mint aki állandóan nehéz kérdéseket tesz fel, megkritizálja a kutatási elképzeléseket, belejavít a kéziratba stb. Viszonylag rövid idő alatt rájöttünk, hogy mindez nem öncélú kötözködés, hanem a színvonalas tudományos kutatás természetes velejárója, a versenyképesség előfeltétele. Különösen akkor vált ez nyilvánvalóvá, amikor a hatvanas évek közepétől lehetőség nyílt egy nemzetközi tudományos konferencián való részvételre. Kiderült, hogy ez az igényesség, amit Sarkadi képviselt, tulajdonképpen a szakma nemzetközi mércéje.”

Említést kell tenni a tudományszervező tevékenységéről is. Tagja volt az MTA Talajtani és Agrokémiai Bizottságának, az *Agrokémia és Talajtani* folyóirat szerkesztőbizottságának, közreműködött a FAO Nyomelem-kutatási Hálózat Analitikai Munkacsoportjának munkájában, a MAE Talajtani Társaság vezetésében, és részt vett minden országos jelentőségű tudományos és gyakorlati feladat (K-9 Talajtermékenység, EOTK kísérleti hálózat beindítása, ÖKOPOT, Biomassza program stb.) megoldásában. Több mint 150 tudományos és népszerűsítő cikk szerzője és nemzetközi fórumokon számos nagysikerű előadást tartott az elmúlt ötven év során.

Sarkadi Jánostól búcsúzunk a szakma, tanítványai, tisztelői és barátai, a több évtizedes munkásságának eredményeit alkalmazók széles tábora. Mi végre vagyunk a világban? Hogy jobbá tegyük. Ehhez járult hozzá Sarkadi János, jelentős szellemi örökséget hagyva maga után. Ugyanakkor űrt is, mint a szakterület elismert doyenje, melyet nem lesz könnyű betölteni.

Kádár Imre

egyetemi tanár,
agrokémiai tudományos kutató

Kitekintés

AMERIKAI POLITIKUS A TUDOMÁNYRÓL

Sherwood Boehlert 24 éven át tagja, az utóbbi hat évben elnöke is volt az amerikai képviselőház tudományos bizottságának, a legutóbbi képviselő-választáson már nem indult. Nincs tudományos képzettsége, PR főiskolai oklevéllel tipikus képviselőnek tartja magát. Tapasztalata szerint kongresszusi tagok előtt nem elég valamilyen nagy tudományos előrehaladásról beszámolni. Be kell mutatni, hogyan erősíti az eredmény a gazdaságot, hogyan javítja a versenyképességet, hogyan teremt több munkahelyet. A valódi haszonról kell beszélni. Az önmagában nem meggyőző, hogy a laboratóriumban üldögélő tudósok közölhető, ám senki által sem értett eredményekre jutnak. A képviselőknek nincs idejük előadások végighallgatására, a lényegyet kell nekik bemutatni. Az új képviselőjelöltek kampánytémái között sehol sem szerepelt a tudomány, például az NSF (National Science Foundation) nagyobb támogatása. Meg kell hívni őket választókerületük egyetemére, tudományos intézményeibe. A következő választási kampányban így tudományos kérdések is bekerülhetnek programjukba. Fontosak a látogatások, a személyes élmények. Januárban tíztagú kétpárti csoport járt az Antarktiszon. A tizből talán hárman voltak, akik már az odaúton valósnak tartották a globális klímaváltozást. Az Antarktiszon töltött öt nap után viszont már mindenkit foglalkoztatott a klímaváltozás kérdésköre. Hasonló

hatása volt az ausztráliai korallzátonyokhoz tett útnak is. Az elnöknel sem most, sem Clinton idejében, a tudomány nem kapja meg azt a figyelmet, amit megérdemelne. A tudományos tanácsadó keveset találkozott az elnökkel, nem tud versenyezni a hadügyminiszter vagy a külügyminiszter sürgős ügyeivel.

Explaining Science to Power: Make It Simple, Make It Pay. Interview: Sherwood Boehlert. Science. 314, 24 November 2006. 1228–1229.

NEM LASSULT LE AZ ATLANTI SZÁLLÍTÓSZALAG

Nem lassult le a hőszállító áramlás az Atlanti-óceánban. 2005 végén nagy riadalmat keltett az a *Science* hasábjain közzétett eredmény, mely szerint 30 %-kal lelassult a délre tartó áramlás, a napilapok közelgő jégkorszakról írtak. 2004 márciusában mérőrendszert telepítettek Nyugat-Afrika és a Bahamák között az északi 26,5° szélességi kör mentén. A RAPID (Rapid Climate Change) programban 19 lebegő, műszerekkel zsúfolt kábelt helyeztek ki. Néhány hónappal később hajóról végzett mérésekkel pillanatfelvételt készítettek ugyanott az áramlás jellemzőiről. Ezt az adatsort négy korábbi, 1957 után végzett pillanatfelvétel jellegű méréssel vetették egybe, és ebből következtettek a drámai lassulásra. Egy októberben tartott konferencián tették közzé a RAPID által egy éven keresztül folyamatosan gyűjtött adatok kiértékelését. Egyetlen éven belül olyan nagy változásokat figyeltek meg, mint a korábbi pillanat-

felvételek összehasonlításánál. Nem kell tehát közeli jégkorszak miatt aggódni, legalábbis egyelőre. Szakértők szerint évtizedek kellenek ahhoz, hogy az ingadozásokat, a zajt meghaladó változásokat lehessen kimutatni, ha a globális felmelegedés valóban lelassítaná a szállítószalagot, és kevesebb meleget vinne az áramlás északra.

Kerr, Richard A.: False Alarm: *Atlantic Conveyor Belt Hasn't Slowed Down After All*. Science. **314**, 17 November 2006. 1064.

NEMLINEÁRIS DINAMIKA

Egy lézeres kísérlet segíthet az agyműködés megértésében. Ingo Fischer (Free University, Brüsszel) és munkatársai három lézert rendeztek el úgy, hogy azok páronként egymásra világítottak, a két szélső lézer a középsőre, a középső a két szélsőre (Physical Review Letters, 22 September 2006.). Meglepő eredményre jutottak: a két szélső lézer intenzitása egyformán változott. Két, egymásra világító lézer esetében az intenzitás véletlenszerűen változik. Az egyik lézer fénye a másikra jutva annak üregében interferál a már ott levő fénnel, ettől csökken vagy nő az intenzitás, ezért csökken vagy nő a lézer kimenetén az intenzitás, ez jut be az első lézerbe... A visszacsatolás kaotikus intenzitásingadozásokat vált ki mindkét lézerben. A harmadik lézer beállítása után az első lézer azonnal reprodukálni kezdte a másik szélső lézer ingadozásait, miközben a középső lézer 3,65 nanomásodperc késésben volt hozzájuk képest. Ennyi idő kell a fénynek, hogy a szomszédos lézerek közti 1,1 m távolságot megtegye. A megfigyelt jelenség megértése, magyarázata, matematikai leírása még várat magára. Wolf Singer (Max Planck Agykutató Intézet, Frankfurt) szerint a fizikusok

eredménye segíthet az agyi idegimpulzusok szinkronizációjának megértésében. Singer mutatta meg 1986-ban, hogy a szomszédos neuronok hálózata hajlamos azonos időpontban kisülni. Öt évvel később kimutatta, hogy hasonló pontos szinkronitás létezik a két agyfélteke között is, annak ellenére, hogy az idegimpulzus 6–8 milliszekundum alatt tesz meg ekkora távolságot. A távoli területek szinkronitására eddig nem volt jó magyarázat, ebben segíthet a fizika.

Cho, Adrien: *Bizarrely, Adding Delay to Delay Produces Synchronization*. Science. **314**, 6 October 2006. 37.

A KUIPER-ÖV KELETKEZÉSTÖRTÉNETE

A Naprendszer keletkezésének hagyományos elmélete szerint egy forgó gáz- és porkorongból formálódott ki a rendszer. Ez a modell nem ad magyarázatot a Kuiper-öv testeinek viselkedésére. A Plútóval kezdődő, a Plútón túli, jeges testekből álló korong minden érthető ok nélkül ér véget a Nap–Föld távolság ötvenszeresénél. Egyes testek közel kör alakú, a bolygók keringési síkjába eső pályán mozognak, mások viszont elnyúlt és a többiek keringési síkjával szöget bezáró pályán keringenek. A nizzai csillagvizsgálóban dolgozó Alessandro Morbidelli és munkatársai dolgozták ki a Naprendszer kialakulásának Nizza-modelljét (Nice model). A modell szerint a frissen született külső bolygók a Naphoz és egymáshoz is közelebb voltak, mint ma. A kifelé sodródó Szaturnusz gravitációs kapcsolatba került a nehéz Jupiterrel. A Szaturnusz pályae energiát kapott a Jupitertől, maga pedig kaotikus állapotokat idézett elő a Naprendszer legkülső tartományában. A továbbfejlesztett, kibővített Nizza-modellben sikerült

az Uránusz és a Neptunusz által kifelé lökött bolygókezdemények sorsát nyomon követni. A bolygókezdeményeket a modell többé-kevésbé a mai Kuiper-öv helyére juttatta, számukat is jól adta meg. Kritikusok azonnal rámutattak az újabb Nizza-modell tökéletlenségeire, például nem ad kellő számban elnyúlt és elhajolt pályán mozgó égitestet.

Kerr, Richard A.: *The Kuiper Belt Loses Some of Its Mystery*. Science. **314**, 27 October 2006.

A MORFINNÁL ERŐSEBB TERMÉSZETES FÁJDALOMCSILLAPÍTÓT FEDEZTEK FEL

Francia kutatók olyan fájdalomcsillapítót találtak az emberi nyálban, amely eléri, sőt bizonyos esetekben meg is haladja a morfin hatékonyságát. A párizsi Pasteur Intézet munkatársai már ki is vonták a nyálból az opiorfinnak keresztelt anyagot, és azt remélik, hogy felfedezésük eredményeként a fájdalomcsillapítók olyan új családja születik majd, amely mentes a morfin mellékhatásaitól (például függőség kialakulása).

A Catherine Rougeot vezette kutatócsoport tagjai patkányok lábában idéztek elő vegyi anyag okozta fájdalmat, és azt tapasztalták, hogy 1 gramm/testsúlykilogramm opiorfinnal ugyanolyan fájdalomcsillapító hatást értek el, mint 3 gramm/testsúlykilogramm morfinnal. Más kísérletekben, másként kiváltott fájdalomstimulusoknál pedig úgy találták, hogy az igazán hatékony fájdalomcsillapításhoz hatszor annyi morfinra van szükség, mint opiorfinra. A feltételezések szerint ez az anyag a szervezet belső, enkefalinoknak nevezett opiátjainak, belső fájdalomcsillapítóinak lebomlását gátolja, és ezzel fejti ki hatását. Kémiai szerkezete

egyszerű, így a továbbiakban mesterséges előállítása könnyen megvalósítható, tehát nem a nyálból kell majd kinyerni.

A francia kutatók szerint elképzelhető, hogy olyan szereket is keresnek majd, amelyek serkentik a szervezet opiorfintermelését.

Wisner, Anne et al.: Human Opiorphin, a Natural Antinociceptive Modulator of Opioid-Dependent Pathways. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA. 13 November 2006. 103, 17979–17984.

ÖSSEJTEKKEL AZ IZOMSORVADÁS ELLEN

Össejtterápiával eredményesen kezeltek izomsorvadásban szenvedő kutyákat olasz kutatók. Az állatok a Duchenne-izomsorvadás nevű emberi betegség modelljéül szolgáltak. A minden 35 ezredik gyermekben jelentkező örökletes kór lényege, hogy egy mutáció következtében az izmok nem termelnek disztrofint. Ennek hiányában az izomösszehúzó-dás elvágja és megöli az izomsejteket. A betegek egyre gyengébbek lesznek, hiszen izmaik fokozatosan pusztulnak, és addig élnek, míg a folyamat el nem éri a légzőizmokat.

A milánói San Raffaele Tudományos Intézetben Giulio Cossu és kollégái genetikai módosítással létrehozott disztrofinhiányos egereken már korábban felfedezték, hogy bizonyos összejek behatolnak az izomba, és ott pótolják a hiányzó disztrofint.

Cossuék most ezt a jelenséget tanulmányozták izomdisztrofiában szenvedő vizslakon. A beteg állatok egészséges kutyáktól többször kaptak összejteket, és a kutatók azt tapasztalták, hogy a terápia hatására öt eb közül négyenél helyreálltak az izomfunkciók. A kezelt állatok még a beavatkozás után egy évvel is jól voltak, míg a kontrollcsoport

tagjai addigra már nem tudtak járni. A kísérletek másik csoportjában a beteg kutyák saját maguktól kaptak őssejteket, amelyeket a transzplantáció előtt génterápiának vetettek alá, azaz ezekbe az őssejtekbe beépítették az egészséges disztrofin gént. Bár a beteg állatok genetikailag módosított saját őssejtjei termeltek disztrofint, az egészséges idegen őssejtektől eltérően nem tudták helyreállítani az izomműködést. A kutatók most növekedési faktorokkal szeretnék segíteni a folyamatot, és azt remélik, hamarosan emberi klinikai vizsgálatokat is lehet végezni.

Sampaoli, Maurilio et al.: Mesoangioblast Stem Cells Ameliorate Muscle Function in Dystrophic Dogs. *Nature*. 30 November 2006. 444, 574–579.

KÉSZ AZ EGÉRAGY GENOMIKAI ATLASZA

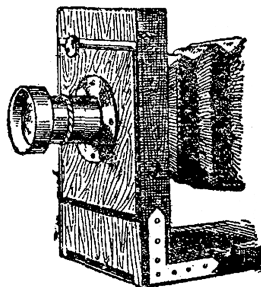
Háromévi munkával elkészült az egér agyának genomikai atlasza, amely egyes szakemberek szerint óriási lökést adhat az idegtu-

dományok fejlődésének. Az atlasz 85 millió felvétel tartalmaz, több mint 21 ezer gén aktivitását dolgozza fel, mégpedig olyan finom részletességgel, hogy akár az egyedi sejtekig el lehet jutni annak a kérdésnek a megválaszolásában, hogy egy adott gén működik-e ott, vagy sem. A rendszer máris felfedte, hogy az emlős agyban olyan rejtett struktúrák vannak, amelyekben a gének működési mintázata nagyon hasonló. A tanulmányozott gének 80 százaléka aktív az agyban, és vannak közöttük olyanok, amelyek az egész agyban kifejeződnek, „dolgoznak”, de a legtöbb gén csak bizonyos sejtcsoportokban aktív. A génaktivitási mintázatok tanulmányozásával a kutatók olyan mintázatokat azonosítottak, amelyek a hagyományos neuroanatómiai módszerekkel nem láthatók, de ha az agykutatók használni kezdik az atlaszt, újabb felfedezések várhatók.

www.brain-map.org.

Nature (DOI: 10.1038/nature05453)

Jéki László – Gimes Júlia



Könyvszemle

Tanulmánykötet az iparművészet változó szerepéről

A Nemzeti Kulturális Alap finanszírozta azt a kutatás-sorozatot, amelynek célja a vizuális kultúra, az iparművészet és a design helyzetének feltérképezése volt. Hogy erre milyen nagy szükség van, mi sem bizonyítja jobban, minthogy egy kérdőíves felmérés során a felnőtt lakosságot reprezentáló interjúalanyoknak közel a fele arra sem mert vállalkozni, hogy definiálja: mivel foglalkozik az iparművész és a designer. A kötetből az is kiderül azonban, hogy még a szakma képviselői sem egyformán határozzák meg az iparművészet és a design lényegét, a két terület egymáshoz, illetve a képzőművészethez fűződő viszonyát.

Hogy miért ilyen nehezen definiálhatóak ezek a fogalmak? Horányi Attila a szakma elméleti kérdéseiről szóló tanulmányában ezt írja: nehéz és talán meg sem válaszolható a kérdés, mit jelent pontosan az iparművészet és a design. A társadalom és a gazdaság nagyfokú átalakulásával egyidejűleg a szakma olyan átrendeződésen megy keresztül, amelynek a következményei egyelőre beláthatatlannak, és a folyamatos változást majdhogynem lehetetlen adekvát fogalmakkal leképezni. Horányi példákkal támasztja alá, mennyire megváltozott a designer tevékenységének a „tárgyalási univerzuma”: míg korábban a praxis középpontjában jószerével csak a tárgyak tervezése állt, a designernek újabban a tárgyak „közegét”, kontextusát is ki kell

alakítania. Az új értelmezésnek köszönhetően jelentősen kibővült a designerek szerepköre: egyre többször ők a kezdeményezők az új termékek létrehozatalának – szemben a korábbiakkal, amikor a cégek eldöntötték, milyen új terméket akarnak gyártani, majd ehhez kerestek tervezőt. A változó szemléletmód eredményeként mind többen vannak, akik a design lényegét nem a tárgyak létrehozásában, hanem az emberi viszonyok, igények, vágyak, szolgáltatások megfogalmazásában és megtestesítésében látják.

Kétszáz gyakorló iparművészt és designert vontak be abba a kérdőíves felmérésbe, amelynek eredményeit Lipóth Ágnes tette közzé. Az érintettektől – többek között – megkérdezték: mit tartanak a legfontosabbnak a szakmai sikerek szempontjából. A rangsor élén a tehetség és az önmenedzselési képesség áll, ezt követik a szakmai ismeretek, a kommunikációs képesség és a társadalmi kapcsolatok. A kreativitást, a csapatmunkát, a piaci-gazdasági és a számítástechnikai ismereteket a fiatalabbak értékelik magasabbra. Az iparművészek társadalmi szerepét, küldetését firtató kérdésre adott válaszokból kitűnik: a legtöbben a vizuális kultúra megteremtését, az ízlésformálást és -fejlesztést vallják legfontosabb feladatuknak, ezt az esztétikai érzék fejlesztése és a környezeti harmónia megteremtése követi.

Azok az utóbbi évtizedekben végbement drámai változások, amelyek a magyar ipar széteséséhez vezettek, igen kedvezőtlenül hatottak a designerek jelentős hányadának

munka- és életkörülményeire. E negatív folyamat következményeként sokan panasztáltak, hogy kevés a munka és alacsonyak a honoráriumok. Az utóbbi időben azonban a megkérdezettek nagyobbik fele pozitív irányú elmozdulásokat lát, s a szakma jövőjébe vetett bizalom is jónak mondható.

A kutatók a fogyasztók véleményére is kíváncsiak voltak, s a teljes felnőtt lakosságot reprezentáló mintát kérdeztek meg, ők mit várnak az iparművészettől. Ha egyetlen mondatba akarnánk sűríteni a tanulságos közvéleménykutatás eredményeit, azt mondhatnánk: a felnőtt lakosságot nagyfokú ismerethiány jellemzi. A laikusokat a vizuális kultúra, valamint az iparművészet és a design fogalomrendszere körüli tisztázatlanság sem segíti a szakma megértésében. A közízlés hiánya pedig leginkább az alsó- és középfokú művészeti oktatás alacsony színvonalában keresendő.

A felmérés megállapításai közül a legfontosabbak: az „iparművészeti fogyasztási” szokásokat meghatározó szociodemográfiai tényezők közül a legfontosabb az iskolai végzettség. A fogyasztói attitűdre nem jellemző a legújabb trendek követése; ennek egyik oka feltehetően az alacsony vásárlóerő. Annak ellenére, hogy az emberek túlnyomó többsége csak akkor vásárol új tárgyat, ha szüksége van rá, a legtöbben mégis fontosnak tartják a vizuális és tárgykulturát.

Abból a tényből kiindulva, hogy „egy ország vizuális kultúrájának alakulásában meghatározó szerepet töltenek be a közintézmények által közvetített vizuális üzenetek”, Kapitány Ágnes és Kapitány Gábor két megyeszékhelyen térképezte föl a vizuális kultúra állapotát. (A kutatás eredményeit az *Intézménymimika 2.* című kötetben, számos képpel illusztrálva tették közzé; a most ismertetett tanulmánykötetben a teljes anyag részletei

kaptak helyet.) A kutatás legnagyobb értéke, hogy nemcsak rögzíti a mai magyar társadalomra jellemző látványsajátosságokat, de módot ad az ízlésnormák változásának elemzésére – a szerzőpáros ezt a témakört két évtizeddel ezelőtt már alaposan körbejárta; most módjuk volt annak elemzésére is, hogy a 80-as évek elejéhez képest mely területeken, milyen irányban történt elmozdulás.

Egyértelmű javulás tapasztalható a tárgy- és környezetkultúra színvonalában: az elmúlt két évtized szembetűnő változást hozott a kertkultúrában, a közösségi terek szerkezetváltozásában, a kényelem és az egészségkultusz térhódításában, a szabad hozzáférés terjedésében, a természet érték voltának hangsúlyozásában, az emberi élet védelmére utaló vizuális jelek gyarapodásában.

A közintézmények tárgykultúráját ugyanakkor még mindig a tárgyakkal való zsúfoltság, a *horror vacui* jellemzi, mintha a tárgyak legfontosabb szerepe az lenne, hogy minden létező helyet betöltve, minél nagyobb tömegben vegyék körül az embert. Az egymáshoz nem illő, nehezen összeférhető dolgok együttes jelenlétében föllelhető értékeklectizmus a 80-as évek elejéhez képest fölerősödött.

A látványegyüttes javulása ellenére az összkép még mindig törekeny: a legtöbb helyen érzékelhetően nem tudnak mit kezdeni a különböző vezetékekkel, mérőórákkal, szemetesedényekkel. Kevés változás tapasztalható a megvilágításban – ez alól kivételt csak a vendéglátóhelyek jelentenek, amelyek a legtöbb helyütt már használják a fényt a térképzés eszközeként.

Érdekes jelenség, hogy az individualitás értékének növekedése a közintézményekben is nyomon követhető. Mai világunk egyik legfőbb mozgatóereje az egyén önmegvalósítása, amelynek vizuális lenyomatai a sikert,

a teljesítményt, a kreativitást, az alkotókedvet hivatottak reprezentálni.

Hagyomány és modernség kevésbé különül el, mint két évtizede. Közös szerepeltetésük többnyire érdekes, ám néha meghökkenető, gyakran nagyfokú értékbizonytalanságról árulkodó vizuális együtteseket alkot.

Az intézmények vizuális üzeneteiben is megnyilvánul a hazánkban mindenütt szembetűnő centrum–periféria viszony: a települések központjában lévő intézmények többnyire magasabb státusúak, ezért jobb állapotúak és gondozottabbak a periférián elhelyezkedő, szegényesebb, elhanyagoltabb társaiknál.

A kötetben található még egy beszámoló annak a kutatásnak az eredményeiről, amelyben azt vizsgálták, milyen szerepet tölt be a design a kimagasló innovatív és/vagy design-igényes tevékenységet folytató innovatív magyar vállalatok körében. Szinte valamennyi megkérdezett a piacon maradás feltételének tekinti az innovációt, a folyamatos fejlesztést. Többen adtak hangot annak a meggyőződésüknek, hogy ma már a design a marketing egyik legfontosabb eleme, és a piaci siker szempontjából fontos szerepe van a termékek esztétikus kialakításának.

A kutatók tapasztalatai szerint a megvizsgált vállalkozások sikereiben kimagaslóan fontos az új iránti nyitottság, a kockázatvállalási képesség, az együttműködési készség, a rugal-

masság, az elkötelezettség. Fontosnak tartják a cég imázsának az erősítését, amelyben fontos szerep jut az egyes identitáselemek megtervezésének és összehangolásának – s ebben kimagasló szerep juthat a designereknek.

Mintegy negyven alkotóval is készítették mélyinterjúkat, amelyekből kitűnik, egymástól mennyire eltérő módon határozzák meg a hivatásuk lényegét. Az interjúkat elemző Szentpéteri Márton különösen figyelemre méltónak tartotta a Társadalmi felelősségvállalás és a fenntartható design kérdéskörére adott válaszokat. Az ökológiai katasztrófát gyorsító fogyasztói kultúra kiépítésében a designereknek óriási a felelősségük – ezt azonban nem mindenki ismerte fel. Sőt, a sztárdesignerek ma is élen járnak a szükségletek feletti fogyasztás serkentésében. „A designerek legnagyobb felelőssége [...], hogy az «új design» (new design) valóban a társadalom gondjainak megoldását tűzze ki célul maga elé, s ne csupán a profitnövelés és az új piacok megteremtésének újabb marketing- és PR-trükkjévé legyen” – olvashatjuk az igen tanulságos és érdekes kötetben. (*Szerkesztette Antalóczy Tímea – Kapitány Ágnes: Az iparművészet változó szerepe az átalakuló vizuális kultúrában. Tanulmányok az iparművészet helyzetéről. NKA-kutatások 2. Budapest: Moly-Nagy Művészeti Egyetem, 2006*)

Tószegi Zsuzsanna

Kozma Tamás: Kisebbségi oktatás közép-Európában

A könyv részben elvi kérdésekkel foglalkozik az első és a harmadik fejezetben, valamint az előszóban: a kisebbségi oktatás-kutatás és a kisebbségi oktatáspolitikázás problematikájával, részben „terepmunka” eredményeit közli hét konkrét területi kisebbségi közös-

ségre vonatkozóan esettanulmány formájában (a lengyel közösség Litvániában, a Vadrina Egyetem és a Collegium Polonicum a Odera két partján, Dél-Tirol, Karintia, Kárpátalja, Partium, Gagauzia).

Ami az elvi alapvetést illeti, kisebbségen ma már egyértelműen nemcsak nyelvi, nemzeti kisebbségeket értünk, hanem mindazon közösségeket, amelyek „...a többséggel

szemben kisebbséget alkotnak, legyenek bár nyelvük, vallásuk, tradícióik vagy biológiai adottságaik miatt kisebbségben”. (7.) Másrészt Közép-Európa kétségtelenül geopolitikai fogalom – semmiképpen nem földrajzi –, amelynek határai nemcsak időről-időre, de politikai szempontok szerint is változnak. Egyébként a fogalom először a XVIII. században merült fel. Azt is hangsúlyozza a szerző, hogy a kisebbségi oktatást és az ezzel kapcsolatos politizálást mindig a nagyobb egységben, a kisebbségi politizálás egészében kell tekinteni, annak részeként felfogni.

Az elvi részben kitekintést kapunk a világ más tájaira is; Kanadára, Ausztráliára, a Benelux államokra, a Mediterráneumra és így tovább. Itt hangsúlyozza a szerző az oktatáskutatás interdiszciplináris jellegét és az 1989/90 évi fordulat különös érdekességét, fontosságát e kutatási területen. A könyv témája is lényegében ez az időszak. Itt találjuk meg azokat a módszereket és szempontokat, amelyek szerint az esettanulmányok készültek.

Megtaláljuk azután (3. fejezet) a kisebbségi oktatáspolitikázás eszközeinek részletes bemutatását (érdekes különben a szóhasználat: oktatás politizálás és nem oktatáspolitikai): így céljairól, eszközeiről és végül a tanulságairól. Rámutat arra a különbségre a kisebbségi oktatást illetően, amelyet az a nyugati, illetve a keleti „térsegekben” játszik. Ott a „kultúra ápolása, a nyelv fejlesztése van előtérben, míg itt a „nemzeti identitás megőrzése”.

Az esettanulmányok a könyv nagyobb részét képezik (a 195 oldalból 126) egy érdekes és ismeretlen világba vezetnek bennünket alapos feltáró munka eredményei alapján.

Az egyes tanulmányok általában ismertetik a szóban forgó közösség, illetve terület történetét, nemzetiségi, nyelvi megoszlását, és ezt rendszerint belehelyezik a nagyobb

kontextusba, azaz annak az országnak az adatait is bemutatva, ahol a vizsgált terület fekszik, illetve a közösség él. Ez odáig megy, hogy például a litvániai lengyel kisebbséget tárgyalva röviden kitekintenek a megfelelő észtországi és lettországi viszonyokra is. Ezt követi az oktatási rendszer, majd a kisebbségi oktatás adatainak bemutatása, a helyzet pozitívumainak és negatívumainak elemzése. Itt nem térhetünk ki minden egyes tanulmány ismertetésre, de megállapíthatjuk, hogy az egyes tanulmányok nemcsak a vonatkozó irodalom alapos tanulmányozása alapján jöttek létre, hanem helyszíni tájékozódás, interjúk, illetve a szóban forgó helyzet alapos, személyes ismerete alapján.

Az egyes tanulmányokat különben más-más szerzők írták, Kozma Tamás az elvi részt (1. és 3. fejezet) írta, és ő vezette az egész kutatási programot. A tanulmányok szerzői a következők: a litvániai lengyel közösségre vonatkozóan Szerepi Anna és Szíjártó Imre, az Odera két partján létrejött lengyel–német egyetemi együttműködésről Keller Magdolna és Papp Éva, a déltiroli németek helyzetéről Polonyi Tünde, a karintiai szlovénekről Fekete Szabolcs, a kárpátaljai magyarokról Gabóda Béla, a magyar–román határ melletti Partiumról Szűcs István és végül a moldáviai gagaúzok helyzetéről Horkai Anita.

Végezetül érdemes idézni a könyv egyik fontos elvi és egy másik gyakorlati jellegű megállapítását. „...a közösségi önmeghatározásra törekvés a kisebbségi (oktatás) politika vezérmotívuma. Más törekvéseket is csak akkor érthetünk, ha ezeknek a vezérmotívumoknak rendeljük őket alá. A kisebbségi oktatáspolitikák dinamikáját az adja, hogy oktatáspolitikusaik távlatilag integrálódásra vagy inkább szeparálódásra törekzenek-e”. (173.)

A gyakorlati megjegyzés a kisebbségi lét előnyére vonatkozik a 21. század elején, túl a sok problémán és küzdelmen: „...a több nyelvet ismerő lakosok jobban fel vannak készülve a globalizáció kihívásaira, és jól il-

leszkednek az európai kommunikáció kontextusába is”. (Kozma Tamás: *Kisebbségi oktatás Közép-Európában. Bp. Felsőoktatási Kutatóintézet–Új Mandátum, 2005, 195 p.*)

Berényi Dénes

*Csákvári Béla és Rohonczy János:
Nemesgáz-clusterek előállítása,
szerkezetvizsgálata és felhasználásuk
a környezetkímélő szintézisek
kifejlesztésében – és – Nemesgáz-clus-
terek felhasználása a környezetkímélő
szintézisek terén a legújabb szakiro-
dalmi adatok tükrében című
könyvfejezeteiről*

A recenzens kötelességének tartja, hogy első sorban a sorozatszerkesztő Csákvári Béla teljesítményét méltassa azon alkalomból, hogy megjelent e könyvsorozat 95. kötete, s a 2007-re tervezett 100. kötet megjelenése kapcsán gratuláljon. Ilyen jubileum külföldön is aránylag ritkaságszámba sorolható. Nyugodtan állíthatjuk, hogy *A kémia újabb eredményei*-ben megjelent monográfiák elsősorban vegyészek, de más szakterületek képviselői követhették a terület érdekes, új fejleményeit.

A Csákvári és Rohonczy által jegyzett mű is méltó a sorozat hagyományaihoz, hisz a nemesgázokat a múltban csekély reakcióképességükkel jellemezték, és asszociációs tulajdonságaikat csak kb. egy nemzedéknyi ideje kezdték felismerni. A kutatás első lépéseként természetesen az egyszerűbb nemesgáz-vegyületek szintézise, például a xenon-fluoridok, kripton-oxidok és -fluoridok kerültek előtérbe, de mint a szerzők aprólékosan leírják, 2000 körül már az ún. endopozíciójú molekulákat tartalmazó clusterekkel foglalkoznak, magyarázatot nyújtva e

szerkezetek kiemelkedő stabilitására. Talán nem felesleges röviden vázolni, hogy az újonnan felfedezett nemesgáz-clusterek leírásához a kémia alkalmazni kezdte a számítástechnikában már bevezetett kukac (@) jelet, melynek jobb oldalára írták a befogadó aggregátumot, bal oldalára a befogadott komponenst vagy komponenseket, pl. mint azt fejezetükben a szerzők leírják a Diedrich által 2002-ben Ag8ArN@He ezüst (argon) oktamer esetében.

Csákvári Béla és Rohonczy János a 94. kötetben foglalkoznak a nemesgáz-clusterekre vonatkozó kitételekkel. A szerzők rendkívüli alapossgal dolgozták fel a nemesgáz-clusterkémia irodalmát, beleértve azok szerkezetkutatását, utóbbi metodikáját, és persze nem hanyagolva el azok gyakorlati felhasználását. Ez utóbbi vonatkozásban különös figyelmet szentelnek a környezetkímélő blikkfangos és divatos néven a zöld kémiai részleteknek, felismerve, hogy a jövő tiszta környezete kialakításának csakis ez lehet az útja. Szólni kell még arról, hogy a 95. kötetben csaknem napjainkig került feldolgozásra a nemesgáz-clusterek szakirodalmára.

A 95. kötet stílusa világos, a szöveg olvasmányos, és azt is meg kell említeni, hogy az Akadémiai Kiadó szerkesztési munkája és az alkalmazott tipográfiai színvonal hű marad a monográfiakötetek hagyományaihoz. (Csákvári Béla szerk.: *A kémia újabb eredményei. 2005, 94. kötet. 89–125. pp., 2005, 95. kötet, 93–149. pp.*)

Braun Tibor

az MTA doktora, címzetes egyetemi tanár

Hunyady György: A szociálpszichológia történeti olvasatai

A több mint ötszáz oldalas kötet összesen 24, 1998 és 2006 között írt tanulmányt foglal magába, amelyek egy része saját kutatások összefoglaló ismertetése, másik része viszont tudománytörténeti jellegű, és a szociálpszichológia számos jelentős személyiségének, meghatározó elméleteinek és más diszciplínákhoz fűződő kapcsolatának átfogó és kritikai elemzése

A tanulmányok öt nagyobb témakör köré csoportosulnak:

Az első tíz tanulmány a szociálpszichológia klasszikusainak és mai, amerikai meghatározó egyéniségeinek az Osiris Könyvkiadó két sorozatában megjelent kötetéhez írott tanulmányait tartalmazza. A két sorozat arra hivatott, hogy – ahogyan Hunyady György a bevezetőjében írja – a szaktudomány XX. és XXI. századi fejlődését kirajzolja, és a világban átütően meghatározó szociálpszichológiai főáramot bemutassa a hazai társadalomtudósok számára.

Szerepel a sorban például a német származású és 1930-ban az USA-ba emigrált Fritz Heider, az úgynevezett kognitív egyensúly-elmélet megalkotója, Leon Festinger, akinek nevéhez a kognitív disszonanciaelmélet és a társas összehasonlítás elmélet fűződik és William McGuire, aki Hunyady György szerint a valaha olvasható legátfogóbb attitűdrendszer modellt alkotta meg. A fiatalabb nemzedékből Mahzarin Banaji, az implicit attitűdök és implicit sztereotípiák kutatója, John Jost, az alacsonyabb társadalmi rétegekkel kapcsolatosan Banajival együtt a rendszerigazolás fogalmának a kidolgozója, valamint Jim Sidanius, a szociális dominancia elmélet képviselője kerültek be a válogatásba.

A következő három tanulmány a hazai pszichológia történetével foglalkozik, az egyik a pszichológiaoktatás alakulását követi a kezdetektől a mai napig a budapesti egyetemen, a másik az utóbbi 75 év magyar pszichológiáját tekinti át, míg a harmadik Pataki Ferenc 70. születésnapja alkalmából, 1998-ban született, az ő munkásságát méltató, értékelő írás.

A harmadik, nagyobb rész tartalmazza a kontraszelekció pszichológiájáról szóló akadémiai székfoglaló előadás szövegét és a kontraszelekció témájához szorosan kapcsolható, a tehetség szociálpszichológiáját tárgyaló írást, valamint a *Mindentudás Egyetemén* 2004-ben elhangzott *A nemzetek jelleme és sztereotíp jellemzése* című előadás anyagát.

A negyedik rész a szerző szűkebb tudományos kutatási területére, a sztereotípiakutatásra vonatkozó újabb írásokat tartalmazza, köztük a mai magyarországi politikai történetek tükrében még nagyobb jelentőséget nyelő *Politikai sztereotípiák: pártok jellegzetességei a közgondolkodásban* és a *Pártsztereotípiák változásai* című írásokat, amelyek országos reprezentatív mintán 1998-ban, 2000-ben és 2002-ben lefolytatott kutatások összefoglaló eredményeit mutatják be. Az ebben a blokkban szereplő tanulmányok sorát általános és középiskolai diákok társadalmi értékfelfogására irányuló sokéves kutatási sorozat átfogó értekezése zárja.

Végül az ötödik részben a szociálpszichológia más diszciplínákkal való kapcsolata kerül elemzésre. Az első tanulmány a szociálpszichológia és a történelem kapcsolódási pontjait elemzi tizenkét kiemelt viszonylatban. A második a politikai pszichológia rendező áttekintését adja: miben áll, mire törekszik, mire jutott és mit ígér a politikai pszichológia. A harmadik a közgazdaságtan

és a pszichológia határterületén mozgó, de egyre nagyobb befolyásra szert tevő gazdaságpszichológia történetét és jelentőségét mutatja be.

Részletesebben először a szociálpszichológia nagyjairól írott tanulmányokat tekintjük át. A jelen kötetben összegyűjtött tanulmányokban a tudósi személyiség elemzése, az egyéni létsors, a tudományos élettörténet, a szociálpszichológia szűkebb és a pszichológia tágabb történetébe illeszkedik, és a szerző mindezt összefűzi a történelem szálaival is. Ezek az elemzési szempontok egymásba fonódva, de mégis világosan követhetően írják le a szociálpszichológia jeles alakjainak munkásságát. Valódi szellemi élmény úgy átfogóan megismerni egy kiemelkedő szociálpszichológust, például Leon Festingert, vagy William McGuire-t, hogy egyszerre lehetünk személyesen közel a szerzőhöz, és absztrakt módon távol, széles perspektívából rálátva munkásságára. Ez a fajta perspektívaváltás, amely nem didaktikusan, hanem folyamatosan a különböző elemzési szintek között mozogva történik meg, teszi a gondolatilag gazdag, széles ismeretanyagokat felölelő írásokat izgalmas olvasmányokká.

Ezekből a tanulmányokból – amellet, hogy magas szintű szakmai elemzést kapjunk a tárgyalt tudósok tudományos tevékenységnek – mélyebben meg lehet ismerni, hogy milyen személyes és szakmai küzdelmeket élt át egy-egy szociálpszichológus tudós, miközben világhírűvé és tananyaggá vált mindenütt a világon, ahol szociálpszichológiát tanítanak. Megtudhatjuk, hogy a szakmai célok miként illeszkedtek a tudósok szélesebb értelemben vett emberi törekvéseibe, és a munkájuk fogadtatása hogyan és miként hatott személyiségükre és tudományos

munkájukra. Nyilvánvaló, hogy minden komolyabb művel rendelkező tudós átélte már, hogy bármilyen nagyot is alkot, a jogos és jogtalan kritikák folyamatosan kísérik pályafutását. Amikor együtt olvassuk a szociálpszichológia nagyjainak életművéről az összefoglalókat, ez az egyéni élményből vagy implicit tudásból lényegében szabállyá emelkedik. Jól példázza ezt a már említett Leon Festinger 1957-es kognitív disszonanciaelmélete, amelyről, mint „imperialisztikus disszonancia-hordák dúlásairól” írt két kolléga, Sears és Abeles 1969-ben, és amelyről 1992-ben (Festinger halála után egy évvel) viszont Aronson úgy ír, hogy „Az elfojtott újra jelentkezik: a disszonanciaelmélet viszatér”. William McGuire ironikus helyzetképe ezt a kettősséget tükrözi: „legtöbb barátom, aki járatos a mai szakirodalomban, úgy ítéli meg, hogy a disszonanciaelmélet a legnagyobb dolog, amelyet a szociálpszichológia az utóbbi tíz évben elért, de megoszlik a véleményük abban a tekintetben, hogy ez a disszonanciaelmélet diadala-e vagy a szociálpszichológia szégyene” – idézi Hunyady György.

Bár az elmélet sztenderd tananyag mindenütt, Festinger életének utolsó évtizedében kiábrándultan távol került a szociálpszichológiától, és munkájáról úgy nyilatkozott, mint azt Hunyady György tanulmányából megtudhatjuk, „ez nem egészen az lett, mint amire gondoltam”. Amikor ide jutunk az olvasásban, akár el is szomorodhatnánk, de ezután egy komoly tudománytörténeti és szociálpszichológiai elemzést találunk arra vonatkozóan, hogy miért is lehet az, hogy a kortársak egy részének súlyos kritikája és a szerző kiábrándulásának ellenére az elmélet újraéledt és él, és miért is lehet Festinger jelentőségét a szociálpszichológiában Freud

klinikai pszichológiában játszott szerepéhez hasonlítani.

Ezek az írások nemcsak külön-külön, hanem együtt olvasva még gazdagabb képet adnak. Világosan kirajzolódik, hogy kik azok a meghatározó egyéniségek, akik több tudós életében is szerepet játszottak, de mindegyikében más jelentőségűt és jellegűt. Kurt Lewinről, például, a saját munkáját megismerve is olvashatunk, és úgy is, ahogyan megjelenik más tudósok életben. Fritz Heider például a támogató barát és kolléga az USA-ba frissen emigrált Kult Lewin számára. Feleségével együtt segít neki németül írt alapművét angolra fordítani. Leon Festinger élete perspektívájából viszont Lewint nem mint az angolul nem kiválóan tudó bevándorló tudóst, hanem a nagytekinélyű mestert láthatjuk, akinél Festinger doktori fokozatot nyert. Az egyik viszonylatban tanítványként megjelenő Festinger, a William McGuire-ről szóló munkában viszont már laborvezető a Minnesota Egyetemen, akinél McGuire a posztdoktori tanulmányait töltötte.

Hunyady ezekben az írásokban tehát egyszerre ír a szociálpszichológia történetéről, és adja a szociálpszichológusok *network*-jének, a csoportjukon belül zajló dinamikai történések szociálpszichológiai elemzését.

Egy másik témakör, amelyre a könyvimertetésben részletesebben szeretnék kitérni, a kontraszelekció témaköre. Azért választottam ezt a sztereotípiakutatások helyett, mert Hunyady Györgynek azon a téren elért munkássága sokak számára ismert. Aki viszont nem követi szorosan a szociálpszichológia kutatási témáinak alakulását, az esetleg nem tudhat a kontraszelekció kutatásának fejleményeiről. Ez originális, korábban teljesen kidolgozatlan téma a szociálpszicho-

lógián belül. Hunyady Görgy azt írja róla, hogy ebben a témakörben „*a pszichológiai tudásunk foghíjas és integrálatlan, ugyanakkor a jelenség mélyen emberi, fájóan nemzeti és társadalmilag aktuális*”. A kontraszelekció fogalmát a következőképpen definiálja: ez az a helyzet, amelyben a társadalom, az intézmény és a csoport nem aknázza ki, sőt elvesztegeti emberi erőforrásait (például a tehetséget – ide kapcsolható a tehetségre vonatkozó kötetben szereplő írás is). Eszerint nem a legkompetensebbek és a legérdeesebbek kerülnek a legmeghatározóbb pozíciókba. Ennek következtében az emberek és csoportok teljesítménye és életének minősége elmarad az elérhető optimumtól. Ez egy, ma már versenyre épülő társadalomban kulcskérdésnek számít.

Míg az amerikai szociálpszichológia az „igazságos világba vetett hitről” ír, és az erről való gondolkodást leli fel amerikai vizsgálati személyeinél, addig egy Hunyady Görgy által 2002-ben országos reprezentatív mintán végzett felmérés azt bizonyította, hogy a kontraszelekció problémája kikristályosodott kérdés a magyar köztudatban, és szoros kapcsolatban áll a társadalmi elégedetlenség és pesszimizmus gondolati megnyilvánulásaival és az uralkodó társadalmi csoportok és az érvényesülés korlátainak kritikus megítélésével, és kifejezetten ellentétben áll a politikába vetett bizalommal.

Talán nem véletlen tehát, hogy ez a jelenség egy magyar szociálpszichológus számára emelkedett ki mint kutandó kérdés, a számos, a látóterünkben jelen lévő interperszonális és csoportközi történés közül, és nem amerikai társadalomtudós azonosította professzionálisan.

A kötetben közölt írásban a szerző a meg-lévő szakirodalom és saját kutatásai alapján

egy általános és közösségpszichológiai modelt körvonalaz, amelynek a segítségével ezt a jelenséget operacionalizálhatóvá, vizsgálhatóvá lehet tenni.

Ha a 24 felsorolt tanulmányt olvasva világgossá válik, hogy Hunyadi György lenyűgöző ismeretanyaggal rendelkezik a pszichológia egészéről, szűkebb tudományterületről, a szociálpszichológiáról és a hozzá kapcsolódó újabb tudományterületekről. A különböző, általa szerkesztett kötetek elé írott tanulmányai lehangoló mennyiségű olvasmányanyagra utalnak. Azonban az elolvasott szakirodalom mennyisége önmagában természetesen kevés lenne. A feldolgozás módja, az, ahogyan az olvasó strukturáltan, elemezve, kritikailag, múltba, jelenbe

és jövőbe helyezve, sok perspektívából, kérdéseket megfogalmazva, továbbgondolási lehetőségeket felvetve, ugyanakkor világosan és feszes logikát követve kapja kézhez a legmagasabb szintű ismereteket, valóban szakmai tiszteletet kelt, és modellértékű lehet nemcsak a könyvben felvetett témák iránt érdeklődő pszichológus generációk számára, hanem a társadalomtudományok és a pszichológia iránt érdeklődő, szélesebb értelemben vett értelmiségi közönség számára is. (*Hunyady György: A szociálpszichológia történeti olvasatai. Budapest: ELTE Eötvös Kiadó, 2006*)

Dr. Fülöp Márta

tudományos főmunkatárs

MTA Pszichológiai Kutatóintézet –

ELTE Pszichológiai Fakultás

Kik azok a tékozlók

és mit tékozlak el?

Megjegyzések Kende Péter *Eltékozlott forradalom?* című könyvéhez

Az utóbbi idők közpanaszkodásának egyik immár megszokott témája 1956 forradalmas hagyományainak politikai eltékozlása. Ezt a lamentálást másfél évtizede halljuk, s az egymást e tekintetben elmarasztaló politikai ellenfelek között ebben egyetértés van: „méltatlanok vagytok 1956 emlékéhez” – vágják egymás fejéhez. A részleteiben pedig a hagyomány megszenteltségleténítésének, következésül eltékozlásának bélyegződik a megemlékezés helye, ideje, módja, valamint a megemlékező személye és az általa képviselt politikai irányzat. S ez így megy szakadatlanul, évről évre, mígnem 2006 őszére, a Magyar Október fél évszázados évfordulóján a folyvást felhangzó közpanaszkodásból

nemzetközi figyelmet kiváltó közbotrányokozás, hosszantartó és kínos utcai komédiák sorozata következett. Épp ideje volt tehát, hogy valaki szembenézzen mindezzel, feltegye és megválaszolja a kérdést: mi az, ami eltékozlottatott – ha el lehetett tékozlolni –, s kik tették ezt.

Kende Péter mesterfokon megírt esszékötetének ez a központi kérdése, s természetesen már a kérdőjellel fogalmazott cím is erre hívja fel a figyelmet. Szerző a könyv elején leszögezi, hogy nem 1956-os egyéni élményeit fogja elmesélni, s azt is, hogy semmi új faktumot nem kíván feltálni a megtörtént eseményeket illetően. Holott élményei nagyon is vannak, s az események történészileg feltárt eredményeinek is birtokában van. Mindezek azonban írásában a közmondásos jéghegy szemmel nem látható részei, amit viszont olvashatunk, azok eleven gondolatok.

Az *Eltékozlott forradalom?* esszékönyv végén – minden gondolati szál ide összponto-

sul – egyre világosabbá válik, hogy nem volt mit eltékoznia – ha az eltékoznia valami hagyományt értünk. 1956 forradalmának nem volt, nem lehetett hagyománya. Nem voltak mesemondók, nem voltak krónikások, az 1956-ban történelekről csönd volt a családi asztaloknál. E vonatkozásban aztán érdektelen is, hogy melyik politikai erő mit művel az elmúlt másfél évtizedben. De ha már nem alakult ki hagyomány, annak nem kellett feltétlenül bekövetkezni, hogy mióta „bejött” a demokrácia, ki se találjanak – Eric Hobsbawm ismert fordulatával élve – egy tradíciót. 1956-ban Magyarországon világraszóló események történtek, így lett volna mire alapozni egy invenciózus politikai hagyományt. Mint tudjuk, ez nem történt meg, s e téren a politikai elit mérvadó pártjainak a könyvben fel is sorolják a felelősségük.

Kende Péter a Magyar Októbert a leghatározottabban forradalomnak tekinti minden más minősítéssel szemben. A „névcsatában” érvei közül legcáfolhatatlanabb a népnyelv: „a forradalom alatt leutaztam krumpliért az apósomékhoz”. E mondatban a forradalom szót stílustörés nélkül nem lehet felcserélni sem ellenforradalommal, se nemzeti szabadságharcra, se polgárháborúval, de még a népfelkeléssel sem. Nehezebb azonban a helyzet a történések társadalomtudományos minősítésével. Kende Péter egyetértően idézi Molnár Miklós tételét, aki szerint „az októberi napokban egyidejűleg legalább három forradalom futott egymás mellett: az utcáé, a különféle forradalmi bizottságoké és munkástanácsoké, valamint a politikai elité”. Utal a szerző Litván György elemzésére, aki szerint legalább négyféle politikai erő hatott azokban a napokban: a „demokratikus szocialisták”, továbbá „nemzeti demokratikus” erők, a „konzervatívok”, s

tőlük is különbözően „szélsőjobboldali radikálisok”. „Ha elfogadjuk az ötvenhatos eseményekben szerepet játszó erőknek ezt a négyes felosztását, akkor ebből az is következik, hogy *többféle forradalom* játszódott le egymás mellett ...” – írja Kende Péter. Igen, többféle forradalom volt egyszerre, mert az utca népe mást és másként akart, mint egyes értelmiségi nemzeti bizottságok vagy a munkástanácsok, és a csak a bizonytalan elismerésig jutó politikai elit sem rendelkezhetett még kiérlelt akarattal, már nem is szólva annak elfogadtatásához szükséges saját intézményekkel. Nyilvánvalóan badarság tehát egy egységes, egyetlen ötvenhatos forradalomról beszélni. De ugyanakkor az a kérdés is megfogalmazható, hogy valóban forradalmi volt-e saját szándéka szerint, s akár utólagos minősítés szerint az eseményeket mozgató, belső politikai erők mindegyike? A demokratikus szocialisták nem inkább reformerek voltak-e, akik az akkor elképzelt szocializmus keretei között kívánták átformálni maguk körül a világot? Vagy az esztergomi érsekről nem éppen a Szerző állítja, hogy korántsem véletlenül, hanem a forradalmi minősítéssel szemben beszél szabadságharcról? – Vagyis – vélem én Kende Péter gondolatébresztő okfejtése nyomán – nem három, négy vagy többféle forradalom volt itt 1956-ban, hanem reform is, forradalom is, anarchia is, szabadságharc is, de még leginkább – mint ő maga írja: „szemléltető oktatás imperializmusból”. S az imperializmus elleni inszurrekció – emlékezik most Eric Hobsbawm az ötvenéves évforduló kapcsán – valószínűleg a XX. századi történelem legintenzívebb érzéseit lobbantotta fel a nyugati világban is, mert hisz először jelent ott meg újságírók, fotósok, filmhíradósok közvetítésével szinte kézzelfoghatóan a birodalmi

elnyomás ellen egy megrendítően bátor felkelés. (Eric Hobsbawm: *Could It Have Been Different?* címmel az LRB (*London Review of Books*) 2006. november 16. számának vezető tanulmányában ír 1956-ról. http://www.lrb.co.uk/v28/n22/hobsol_.html)

„Nem tudom, hogy mi lett az összegyűjtött szappanokkal” – emlékezik egy amerikai antropológus, McIver Weatherford. Kisgyerekként ugyanis nagy lelkesedéssel szappant gyűjtöttek a magyaroknak, mert azt mondták nekik, hogy a magyar gyerekek ezzel kenik be az utcaköveket, s akkor majd nem tudnak haladni az orosz tankok a pesti utcán. Az ő emlékezetében ez ragadt meg kitörölhetetlenül 1956 Magyarországaról. Ezrével vannak ilyen emlékek világszerte. Hogy el lehet-e ezeket tékozzolni, s hogy az ilyen emlékek eltékozzolhatók-e egyáltalán – az persze kérdéses.

A gondolatilag szakadatlan önreflexiók során a könyv legérdekesebb része – mintegy éreztetve, hogy történelmet sem érdemes ma már régi módon írni –, amikor a Szerző a „mi lett volna, ha?” kérdését teszi fel: mi lett volna, ha győz a forradalom; mi lett volna, ha nem győz a forradalom? Egy félmondatnyit szabadkozik a tényeket nélkülöző történelmi (ha így van magyarul értelmesebb a *counterfactual history* fogalmának) fel-

tevések miatt. De ennyit se kellett volna mentegetőzni, hisz ha történelmet nem is lehet írni pusztán a „mi lett volna, ha?” kérdése alapján, de megérteni a történelmet biztosan nem lehet, ha ez a kérdés nem kíséri végig a történetekről való gondolkodásunkat. Miként azt Niall Ferguson harvardi tanár magyarázza: a virtuális történelem, a meg nem történtek lehetőségének feltételezése a még nyitott, el nem döntött alternatívák idején, szükségszerű ellenszere az eleve elrendelt vagy predeterminált történelemnek. Vagy fafejű determinizmus, vagy képesek vagyunk a még el nem döntött választási lehetőségek szorongató feszültségét felfogni, miként azt a döntésre szabaddá vált szereplők mindig is kényszerűen átélik. Mert a rövid napokra szóló szuverenitás és a közszabadságok fellobbanása 1956 októberében az események aktív szereplőinek ezt hozta. Az ebből fakadó és az ország akkor mérvadó részének önérzetessége és összetartása ma valóban nem tapasztalható. Merthogy ez az önérzet és összetartás az, ami Kende Péter szerint eltékozzódott, nem a sosem volt egység és egyöntetűség hagyománya. (*Kende Péter: Eltékozzolt forradalom? Budapest: Új Mandátum Kiadó, 2006*)

Gombár Csaba
politológus

A decemberben megjelent, akadémiai tagajánlást tartalmazó kötetbe néhány hiba csúszott. Maguk az ajánlások jók, de a 2. oldalon, az Agrártudományok Osztálya, levelezőtag-jelöltek között Fésüs László neve tévesen jelent meg, Szabó Ferenc neve kimaradt. A 3. oldalon, a Kémiai Tudományok Osztálya levelezőtag-jelöltek között Fogarasi Géza neve tévesen jelent meg, Hermecz István neve kimaradt. Az érintettektől és az Olvasóktól elnézést kérünk.

A Szerkesztőség

CONTENTS

Nuclear Energy • Guest Editor: Gyula Csom, József Gyulai

György Vajda: Introduction	2
Gyula Csom: Priorities of Energy Policy	4
Attila Aszódi: Nuclear Power Plants in the Electricity Production	11
Előd Holló: Risk Assessment of Nuclear Power Plants	19
Tamás János Katona: Extension of the Operational Lifetime of Paks NPP	23
József Hegyháti: Handling and Disposal of Radioactive Waste	27
János Gadó: Future Prospects of Energy Production Based on Nuclear Fission	31
Sándor Fehér: Transmutation of Radioactive Wastes	36
Sándor Zoletnik: Status and Prospects of Fusion Energy.....	40
Zoltán Hózer: Nuclear Research and Development in Hungary.....	45

Speech Research I. • Guest Editor: Mária Gósy

Mária Gósy: Introduction	49
Mária Gósy: The Neutral Vowel: Interrelations of Function, Articulation and Acoustics	50
Alexandra Markó: On the Phonetics of Conversation	54
Gábor Olasz: Speakers' Strategies and the Prosody	58

Study

Antal Füst – Róbert Hargitai: The Potential Energy Bases in the Future	62
Ash, Eric A.: Respectable Beliefs for Scientists	73
Tibor Braun – Ildikó Dióspatonyi – Erika Zádor – Sándor Zsindely: Leading Universities Ranking As Based on the Gatekeepers of Science Journals	82

Academy Affairs

Márton Dinnyei: Kuhn and Relativism (Conference Report).....	102
An Open Letter to the MPs of the Hungarian Parliament by Members of the Hungarian Academy of Sciences	107
International Year of Planet Earth, 2008	108

Obituary

János Sarkadi (<i>Imre Kádár</i>)	III
---	-----

<i>Outlook (László Jéki – Júlia Gimes)</i>	II3
--	-----

<i>Book Review</i>	II7
--------------------------	-----

Ajánlás a szerzőknek

1. A Magyar Tudomány elsősorban a tudományterületek közötti kommunikációt szeretné elősegíteni, ezért elsősorban olyan kéziratokat fogad el közlésre, amelyek a tudomány egészét érintő, vagy az egyes tudományterületek sajátos problémáit érthetően bemutató témákkal foglalkoznak. Közlünk téma-összefoglaló, magas szintű ismeretterjesztő, illetve egy-egy tudományterület új eredményeit bemutató tanulmányokat; a társadalmi élet tudományokkal kapcsolatos eseményeiről szóló beszámolókat, tudáspolitikai elemzéseket, szakmai szempontú könyvismertetőket.

2. A kézirat terjedelme szöveges tanulmányok esetében általában nem haladhatja meg a 30 000 leütést (a szóközzökkel együtt, ez kb. 8 oldalnak felel meg a MT füzetekben), ha a tanulmány ábrákat, táblázatokat, képeket is tartalmaz, a terjedelem 20-30 %-kal nagyobb lehet. Beszámolók, recenziók esetében a terjedelem ne haladja meg a 7-8000 leütést. *A teljes kéziratot .rtf formátumban, mágneslemezen és 2 kinyomtatott példányban kell a szerkesztőségbe beküldeni.*

3. A közlemények címének angol nyelvű fordítását külön oldalon kell csatolni a közleményhez. Itt kérjük a magyar nyelvű kulcsszavakat (maximum 10) is. A tanulmány címe után a szerző(k) nevét és tudományos fokozatát, a munkahely(ek) pontos megnevezését és – ha közölni kívánja – e-mail címét kell írni. A külön lapon kérjük azt a levelezési és e-mail címet, telefonszámot is, ahol a szerkesztők a szerzőt általában elérhetik.

4. Szöveg közbeni kiemelésként *dőlt*, (esetleg *félkövér* – semibold) betű alkalmazható; ritkítás, VERZÁL betű és aláhúzás nem. A jegyzeteket lábjegyzetként kell megadni.

5. A rajzok érkezhetnek papíron, lemezen vagy e-mail útján. Kérjük azonban a szerzőket: tartsák szem előtt, hogy a folyóirat fekete-fehér; a vonalas, oszlopos stb. grafikonoknál tehát ne használjanak színeket. Általában: a grafikonok, ábrák lehetőség szerint minél egyszerűbbek legyenek, és vegyék figyelembe a megjelenő oldalak

méreteit. A lemezen vagy e-mailben érkező ábrákat és illusztrációkat lehetőleg .tif vagy .bmp formátumban kérjük; értelemszerűen fekete-fehérben, minimálisan 150 dpi felbontással, és a továbbítás megkönnyítése érdekében a kép nagysága ne haladja meg a végleges (vagy annak szánt) méreteket. A közlemény szövegében tüntessék fel az ábrák kívánatos helyét.

6. Az irodalmi hivatkozásokat mindig a közlemény végén, abc-sorrendben adjuk meg, a lábjegyzetekben legfeljebb utalások lehetnek az irodalomjegyzékre. Irodalmi hivatkozások a szövegben: (szerző, megjelenés éve). Ha azonos szerző(k)tól ugyanabban az évben több tanulmányra hivatkozik valaki, akkor a közleményeket az évszám után írt a, b, c jelekkel kérjük megkülönböztetni mind a szövegben, mind az irodalomjegyzékben. Kérjük, *fordítsanak különös figyelmet a bibliográfiai adatoknak a szövegben, illetőleg az irodalomjegyzékben való egyeztetésére!* Miután a Magyar Tudomány nem szakfolyóirat, a közlemények csak a legfontosabb hivatkozásokat (max. 10-15) tartalmazzák.

7. Az irodalomjegyzéket abc-sorrendben kérjük. A tételek formája a következő legyen:

- Folyóiratcikkek esetében:

Alexander, E. O. and Borgia, G. (1976). Group Selection, Altruism and the Levels of Organization of Life. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* **9**, 499-474

- Könyvek esetében:

Benedict, R. (1935). *Patterns of Culture*. Houghton Mifflin, Boston

- Tanulmánygyűjtemények esetén: von Bertalanffy, L. (1952). Theoretical Models in Biology and Psychology. In: Krech, D., Klein, G. S. (eds) *Theoretical Models and Personality Theory*. 155-170. Duke University Press, Durnham

8. Havi folyóirat lévén a *Magyar Tudomány* kefelevonatot nem küld, de az elfogadás előtt minden szerzőnek elküldi egyeztetésre közleménye szerkesztett példányát. A tördelés során végzett apró változtatásokat a szerző egy adott napon a szerkesztőségben ellenőrizheti.

KIS GYÜLÉS, APR. 26. 1847.

(A' történettudományi osztály' részére)

Fáy András igazg. és tiszt. tag' helyettes elnöksége alatt

J e l e n Bajor és Luczenbacher r., Bárfay és Waltherr II. II. — Egyéb osztályokból: Schedius II., Balogh, Czuczor, Kállay, Kiss, Szilasy, Sztrókay, Vörösmarty II. II. — Kovács M., Tasner, Tóth, II. II. — Lukács helyettes segédjegyző.

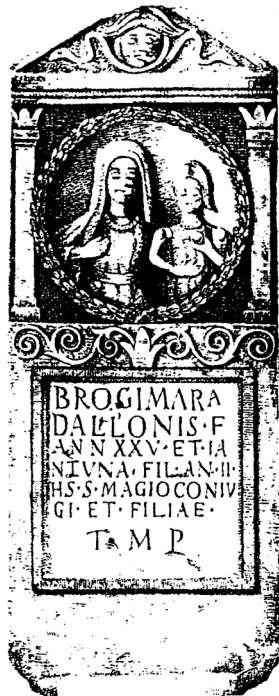
LUCZENBACHER JÁNOS rt.

az april' 1. tartott ülésben megbízott küldöttség' nevében a' következő tudósítást terjesztette elő:

„Tekintetes Társaság! Alulírottak azon három sírkőnek megvizsgálására levén kiküldve, melyekre Brunner Antal budai polgár és téglaveető tulajdonos' munkásai 1847. febr. 20-kán a' sz. Gellért hegynek déli oldalán fekvő szőlők között ásás közben akadtak;

A' mint april 3-kán a' hely' színére kfindultunk, hogy a' lelemény' körülményeit kikutassuk, és a sírköveket megmentsük, Tasner Antal kiküldött társunk jelenté, hogy Brunner Antal c' sírköveket a' hidépítés' pesti udvarába hozatá, azon hely pedig, a' hol találtattak, már el van síkolva és azon többé semmi sem látható; e' kövek, mint mondják úgy sem voltak együtt, hanem mindegyik külön feküdt a' földben és távol egymástól.

Ezeknél fogva mi a' hely' színére ki sem mentünk, hanem a sírköveket a' hídfo' udvarában vizsgáltuk meg, honnan azokat Tasner Antal még az nap a' m. n. Museumba viteté, hol kérelmemre Varsányi János mind a' hármat híven lerajzoló, mint a' alatt láthatni. *)



A lap ára 672 Forint