

Magyar Tudomány

MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK
ÉS KÖRNYEZETI HATÁSOK

vendégszerkesztők:

Ádám József és Szabados László

Sina Simon 1810–1896

Rekurzívak-e a természetes nyelvek?

Szubjektív tudománytörténet

2010·8

Főszerkesztő:

CSÁNYI VILMOS

Vezető szerkesztő:

ELEK LÁSZLÓ

Olvasószerkesztő:

MAJOROS KLÁRA

Szerkesztőbizottság:

ÁDÁM GYÖRGY, BENCZE GYULA, BOZÓ LÁSZLÓ, CSÁSZÁR ÁKOS,
ENYEDI GYÖRGY, HAMZA GÁBOR, KOVÁCS FERENC, LUDASSY MÁRIA,
SOLYOSI FRIGYES, SPÁT ANDRÁS, SZEGEDY-MASZÁK MIHÁLY, VAMOS TIBOR

A lapot készítették:

GAZDAG KÁLMÁNNÉ, HALMOS TAMÁS, HOLLÓ VIRÁG, 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. címen (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

Megújuló energiaforrások és környezeti hatásaik

Vendégszerkesztők: Ádám József és Szabados László

Ádám József: Bevezető	906
Németh Tamás: Tájékoztató az MTA Környezettudományi Elnöki Bizottságának tevékenységéről	910
Dinya László: Biomassza-alapú energiatermelés és fenntartható energiagazdálkodás	912
Bobok Elemér – Tóth Anikó: A geotermikus energia helyzete és perspektívái	926
Farkas István: A napenergia hasznosításának hazai lehetőségei	937
Szalai Sándor – Gács Iván – Tar Károly – Tóth Péter: A szélenergia helyzete Magyarországon	947
Szeredi István – Alföldi László – Csom Gyula – Mészáros Csaba: A vízenergia-hasznosítás szerepe, helyzete, hatásai	959
Szarka László: Szempontok az energetika és környezet kapcsolatához	979

Tanulmány

Fokasz Nikosz: Sina Simon 1810–1876 – Kétszáz éve született a magyar tudomány és kultúra görög mecénása	990
Kornai András: Rekurzívak-e a természetes nyelvek?	994

Tudós fórum

Szubjektív tudománytörténet Madas Edit: Pergamenkészítés házilag	1007
Tomka Béla: Kéznyújtásnyira	1009
A Magyar Tudományos Akadémia új levelező tagjai Kamarás Katalin	1012
Komjáth Péter	1014
Podani János	1015
Schaff Zsuzsa	1017
Zsoldos Attila	1019

<i>Kitekintés (Gimes Júlia)</i>	1022
---------------------------------------	------

Könyvszemle (Sipos Júlia)

A polgári jog Európa nagy jogrendszereiben (<i>Visegrády Antal</i>)	1026
Újraiparosítás és a környezeti ipar (<i>Enyedi György</i>)	1028
A nyelvi kommunikáció mentális alapjai (<i>Kocsis László</i>)	1030

Megújuló energiaforrások és környezeti hatásaik

BEVEZETŐ

Ádám József

az MTA rendes tagja, egyetemi tanár,
az MTA X. (Földtudományok) Osztályának elnöke
jadam@sci.fgt.bme.hu

Az MTA Környezettudományi Elnöki Bizottsága (KÖTEB) keretében 2008-ban alakult meg az *Energetika és Környezet Albizottság*. Az újonnan létesített albizottság feladatai közé tartozik az energetika környezeti vonatkozásainak részletes felmérése, a különféle energiafajták tárgyilagossá értékelése a környezeti hatások, környezetvédelmi szempontok alapján. A vonatkozó nemzetközi szakirodalom feldolgozása, a hazai szakmai nyilvánosság és tudományos közvélemény hiteles, és a lehetőségig pontos és világos tájékoztatása. Ezt azért is fontosnak és kívánatosnak tartjuk, mert a sajtóban és a média egyes területein sokat foglalkoznak a kérdéskörrel, amelyre általában az a jellemző, hogy a fosszilis energiahordozók és az atomenergetika szerepét bizonyos mértékben hátrányos megkülönböztetésben részesítik, a megújuló energiaforrások lehetőségeit pedig egyes esetekben a közvélekedésben túlértékelik (túlzott elvárásokat fogalmaznak meg). A megújulóknak számító vízenergia (vízerőművek, tározók) vonatkozásában pedig zárkózottság mutatkozik.

Az albizottság lehetőségeihez mérten segíteni kívánja az MTA energiasztratégiai koncepciójának kidolgozását a környezetvédelmi szempontok fokozott figyelembevétele céljából és szempontjából. Olyan energiapolitika kidolgozása célszerű és kívánatos, amelyben a fenntartható energiagazdálkodás, a fogyasztók biztonságos ellátásának és a környezet védelmének szempontjai egyaránt érvényesülnek. Ennek megfelelően az energia- és a környezetpolitika összhangja alapvető fontosságú. Ezért nélkülözhetetlen az energetika környezeti hatásainak összetett és részletes vizsgálata és alapul vétele. Ehhez kíván az albizottság működésével hozzájárulni, annál is inkább, mert az energetikával foglalkozó tanulmányok túlnyomó része többnyire csak érintőlegesen foglalkozik a környezeti hatásokkal.

Az albizottság huszonegy főből áll. Vezetőit az MTA Elnöksége bízta meg: elnöke jelen sorok írója, titkára pedig *Szarka László*, az MTA doktora. Tagjait az egyes energiafajták és az energetika környezeti vonatkozásai

szempontjából fontos természet- és társadalomtudományi területek elismert szakemberei köréből kértük fel. Ennek megfelelően az albizottság tagjai: atomenergia: *Aszódi Attila* (BME) és *Csom Gyula* (BME); szénhidrogén: *Pápay József* (MOL); szén: *Kovács Ferenc* (ME); biomassza: *Dinya László* (KRF); napenergetika: *Farkas István* (SZIE); vízenergia: *Szeredi István* (MVM); szél: *Szalai Sándor* (OMSZ); geotermika: *Bobok Elemér* (ME); ipari energetika: *Gács Iván* (BME); épületenergetika: *Zöld András* (BME); földtudomány: *Haas János* (ELTE); kémia: *Papp Sándor* (PE); biológia és ökológia: *Solymos Rezső* (MTA); fizika: *Kiss Ádám* (ELTE); közgazdaságtan: *Szlávik János* (BME); állandó meghívottak: *Bárdossy György* (MTA), *Gadó János* (KFKI) és *Kerekes Sándor* (BCE). A feladatkör jellegéből adódik, hogy az albizottság szoros (tagsági és tematikai) átfedésben végzi tevékenységét az MTA energetikával foglalkozó többi bizottságával és munkabizottságával: nevezetesen az MTA Energetikai Bizottsággal, az Energetikai Bizottság Megújuló Energia Albizottságával, az MTA Energiasztratégiai Munkabizottságával és az MTA Meteorológiai Tudományos Bizottság Légköri Erőforrás Munkabizottságával.

Az albizottság első, 2009. évre szóló feladataként a megújuló energiaforrások és környezeti hatásainak tudományos megismerését és áttekintését tűzte ki célul. Ennek érdekében az albizottság érintett tagjai a megújuló energiaforrások hazai szempontból is nagy érdeklődésre számot tartó egy-egy témakörében (biomassza, geotermika, nap-, szél- és vízenergia) tanulmányt készítettek, amelyekben (előre megállapodott egységes szerkezetben) összeállították (bonyolult természettudományi, környezeti és gazdasági szempontokba ágyazottan) az adott energia-

fajta hazai és nemzetközi jellemzőit, környezeti hatásait. Az öt tanulmányt az elmúlt év során tartalmilag az albizottság ülésein (amelyekre az MTA energetikával foglalkozó valamennyi bizottságának tagjait is meghívtuk) részletesen megvitattuk, majd a KÖTEB ülésén (2009. október 22-én) is bemutattuk és megvitattuk. A szerzők a vitaanyag céljára szolgáló tanulmányukhoz az üléseken elhangzott kritikai észrevételeket többnyire figyelembe vették. Emiatt is egy-egy összetett témakörben (például szél- és vízenergia) kis létszámú munkabizottság készítette az adott tanulmányt. (Az albizottsági ülések emlékeztetője elektronikus változatban is elérhető az albizottság titkárnál: szarka@ggki.hu.) A végeredmény öt tudományos igényű, szakterületi érdekektől lehetőség szerint függetlenített tanulmány, amelyet egy blokkban jelentetünk meg a *Magyar Tudomány* e számában. A tanulmányok sorrendben a következők: *Biomassza-alapú energiatermelés és fenntartható energiagazdálkodás* (Dinya László), *A geotermikus energia helyzete és perspektívái* (Bobok Elemér, Tóth Anikó), *A napenergia hasznosításának hazai lehetőségei* (Farkas István), *A szélenergia helyzete Magyarországon* (Szalai Sándor, Gács Iván, Tar Károly, Tóth Péter), *A vízenergia-hasznosítás szerepe, helyzete, hatásai* (Szeredi István, Alföldi László, Csom Gyula, Mészáros Csaba).

A felsorolt tanulmányok mellett Szarka László készített egy hatodikot is (*Szempontok az energetika és környezet kapcsolatához*), amely a háttérben rejlő közös természettudományi szempontokat kívánja bemutatni. Erre igény merült fel az albizottsági üléseken elhangzottak alapján az egyes megújuló energiafajták adott szempontok szerinti független összehasonlító elemzése céljából. Az albizottság működése keretében készült tanulmányok

nagyrészt épülnek a *Magyar Tudományban* a témakörben korábban megjelent cikkekben foglaltakra (például Alföldi et al., 1991; Aszódi, 2007; Csom, 2007; Kovács, 2007; Mádlné Szőnyi, 2009; Reményi, 2009; Stegena, 1991; Vida, 2007). A tanulmányok a megkívánt tájékoztatás mellett vitaindító fórum alapját is képezik. A tematikus összeállítást megelőzően *Németh Tamás*, az MTA főtákará összefoglalója olvasható a KÖTEB eddigi tevékenységéről.

Az elmúlt évtizedben látványosan fejlődtek a megújuló energiaforrások felhasználására szolgáló energiatermelési módok (biomassza és földhő felhasználása, napelem, szélkerekek, és nemzetközi szinten a vízerőművek stb.). Erősödött a megújuló energiaforrások iránti igény. Jól mutatja ezt a témakörben megjelent tan- és szakkönyvek növekvő száma (például: Gööz, 2007; Juhász et al., 2009; Komlós et al., 2009), vagy az energetikával foglalkozó és az MTA kiadásában megjelent könyvek (például: Szentgyörgyi, 2008; Vajda, 2009) vonatkozó fejezetei. A megújuló energiaforrások témakörében az MTA támogatásával figyelemre méltó áttekintést adott a *Heti Válasz* hetilap 2008. december 4-én megjelent *Navigátor* melléklete is.

Megjegyezzük, hogy a megújuló energiaforrások hazai vonatkozásaival összefüggésben több mértékadó tanulmányt és cikket jelentetett meg a *Mérnök Újság* (pl. Barótfi, 2008; Kovács, 2004; Kozák, 2007; Mosonyi, 2007; Zarándy, 2004). A Magyar Mérnöki Kamara (MMK) elnöksége 2004. szeptember 15-én állásfoglalást alakított ki a megújuló energiaforrások általános és hazai kérdéseivel kap-

csolatban (Kovács, 2004). Az ebben foglaltak alapvető fontosságúak és ma is nagyon időszerűek. Ennek alátámasztására idézzük a szóban forgó MMK Elnökségi állásfoglalás néhány részletét: „...A Magyarországon támogatott megújuló energiaátalakítási technológiákat a hazai adottságok figyelembevételével és nem marketingtörekvések alapján kell kiválasztani. A tervezési és szakértői munka, valamint a döntések során egyaránt előnyben kell részesíteni azokat az eljárásokat, amelyeknél a hazai hozzáadott érték (K+F, mérnöki munka, kivitelezés) magas.

Szükséges ugyanakkor a jelenlegi társadalmi gyakorlat és szemlélet megváltoztatása is. A MMK elő kívánja segíteni, hogy az energia- és környezetpolitikai döntéseket ne érzelmileg motivált, és esetenként a szakszerűséget nélkülöző mozgalmak vagy vállalkozói érdekek határozzák meg, hanem a valós szakmai szempontok érvényesüljenek.

A MMK felhívja a politikusok, a média és a szakemberek figyelmét arra, hogy a megújuló energiaátalakítási technológiákkal, illetve az energiamegtakarítási erőfeszítésekkel kapcsolatos nyilvános megnyilatkozásaikban ragaszkodjanak a tényekhez, a szakszerűséghez, a valós összefüggések árnyalt és sokoldalú bemutatásával.” Figyelembe kell vennünk, hogy a megújuló energiafajtáknak is megvan a maguk korlátai, környezeti hatásai. Természeti lehetőségeinkkel a józan megfontolásokat követve kell élni.

Kulcsszavak: *fenntartható energiagazdálkodás, megújuló energiaforrás, biomassza, geotermikus energia, napenergia, szélenergia, vízenergia*

IRODALOM

- Alföldi László – Liebe P. – Ottlik P. (1991): Hasznosítható-e a geotermikus energia Magyarországon? *Magyar Tudomány*. 2, 144–157.
- Aszódi Attila (2007): Atomerőművek a villamosenergia-termelésben. *Magyar Tudomány*. 1, 11–18.
- Barótfi István (2008): Megújuló energiaforrások és nézőpontok I–III. *Mérnök Újság*. 3, 14–16.; 4, 19–22.; 5, 21–22.
- Csom Gyula (2007): Energiapolitikai prioritások. *Magyar Tudomány*. 1, 4–10.
- Dubniczky Miklós (2004): Súlyos aránytalanságok, megfertőzött közvélemény. Beszélgetés Mosonyi Emil mérnök-akadémikussal. *Mérnök Újság*. 7, 18–20.
- Gööz Lajos (2007): *Energetika jövőjében. Magyarország megújuló energiaforrásai. Lehetőség és valóság*. Bessenyei György, Nyíregyháza
- Juhász Árpád – Láng I. – Blaskovics Gy. – Mika J. – Szépszó G. – Horányi A. – Dobi I. – Nagy Z. (2009): *Megújuló energiák*. Sprinter Kiadói Csoport
- Komlós Ferenc – Fodor Z. – Kapros Z. – Vajda J. – Vaszil L. (2009): *Hőszivattyús rendszerek (Heller László születésének centenáriuma)*. ISBN 978-963-06-7574-1.
- Kovács Ferenc (2007): A megújuló energiafajták várható arányai az energiaigények kielégítésében. *Magyar Tudomány*, 11, 1446–1457.
- Kovács Gábor (2004): A megújuló energiaforrásokról. MMK Elnökségi állásfoglalás. *Mérnök Újság*, 11, 27.

- Kozák Miklós (2007): A megújuló vízenergia jelene, jövője és Magyarország. *Mérnök Újság*. 12, 20–22.
- Mádlné Szőnyi Judit – Rybach L. – Lenkey L. – Hámor T. – Zsemle F. (2009): Fejlődési lehetőségek a geotermikus energia hasznosításában, különös tekintettel a hazai adottságokra. (Egy, az MTA számára készített tanulmány margójára...) *Magyar Tudomány*. 8, 989–1003.
- Mosonyi Emil (2007): A hazai vízgazdálkodás távlati feladatai (Javaslatok tervezési munkák megkezdésére a klímaváltozásnak és Magyarország sajátos földrajzi helyzetének figyelembevételével.) *Mérnök Újság*. 3, 26–30.
- Reményi Károly (2009): Az energiastatégia sarokpontjai. *Magyar Tudomány*. 3, 323–333.
- Stegena Lajos (1991): Hasznosítható-e a geotermikus energia Magyarországon? *Magyar Tudomány*. 7, 892–894.
- Szentgyörgyi Zsuzsa (2008) (szerk.): *Tanulmányok a magyarországi energetikáról*. MTA, Budapest
- Vajda György (2009): *Energia és társadalom*. In: Glatz Ferenc (sorozatszerk.): *Magyarország az ezredfordulón – Stratégiai kutatások a Magyar Tudományos Akadémián*. MTA Társadalomkutató Központ, Budapest
- Vida Gábor (2007): Fenntarthatóság és a tudósok felelőssége. *Magyar Tudomány*. 12, 1600–1606.
- Zarándy Pál (2004): A megújuló energiaforrásokról (Adottságok és lehetőségek – társadalmi értékválasztás és politikai akarat). *Mérnök Újság*. 10, 8–12.



TÁJÉKOZTATÓ

AZ MTA KÖRNYEZETTUDOMÁNYI ELNÖKI BIZOTTSÁGÁNAK TEVÉKENYSÉGÉRŐL

Németh Tamás

az MTA főtitkára, a Környezettudományi Elnöki Bizottság elnöke
nemeth.tamas@office.mta.hu

Az MTA Környezettudományi Elnöki Bizottságot (KÖTEB) az MTA Elnöksége 2008. július 15-i ülésén alakította újjá. A bizottság első ülését 2008. szeptember 25-én tartotta, amelyen részt vett *Szili Katalin*, az Országgyűlés elnöke és *Pálinkás József*, a Magyar Tudományos Akadémia elnöke is. A 2008–2010 közötti időszakban a KÖTEB mellett három albizottság (Felkészülés a Klímaváltozásra Albizottság, Élelmiszer-biztonsági Albizottság, Energetika és Környezet Albizottság), valamint az IPCC Munkacsoport működik. Az alakuló ülésen a bizottság tagjai elfogadták azt a javaslatot, hogy a ciklus alatt évente lehetőleg négy ülést tartsanak. A bizottság három albizottságának és egy munkacsoportjának vezetőjével és tagjaival 2008. október 7-én megbeszélést tartottunk, amelyen meghatároztuk az előre tervezhető feladatokat, az albizottsági munka alapelveit. Az albizottságok rögzített feladataihoz alakították ki a tagok névsorát. A KÖTEB alakuló ülésén, valamint az albizottságok vezetőivel tartott megbeszélésen megerősítettük, hogy a ciklus alatt szoros kapcsolatban és kölcsönös tájékoztatással működünk a Nemzeti Fenntartható Fejlődés

Tanácsával (NFFT), a tudományos osztályokkal, valamint az MTA osztályainak szakbizottságaival, illetve osztályok közötti bizottságaival.

A KÖTEB említett három albizottsága és munkacsoportja a 2009. évre tervezett, a klímaváltozással, az élelmiszer-biztonság növelésével, valamint az energetika és környezet kérdéseivel kapcsolatos feladatokat külső szakértőkkel együttműködve magas színvonalon teljesítette.

A *Felkészülés a Klímaváltozásra Albizottság* az MTA 2009. évi rendes közgyűlésén kiadott elnökségi nyilatkozatában megfogalmazott feladatokat alapul véve közreműködött az Éghajlatvédelmi kerettörvény kidolgozásában, célkitűzéseinek megfogalmazásában. Az általuk szervezett *Aszály és szárazodás Magyarországon* című konferencián is megerősítették, hogy az Országgyűlés által egyhangúlag elfogadott *Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia* alapján hozzák meg a szükséges döntéseket és intézkedéseket. A napjainkban és a közeljövőben felerősödő aszályosodás, szárazodás megelőzése érdekében időben meghozott döntések hozzájárulhatnak a hazai víz- és

élelmiszer-ellátás biztosításához, hisz ez adja a lakosság létbiztonságának alapját. Az albizottság részleteiben is tárgyalta a nemzetgazdaság több ágát is súlyosan érintő aszályosodás, szárazodás kérdését. A kialakuló víz- és élelmiszerhiányon túlmenően foglalkozott a humán- és az állategészségügyi infrastruktúrára, az energiaipar és szállítás, közlekedés, élelmiszeripar területén bekövetkező változásokkal és az adott területeken keletkező károkkal. Megállapította, hogy a klímaváltozással egyidejűleg felértékelődnek vízkészleteink és a természetben meglévő agroökológiai potenciálunk.

Az *Élelmiszerbiztonsági Albizottság a Környezet és az élelmiszer-biztonság kapcsolata* című tudományos ülés keretében tárgyalta a klímaváltozás lehetséges hatásait az élelmiszerbiztonságra, valamint az élelmiszerlánc aktuális etikai kérdéseire. Ennek kapcsán nagy figyelmet fordítottak a környezeti és társadalmi tényezők változásának a növényi élelmiszerek biztonságos előállítására gyakorolt hatásaira. Külön kiemelendő az albizottság azon tevékenysége, hogy aktívan működik közre a Nemzeti Élelmiszer-biztonsági Stratégia kidolgozásában. Az elkészült részfejezetek vitája során állásfoglalást dolgoztak ki, melyet a *Magyar Tudomány* című folyóiratban tesznek közzé. Az albizottság részletesen kíván foglalkozni a klímaváltozás közegészségügyi és járványügyi biztonsági kérdéseivel is, amelyhez az MTA Élelmiszeripari Komplex

Bizottság, illetve az MTA Állategészségügyi Bizottság adott témában meghozott állásfoglalásait is fel kívánják használni.

A KÖTEB *Energetika és Környezet Albizottsága* 2009-re szóló feladatául a megújuló energiafajták lehetőségeinek és környezeti hatásainak tudományos megismerését, áttekintését tűzte ki célul. Magyarországon a következő megújuló energiafajtáknak van szerepük: geotermikus, bio-, szél-, nap- és vízenergia. Az albizottság tevékenysége keretében a felsorolt energiafajtákról és azok környezeti vonatkozásairól egy-egy tanulmány készült, amelyeket a *Magyar Tudomány* jelen számában összegyűjtve mutatunk be. Az albizottság 2010-ben a szén-dioxid összegyűjtésével és tárolásával kapcsolatos kérdéseket vitatja meg.

Az eddig megtartott tudományos ülések számos olyan kérdést vetettek fel, amelyek további feladatokat jelöltek ki az albizottságok, illetve a velük szorosan együttműködő más tudományos bizottságok számára. Így például az MTA Környezet és Egészség Bizottsága együttműködve a KÖTEB albizottságaival számos olyan kérdést tárgyalt meg, amely az élelmiszer-biztonság és a humángyógyászat közötti összefüggéseket vizsgálta, illetve választ keresett a klímaváltozás okozta stressz egészségügyi problematikájára.

Kulcsszavak: *környezettudomány, élelmiszerbiztonság, klíma, energiabiztonság*

IRODALOM

Szili Katalin – Láng István (2010): *Jövőkereső. A Nemzeti Fenntartható Fejlődési Tanács jelentése a magyar társadalomnak*. NFFT, Budapest

BIOMASSZA-ALAPÚ ENERGIATERMELÉS ÉS FENNTARTHATÓ ENERGIAGAZDÁLKODÁS

Dinya László

a mezőgazdasági tudomány kandidátusa, egyetemi tanár,
Károly Róbert Főiskola, Gyöngyös
ldinya@karolyrobert.hu

Fenntarthatósági kihívások

Amikor a médiában latolgatják, hogy hány millió hektár területen lehetne a hazai üzemanyag-fogyasztás környezetbaráttá tételéhez bioetanol/biodízel céljára szolgáló növényeket termesztetni, akkor az a sejtésünk támadhat, hogy valamit túlzottan leegyszerűsítve tálnak. A biomassza-alapú energiatermelés kétségkívül az emberiség legrégebb próbálkozása energiaigényének kielégítésére, de ma már jóval többet tudunk világunk bonyolult összefüggéseiről, hogy eltekinthessünk azok mérlegelésétől. Ezért a biomassza vagy akár a többi megújulónak nevezett és potenciálisan környezetbarát energiaforrás perspektívájának megítélését is célszerű a tágabb összefüggések felől megközelíteni. E tágabb összefüggésrendszert egyértelműen a fenntarthatóság kínálja számunkra, mivel az energiatermelést éppen az eddigi megoldások jövőbeni fenntarthatatlansága helyezte a fókuszba. Az emberiség globális kihívásai közül talán legismertebb a környezetszennyezés, és ezzel szoros összefüggésben a klímaváltozás. Gondolatébresztő a Nobel-díjas Richard Smalley listája, amely az előttünk álló tíz legfontosabb

globális kihívást a szerint rangsorolta, hogy melyik megoldása nélkül nem boldogulhatunk az utána következőkkel (Dinya, 2008). Ez a rangsor a következő:

- Energiaellátás
- Vízellátás
- Élelmiszer-ellátás
- A természeti környezet megvédése
- A szegénység megszüntetése
- A terrorizmus és háború kiküszöbölése
- A betegségek elleni küzdelem
- Az oktatás korszerűsítése
- A demokrácia biztosítása
- A túlnépesedés megállítása.

A kihívások *csúcán az energiaellátás* található, miután ennek megoldása nélkül a víz-ellátó rendszerek működésképtelenek, energia és víz nélkül pedig nincs élelmiszer-termelés, és az élhető környezet mindhárom előző kihívás megválaszolását feltételezi. Szegénységről pedig akkor beszélünk, ha tömegek számára elérhetetlen az energia, a tiszta víz, az élelmiszer és az egészséges környezet. A szegénység ugyanakkor a terror (és a háborúk), illetve a betegségek melegágya. Az okfejtés szerint mindezek után oldhatók meg az oktatás problémái, és – számos tapasztalat is iga-

zolja – tudatlan tömegek kezében a demokrácia működésképtelen. Végezetül ugyancsak köztudott, hogy a demográfiai robbanás nem a kvalifikált rétegek jellemzője. Természetesen vitatható mind a rangsorolás, mind a kapcsolódó érvelés – az összefüggések nyilvánvalóan jóval komplexebbek, kölcsönhatások, visszacsatolások szép számmal működnek ebben az egymásra épülésben. De nem vitatható, hogy ez a rendszerezés lényegében a *fenntartható fejlődés* mindhárom klasszikus pillérét (a gazdasági, társadalmi és ökológiai szempontokat) átfogja, és lényegében a kihívások *egymással harmonizáló megválaszolására* hívja fel a figyelmet.

Mindezt azért bocsátottuk előre, mert jól illeszkedik a felfogásunkhoz, amelyben a *biomassza-alapú energiatermelés hazai perspektíváját* kísérjük meg elemezni. Egy többéves, átfogó kutatás keretében („Asbóth Oszkár” pályázat, BIOENKRF-projekt) sok egyéb feladat megoldása mellett feldolgoztuk a hazai bioenergetikai projektek médiatörténetét. A sajnálatosan nagyszámú kudarc-sztori közös jellemzője volt:

- *Szelektív megközelítés:* a legfontosabb technikai, pénzügyi, szervezési elemeken túl nem fordítanak kellő figyelmet menet közben megoldhatónak vélt feladatokra.
- *Komplex tudás hiánya:* a tőke vagy más kulcsfontosságú erőforrások birtoklása még nem pótolja a tapasztalatot és a komplex szaktudást.
- *Széthúzó érdekek:* a sokszereplős projektekben a nehézségek fellépésekor gyorsan felbomlik a kezdeti érdekközösség, főleg ha azt korrekt, hosszú távú megállapodásokkal nem bástyázzák körbe.
- *Tőke (forrás) szűkössége:* a kényszerű takarékosság miatt a komplex (azaz drágább, hosszabb megtérülésű, de időtállóbb, ha

úgy tetszik fenntarthatóbb) megoldások háttérbe szorulnak.

Sokan abból a vélekedésből indulnak ki, hogy Magyarország „biomassza-nagyhatalom”, de realisan szemlélve a természeti erőforrásokkal való ellátottság tekintetében a nagy országokkal összevetve igen korlátozottak a lehetőségeink. Mindez felértékeli a meglévő, *relatív nagy potenciált* (termőtalaj, élővizek, erdők stb.), de éppen méretbeli korlátaink miatt a *fenntarthatósági szempontok érvényesítése* elengedhetetlen. Hazánkban már létezik a Nemzeti Fenntartható Fejlődési Stratégia, a Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia, a Nemzeti Fenntartható Fejlődés Tanácsa (utóbbi kettőt az Országgyűlés egyhangúlag támogatta!).

A *biomassza-alapú energiatermelés* (azaz a bioenergetika) lehetőségeinek és korlátainak vitájában még döntéshozói szinteken is gyakran elkövetik azt a hibát, hogy a kérdést a fenntarthatóságtól függetlenül tárgyalják. Ennek következtében országos, ágazati vagy projektszinten is találkozhatunk félrevezető kalkulációkkal, amelyek téves üzleti vagy akár gazdaságpolitikai döntések forrásává válhatnak. Kiindulópontként tehát javasoljuk, hogy a bioenergetikai ágazat perspektívájának megítélésénél, stratégiai fejlesztésénél a *fenntarthatóság legyen a vezérelv* a következők szerint:

Ne energiatermelésről, hanem *energiagazdálkodásról*; ne leszűkítve gazdasági-technológiai, hanem *ab ovo fenntarthatósági* kérdésről beszéljünk. Ebben az értelemben a fenntartható fejlődésbe illesztve tárgyaljuk a kérdést, azaz *fenntartható energiagazdálkodásként*.

Fenntartható energiagazdálkodás

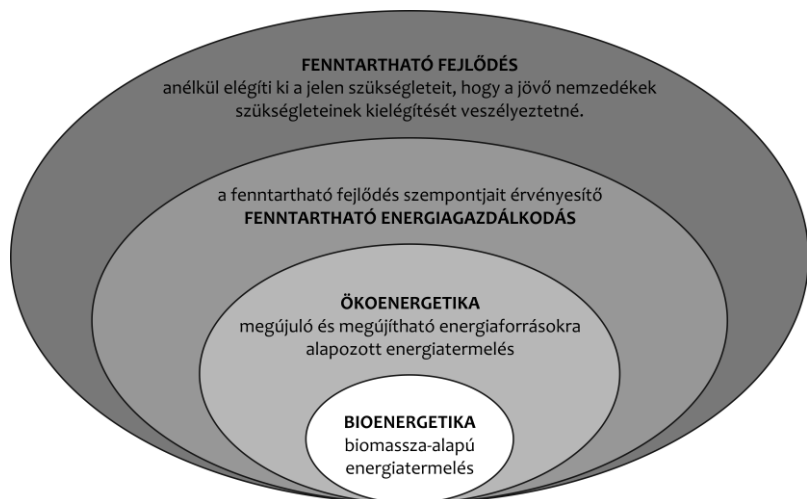
A fentiekből kiindulva célszerű a laikus köztudatban (de még a projektekről döntést hozók fejében is) gyakran összemósódó fogalmakat elkülöníteni, és ha lehet, egymáshoz való

viszonyukat is tisztázni. A következő – egyre gyakrabban használt – fogalmak tartoznak ide, amelyek egyfajta hierarchiában foglalhatók össze (1. ábra) (Dinya, 2007):

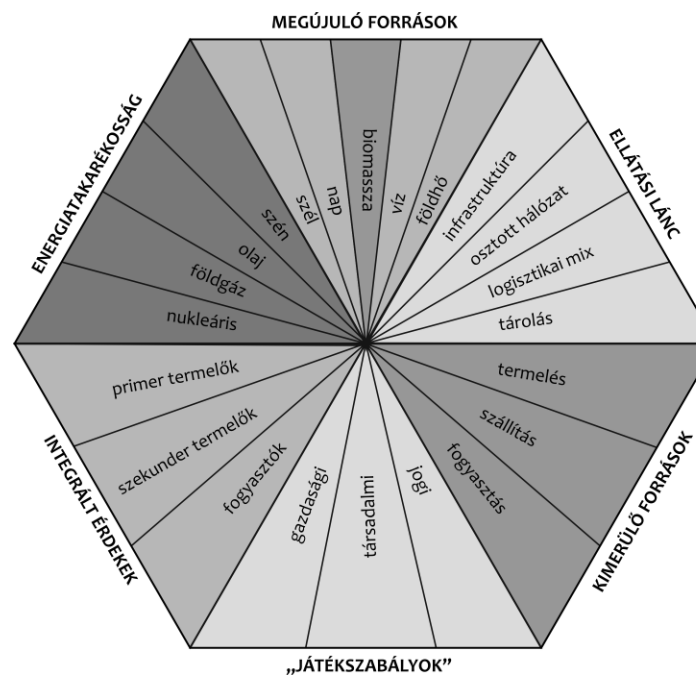
- **Fenntartható fejlődés:** olyan fejlődés, amely kielégíti a jelen szükségleteit anélkül, hogy veszélyeztetné a jövő nemzedékek szükségleteinek kielégítését – az ismert, Brundtland-féle definíció szerint.
- **Fenntartható energiagazdálkodás:** az energiatermelés, -tárolás, -szállítás, -felhasználás komplex folyamatának (vertikumának) társadalmi, gazdasági és ökológiai szempontokat integráló megvalósítása; a klaszikus energiagazdálkodás fenntartható fejlődésbe illeszkedő átalakítása.
- **Ökoenergetika:** a megújuló erőforrásokra alapuló energiavertikum tevékenységeinek rendszere – csak a megújuló és a megújítható energiaforrások tartoznak ennek a körébe.
- **Bioenergetika:** ökoenergetikai értelmezésben: a biomasszán alapuló energiavertikum tevékenységeinek rendszere – a

megújuló energiaforrások speciális csoportjára, a megújíthatókra vonatkozik. Ennek megfelelően a fenntartható energiagazdálkodás egyik fontos területe az ökoenergetika, a megújuló energiaforrások kihasználása, ám a fenntartható energiagazdálkodás *részeként kell kezelniünk* a klasszikus (nem megújuló) energiaforrásokat is, hisz teljes mértékű kiváltásuk belátható időn belül lehetetlen. Ezzel szoros összefüggésben természetesen elkerülhetetlen – bár kétségkívül nagyon tökéletes – a nem megújuló energiaforrások ún. *tiszta* (tehát környezetbarát) és *jelenleginél jóval hatékonyabb technológiákra* átállítása. Mindezek után már felvázolhatjuk a *fenntartható energiagazdálkodás komplex rendszerét* (2. ábra), amelyben a *különböző – megújuló, illetve kimeríthető – energiaforrások mellett* további számos fontos összetevő szerepel:

- **Ellátási lánc:** az energiahordozók kitermelésének, feldolgozásának és az energiatermelés melléktermékeinek logisztikai kezelésén, valamint az energia sokkal hatékonyabb tárolásának megoldásán túl kezelni



1. ábra • Fenntarthatóság – biomassza



2. ábra • A fenntartható energiagazdálkodás rendszere

kell az időszakos (nap-, szélenergia) és a szezonális (biomassza-termelés) ingadozásokat, és az energiaszükséglet ingadozásainak kihívásait is. Ráadásul a reményeink szerint kialakuló ún. osztott (decentralizált) energiahálózat alapvetően eltér a mai globális, koncentrált hálózatoktól.

- **Energiatartósság:** legtöbb energia az, amit nem kell megtermelni – vagyis amit meg tudunk takarítani (az ún. negajoule). Kalkuláció szerint az energiatakarékosági potenciál a fejlett országokban 20–25%, a kevésbé fejlettekben – így hazánkban – 30–35% (Greenpeace International, 2007).
- **Játékszabályok:** ma még a *formális* jogszabályi előírások, illetve piaci szabályozók – támogatások, korlátozások, kötelezettségek és elvonások – rendszere részint hézagosságos, részint ellentmondásos. Nemzetközi, nemzeti és helyi szinten is sok ösz-

szehangolt lépésre van szükség, míg a befolyásos, ellenérdekű lobbykkal szemben egy konzisztens, fenntartható energiagazdálkodást támogató játékszabályrendszer jön létre. Ugyanehhez szervesen hozzátartozik az *informális* játékszabályok rendszere, azaz a társadalmi értékrend (energiaszükségleti szokások), amelynek megváltoztatása nélkül vajmi kevés az esély fenntartható energiagazdálkodásra.

- **Integrált értéklánc:** a fenntarthatóság csak akkor valósulhat meg, ha az energetikai ágazat (és általában a komplett gazdaság) szereplőinek összetett értékalkotó tevékenységében (az ún. értékláncban) integráltan kapcsolódnak össze a primer és a szekunder energiatermelés, valamint az energiaszükséglet szereplői.

Talán e rövid leírásból is érzékelhető: a fenntartható energiagazdálkodás rendszere komp-

lex, és csak *hosszú távon és globálisan összehangolt erőfeszítéssel* valósítható meg.

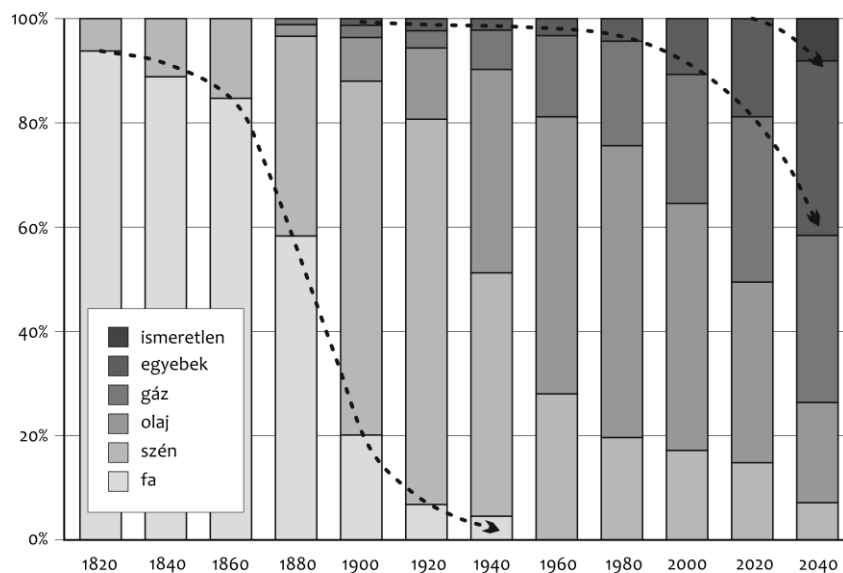
Hosszú távú elemzések alapján többen úgy látják, hogy az energiahordozók váltása „hullámokban” következik be, és most a fosszilis hullám lecsengésének periódusában vagyunk, amelyet (értelemszerűen néhány évtizedes átfedéssel) követhet a jelenleg ismert alternatív energiahordozók – beleértve a biomasszát is – korszaka, majd ezután jöhet(ne) a ma még ismeretlennek nevezett (fűziós?) energia kora (3. ábra).

Ebben az átmeneti korszakban egybehangzó számítások olyan *globális energiamixet* prognosztizálnak, amelyben a(z új) biomassza részaránya hosszú távon kb. 15%. Természetesen ettől alaposan eltérő, sokféle nemzeti, regionális és lokális energiamix is megjelenhet (beleértve a biomassza változatos súlyát is). Ezért a fenntartható energiagazdálkodás és ezen belül a *biomassza-alapú energiaterme-*

lés hazai megvalósítása adottságaink, prioritásaink mérlegelésén alapuló nemzetgazdasági szintű döntéseket – ha úgy tetszik, *fenntartható energiagazdálkodási stratégiát* és nem leszűkített megújulóenergia- vagy akár csak energiastratégiát – igényel.

Biomassza-alapú energiatermelés

Ezt követően célszerű tisztázni a *biomassza lehetséges helyét* a fenntartható energiagazdálkodásban. Mint ismeretes, a primer energiaforrásokat két nagy csoportba oszthatjuk: meg nem újuló energiaforrás a szén, a kőolaj, a földgáz és a hasadóanyag, a megújuló energiaforrások csoportjába sorolható a nap-, a víz- és a szélenergia, illetőleg a biomasszából nyerhető energia. Az energiaforrások csoportosíthatók kimeríthetőségük szerint is: a megújuló energiaforrások kimeríthetők, a megújulóknak közül a nap és a szél nem kimeríthető, míg a biomassza ugyancsak kimeríthető.



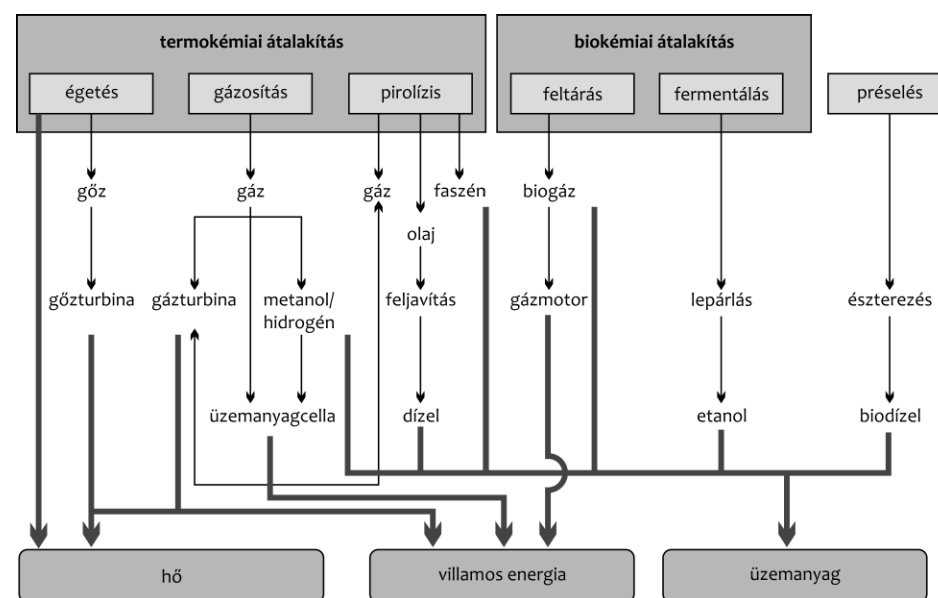
3. ábra • Energetikai hullámok az Egyesült Államokban a XIX. századtól, illetve a várható tendencia (US Department of Energy alapján)

A primer energiaforrásokból szekunder energiahordozókat állíthatunk elő, üzemanyagokat vagy villamos energiát nyerhetünk különböző energiaátalakítási eljárásokkal. Ezek az eljárások az átalakítás határfokában és környezeti hatásaiban nagymértékben különböznek egymástól (Gyulai, 2008).

A biomassza tehát *megújuló, de kimeríthető* (ám megújítható) *primer energiaforrás*. A biomassza egy biocönózisban vagy biomban, a szárazföldön és vízben található élő és nemrég elhalt szervezetek (növények, állatok, mikroorganizmusok) tömege, biotechnológiai iparok termékei és a transzformálók (ember, állat, feldolgozóipar stb.) biológiai eredetű termékei, melléktermékei, hulladékai. Az ember testtömegét nem szokás a biomassza fogalmába vonni. A biomassza elsődleges forrása a növények asszimilációs tevékenysége. Keletkezésének folyamata a *produktíobiológia* fő témája. A növényi biomassza a

fitomassza, az állati biomassza a zoomassza. A termelési-felhasználási láncban elfoglalt helye alapján a biomassza lehet *elsődleges* (természetes vegetáció, szántóföldi növények, erdő, rét, legelő, kertészeti és vízben élő növények), *másodlagos* (az állatvilág, a gazdasági haszonállatok összessége, továbbá az állattenyésztés fő- és melléktermékei, hulladékai) és *harmadlagos* (biológiai eredetű anyagokat felhasználó iparok termékei, melléktermékei, hulladékai, emberi települések szerves eredetű szerves hulladékai) (Láng, 2002).

A mezőgazdasági eredetű biomassza energiaforrások osztályozása: szilárd biomassza, folyékony bioüzemanyagok, biogáz. A biomassza hasznosításának fő iránya az élelmiszer-termelés, a takarmányozás, az energetikai hasznosítás és az agráripári termékek alapanyaggyártása. Az energetikai hasznosítási módok közül jelentős a termokémiai, biokémiai és a mechanikai átalakítás (4. ábra)



4. ábra • A biomassza energetikai hasznosítása

(Dinya, 2008). A világ negyedik legelterjedtebb energiaforrása jelenleg a szén, a kőolaj és a földgáz után a biomassza. A klasszikus és új biomassza-energia együtt jelenleg a felhasznált energia 14%-át fedezi világátlagban.

A biomasszára alapuló energetikai alapanyag-termesztés területei:

- Fás szárú, különböző vágásfordulójú ültetvények telepítése (akác, éger, fűz, nemes nyár stb.);
- Lágyszárú növények szántóföldi termesztése (energiafű, nádfélék stb.);
- Biodízel előállításához olajos magvú növények termesztése (napraforgó, repce stb.);
- Etanol előállítására alkalmas növények termesztése (árpa, búza, kukorica stb.).

Az energiatermelésre létrehozott kultúrák (energiaültetvények) lehetnek fás és lágyszárú energianövények kultúrái (Gyulai, 2008).

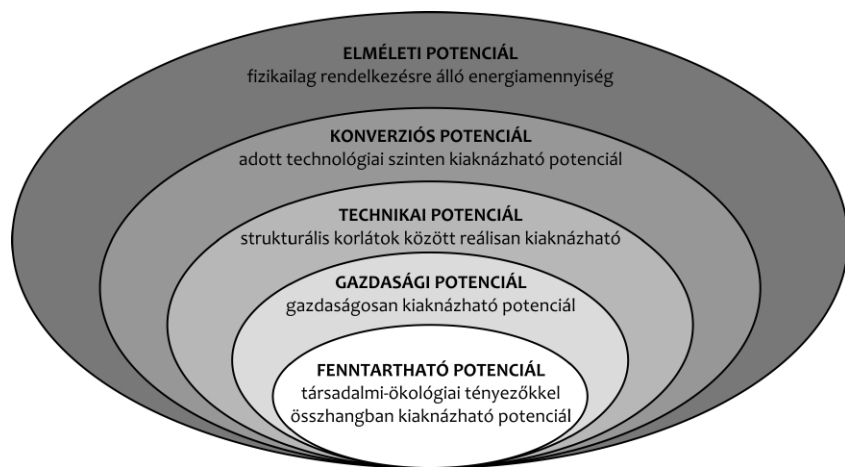
Energetikai célra használható *biomassza-potenciálról* akkor lehet szó (de ez igaz valamennyi megújuló energiaforrásra is!), ha tisztázunk, hogy a többféle lehetőség közül

melyik potenciálra gondolunk. Ezek egymáshoz való viszonyát mutatja az 5. ábra (Dinya, 2008). Köztük nagyságrendi különbségek vannak: például míg a globális elméleti bioenergetikai potenciál kb. hússzor nagyobb, mint a világ jelenlegi energiaigénye, a konverziós potenciál már csak kb. 40%-át teszi ki, és még ennél is jóval kisebb a *fenntartható potenciál*. Magyarország *fenntartható bioenergetikai potenciáljára* az alábbi becslések készültek (Dinya, 2009). (1. táblázat)

Az adatokból legalább két következtetés levonható:

Vannak még tisztázandó (egyeztetendő) számítási *metodikai kérdések*, különben nem szóródhatna ilyen széles sávban az eredmény.

Ha – az átlag közelítéseként – elfogadjuk a két szélsőérték közötti *FVM-becslést* (260 PJ/év), és tudjuk, hogy Magyarország éves energiafogyasztása belátható időn belül (2013 táján) az 1040 PJ/év értékre beáll, akkor nem tévedünk nagyot, ha a *biomassza maximális fenntartható potenciálját a hosszabb távú hazai*



5. ábra • Energetikai potenciálok

Számítást végzők	Alsó érték (PJ/év)	Felső érték (PJ/év)
MTA Megújuló Energia Albizottsága (2005–2006)	203	328
Energia Klub (2006)	58	223
Európai Környezetvédelmi Ügynökség (EEA, 2006)	145,5	
FVM (2007)	260	
Szélsőértékek:	58	328

1. táblázat

energiamixben kb. 20%-nak tekintjük. Relatív kedvező adottságaink alapján ez még mindig nagyobb, mint a globális energiamezben prognosztizált 15%-os részarány, de arra is utal, hogy a hazai energiaigény biomassza-alapú energiával történő lefedése (nem is beszélve annak exportjáról) megalapozatlan illúziókeltés.

Megválaszolendő kérdések

Hosszabb távról lévén szó, fel kell hívnunk a figyelmet arra a többnyire mellőzött körülményre, hogy valamennyi eddigi számítás a jelenlegi ár/költség viszonyokra és technológiai színvonalra alapul. Márpedig a technológiai fejlődés minden jel szerint exponenciális, ami egyesek szerint azt is jelenti, hogy az előttünk álló évszázadban az elmúlt húsz ezer évnek (!) megfelelő mértékű technikai fejlődéssel kell számolnunk (Kurzweil, 2005). A biotechnológia, a nanotechnológia és az információs technológia fejlődési konvergenciájának eredményei éppen az első számú globális kihívásnak tekintett energiagazdálkodás terén is bizonyára megjelennek. Ezért a bioenergetikai beruházások (ill. azok támogatásának) mérlegelésekor is elsőrendű szempontként kell kezelni a jövőbe mutató (rugalmasan korszerűsíthető) technológiák kiválasztását, még ha azok drágábbak is. Ellenkező esetben könnyen versenyképtelen technológiák rezervátumává válhat a bioenergetikai

ágazat, amire utaló jeleket tapasztalni az utóbbi időben. Emellett sürgősen folytatni kell a kutatásokat a legfontosabb (jórészt még nyitott) kérdések megválaszolására. Néhány ilyen kérdést a *fenntartható energiagazdálkodás* imént felvázolt rendszerének keretében az alábbiakban érintünk.

Megújuló energiaforrások – mi korlátozza a biomassza-alapú energia arányának növekedését a lokális energiamezokban?

Sokan – abból kiindulva, hogy az ún. „új biomassza” energetikai célú kiaknázása még csak néhány %-os súlyú az energiamezben – úgy vélik, az ágazat gyors növekedés előtt áll. Kemény korlátok is vannak azonban, amelyekkel e téren szembesülnünk kell:

- Logisztikai infrastruktúra hiánya (begyűjtés – szállítás – tárolás – kezelés – előkészítés – disztribúció);
- Ütköző érdekek (alternatív hasznosítás, talajvédelmi visszapótlás, ellenérdekű lobbyk);
- Ismeretek hiánya (termelési, energetikai, piaci, térinformatikai);
- Technológiai kihívások (égetés, gázosítás, üzemanyaggyártás);
- Gazdasági feltételek (tőkeigény, hálózatfejlesztés, költség/ár arányok).

Ezek körütekintő megválaszolása nélkül – mint arra saját tapasztalataink is rámutattak – sikeres bioenergetikai projekt elképzelhetet-

len. A biomassza-termelés mennyiségi növekedésének korlátaival kapcsolatos kérdés, hogy mennyiben függ össze az élelmiszerárak növekedése a bioenergetikai ágazat növekedésével. A bioüzemanyagok növekvő termelésének lehetséges következményei megosztják a szakmai és ennek következtében a politikai és a laikus közvéleményt is. Sokan – így egy nemrég nyilvánosságra került világbanki jelentés is – egyértelműen ennek tulajdonítják a mezőgazdasági termékek, ebből kifolyólag pedig az élelmiszerárak megugrását, ami a szegény tömegek globális éhséglázadásainak rémképét is felidéz. Mások ezt a hatást elenyészőnek ítélik a nagy népességű fejlődő országok élelmiszerigényének ugrásszerű növekedéséből származó árfelhajtó hatáshoz képest. Egyesek viszont úgy érvelnek – nem alaptalanul –, hogy a bioüzemanyag előállításának korszerű technológiai nagyságrenddel hatékonyabbak, mint a ma elterjedt technológiák. Továbbá különbséget kell tenni a melléktermékek, hulladékok, illetve a főtermékként bioüzemanyag céljára termesztett növények között, mert az előbbiek mindenképpen keletkeznek, így feldolgozásuk kifejezetten kívánatos. ENSZ-szakértők szerint az élelmiszerárak gyors növekedését előidéző tényezők célszerű rangsora az alábbi:

1. alacsony termelékenység a fejlődő országokban (25% veszteség a termőhelyen, 15% veszteség a feldolgozáskor!!!);
2. éghajlati sokk a fejlett országokban;
3. bioüzemanyag-kereslet megugrása;
4. készletek alacsony szintje;
5. élelmiszer-exportőrök kereskedelmi korlátozásai.

Véleményünk szerint ehhez néhány további tényező is társítható:

6. olajár / energiaárak megugrása;
7. spekuláció;

8. élelmiszer-pazarlás a fejlett országokban (pl. USA: az élelmiszer 30%-a a szemétként végzi).

Ellátási lánc – hogyan biztosítható biomasszával az egyenletes ellátás?

A fosszilis energiahordozókon alapuló energiatermelő üzemek természetesnek tartják, hogy az alapanyag folyamatosan rendelkezésre áll, mint ahogy – bizonyos hullámzással – folytonos az energiaigény is. Ugyanakkor az egyenletes alapanyag-ellátással szemben természeti korlátokkal kell számolnunk a megújulóknál, ezen belül a biomasszánál is:

- hozamingadozás (évszaktól függő mennyiségi és minőségi eltérések);
- időszakosság (elsősorban a szél- és a napenergia esetében, de a biomasszánál is);
- szezonális (az összes megújulóknál);
- kis energiasűrűség (a fosszilis energiaforrásokhoz képest).

Kemény logisztikai feladat a szezonális betakarítás (begyűjtés), az inhomogén (gyakran jelentős) anyagtömeg szállítása, kezelése, tárolása, előkészítése. Továbbá: mivel a biomassza energiasűrűsége jóval kisebb a klasszikus energiaforrásokéhoz képest, a logisztikai költségek (és energiaráfordítások) behatárolják az optimális feldolgozóüzem méretét is. Magyarán: a jelenlegi nagy teljesítményű fosszilis erőművek átállítása biomassza-tüzelésre, vagy nagyméretű biomassza-erőmű létesítése gazdaságilag irracionális. Például a Mátrai Erőmű esetében a széntüzelés teljes kiváltásához (durva számítás szerint) mintegy 120 km átmérőjű körnek megfelelő nagyságú területen kellene telepíteni energiaerdőt az erőmű körül. Ugyancsak irracionális alacsony hatékonyságú széntüzelésű erőművekben a biomassza szénnel együtt történő égetése (idősebb erőműveink átlagos hatásfoka alig 30%-os).

Kimerülő energiaforrások – energia- és emissziós mérlegek, életciklus-elemzés

Elvileg a biomasszából nyert energia megújuló energiaforrás, amely fosszilis energia kiváltására és az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére alkalmas. Ugyanakkor természetesen ehhez a folyamathoz is szükséges fosszilis energia, van káros emissziója, és költségek is felmerülnek. Ezek mindegyikével számolni kell a megújuló biomassza felhasználásánál (is), méghozzá lehetőség szerint a teljes életciklusra: a termékgyártás „bölcsőtől koporsóig” terjedő szemléletében. A 2. táblázat példa jelleggel bemutatja a leginkább vitatott, benzinhelyettesítő bioetanol gyártásának néhány jellemzőjét (Burne, 2007).

Az energiamérleg esetében kétféle megközelítés is létezik: az energiahatékonyság az előállított energia mennyiségét viszonyítja az adott technológia összes energiaráfordításához, míg a fosszilis energiahányad az előállított energiát a létrehozásához felhasznált fosszilis energiamennyiségre vetíti. Mindkettő az adott folyamat fenntarthatóságát jellemzi. A kérdés mindegyik esetben a ráfordítás/kibocsátás egyenlege (mérlege), amelynek számításakor nem mindegy, hogy hol húzzuk meg

térben és időben a vizsgált rendszer határait. A CO₂-emisszió esetében például különbséget tesznek a rövid, illetve hosszú távú CO₂-ciklus között. Akkor klímasemleges egy technológia, ha a CO₂-kibocsátás/beépítés egyenlege rövid távon zérus. De mi van, ha a kiváltandó fosszilis energiához képest az energiamérleg kedvező, az emissziós mérleg semleges, a költségmérleg negatív, és még számításba vesszük azt is, hogy az importfüggőségünk csökkenthető, továbbá vidéki munkahelyeket és mezőgazdasági jövedelmeket is teremtünk? Fontos figyelembe venni, hogy a biomassza-alapú energiatermelés energia-, emissziós vagy költségmérlegéről általában beszélni értelmetlen, hiszen ezek a mérlegek technológiánként nagymértékben eltérhetnek. Ennek következtében az irodalmi adatok még egyazon technológia esetében is igencsak szóródnak. Ha a bevitt/kinyert energia mérlege éppen csak hajszálnyira kedvező (hacsak nem negatív), akkor fenntarthatósági előnyről beszélni aligha lehet.

Energiatakarékosság – legnagyobb energiatar-talékunk a biomassza vagy a takarékoság?

Ha világméretben nem történtek volna jelentős energiatakarékossági intézkedések az

jellemző	2. táblázat			
	benzin	kukoricából	etanolfajta cukornádból	cellulózból
fosszilisenergia-mérleg (output E/input fosszilis E)	1,0	1,3	8,00	2,00–36,00
üvegházhatású gáz emissziója (CO ₂ egyenérték kg/liter)	2,43	1,93	1,07	0,227
fogyasztói ár (USD/liter benzin energiatartalom)	0,80	0,97	1,00	még nincs forgalomban

2. táblázat

1973-as energiaválság óta, akkor ma az energiaszférában mintegy 50%-kal nagyobb lenne (May, 2007). Az IEA számításai szerint a jelenlegi fogyasztási trend 2030-ig további intézkedésekkel kb. 80 exajoule-lal (18%-kal) mérsékelhető. Nemzetközi összehasonlításban pedig Magyarországnak – az utóbbi évek jelentős hatékonysági javulása ellenére – belátható időn belül mintegy 30% energiataraléka van pusztán takarékosági lépésekre építve. Ez jóval meghaladja a számított fenntartható biomassza-potenciált.

„Játékszabályok” – inkonzisztencia, társadalmi igények

A megújuló energiaforrások, köztük a biomassza-alapú energiatermelés arányának növekedése nem pusztán kihasználható potenciál és azt lehetővé tevő innováció kérdése. Nem választható el a társadalmi-gazdasági környezettől, a „játékszabályok” konzisztens (kívánatos irányba ösztönző), vagy inkonzisztens voltától. Jelenleg még jobbra inkonzisztenciát tapasztalunk, és ennek kapcsán célszerű megkülönböztetni a piaci korlátokat és a piaci hibákat. Piaci korlátok alatt a következők értendők:

- az energiakihívások alacsony prioritása;
- ilyen célú pénzforgások hiánya;
- a takarékosági lépések piaci elismerésének hiánya.

A piaci hibák pedig a kialakulatlan, tökéletlenül működő mechanizmusokat jelentik:

- elaprózott ösztönzési források;
- torz és rossz hatékonyságú információ-áramlás;
- ütköző pénzügyi és jogi szabályozás;
- beárazatlan költségek (externáliák);
- beárazatlan közjavak.

Ezek csak megfelelő (globális, nemzeti, lokális) szinten összehangolt és hosszabb távon

következésként végigvitt, komplex (társadalmi-gazdasági-politikai) lépésekkel küszöbölhetők ki (tompíthatók).

Integrált érdekeltek – környezeti, területi hatások

Nemcsak a bioenergetikai ágazatban közvetlenül érdekelt, hanem az ahhoz közvetve (például a társadalmi-környezeti oldalon) kapcsolódó érintett szereplők érdekeinek integrálása is megoldandó feladat. Ezen belül az ökológiai fenntarthatóság megérdemel egy részletesebb kitérőt, nevezetesen, hogy a biomassza energetikai hasznosításának milyen környezeti hatásait célszerű mérlegelni. Erről az utóbbi években több nemzetközi elemzés is született (EEA, 2006, 2008), amelyeket több tényező motivált:

- az EU megújuló energiával kapcsolatos ambíciózus (emiatt potenciálisan komoly környezeti konzekvenciákkal járó) hosszú távú célkitűzéseinek megvalósíthatósági vizsgálata;
- a klímaválság (légszennyezés) és az energiatartósság egyre erősödő kihívásai;
- a talaj, a víz növekvő szennyezése és a csökkenő biodiverzitás;
- a biomassza élelmiszer-, energia- és egyéb célú hasznosítási formái között egyre intenzívebbé váló verseny.

Az egyik vitatott kérdés, hogy a biomassza-alapú energiatermelés mennyiben elégíti ki a fenntarthatósági szempontokat. Sokan érvelnek a biomassza-alapú energiatermelés ún. externális hasznával, amelynek több összetevője is van, és az energiatermelésben közvetlenül nem érdekelt számos szereplőt érint. Főként a parlagon levő földterületek energetikai célú termelésbe vonását, a vidéki munkalehetőség, népességmegtartás és a jövedelemhez jutás társadalmi hasznát említik meg.

Ha mindehhez hozzávesszük azt a közismert ténytet, hogy a háttérben hatalmas, egymással konfliktusban álló üzleti, politikai érdekek, koncentrált tőkék is meghúzódnak, amelyeknek természetesen megvan a maguk szakértői köre és médiabefolyása is, akkor mindez – párosulva a kétségkívül fennálló, sok-sok szakmai kérdéssel – némi magyarázattal szolgálhat a dilemmák sokaságára és az állásfoglalás bizonytalanságára. Tágabb összefüggésrendszerben gondolkodva (és az üzleti kalkulációk mellett napi tapasztalatainkra is támaszkodva) érdemes figyelembe venni a következő, ökológiai vonatkozású szempontokat is:

Erdőkitermelés? Ha az esőerdő kiirtásával teremtünk helyet az etanol célú cukornád termesztéséhez, akkor kétélyeink támadnak a fenntarthatóságot illetően.

Intenzív termesztés? Ha a talajok (környezet) degradációja, kemikáliával szennyezése az ára a minél nagyobb hozamú biomassza-termesztésnek, akkor túl nagy lehet az ár.

Biodiverzitás? Ha a monokultúrás termesztés biológiai hatásait nézzük, az előnyök nem egyértelműek.

Mindezeknek az egymás hatásait direkt és/vagy indirekt módon befolyásoló tényezőknek a figyelembe vétele nélkül elképzelhetetlen olyan közösségi és nemzeti szintű játékszabályok kialakítása, amelyek a szereplőket a célok megvalósítására ösztönzik. Ha kiemeljük a környezeti (ökológiai) kérdéseket, akkor alapvető kritérium számunkra a következő lehet: minden lehetséges úton arra törekedni, hogy *minimalizáljuk* a biomassza energia célú előállításának és felhasználásának *negatív környezeti hatásait*, illetve *maximalizáljuk* a lehetséges *környezeti előnyeit*. Miután az energetikai célra hasznosított elsődleges biomassza a mezőgazdasági, erdészeti termelés-

ből, az ugyancsak energia célú másodlagos, illetve harmadlagos biomassza pedig szerves hulladékból származik, és ezen források nem ugyanúgy fejtik ki hatásukat a környezetre, célszerű ezeket külön tárgyalni.

A *mezőgazdasági termelés* negatív környezeti hatásai tapasztalat szerint a következők:

- az intenzív mezőgazdasági technológiák terjedése, amely degradálja a természeti erőforrásokat;
- természeti területek szántóföldi művelésbe vonása energianövények termesztése céljából;
- a helyi sajátosságokhoz nem illeszkedő növényfajták, -társítások meghonosítása, a biodiverzitás csökkenése;
- a talajerózió növekedése (a szél és az esőzések következtében, amit az éghajlatváltozás felerősít), valamint a nagy súlyú gépek miatti talajstruktúra-rombolás;
- vegyszerek felhalmozódása a talajban és a felszíni vizekben;
- a növekvő méretű öntözés miatt vízellátási problémák és a talajok szikesedése.

Annak érdekében, hogy a biomassza növekvő arányú energetikai felhasználásának környezeti hatásmérlegét optimalizáljuk, az EU-ban kemény *környezeti kritériumok* bevezetését javasolják (EEA, 2006):

- néhány speciális helyzetű tagállamot leszámítva a mezőgazdasági terület legkevesebb 30%-án környezetbarát gazdálkodás (organic farming) megvalósítása 2030-ig;
- a jelenleg intenzíven művelt földterület 3%-ának kivonása a termelésből „ökológiai kompenzáció” jogcímen;
- az extenzív módon művelt földterületek további fenntartása;
- bioenergetikai célú növények termesztése minimális környezetterhelést garantáló feltételek mellett.

A hivatkozott EU-irányelvek hasonlóan részletezik az *energetikai célú* erdészeti ki-termelésnél fontosnak ítélt *követelményeket*.

A *szerves hulladék* energetikai hasznosítá-sának – eltérően a mezőgazdasági vagy erdészeti biomasszától – negatív környezeti hatá-sai nincsenek, hiszen a biohulladék (mellék-termék) hasznosítása éppenséggel a környe-zetterhelést csökkenti. Biohulladék a legtöbb gazdasági ágazatban jelentős mennyiségben és folyamatosan keletkezik, és energetikai hasznosításának legalább négy előnye van:

- a hulladék okozta környezetszennyezés csökkentése;
- fosszilis energiahordozók kiváltásával az üvegházhatású emisszió csökkentése;
- szemben a megújuló energiaforrások többségével nem időszakosan áll rendelkezésre, hanem folyamatosan;
- „előállítás” nem igényel külön ráfordítást, csak a kezelése.

A hivatkozott EU-elemzés az alábbi irányel-vek követésére hívja fel a figyelmet:

- Jelentősen csökkentendő a keletkező ház-tartási hulladék mennyisége (a jelenlegi tendencia alapján számítható mennyiség-hez képest 25%-os csökkentés 2030-ig).
- A biohulladék újrahasznosításának jelen-legi mértékét továbbra is fenn kell tartani (például a szalmatermés vagy az élelmiszert-ipari hulladék 30–40%-a továbbra is nem energetikai célú felhasználású legyen).
- Valamennyi háztartási biohulladékból energiát célszerű termelni (meg kell szün-tetni ennek a szeméttelpi tárolását vagy nem energetikai célú elégetését).
- A természetvédelmi célokkal összhangban csökkenteni kell a fa- és papíripar fafel-használását.
- Növelni kell a mezőgazdasági területeken az energiaerdők telepítését.

A fentiekhez *megfelelő ösztönzőket és jogszabá-lyokat* társítva úgy véljük, elérhető, hogy a biomassza növekvő energia célú hasznosításá-nak negatív hatásait minimalizáljuk, pozitív környezeti hatásait erősítsük, és az EU meg-újuló energiára (ezen belül a biomasszára) vonatkozó hosszú távú célkitűzéseiben vállalt hazai hozzájárulás is megvalósuljon. Ezek alapján a biomassza hasznosításánál a követ-kező fontossági sorrend állítható fel:

- a nem energetikai célú biomassza előállít-ásakor, feldolgozásakor és fogyasztásakor keletkező melléktermékek és hulladékok hasznosítása;
- a használatlan földterületek energetikai célú termelésbe állítása (biomassza mint energia célú főtermék előállítása);
- az erdészeti kitermelés, illetve az egyéb célra is használt földterület bevonása.

Összefoglalva a biomassza-alapú energiatermé-lés kapcsán tárgyalt kérdéseket, újfent hang-súlyozzuk a bevezetőben kiemelt megközelítési szempontokat. Érthető, ha a megújuló energiaforrások, így a biomassza alig kihasz-nált potenciálját látva sokan energetikai probléma-ink végső megoldását látják bennük. A hozzá vezető utat azonban célszerű minél tárgyilagosabb megközelítésben felvázolni, amely csak a még nyitott kérdések tudomá-nyos igényű feltárásán, elemzésén és megvá-laszolásán alapulhat. Ez felhívja a figyelmet egy *fenntartható energiagazdálkodási stratégia* szükségességére. Ebbéli erőfeszítéseinket megkönnyítheti, ha állásfoglalásainkban (szemben a bulvármédia szokásaival) mindig igyekszünk rámutatni: mi az, amiben már biztosak vagyunk, mi az, amit még csak sej-tünk, és mi az, amit még nem tudunk.

Kulcsszavak: *fenntartható energiagazdálkodás, bioenergetika, bioenergetikai potenciál*

IRODALOM

- Dinya László (2007): Fenntartható energiagazdálkodás – ökoenergetika. Ma & Holnap. VII, 3, 26–29.
- Dinya László (2008): *Biomassza-alapú fenntartható energiagazdálkodás* (előadás a Magyar Tudomány Napján, MTA, 2008. nov. 6., <http://vod.niif.hu/player/index.php?q=1587/1M>)
- Dinya László (2009): *Áttekintés a biomassza-alapú energiatermelés helyzetéről*. MTA Környezettudományi Elnöki Bizottság, Energetika és Környezet Albizottság, Budapest
- EEA Report (2006): *How Much Bioenergy Can Europe Produce without Harming the Environment?* No. 7/2006, ISSN 1725-9177
- EEA Technical Report (2008): *Maximising the Environmental Benefits of Europe's Bioenergy Potential*. No. 10/2008, ISSN 1725-2237

- Greenpeace International (2007): *Energy (R)Evolution. A Sustainable World Energy Outlook*. Greenpeace International–EREC, 1–96. <http://www.greenpeace.org/international/Global/international/publications/climate/2010/fullreport.pdf>
- Gyulai Iván (2008): A biomassza-dilemma. MTVSZ, 1, 1–73.
- May, Carol (ed.): *Mind the Gap*. IEA Publications, Paris
- Burne, Joel K. (2007): Zöldet a tankba. National Geographic – Magyarország, október, 60–81
- Láng István (főszerk.): *Környezet- és természetvédelmi lexikon*. Akadémiai, Budapest
- Kurzweil, Raymond (2005): *The Singularity Is Near*. Viking Press



A GEOTERMİKUS ENERGIA HELYZETE ÉS PERSPEKTÍVÁI

Bobok Elemér

DSc, Miskolci Egyetem
boboke@kfgi.uni-miskolc.hu

Tóth Anikó

PhD, Miskolci Egyetem
toth.aniko@uni-miskolc.hu

Bevezetés

A geotermikus energia a földkéreg, a köpeny és a mag nagy hőmérsékletű tömegei által tárolt belső energia. Mivel a Föld belsejében sokkal magasabb a hőmérséklet, mint a felszínen, a belső energia szakadatlanul áramlik a nagy mélységű forró zónákból a felszín felé. Ez a *földi hőáram*.

A földkéreg hőmérséklete a hővezetés törvényének megfelelően növekszik a mélységgel, így az egységnyi tömegű anyag energiátartalma is nő a mélységgel. Nyilvánvalóan annál alkalmasabbak a körülmények a geotermikus energia kitermelésére, minél közelebb van a felszínhez a magas hőmérsékletű közeg. Ez az egységnyi mélységre eső hőmérséklet-növekedéssel, a *geotermikus gradienssel* jellemezhető. A gazdaságosan kitermelhető geotermikusenergia-készlet a természeti, műszaki és gazdasági feltételek által meghatározott, az időben változó mennyiség.

A geotermikus energiáról alkotott értékítéletek sokszor túlzottan derülátók, vagy túlzottan lebecsülők. Ebben a geotermikus energia kétarcúságának is szerepe van, ha bizonyos tulajdonságait egyoldalúan emeljük ki. A geotermikus energiakészletek szinte elképzelhetetlenül nagyok: a földkéreg felső tíz kilométere több mint ötvenezerszer annyi energiát

tartalmaz, mint a ma ismert olaj- és földgáz-készletek. Ugyanakkor a fajlagos energiátartalom viszonylag kicsiny. Amíg 1 kg földgáz elégetésekor 50 MJ energia szabadul fel, 1 kg 100 °C-os forró víz hasznosítható belsőenergia-tartalma a 15 °C-os környezeti szint fölött csupán 356 kJ. A földkéreg fűtő földi hőáram teljesítménysűrűsége igen kicsiny, átlaga a Pannon-medencében közelítőleg 0,1 W/m². Ez globálisan jelentős, hiszen Magyarország 93 000 km² területén 9300 MW a hőutánpótlás teljesítménye. Lokálisan viszont egy adott geotermikus mezőre csak 100 kW/km² jut. Erről a területről egy átlagos termálkúttal is mintegy 5 MW hőteljesítmény termelhető ki, tehát a geotermikus energia csak részben megújuló. Igazi értéke a hatalmas készletekben, környezetbarát jellegében, évszaktól, napszaktól és a fosszilis energiahordozók ár-emelkedésétől való függetlenségében rejlik.

A geotermikus energia hasznosításának nemzetközi helyzete

A geotermikus energia hasznosítása a huszadik század elején kezdődött. 1904-ben, az olaszországi Larderellóban létesült a világ első geotermikus gőzre telepített, villamos energiát termelő berendezése, 1926-ban pedig Reykjavík hévíz-bázisú távfűtő rendszere. 1950-től rohamos volt a fejlődés, viszont az

1990-es években az olcsó olajár egy évtizedes megtorpanást hozott. Azóta újra gyors a fejlődés mind az elektromos energia termelése, mind a közvetlen hőhasznosítás területén. Az elektromos erőművek huszonnegy országban, 2008-ban beépített kapacitása meghaladta a 10 GW-ot. A legjelentősebb termelők: USA (2,96 GW beépített teljesítmény, 19 TWh/év megtermelt energia), Fülöp-szigetek (2 GW, 10 TWh/év), Indonézia (1 GW, 6,5 TWh/év), Mexikó (0,95 GW, 6,3 TWh/év), Olaszország (0,81 GW, 5,3 TWh/év). A közvetlen hőhasznosítás hetvenkét országban összesen 29 GW hőteljesítményű, ami 76 TWh/év energiát jelent, ez 20 millió t olaj energiátartalmával egyenértékű. A legjelentősebb hőhasznosítók: Kína (3,7 GW beépített teljesítmény, 12,6 TWh/év megtermelt energia), Svédország (3,84 GW, 10 TWh/év), USA (9 GW, 9,7 TWh/év), Törökország (1,5 GW, 6,9 TWh/év), Izland (1,85 GW, 6,8 TWh/év).

Ennek eredménye az elektromosenergia-termelésben és a közvetlen hőhasznosításban együttesen évi 41 millió tonna olaj megtakarítása, ez a világ olajtermelésének 1%-a. A CO₂-kibocsátást a geotermikus energia használata évente 118 millió tonnával, a kéndioxid-kibocsátást 800 000 tonnával csökkenti. A már befejezés előtt álló erőmű-kapacitás az USA-ban 4 GW, a Fülöp-szigeteken 3,1 GW. Indonézia 10 év alatt 6,9 GW, Kenya 1,6 GW erőmű-kapacitást létesít. Ezek a számok egyértelműen a geotermikus energia hasznosításának gazdaságosságát, életképességét jelzik.

A geotermikus energia termelésének természeti, műszaki és gazdasági feltételei

A geotermikus energia kitermeléséhez nagy fajlagos energiátartalmú, könnyen felszínre hozható, nagy mennyiségben rendelkezésre

álló, a környezetre nem káros, olcsó és jól kezelhető *hordozó közeg* szükséges. Mindezeket a követelményeket a víz elégíti ki a legjobban. A víz fajhője nagy (4,187 kJ/kgK), ehhez gőz előfordulása esetén a fázisátalakulással járó latens hőnek megfelelő energiátartalom is járul. Ez 1 bar nyomáson 2259 kJ/kg, a mélységgel növekvő nyomással viszont csökken, 200 bar esetén már csak 629 kJ/kg.

A földkéreg anyaga nem homogén. A kőzetek hézagterefogatát valamilyen fluidum tölti ki: túlnyomórészt víz, de szerencsés esetben gőz, kőolaj vagy földgáz is. A földkéreg erre alkalmas helyein a pórusokban vagy repedésekben forró vizet tároló képződmények, *geotermikus rezervoárok* alakultak ki. Ritka kivételektől eltekintve ezekben a víz folyadék fázisú, ugyanis az adott mélységben uralkodó nyomáshoz tartozó forráspont sokkal magasabb, mint ugyanott a közhőmérséklet.

A természetes geotermikus tároló kellő kiterjedésű, nagy hőmérsékletű, megfelelő porozitású és átteresztőképességű hévíz vagy gőztároló képződmény, amely néhány jellegzetes tulajdonságában különbözik a közönséges talaj- vagy rétegvíz-tárolóktól. Az alapvető különbség, hogy a geotermikus tárolóból belső energiát termelünk ki, amelynek csupán hordozó közege a forró víz vagy gőz. A lehűlt vizet környezetvédelmi szempontok miatt és a rétegnyomás fenntartása érdekében is vissza kell sajtolni a tárolóba. A legfontosabb, csak hosszú távon jelentkező előny, hogy a visszasajtoló hévizet a tárolóban újra felmelegíti a forró közzet, s a termelő és visszasajtoló kutakon át a folyamatos átöblítéssel a tároló közzetvázának belsőenergia-tartalma is kitermelhető.

A bányászat tehát a víz energiátartalmára irányul, nem magára a vízre. További különbség, hogy az értékes, nagy fajlagos energiátar-

talmú tárolók porozitása általában töredezett, repedezett közzettesthez kötődik. Az ebben kialakuló hatékony termokonvekcióhoz szükséges a rendszer kellő függőleges irányú kiterjedése is.

A geotermikus tárolókat szakadatlanul fűti a földi hőáram. Az egyik nagy tárolócsoportba azok a rezervoárok tartoznak, amelyek energia-utánpótlását konduktív, azaz vezetésses hőáram adja. A hővezetés viszonylag kisebb erősségű fűtést jelent. A földi hőáram átlagos értéke alig 60 mW/m^2 , az átlagos geotermikus gradiens pedig $30 \text{ }^\circ\text{C/km}$. Ilyen feltételek mellett nem alakulhatnak ki a mai műszaki körülmények között gazdaságosan kitermelhető tárolók. A földkéreg helyi elvékonyodásai, egyes kőzetfajták eltérő hővezető-képességei szolid anomáliát okozhatnak a földi hőáram értékében. A $80\text{--}120 \text{ mW/m}^2$ teljesítménysűrűségű fűtés, illetve a $45\text{--}60 \text{ }^\circ\text{C/km}$ -es geotermikus gradiens megfelelő porozitás és áteresztőképesség esetén már gazdaságosan művelhető forró- vagy melegvítartólok kialakulásához vezethet. Bár a nagyobb mélységben levő üledékrétegek hőmérséklete, energiataralma nagyobb, az önsúlyterhelés következtében az üledékes kőzeteknek a mélységgel exponenciálisan csökken a porozitásuk és gyengül az áteresztőképességük. Általában $2,5\text{--}3 \text{ km}$ mélységben már olyan kicsiny a porozitás és az áteresztőképesség, hogy ilyen mélység a kedvező hőmérsékleti viszonyok ellenére sem jöhet szóba hévíztermelés céljából. A konvektív fűtésű tárolók hőmérséklete felülről korlátos, általában kisebb, mint $150 \text{ }^\circ\text{C}$, ezért kis entalpiájú tároló elnevezésük is használatos.

A legkiugróbb geotermikus anomáliák egy-egy fiatal magmaintrúzió környezetében olyan nagy földi hőárammal jellemezhetők, amelyet a porózus vagy repedezett kőzetváz

vezetéssel már nem képes továbbítani. A belső energia konvektív árama sokkal nagyobb energiaáram-sűrűséget tesz lehetővé, mint a hővezetés. A mélység mentén növekvő hőmérséklet a folyadék sűrűségének csökkenésével jár, a mechanikai egyensúly nem lehet stabil. A nagyobb hőmérsékletű, kitágult folyadéktömegre a sűrűségcsökkenéssel arányos felhajtóerő hat, amely a nehézségi erőre szuperponálódva áramlást kelt a folyadékban. Ez az áramlás nagy mennyiségű belső energia átvitelét teszi lehetővé. A termokonvekció mechanizmusa egy igen jó hővezető-képességű réteggel egyenértékűen viszi át a földi hőáramot. Ehhez mennyiségileg is jól meghatározható feltételeknek kell teljesülniük. Legfontosabb a nagy ($200\text{--}300 \text{ }^\circ\text{C/km}$) geotermikus gradiens, oka valami felszín közeli ($< 3 \text{ km}$) fiatal magmaintrúzió. A $650\text{--}1200 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékletű magma erősen fűti a környezetét, s ez szokatlanul nagy (1 W/m^2) földi hőáramot okoz. A konvektív fűtésű tárolókban viszonylag kis mélységben már nagy hőmérsékletű a telepfoliadék, amely kevésbé mély, nagyobb átmérőjű fúrásokkal, kisebb költséggel tárható fel. Energiahasznosítás szempontjából legértékesebbek a túlhevített gőzt tartalmazó rezervoárok (pl. Larderello).

A természetes geotermikus rezervoárok, más néven hidrotermális rendszerek energiataralma eltörpül a nagy mélységben levő, minimális porozitású és áteresztőképességű, vizet nem tartalmazó, nagy hőmérsékletű közzetömegeké mellett. A forró, száraz kőzettestben (hot dry rock – HDR) hidraulikus rétegrepesztéssel mesterséges tárolók alakíthatók ki. Ebbe a repedésrendszerbe a felszínről juttatjuk be a vizet, ami ott felmelegszik, és kitermelhető. Az első HDR-rendszeren (Los Alamos) 1978 és 1996 között folytak úttörő kísérletek, s először termeltek elektro-

mos energiát egy mesterséges tároló energiáját megcsapolva. A HDR-technológia kutatása, gyakorlati megvalósítása az ezredfordulóra átkerült Európába. Soultz Sous Forets $1,5 \text{ MW}$ és Landau 3 MW teljesítményű kísérleti erőművei megbízhatóan üzemelnek, az európai villamos hálózatra kapcsolva. Ausztrália is nagyléptékű HDR-programon dolgozik. Nevadában (USA), egy hidrotermális rendszer peremén a rendszert lehatároló meddő fúrásokra alapozva rövidesen üzembe helyeznek egy 5 MW -os HDR-erőművet. A Los Alamosban felújított kutatások szuperkritikus állapotú szén-dioxid mint geotermikusenergia-hordozó közeg alkalmazásában hoztak biztató eredményeket.

A mesterséges tárolókhöz képest szélesebb kategória az EGS (Enhanced/Engineered Geothermal System). Minden olyan geotermikus tároló ide sorolható, amely csak rezervoármérnöki módszerekkel beavatkozva tehető alkalmassá az energiatermelésre. Az EGS-kategóriába sorolhatók a víztermelés nélkül, zárt ciklusú üzemmódban működő *hőcserélő kutak*. Ez esetben nem hozunk létre mesterséges repedésrendszert, a cirkuláltatott fluidum csupán a kút palástfelületén kapja a kőzetből a kút felé irányuló hőfluxust. Mivel a hőátadó felület és a kőzetek hővezető-képessége is kicsiny, a konduktív hőfluxussal közölt energiamentiség eléggé korlátozott. Egy 2 km mélységű meddő szénhidrogénkútból $300\text{--}350 \text{ kW}$ hőteljesítményt és $30\text{--}40 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékletű vizet hozhatunk felszínre. Ez csak hőszivattyú alkalmazásával használható fűtésre. A kisebb mélységtartományok ($100\text{--}300 \text{ m}$) geotermikus energiájának kitermelésére a sekélyebb hőcserélő kutak (talajszondák) alkalmasak, természetesen hőszivattyúval kiegészítve, hogy felhasználható hőmérsékletű fűtőközeget kapjunk. A leglátványo-

sabb fejlődést Svédország mutatta fel, amely 3840 MW hőteljesítményű hőszivattyús fűtési kapacitásával az egyébként kedvezőtlen geotermikus adottságai ellenére a világ második legnagyobb közvetlen geotermikus hőhasznosítója ($10\,000 \text{ GWh/év}$). Az eredetileg Svájból indult technológia amerikai–kanadai alkalmazása is jelentős. Világszerte harminchárom országban $1,5$ millió hőszivattyús fűtési rendszer működik, összesen 15 GW hőteljesítménnyel.

A geotermikus energia termelésére alkalmas közzetanyagok tehát a technológia fejlődésével egyre bővülnek, s a gazdaságosan kiaknázzható készletek is folyamatosan nőnek, bár a kezdeti földtani készlet állandó.

A geotermikus energiát hordozó folyékony közeget, elsősorban forró vizet mélyfúrású kutakon keresztül hozzák a tárolóból a felszínre. Ennek a technológiának minden eleme (fúrás, kútkiképzés, felszíni és felszín alatti termelő berendezések) ismert, tömegesen és megbízhatóan alkalmazott az olajiparban. Emellett a felhalmozott tudás, infrastruktúra és tőke is a szénhidrogénipart predesztinálja arra, hogy megkérdőjelezhetetlen kompetenciája legyen a geotermikus kutatás-fejlesztésben, az energiatermelésben. A kitermelt fluidum hőmérséklete és mennyisége határozza meg a hasznosítás módját. Elektromosenergia-termelésre nyilvánvalóan a magas hőmérsékletű termelvény alkalmas.

A klasszikus technológia: a tárolóból kitermelt száraz, túlhevített gőzt közvetlenül a generátorokat meghajtó gőzturbinákba vezetni. Ez csak néhány kivételes esetben (Geysers, Larderello) lehetséges. A forró ($>180 \text{ }^\circ\text{C}$) víz nyomáscsökkentéssel teljes tömegében vízgőzkeverékké alakítható. Ebből szeparátorokban a gőzfázis leválasztható és a turbinákhoz vezethető (Wairakei, Broadlands).

Az ún. bináris rendszerű erőművekben a geotermikus fluidum valamilyen alacsony forráspontú, másodlagos munkavégző közeget melegít fel, s ez végzi a szokásos erőművi körfolyamatot. Ezzel a megoldással a primer közeg hőmérsékletathatára nagymértékben csökkenthető, például Alaszkában 80 °C-os forró víz működtet kettős közegű erőművet. Mivel a körfolyamat felső hőmérsékletathatától függ a termikus hatások, a bináris erőművek is magas hőmérsékletű tárolókra telepíthetők gazdaságosan.

A három fő erőműtípus különböző kombinációi ismeretesek, a hatvanas évek óta működők rekonstrukciója napjainkra vált esedékessé, illetve már meg is kezdődött.

A kisebb (<120 °C) hőmérsékletű előfordulásokat legtöbbször közvetlen hőhasznosítás jellemzi. Ennek fő formái:

- távfűtés, nagyobb egyedi létesítmények, családi házak fűtése, klimatizálása,
- mezőgazdasági alkalmazások: üvegházak fűtése, talajfűtés, terményszárítás,
- ipari hőszolgáltatás: papír-, textil-, élelmiszeripar,
- uszodák, fürdők, gyógyfürdők üzemeltetése,
- utak, repülőterek kifutópályáinak jégteleinítése.

A hőszivattyúval ellátott, kis mélységű geotermikus rendszerek (BHE – Borehole Heat Exchanger) is a közvetlen hőszolgáltatásban hasznosulnak.

A geotermikus erőművek hatásfoka általában 10–16%. Ennek oka, hogy relatíve alacsony a hőközlés és magas a hőelvonás hőmérséklete a fosszilis energiahordozókat hasznosító elektromos erőművekhez képest. Így a geotermikus energia gazdaságos hasznosításának fokozására a környezeti hőmérséklet feletti belsőenergia-tartalom minél

nagyobb hányadát kell egymást követő hőmérséklet-lépcsőkben hasznosítani (például: erőmű, távfűtés, üvegházak, talajfűtés, jégteleinítés).

A geotermikus erőművek viszonylag szerény hatásfoka a hőforrás alacsony hőmérsékletéből ered. Az energetikus mérnökök ezért inkább a geotermikus források közvetlen hőhasznosítását javasolják. Bár álláspontjuk pusztán a hatásfokot tekintve ésszerű, de arra is gondolnunk kell, hogy a geotermikus tárolók csak viszonylag ritkán esnek nagyobb, koncentrált hőfogyasztók közelébe. A belső energia szállítása nagy veszteséggel járó folyamat, ezért a geotermikus energiát ott kell felhasználni, ahol a lelőhely kitermelhető. Gazdaságosan csak a termelt elektromos energia szállítható, ez indokolja az óriási készletekkel együtt az alacsony hatásfok ellenére geotermikus villamos erőművek építését.

A geotermikus energia gazdaságosságát vizsgálva nem hagyhatjuk figyelmen kívül, hogy a természeti adottságokhoz képest még nem eléggé elterjedt energiaforrásról van szó, tehát felhasználásának tömegessé válása a költségek csökkenését hozza majd magával. Érdekes összehasonlítani a villamos erőművek különböző típusaiban megtermelt energia előállításának fajlagos költségét.

Erőműtípus	Fajlagos költség €/kWh
Fotovillamos	0,25–1,25
Biomassza	0,05–0,15
Szél	0,05–0,13
Geotermikus	0,02–0,10
Vízi	0,02–0,10
Atom	0,03–0,035
Földgáz-tüzelésű	0,035–0,045

1. táblázat

Szembetűnő a geotermikus energia termelésének viszonylag nagy beruházási és rendkívül alacsony üzemeltetési költsége. Megbízhatósága, környezetbarát jellege fontos érték. Az energiaellátás diverzifikálásában játszott szerepét sem becsülhetjük túl. Független a fosszilis energiahordozók, az olaj- és a földgáz importjától. Ára nem követi az olaj- és gázárak hektikus ingadozásait. Elterjedésével árstabilizáló szerepe lehet a hazai energiapiacra. Míg geotermikus energia alkalmazásakor a ráfordítások itthon maradnak, az import üzemanyag ára külföldre vándorol.

A geotermikus iparág új munkahelyeket teremt, új szakmák megjelenésével jár. Az USA-ban 11 500 új munkahelyet hoztak létre a geotermikus fejlesztések. A geotermikus iparág gyorsítja a vidéki gazdaság fejlődését, hátrányos helyzetű régiók felemelkedését indíthatja meg. Nagy megtakarítások jelentkeznek a helyi közösségeknél (Hódmezővásárhely, Kistelek). A balneológiai hasznosítás fejleszti a turizmust, az idegenforgalmat s az ezt kiszolgáló gazdasági ágazatot.

A geotermikus energia hasznosításának van néhány gyenge pontja is. Nagy távolságra nem szállítható, felhasználása a kitermelés helyéhez kötött. Beruházási költségei viszonylag nagyok, s ezekhez kiszámíthatatlan geológiai kockázatok járulhatnak. A víz-visszasajtolás is drágítja a beruházást és az üzemeltetést. Emellett erős energiaipari cégekkel kell versenyezni.

Magyarország természeti adottságai és a kitermelés jellemzői

A ma legismertebb és legnagyobb kiterjedésű konduktív fűtésű geotermikus tároló az Alföld felső-pannon homokos-homokkőves üledéksoraiban található. Ez mintegy 40 000 km² kiterjedésű, átlagos vastagsága kb. 200 m.

Ez az üledéksor természetesen nem homogén képződmény: egy sor, különböző vastagságú homokos-agyagos rétegből áll. A homokos-homokkőves rétegek oldalirányban véges kiterjedésűek, de nyomásuk az agyagrétegek szerény áteresztőképessége révén kiegyenlítődik. A tároló porusvíztömege gyakorlatilag hidrosztatikus egyensúlyi állapotban van, legfeljebb artézi hatás vagy az üledékretegek tömörödése során kiszoruló víz, valamint a vetők, törésvonalak mentén beszivárgó csapadékvíz változtat valamit ezen az állapoton. Ez egy egységes, 40 000 km²-es tároló létezését sugallhatja, de ezt a váltakozó homokos-agyagos rétegek „nápolyi szelektént” töltik ki. Ha egy vagy több homokos lencsét egy mélyfúrású kúttal megcsapolunk, a lencsék véges méretei következtében gyorsabban fogy a porusrendszerükben tárolt víz, mint a lencsét körülvevő rossz áteresztőképességű agyagos rétegeken át érkező utánpótlás. Így viszonylag hamar jelentős helyi nyomáscsökkenés alakulhat ki. A felső-pannon homokkő tároló bár egységes rendszerként viselkedik, az egyes feltárt, művelésbe vont tárolórészei végesek, kimerülő jellegűek.

Az üledékes Pannon-medence rétegsorai alatt az alaphegység helyenként repedezett vagy karsztosodott kőzettömegében is található forróvítartólók. Ezek ugyan mélyebben helyezkednek el, mint a még áteresztőképességű üledéksorok, de hőmérsékletük nem sokkal magasabb, mert a jobb hővezető-képességű alaphegységi kőzetben a geotermikus gradiens kisebb.

A gyorsan süllyedő és feltöltődő üledékes medencék vastag, túlnyomórészt agyagos összeleteinek tömörödését gyakran gátolja, hogy a porusvíz csak nehezen vagy egyáltalán nem képes kisajtolódni az agyagból. A felső üledékretegek önsúlyából származó litosztat-

kus nyomás a pórúsvizet is terheli, így rosszul tömörödött hézagterefogatukban nagy nyomású vizet tartalmazó, túlnyomásos zónák keletkeznek. Az egyensúly még földtörténeti időkálán is lassan áll be. A túlnyomásos zóna szerepét tekintve a szénhidrogén-tárolók át nem eresztő fedőkőzeteivel analóg hidrodinamikai csapdát képez. A vastag agyagrétegek alól jó áteresztőképességű homokrétegek vagy repedezett karbonátos kőzetek is települnek, ezek megtartják porozitásukat, áteresztőképességüket, s a mélyre süllyedt, túlnyomásos, nagy hőmérsékletű tárolókat alkotják. Egy ilyen nagy (3800 m) mélységű, túlnyomásos tárolóból tört ki a gőz-víz keverék a fábiánsebestyeni Fáb-4 szénhidrogén-kutató fúrásból. A dolomitbreccsa tárolóból 202 °C hőmérsékletű, 760 bar nyomású forró víz áramlott be a fúrólukba. Ez a gőzkitörés igazolta, hogy a pannon üledéksor alatt az alaphegység repedezett kőzeteiben vannak nagy entalpiájú és szinte korlátlan utánpótlású geotermikus tárolók.

Magyarország természeti adottságai rendkívül kedvezőek a geotermikus energia hasznosítására. Az elvékonyodott kéreg a Kárpát-medencében a kontinentális átlagnál nagyobb földi hőáramot és geotermikus gradienst eredményez. A jelenleg hasznosított hidrotermális rendszerek hőmérséklete általában a közvetlen hőhasznosítást teszi indokolttá. A geotermikus energia mezőgazdasági célú felhasználásában a világ élmezőnyében vagyunk. Ma Magyarországon 193 működő termálkúttal, 67 ha területű üvegház és 232 ha fóliasátor fűtése van megoldva. Az állattartás területén ötvenkét helyszínen hasznosítjuk a geotermikus energiát halastavak, baromfikeltetők, istállók temperálására. A szentesi Árpád-Agrár Zrt. 65 MW kitermelt hőteljesítményével a legnagyobb koncentrált fogyasztónk. A ren-

delkezésre álló hőlépcső kihasználása jelentősen javítható lenne. A mezőgazdaságban 212 MW_t beépített kapacitással 1871 TJ/év geotermikus energia hasznosul.

Magyarországon negyven településen több mint 9000 lakást fűtenek geotermikus energiával. Ennek 118,6 MW_t beépített teljesítménye 1162 TJ/év energiát jelent, amelynek 80%-a a távfűtő rendszerekben, 20%-a egyedi fűtőrendszerekben hasznosul. Magyarország legkorszerűbb, 10 MW hőteljesítményű geotermikus távfűtő rendszere Hódmezővásárhelyen üzemel jó hatásfokkal és gazdaságosan. A sikeresen megoldott vízvisszasajtolás költségei ellenére a távfűtés költsége a gáztüzelésű távfűtéséhez képest 40%-kal kisebb.

Magyarországon is építhetők geotermikus villamos erőművek, de nem véletlen, hogy napjainkig erre nem került sor. A nagy (<200 °C) hőmérsékletű túlnyomásos tárolók termelésbe állításának műszaki feltételei nem minden részletükben megoldottak. Az extrém nagy nyomás és oldottanyag-tartalom egyaránt további alap- és alkalmazott kutatásokat tesz szükségessé. Ezek megoldható problémák, de nem megkerülhetőek.

A 120 °C-os forróvíztárolókra telepítendő erőműveket illetően a hatásfokjavítás lehetőségeinek kutatásával léphetünk előre, sok kutató-fejlesztő munkával javítva néhány tized százalékot.

Hosszabb távon feltétlenül gondolni kell a DK-alföldi medencealjzat nagy hőmérsékletű zónáinak feltárására. Ezek energiatartalmának hasznosítására csak EGS-módszerek alkalmazásával kerülhet sor. Ahol kisebb mélységben van az alaphegység (például Tótkomlós környéke), bináris erőmű telepíthető. Nagyobb mélységű mesterséges tárolókból akár víz, vagy szuperkritikus állapotú szén-dioxid is lehet a hőt szállító, egyúttal mun-

kavéző közeg. A mélység és ezzel a hőforrás hőmérsékletének növekedése a távolabbi jövő geotermikus erőműveinek hatásfokát javítja majd jelentősen.

Az elmúlt évek pangása után élénkülés tapasztalható a hazai geotermikus fejlesztésekben. Az olajipar elkötelezte magát a geotermikus energiából villamos energiát termelő első kísérleti erőmű megépítésére, s a magántőke is érdeklődést mutat az önkormányzatokkal együttműködve villamos erőművek és városi távfűtő rendszerek létesítésére. A kis mélységű hőszivattyús hőcserélő kutakra alapozott egyedi fűtési rendszerek is túlléptek a családi házak méretein, és az ipari hőfogyasztás felé is nyitnak. Erre a Telenor 1MW teljesítményű hőszivattyús fűtőrendszere jó példa.

Külföldi szakértők is egyetértenek abban, hogy Magyarország a nagymélységű EGS-rendszerek létesítésére egész Európa legalkalmasabb helyszíne. Ez akár EU-s vagy más külföldi tőke számára igen vonzó adottság lehet.

A geotermikus energia termelésének környezeti hatásai

A fosszilis energiahordozók alkalmazásához képest a geotermikus energia felhasználása nagymértékben csökkenti a környezetszennyezést. Így gazdaságossága mellett egyre erősebb érv a geotermikus energia környezetkímélő jellege is. Természetesen a geotermikus ener-

gia alkalmazásával is károsodik a környezet, azonban ez nagyságrendekkel kisebb, mint a fosszilis energiaforrások igénybevételekor. Az alábbi táblázat négy veszélyes szennyező: az üvegházhatású szén-dioxid, a savas esőket okozó kén-dioxid, a nitrogén-oxidok és a por MWh-ra vonatkozó fajlagos kibocsátását mutatja különböző típusú erőművekre.

A nagy nyomású rétegvizekben jelentős mennyiségű egyéb gáz is lehet oldott állapotban. Ennek legnagyobb része CO₂, CH₄, SO₂, H₂S, N₂, ritkábban NH₃, Ra, He. A hévizekből kiváló gázok közül a legtöbb gondot a kis koncentrációban is mérgező és extrém nagy (5 ppm) hígításban is kellemetlen szagú kénhidrogén okozza. A légkörben egynapos felezési idővel természetes úton kén-dioxiddá alakuló kénhidrogéntől a hévizek vagy a geotermikus gőz nem-kondenzálódó gázait mesterségesen elégetve lehet megszabadulni.

A hévízből egy nagyságrenddel kevesebb CO₂ (üvegházhatású gáz) szabadul fel, mint a fosszilis energiahordozók elégetésekor. Mivel a geotermikus energia hasznosításával fosszilis tüzelőanyagokat váltunk ki, a hévíz CO₂-tartalma mindig egy sokkal nagyobb CO₂-kibocsátást helyettesít, így annak környezetkárosító hatásáról beszélni értelmetlen. A hévizekben oldott szén-dioxid kiválása nagyobb gondot okoz a vízkőképződés folyamatában, illetve a korrózió előidézésében.

Erőműtípus	Fajlagos emisszió kg/MWh			
	CO ₂	SO ₂	NO _x	Por
Széntüzelésű	994	4,71	1,96	1,01
Olajtüzelésű	758	5,44	1,81	-
Gáztüzelésű	550	0,10	1,34	0,06
Hidrotermális geotermikus	27,2	0,16	0	0
Bináris vagy EGS geotermikus	0	0	0	0

2. táblázat

A geotermikus energiát termelő kutakból származó víz vagy gőz gyakran tartalmaz hasznosítható mennyiségű metánt. A metán üvegházhatása sokszorosa a szén-dioxidénak, tehát szeparátorral történő leválasztása és elégetése elkerülhetetlen, ám ez egyúttal járulékos energiaforrás is. A hajdúszoboszlói termálkutakból nyert metánt már a két világháború között hasznosították, többek között a MÁV személykocsijainak világítására.

A természetes geotermikus tárolók szilárd oldottanyag-tartalma a hőmérséklettel arányos, tehát az elektromos energia termelésére használt tárolókból származó nagy hőmérsékletű (> 230 °C) telepfoladék erősebben szennyez. A hévíz vagy a gőz kitermelésekor az oldott komponenseket is felszínre hozzuk, s az energiahasznosítás után elfolyó csurgalékvíz nagy mennyiségű környezetidegen anyaggal szennyezi elsősorban a felszíni vízfolyásokat. Ha ezt az anyagmennyiséget nem a környezetet terhelő ballasztnak, hanem kibányászott nyersanyagként tekintjük, nagyrészt piacképes értékhez jutunk. Ez lehet a szilárd oldott anyag kérdésének egyik megoldási módja, a gazdaságosan nem értékesíthető komponenseké pedig a visszasajtolás.

A kitermelt hévizek mérgező anyagokat is tartalmazhatnak: higanyt, ólmot, arzént, cinket, sőt uránt is. Ezek a csurgalékvízből biotechnológiai úton hatékonyan eltávolítha-

tók. Bizonyos mikroorganizmusok 55–60 °C hőmérsékleten és kissé savas jellegű folyadékban akár mechanikus keverővel ellátott, akár fluidizált ágy formájában működő bioreaktorokban 24 óra alatt a mérgező fémek 75–85 %-át képesek kivonni. A módszer különösen ott előnyös, ahol nincsenek meg a visszasajtolás feltételei.

A hévízkutakban a beléscső törése vagy lyukadása az ivóvízbázist szennyezheti. Szerecsére a vízadó rétegeket harántoló kútszakaszon a kettős beléscsőakat és a cementpalást megfelelő védelmet nyújt.

A geotermikus projektek megvalósítása során a legnagyobb (85–115 dB) zajterhelést a fúrás, a kútvizsgálat és az esetleges rétegrepesztés munkálatai okozzák. Egy működő geotermikus erőmű általában a 70–83 dB tartományban üzemel. (Egy forgalmas városi utca zajszintje 70–85 dB.) A geotermikus erőmű főbb zajforrásai a transzformátor, a turbina-generátor egység és a hűtőtorony. A léghűtéses rendszerek zajkibocsátása nagyobb, mint a vízűtésűeké. Hangtompítók beépítése hatásos, de ez az erőmű hatásfokát csökkenti, a beruházási költségeket növeli. Az EU szigorú zajvédelmi előírásainak is megfelelnek a városi, belterületi telepítésű geotermikus erőművek. Ilyen például Ausztriában Altheim (1 MW_e és 10 MW), Németországban Neustadt Glewe (210 kW_e és 6 MW).

Erőműtípus	Fajlagos terület (m ² /MW)
110 MW kondenzációs geotermikus	1260
20 MW bináris geotermikus	1415
1780 MW atomerőmű (Paks)	1404
2258 MW széntüzelésű + külfejtés	40 000
47 MW naperőmű (Mojave Desert, USA)*	28 000
10 MW fotovillamos (Southwestern USA)*	66 000

3. táblázat – (* átlagteljesítmény)

A geotermikus energiát termelő rendszerek felszíni területigénye kicsi. Az erőművek mindig a kutak közvetlen közelébe települnek. A gyűjtővezeték-rendszerek hossza nem jelentős. A fúrás és a kútvizsgálatok alkalmával viszonylag nagy (3000–5000 m³-es) ideiglenes felszíni gyűjtőmedence kialakítása válhat szükségessé. A következő táblázatban különböző erőműtípusok fajlagos területigényét hasonlítjuk össze Ladislaus Rybach (2008) nyomán.

A különösen nagy oldottanyag-tartalmú tárolókra telepített geotermikus erőművek területigénye a termelvény előkészítése miatt mintegy 75%-kal nagyobb a szokásosnál.

Természetes hidrotermális rendszerekben, ha a kitermelés üteme lényegesen meghaladja a tároló vízutánpótlását, a konszolidáció miatt felszíni süllyedések keletkeznek. Ez különösen markánsan jelentkezett az Új-Zélandon működő Wairakei erőmű esetében, amely egy aktív vulkáni tevékenységű területen létesült, ahol a kutak rendkívül kis mélységűek (250–300 m). Itt a felszín évente 45 cm-rel süllyed. A jelenség rokon a felszínközeli bányák fölötti földmozgásokkal. Hazánkban a hévíztermelés éppen csak kimutatható külszíni süllyedéseket okozott Szentés és Hajdúszoboszló térségében.

A természetes hidrotermális rezervoárok művelése során szeizmikus zavarok nem jelentkeznek. Mesterséges HDR-tárolók kialakításakor a hidraulikus rétegrepesztés jelentős csúsztató és húzófeszültségeket ébreszt a kőzettestben, mikroszeizmikus zajokat keltve. Ezek megfigyeléséből a tárolóról fontos információkat nyerhetünk. A nagyfrekvenciájú szeizmikus zajok nem generálnak szeizmikus kockázatot, viszont a kis frekvenciájú zaj erősebb rengések előjele lehet. Ez jellemezte a 2006-ban Baselben keletkezett, a Richter-ská-

la szerint 3,4 fokozatot is elért rengéssorozat, ami a projekt felfüggesztéséhez vezetett.

Földcsuszamlást legtöbbször csak a rozszul megválasztott helyszín okozhat, ha ilyen területen épül az erőmű. Elsősorban közvetett hatásai jelentkezhetnek, a kútszerkezet vagy a gyűjtővezeték sérülésében. Kis (<1000 m) mélységű visszasajtoló kutak és vetők kölcsönhatása válthatja ki. Természetes hidrotermális tárolókra telepített rendszereknél földcsuszamlás ritkán fordul elő.

A geotermikus energiát termelő kutak fúrása, kútkiképzése, a kútvizsgálatok és rétegrekesztések nagy mennyiségű hálózati vizet igényelnek. A hidrotermális tárolók működése vízvisszasajtolást követel meg. Ennek során alapvető a lebegő finom szilárd szemcsék kiszűrése, mert azok csökkentik az átteresztőképességet és növelik a rendszer saját energiafogyasztását. A víztermelés jelentős vízszintsüllyedést okozhat. Hajdúszoboszlón és Szentésen jelentős (>50 m) vízszintsüllyedést okozott a visszasajtolás nélküli, több évtizedes hévíztermelés. A nem kellő körültekintéssel folytatott hévíztermelés megzavarhatja a természetes hidrotermális rendszerek működését. Hévízen, egyes üdülőkben összehangolatlanul fúrt saját hévízkutak bizonyíthatóan csökkentették a világhírű tó-forrás hozamát.

Egy geotermikus erőmű elsősorban létesítésének időszakában terheli a környezetet. Az erőművek kis területigényük miatt nem jelennek korlátokat a mezőgazdasági termelés számára. Az erőművek általában alacsony építésűek, kis alapterületűek, nincsenek magas tornyok, a környezet fásításával a tájképet megzavaró hatások jelentősen csökkenthető.

A geotermikus erőművekben az elvont hő fajlagosan nagyobb, mint a fosszilis és nukleáris erőműveknél, mert a primer hőforrás kisebb hőmérsékletű. Egy geotermikus

erőműnél az egységnyi teljesítményre eső hulladékhoz 2–3-szor nagyobb a nukleárishoz képest. Egy 100 MW-os geotermikus erőmű hőkibocsátása egy 500 MW-os gázturbinás erőműével egyenlő. Ez a hátrányosnak tűnő tulajdonság előnyre változtatható az elektromos energia és a közvetlen hőhasznosítás egyidejű megvalósításával, a közvetlen hőhasznosítás többlépcsős, a minél teljesebb hőmértéklet-tartományt lefedő megoldásával.

A geotermikus erőmű létesítésekor a fűrés és a kútkiképzés a legveszélyesebb fázis, annak ellenére, hogy a geotermikus tárolóból feltörő gőz nem okozhat tüzet, robbanásveszélyt, mérgezést. A túlnyomásos tárolók feltárása, művelése a legkockázatosabb. Magyarországon a fábiánsebestyeni gőzkitörés volt eddig a legsúlyosabb, halálos balesettel járó káresemény. A kitörésvédelmi eszközök és módszerek állandó fejlődése csökkenti ezt a veszélyt. A geotermikus mezők feltárása során a modern geofizikai eljárások alkalmazása is nagymértékben csökkenti a fűrés során fellépő kockázatot.

Összefoglalás

A fenntartható fejlődés igénye, a fosszilis energiahordozók véges készletei olyan új energiaforrások felhasználását teszik szükségessé, amelyek belátható időn belül nem merülnek ki, s szakadatlanul megújulnak.

IRODALOM

- Bobok Elemér – Tóth Anikó (2005): *Megújuló energiák*. Miskolci Egyetemi, Miskolc
- Lund, John W. (1998): *Geothermal Direct-Use Engineering and Design*. GeoHeat Center, Klamath Falls, Oregon
- Rybach, Ladislaus (2008): *Geothermal Global and*

Ezek közé tartozik a geotermikus energia is, amely csupán részben megújuló energiatípus, de óriási készletei évezredekre elegendőek. Kitermelésének módszerei, eszközei az olajiparban kidolgozottak, az olajkészletek fogyása a geotermikus energia termelésére predestinálja a szakmát. Ez az energiatermelés lehetőségeihez képest még csak az ígéretes jövő küszöbén áll.

A jelenlegi 10 GW villamosenergia-termelő és a 29 GW közvetlen hőhasznosításra kiépített kapacitás már elegendő megbízható tapasztalatot szolgáltatott a további nagyléptékű fejlődéshez. A tiszta, környezetbarát, versenyképes árú geotermikus energia várhatóan az energetikai fejlesztések fő áramába kerül jelenlegi marginális helyzetéből.

Átgondolt gazdaságpolitikai és adminisztratív intézkedések nyomán Magyarország is természeti adottságainak megfelelő helyet kaphat a világszerte ugrásszerű fejlődés előtt álló geotermikus iparágban. Célszerű lenne Magyarországon is hatékonyabban támogatni a geotermikus kutatást, fejlesztést és beruházásokat.

Kulcsszavak: *geotermikus gradiens, földi hőáram, geotermikus rezervoár, mesterséges tároló, hőcserélő kút (BHE), forró száraz kőzet (HDR), közvetlen hőhasznosítás, hőszivattyú, környezeti hatások*.

- European Perspective*. GAI 10th Anniversary Conference, Kilkenny
- Tester, Jefferson W. et al. (2006): *The Future of Geothermal Energy*. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts
- Tóth Anikó (2010): *Hungary Country Update 2005–2009*. In: Proceedings World Geothermal Congress. Bali

A NAPENERGIA HASZNOSÍTÁSÁNAK HAZAI LEHETŐSÉGEI

Farkas István

DSc, Szent István Egyetem Környezetipari Rendszerek Intézet
farkas.istvan@gek.szie.hu

Bevezetés

Az MTA Megújuló Energetikai Technológiai Albizottság (MEA) 2000-ben tárgyalta az aktív napenergia-hasznosítással kapcsolatban a szoláris rendszerek hazai fejlesztésének javasolt programkoncepcióját, melyben vázolta a napenergia aktív és passzív hasznosítási technológiáinak akkori helyzetét Magyarországon és az Európai Unió országaiiban, valamint a hazai fejlesztés indokait és lehetőségeit.

Ennek megfelelően készült el az albizottság stratégiai programkoncepciója (MTA MEA, 2001), amelynek kidolgozásában részt vettek a Magyar Napenergia Társaság szakértői. A program a napenergia-hasznosítás négy részterületét tárgyalta: aktív hőhasznosítás, mezőgazdasági hasznosítások, fotovillamos hasznosítás, valamint passzív hasznosítás.

A javasolt intézkedések közül csak néhány valósult meg, például az EU-szabványok átvétele vagy kisebb vállalkozások, oktatási intézmények öntevékeny akciója a társadalmi, lakossági tájékoztatás, az oktatás megszervezésére. A várt központi intézkedések területén eddig nem történt átütő előrelépés.

A hazai napenergia-hasznosítási potenciál ismerete szükséges ahhoz, hogy a mind

jobbán előtérbe kerülő alternatív energiaforrások alkalmazási lehetőségeit és az ezekhez szükséges feltételeket reálisan ítélhessük meg, ugyanakkor az EU előírásainak hazai szinten megfeleljünk. Ennek megfelelően készült el az albizottság felmérése az egyes megújuló energiaforrások részterületeire vonatkozóan (MEA, 2006).

A hazai napenergia-hasznosítás vizsgálatakor fontos szempont a földrajzi helyzet, a beérkező napsugárzás jellemzői, a meteorológiai tényezők, a hasznosítás módja, a technikai feltételek, a társadalmi tényezők, valamint a gazdaságosság. Jelen dolgozat az albizottság által készített tanulmányra alapozva, az akkori helyzetet is figyelembe véve ismeret néhány időszéri gondolatot a környezeti hatások elemzésével kiegészítve.

A NAPENERGIA AKTÍV HASZNOSÍTÁSA¹

Adottságok

Magyarország adottságai a napenergia-hasznosítás szempontjából kedvezőbbek, mint

¹ Ez a fejezet a Magyar Tudományos Akadémia MEA (2006) tanulmánya és Kaboldy Eszter (2005) publikációja alapján készült.

sok európai országé: az évi napsütéses órák száma 1900–2200, a beeső napsugárzás éves összege átlagosan 1300 kWh/m². Az érkező napsugárzás szempontjából legjobb helyzetű az Alföld középső és déli része, kevésbé jó a nyugati és északi határhoz közeli hegyvidék. Az ország földrajzi helyzetéből adódóan azonban – szemben a mediterrán országokkal – jelentős különbség van a téli és a nyári napsugárzási adatok között, ezért a Nap hőenergiája a téli időnyben fűtésre csak korlátozottan használható fel, és a berendezéseknek fagy esetén is működőképeseknek kell lenniük. Léteznek ún. szezonális (akár 100 000 m³ térfogatú) hőtárolók, amelyek a téli fűtési igény kielégítésében jelentős szerepet játszhatnak.

A ma korszerűnek mondható termikus napenergia-hasznosító berendezések Magyarországon leggazdaságosabban melegvizet készítésére alkalmasak, és éves átlagban 30–50%-os hatásfokkal hasznosítják a napenergiát, ha megfelelő tájolású, dőlésszögű és árnyékmentes helyen működnek az energiát átalakító napkollektorok. A lakossági és intézményi melegvízigény ellátásában az éves fogyasztás 60–70%-a fedezhető napenergiából, így csak a fennmaradó 30–40%-ot kell fedezni hagyományos energiahordozókkal. A legnagyobb sugárzási időszakban, a kempingek, szállodák, panziók esetén a szezonális hasznosítás határfoka elérheti a 90%-ot is, ezért ilyen létesítményekben a legjobbak az alkalmazás lehetőségei. A ma használatos napenergia-hasznosító technológiák átlagos hőenergia-hozama Magyarországon kb. 1500 MJ/m² évente, ami 417 kWh/m² éves értéknek felel meg. Az így kiváltott hagyományos energiahordozók mennyisége és energiatartalma azok fajtájától, a berendezések hatásfokától függően az említett érték két-háromszorososa is lehet. A csak nyári üzemre alkalmas berendezések átlagos

hőenergia-hozama az öt legmelegebb hónap (május–szeptember) alatt 300–350 kWh/m².

Használati melegvíz előállításának lakossági célra

A megvalósítható lakossági hasznosítás nagyságrendjét a lakás-, illetve épületállomány ismeretében lehet megítélni. A harminc évnél régebben épült panellakások értékének átlagosan 1%-át fordítják felújításra, ami kb. 30 milliárd Ft. Ebből az összegből valós felújítás nem hajtható végre, de például a fűtőkorszerűsítés területén jelentős eredményeket lehetne elérni. Itt lehet szerepe a napenergia hasznosításának is.

Egy átlagos család melegvízellátására alkalmas egységnyi napenergia-hasznosító berendezés beruházási költsége jelenlegi árakon kb. 0,8 M Ft + ÁFA, energiahozama kb. 9 GJ/év 6 m² kollektorfelülettel, déli tájolású, 45 fokos dőlésszögű, jó állapotú tetővel, 300 literes tárolóval számolva. Ennek megtérülése függ a támogatási rendszertől és a fosszilis energiahordozók árának alakulásától.

Az elkövetkező években átlagosan évi 10 ezer m² napkollektor telepítése becsülhető, ami évente kb. 1600 lakást jelent.

Használati melegvíz előállításának intézményi célra

Nagyobb panziók, szállodák, kórházak, szociális otthonok, melegvízes technológiájú ipari létesítmények és hasonló intézmények egész évben jelentős használati melegvízigényét központi napenergia-hasznosító berendezéssel érdemes kielégíteni. Egy központi melegvízellátó berendezés-egység átlagos gyűjtőfelülete 50 m². Egy ilyen nagyságrendű napkollektoros berendezés beruházási költsége jelenlegi árakon kb. 6 M Ft + ÁFA, várható energiahozama 75 GJ/év.

A következő hat-nyolc évben legfeljebb néhány ezer központi berendezés létesítése becsülhető, ami összesen kb. negyedmillió m² napkollektor telepítését jelenti.

Melegvíz-előállítás nyáron

Magyarországon a nyáron hasznosítható napenergia öt-hatszorosa a télnek, ezért kézenfekvő, hogy a csak nyáron fellépő melegvízigényeket (kempingek, medencevízfűtés) napenergia hasznosításával elégítsük ki. A nyári hasznosítás eszközei egyszerűbbek és olcsóbbak is az egész éves üzemű berendezéseknél.

A szezonális berendezések egységét szintén 50 m²-esnek feltételezve, az egységnyi beruházási költség kb. 4 M Ft + ÁFA, a várható energiahozam – a rövidebb kihasználási idő miatt – kb. 40 GJ/év.

Becsült adatok alapján a következő hat-nyolc évben kb. 30 ezer m² nyári üzemű berendezéssel számolhatunk, ez évi kb. 100 db berendezést jelent.

A telepíthető kollektorfelület és termikus potenciál becslése

Az aktív szoláris termikus potenciál a napenergia közvetlen sugárzásának napkollektorok segítségével történő begyűjtésével és hővé alakításával meleg hőhordozó közegek előállítására használható energia. A hőhordozó közeg lehet fagyálló folyadék, víz és gőz, a felhasználási célok pedig: használati és technológiai melegvíz termelése, fűtés, uszodavízmelegítés, szolár-távhő rendszerek működtetése. A szoláris termikus potenciál döntő mértékben a besugárzásra felhasználható felületek nagyságától, azok tájolásától és a napsugárzás intenzitásától függ.

A becslések alapján a napkollektorok telepítésére alkalmas felületek nagyságrendje a következő:

- lakóházak: 31,9 millió m²,
 - hivatalok, középületek: 300 ezer m²,
 - kempingek, külső területek: 50 ezer m².
- Ezek alapján a következő évtizedben hasznosítható felület: 32,25 millió m². Ily módon hazánk teljes aktív szoláris termikus potenciálja: 48,8 PJ/év.

A NAPENERGIA MEZŐGAZDASÁGI HASZNOSÍTÁSA²

Bevezetés

A mezőgazdaság, erdő- és vízgazdálkodás részesedése a teljes hazai energiafelhasználásból 40 PJ/év nagyságrendű. Ez a nemzetgazdaság teljes energiafelhasználásának mintegy 4%-a, ami meghaladja a mezőgazdaság GDP-hez való hozzájárulását. Meg kell jegyezni azt is, hogy a mezőgazdaság becsült hozzájárulása az üvegházhatású gázok kibocsátásához az EU szintjén 9%. Ezek indokolják a mezőgazdasági hasznosítás kiemelt kezelését.

A felhasznált energiamennyiség 35–40%-át a növényházak fűtése, a szárítás és az épületek fűtése és hűtése teszi ki. A környezetvédelmi hatásokkal kapcsolatosan különösen fontos megemlíteni a növényházakat és a szárítókat, amelyeknél a nagymennyiségű hagyományos energiahordozó (elsősorban olaj és gáz) kiváltásával a környezetet szennyező, egészségkárosító anyagok kibocsátása jelentősen csökkenthető. A napenergia széles körű felhasználását e területeken az is indokolja, hogy az alkalmazható technológiák (különböző termények szárítási eljárásai, egyszerű és integrált kivitelű szárítóberendezések, növényházak fűtése, hűtése és szellőztetése, állattartó épületek fűtése, klimatizálása stb.) ismertek, kidolgozottak.

² Ez a fejezet az MTA MEA (2006) tanulmány és Farkas István (2005) publikációja alapján készült.

A bevezetésre javasolt szoláris technológiák megtérülési ideje egymástól eltérő. Növényházak esetén öt-nyolc év, egyszerű kivitelű szárítóknál egy-két év, integrált kivitelű szárítóknál három-nyolc év, technológiai melegvíz-készítésnél, fűtésnél három-hat év.

Növényházak fűtése

Magyarországon jelenleg mintegy 150 ha üvegház, 4500 ha vázszerkezetes fóliás természetberendezés és 2000 ha váz nélküli fóliafelület van. Klímaviszonyaink miatt az üvegházaink teljes energiaszükségletének 85–88%-át mesterséges fűtéssel kell biztosítani. Ily módon a mezőgazdaság teljes energiafelhasználásának 1–2%-át fordítják növényházak fűtésére. A jövőben várhatóan növekedni fog az üvegházi termékek iránti kereslet. A termelés oldaláról a növekedés alapkérdése a gazdaságosság, ami a felhasznált energia mennyiségével és fajtájával függ össze. A növényházi energiafelhasználás csökkentésének igénye, valamint a környezetvédelmi szempontok előtérbe kerülése indokolja a megújuló energiaforrások alkalmazási lehetőségeinek vizsgálatát. Közülük a geotermális energia mellett elsősorban a napenergia-felhasználás az egyik alternatíva. A napenergiás fűtést biztosító berendezések beruházási költségei azonban magasak, ezért alkalmazásuk elsősorban kiegészítő jellegű.

A növényházi szoláris potenciál (hasznosításra rendelkezésre álló energia) számításához irodalmi forrásokból, illetve saját becslésből származó adatokat használtunk fel. A becsült növényházi napenergia-potenciál értéke: 1,27 PJ/év.

Szoláris szárítás

A mezőgazdaság teljes energiafelhasználásának mintegy 20 százalékát fordítják szárításra.

Ezen belül a szárításra felhasznált energiahordozók megoszlása a teljes mezőgazdasági energiafelhasználásból: villamos energiából kb. 10%, földgázból 30–50%, olajból 10–15%. A betakarítás utáni műveletek, különösen a különböző biológiai eredetű anyagok szárítási folyamatai jelentős szerepet játszanak az energiamegtakarításban, a végtermék minőségében és a környezeti kérdésekben. Manapság számos szárítási módszer áll rendelkezésre, de megéri számításba venni a szoláris szárítás technikai és gazdasági előnyeit.

A szoláris szárítás elterjedését elősegítő főbb tényezők:

- alacsony hőmérsékletű mezőgazdasági szárítási igények,
- minőség, tisztaság, beltartalom megőrzése,
- kedvezőbb szállítási és tárolási veszteség,
- a szolárisan szárított termékek, aszaltványok piaca fokozatosan bővül,
- szárításra az erős napsugárzás időszakában van szükség.

A szárítási potenciál becsléséhez szükséges adatokat gabonafélék, szalastakarmányok, zöldségek, gyümölcsök és egyéb termények (dohány, hüvelyesek, olajos magvak) esetére vettük figyelembe. Szalastakarmánynál néhány napos renden történő szárítás esetén jelentősen csökkenteni lehet az eltávolítandó víz mennyiségét, ugyanakkor a szárított termék beltartalmi értékei kb. 50%-ban jobbak, mint például a renden történő szárítás esetén. A szárításra hasznosítható napenergia-potenciál becsült értéke: 3,44 PJ/év.

Technológiai célú melegvízkészítés

Fűtésre és melegvíz készítésére a mezőgazdaság teljes energiafelhasználásának 15–16%-át használja fel. Ennek kb. 60%-a hagyományos energiahordozó (gáz és tüzelőolaj).

A mezőgazdaságban több technológiai folyamatnál jól alkalmazhatók a tárolóval egybeépített folyadék munkaközegű sikkollektoros melegvízkészítő rendszerek, tekintettel arra, hogy a szükséges hőmérsékletigény általában 80 °C-ig terjed. A szóba jöhető főbb alkalmazási területek:

- biogáz-rendszerek hő- és melegvízellátása,
- tehenészeti telepek melegvízellátása,
- borjúnevelők tejelőkészítése,
- sertésistállók padlófűtése,
- intenzív akvakultúrák melegvízellátása.

A technológiai célú napenergiás melegvízkészítő rendszerek tervezésének főbb szempontjai az energiaszükséglet, a szoláris forrásból biztosítható energia részaránya, a szoláris rendszer hatásfoka, közvetlen költsége, az egyéb ún. externális költségek és hozadékok, valamint a szociális és környezeti aspektusok.

A technológiai célú melegvízkészítésre felhasználható potenciál becsléséhez szükséges adatokat különböző típusú (növénytermesztő, állattenyésztő és vegyes) gazdaságok esetére vettük figyelembe. A kollektorokkal begyűjthető energia értékét a kereskedelmi forgalomban lévő kollektorok leírásaiból vettük. A technológiai melegvíz készítésére felhasználható napenergia-potenciál becsült értéke: 11,2 PJ/év.

A mezőgazdasági hasznosítás értékelése

A mai nemzetközi tendenciák szerint feltételezhető, hogy 2040–50-re a teljes mezőgazdasági energiaigény kb. 60–70%-ban biztosítható megújuló energiaforrásokból (biomassza, szél, geotermális, víz, nap). Magyarországon az ágazat energiaigénye jelenleg 40 PJ/év nagyságrendű. Figyelembe véve az ágazat növekedési lehetőségeit és az energiatakarékos gazdálkodási módok terjedését, a jövőben is ezzel a mennyiséggel számoltunk. A hagyomá-

nyos energiahordozók megújulókkal való kiváltási lehetőségét a legnagyobb energiafelhasználói területeket alapul véve vizsgáltuk.

Az elvégzett számítások és becslések eredményeképpen megállapítható, hogy a legenergiaigényesebb mezőgazdasági alkalmazásokat, nevezetesen a növényházi fűtést, a szoláris szárítást és a technológiai melegvíz készítését illetően a rendelkezésre álló termikus napenergia-potenciál nagysága sorrendben 1,27, 3,44 és 11,20 PJ/év, ami összesen 15,91 PJ/év a teljes (elvi) telepíthetőség figyelembevételével. A belátható időn belüli telepíthetőség alapján ez az érték kb. 2,62 PJ/év.

A három alkalmazási terület együttes energiaigénye 35–40%-a a mezőgazdaságának, azaz mintegy 15–16 PJ/év. Eszerint az említett technológiák energiaigénye elvileg teljes egészében fedezhető napenergiából. A belátható időn belül realizálható esetben (az ugyanerre a célra hasznosítható összes megújuló energiaforráson belül) a termikus napenergia részaránya 20–30% közé eshet, az egyéb megújulókat alkalmazhatóságától függően.

A kapott eredmények azt mutatják, hogy a három vizsgált mezőgazdasági területre számított teljes termikus napenergia-potenciál a mezőgazdaságban felhasználásra kerülő összes megújuló energia kb. 65%-a. Ugyanez az érték rövid időn belüli telepítések figyelembe vételével kb. 10%.

A NAPENERGIA FOTOVILLAMOS HASZNOSÍTÁSA³

Bevezetés

A jelenlegi és a közeljövő hosszú élettartamú, nagy hatásfokú napelemei egykristályos, illetőleg polikristályos szilícium felhasználásával

³ Ez a fejezet az MTA MEA tanulmány (2006) és Pálffy Miklós (2004) publikációja alapján készült.

készülnek. Az egy- és polikristályos szilícium napelemek energiaátalakítási hatásfoka 16–18%. Laboratóriumi körülmények között többretegű napelemekkel már 40% fölötti hatásfokot is elértek. Az olcsóbb kivitelű amorf szilícium-vékonyréteg napelemek hatásfoka 6–8% körül van.

Napjainkban évente több mint 3000 MWp napelemet gyártanak a világon, és az éves növekedési ütem az utóbbi években 60–70%-os volt. (MWp a napelem csúcsteljesítményét jelenti megawattban.)

A napelemek és napelemes berendezések fejlesztése Magyarországon az 1970-es évek közepén indult a Villamosipari Kutató Intézetben. Az első hazai napelemes berendezés 1975-ben készült. A fejlesztés és kísérleti gyártás annak bezárásáig a Pannonglas Solarlabban folytatódott 1992-ig. A fejlesztési és gyártási tapasztalatok jelenleg a Solart-System Kft.-ben hasznosulnak. 1997-ben amorf szilícium alapú napelemek elsősorban külföldi piacra történő gyártására megalakult a Dunasolar

Rt., amely 2002-re évi 3 MWp gyártási kapacitásra felfejlesztve Európa legnagyobb nap-elemgyártója lett amorf szilíciumból. 2003-ban a gyártósorokat leszerelték és Thaiföldre szállították. Magyarországon jelenleg több hazai és külföldi napelem-forgalmazó cég tevékenykedik. A gyártás és összeszerelés területén is élénkülés tapasztalható. Az MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézetében 85 M Ft-os beruházással a közelmúltban adták át a szilícium-vékonyréteget tartalmazó napelemek technológiai fejlesztésére alkalmas laboratóriumot.

A berendezések nagyobb része autonóm villamosenergia-ellátási feladatokat lát el mikrohullámú átvízlóknál, helyi telefonközpontnál, segélykérő telefonoknál autópályán, forgalomszámlálóknál, meteorológiai állomásoknál, hálózattól távol eső házaknál, biztonsági berendezéseknél, oktatási berendezéseknél, villanypásztoroknál, házi, mező- és erdőgazdasági vízellátásnál, gázipari berendezések monitorozásánál, autóbuszok szellőzésénél,

	Elvileg beépíthető napelemfelület (km ²)	kedvezően beépíthető napelemfelület (km ²)	Beépíthető napelem-teljesítmény (MWp)	Éves villamosenergia-termelés (millió MWh)
Nagypanelek házak	1,70	0,76	76,42	0,09
Egyéb lakóépületek	63	28,35	2835	3,26
Mezőgazdasági épületek 1.	13,5	6,08	607,5	0,73
Mezőgazdasági épületek 2.	10,13	4,56	455,63	0,52
Oktatási épületek 1.	0,72	0,33	32,58	0,04
Oktatási épületek 2.	2,74	1,23	123,48	0,14
Önkormányzati ép. 1.	0,86	0,39	38,63	0,05
Önkormányzati ép. 2.	3,25	1,46	146,41	0,17
Gyep-legelő	4573	2058	205781	246,94
Mg.-ban felszabadult új területek	4310	1940	193950	232,74
Vasútvonalak mentén	47,39	10,66	1066,23	1,28
Autópályák mentén	1,00	0,45	45,23	0,050
Összesen	9027	4052	405158	486

1. táblázat (1–2 a kollektor dőlésszögétől függően)

világításnál stb. A berendezésállomány kisebb része közvetlenül hálózatra dolgozik: üzemanyag-töltő állomásonál, magánházaknál, oktatási intézményeknél stb. 2008-tól ez az arány megfordulni látszik.

Napelemes berendezések telepíthetőségének értékelése

Napelemek telepítésénél a legfontosabb szempont a kedvező benapozás biztosítása. Még a részleges árnyékolás is jelentős energianyereség-kiesést okoz. E szempontból több lehetőség áll rendelkezésre, amelyek közül az épületekre és egyéb létesítményekre történő különböző dőlésszögű telepítést és a szabad földterületekre történő telepítést vesszük számításba. A számítások eredményeit (Pálffy, 2004) az 1. táblázatban foglaljuk össze.

A becslések alapján számított hazai fotovillamos potenciál (486 mrd kWh=1749 PJ/év) villamosenergia-termelési lehetősége az ország jelenlegi éves villamosenergia-fogyasztásának több mint 12-szerese. A fotovillamos hasznosítás tehát a jelenleginél lényegesen nagyobb szerepet tölthet be. A potenciál számításánál az épülethomlokzatok napelemes borítása (növelő tényező) valamint a termikus kollektorok részesedése (csökkentő tényező) nem lett figyelembe véve. Meg kell továbbá emléteni a kombinált fotovillamos-fototermikus energiaátalakítás lehetőségét is.

A NAPENERGIA PASSZÍV HASZNOSÍTÁSA⁴

Bevezetés

A napenergia passzív hasznosítását megvalósító épületekben a napenergia begyűjtését, annak tárolását és az energia tervezett formá-

⁴ Ez a fejezet az MTA MEA tanulmány és Fülöp László és munkatársai (2005) publikációja alapján készült.

ban történő leadását az épület, illetve annak szerkezeti elemei végzik el. Míg a „direkt” rendszerek esetében mindhárom feladatot magának a fűtendő térnek a szerkezeti lábják el, az „indirekt” rendszereknél e funkciók térben szétválnak.

A jó helyszíni adottságokkal bíró és célirányosan a napenergia jó kihasználására épített, ún. passzív szolár épületekben a napsugárzásból származó részarány az 50%-ot is elérheti. Ezt az 1986-ban átadott pécsi napház mérési eredményei is alátámasztják. Az ún. „passzív házak” az alacsony energiafelhasználású épületek azon csoportját képezik, amelyek fajlagos fűtésienergia-igénye a 15 kWh/m² éves értéket nem haladja meg.

A jelenlegi épületállomány egészére vonatkozóan a napenergia hazai építészeti (passzív) hasznosításának mértékére nem állnak rendelkezésre pontos adatok. Ennek okai: a meglévő épületállomány építészeti, épületszerkezeti és hőtechnikai szempontból egyaránt igen heterogén volta, továbbá az a körülmény, hogy ilyen tekintetben országos, illetve regionális felmérés az utóbbi ötven évben nem készült. Ugyanakkor a bevezetett energiahatékonysági tanúsítvány (energia passzus) a meglévő épületeket is értékeli, ezáltal felértékeli az energetikailag kedvező épületeket és leértékeli a kedvezőtleneket, ami erősíti a passzív napenergia-hasznosítás értékét is.

Új tendenciák a lakásépítésben és a felújításoknál

Egy épület fűtési energiafelhasználása passzív direkt szoláris rendszerekkel 15–20%-kal, indirekt rendszerekkel 25–35%-kal is csökkenthető. Ausztriai példák bizonyítják, hogy az újabb szoláris bioklimatikus épületek 40–70%-kal kevesebb energiát fogyasztanak, mint a hagyományos épületek. Új épületeknél

reális elvárás, hogy a jelenlegi átlagos 17% szoláris részarány a kétszeresére emelkedjen.

Épületeink felújítása során a passzív szoláris rendszerek alkalmazásának lehetőségei (a tájolási, építészeti – alaprajz, tömegformálás – adottságok mellett) a beépítés módjától és a meglévő épületszerkezetektől függenek. Az alkalmazott megoldások általában jelentős homlokzati változást idéznek elő, ezért a felújítás tervét az épület környezetével összhangban kell elkészíteni.

A szoláris nyereségáramok növelésére és hasznosítási fokának javítására szolgáló eszközök:

- a külső falszerkezetek átalakítása tömegfallá, Trombe-fallá,
- a külső falszerkezetek transzparens hőszigetelése,
- csatlakozó napterek építése, illetve meglévő loggiák, erkélyek beüvegezése,
- társított, mozgatható hőszigetelő-árnyékoló szerkezetek alkalmazása.

Reális cél lehet az épület fajlagos össz-energiafogyasztását 50 kWh/m²/év értéket megközelítő szintre csökkenteni (amely érték a német hővédelmi rendelet „alacsony energiaigényű házak” kategóriájának felel meg), amelyhez a hatékony passzív szoláris rendszerek felhasználása nélkülözhetetlen.

A passzív rendszerek értékelése

Mivel hazai épületállományunk egészére vonatkozóan a napenergia passzív (építészeti) hasznosításának mértékére nincsenek adatok, a hazai passzív szoláris potenciál mértéke csak közelítéssel becsülhető. Az új és nagymértékben felújított épületek esetében a jelenleginél nagyobb szoláris részarány érhető el, ezenkívül léteznek olyan, utólag is alkalmazható módszerek, amelyekkel a szoláris energiahozam meglévő épületeknél is növelhető. Új

épületek esetében az elérhető növekedés 1,8 PJ/év, a hatékonyan felújítható meglévő épületek esetén mintegy 36 PJ/év. Ez összesen 37,8 PJ/év potenciált jelent.

KÖRNYEZETVÉDELMI HATÁSOK ELEMZÉSE

Környezetszennyezés-csökkenés termikus hasznosításoknál

A Kormány 1107/1999. (X. 8.) határozatában az *Energiatakarékossági és Energhatékonyág-növelési Cselekvési Programban* 2010-re 20 ezer napkollektoros tetőt irányzott elő, ami legalább 400 ezer m² napkollektor-telepítést jelentett volna tíz év alatt.

A környezetszennyezés-csökkenési számításokhoz használható átlagos adat, hogy 1 m² napkollektor éves energiahasznosítása kb. 0,12 t olajegyenértéknek felel meg. Az országban a korábban létesített berendezésekkel együtt a jelenleg működő kb. 300 ezer m²-re becsült összes napkollektor-felület kb. 450 TJ/év hőenergia-hozamot jelent. Ez a hőenergia-kiváltás 36 ezer t olajegyenértéknek felel meg a hozzá tartozó szennyezéssel együtt.

A 2010-re kitűzött 20 ezer napkollektoros tető program megvalósulása, a jelenlegi állapot kétszeresének, azaz 600 TJ/év hőenergia-hozamnak felelne meg a program végén. A szennyezőanyag-kibocsátás megtakarításának értéke függ a szén-dioxid tonnánkénti áráról, és attól, hogy ezeket a területeket mennyire lehet bekapcsolni a kvótakereskedelemben.

Környezetszennyezés-csökkenés fotovillamos hasznosításoknál

A Magyarországon üzemelő napelemes berendezésekre vonatkozó adatbázis nem áll rendelkezésre. A napelemes berendezések 2009-ben üzemelő állománya kb. 400 kWp

teljesítményre becsülhető, amelynek éves energiatermelése kb. 570 MWh, azaz 2,05 GJ/év a magyarországi átlagos 30 fokos dőlésszögű telepítéssel számolva.

Az energiamegtakarítás mellett elért környezetszennyezés-csökkenés számításához használható átlagos adat, hogy a napelemek által megtermelt 1 kWh villamos energia mellett megtakarítható szén-dioxid-kibocsátás értéke 0,82 kg. Ennek figyelembevételével a jelenleg 400 kWp teljesítményű telepített fotovillamos berendezések 468 t CO₂ kibocsátástól mentesítenek.

ÖSSZEFOGLALÁS

A napenergia közvetlen hasznosításának fő területei a következők:

- aktív szoláris termikus rendszerek,
- mezőgazdasági szoláris termikus alkalmazások,
- szoláris fotovillamos energetikai célú hasznosítás,
- passzív szoláris termikus rendszerek.

A napkollektorokkal történő aktív napenergia-hasznosításra alkalmas felület a következő évtizedben 32,25 millió m². Hazánk teljes aktív szoláris termikus potenciálja 48,815 PJ/év. A szoláris termikus potenciál a mezőgazdaságban három fő területen való napenergia-hasznosítást tesz lehetővé, a mezőgazdasági termelés hőigényeit kielégítve. Ez a potenciál összesen 15,91 PJ/év.

A fotovillamos rendszerek szabad területeken telepítve erőművi alkalmazásokat szolgálnak, épületek tetőfelületére szerelve vagy épületek homlokzatába integrálva helyi energiaellátásra alkalmazhatók (autonóm vagy hálózatra kapcsolt üzemmódban). Hazánkban a technikailag kedvezően beépíthető felület: 4051,48 km² (beleértve a vasutak és autópályák mentén való létesítésre felhasz-

nálható területeket is). Figyelembe véve a felületek dőlésszög-megoszlását, valamint a napelemek hatásfokát, a teljes fotovillamos energetikai potenciál 1749 PJ/év.

A passzív szolár termikus potenciál a napenergia építészeti hőhasznosítására felhasználható energia. A szolár-bioklimatikus építészeti technikai módszereivel (épületek tájolása, napterek, integrált homlokzati hőelnyelő-tároló elemek alkalmazása, kedvező helyiségbeosztás, hővesztés-csökkentés) hasznosított napenergiával hagyományos energiahordozók takaríthatók meg. Döntően a meglévő épületállomány rekonstrukciójára alapozva, hazánk teljes passzív szoláris termikus potenciálja 37,8 PJ/év.

A jelenlegi helyzetet figyelembe véve a napenergia-hasznosítás energetikai és környezeti hatásainak értékeléséhez mintegy 300 ezer m² napkollektorral és 400 kWp teljesítményű telepített napelemmel számolhatunk. Ez a napkollektoros rendszereknél 450 TJ/év hőenergia-hozamot, ill. 36 ezer t olajegyenértéknek megfelelő légszennyeződéscsökkenést jelent. Napelemes rendszereknél átlagos adatokkal számolva az előállított villamos energia nagysága 2,05 GJ/év, ami évi 468 t CO₂-kibocsátás megtakarításával egyenértékű.

A napenergia-hasznosítás a műszaki potenciál mellett gazdasági és társadalmi oldalról csak komplex tanulmánnyal becsülhető, amely figyelembe veszi a klímapolitikai célkitűzéseket, a környezeti hatásokat, ugyanakkor magában foglalja az energiatermelés költségeit és hozadékát is.

Kulcsszavak: környezetszennyezés, externális költségek, aktív hőhasznosítás, használati melegvíz, növényházak fűtése, szoláris szárítás, technológiai melegvízkészítés, fotovillamos hasznosítás, napelemes berendezések, passzív hasznosítás

IRODALOM

- Farkas István (2005): Termikus napenergia potenciál a mezőgazdaságban. *Energiagazdálkodás*. 46, 1, 3–7.
- Fülöp László – Szűcs M. – Zöld A. (2005): A napenergia passzív hasznosításának hazai potenciálja. *Energiagazdálkodás*. 46, 1, 8–13.
- Kaboldy Eszter (2005): A napenergia aktív hasznosításának hazai potenciálja. *Energiagazdálkodás*. 46, 1, 19–24.

- MEA (2001): *A megújuló energiaforrások bővítése, a megújuló energiafelhasználás növelése, Stratégiai terv program koncepciója*. Budapest
- Imre László – Bohoczky Ferenc (szerk.): MTA MEA (2006): *Magyarország megújuló energetikai potenciálja*. Budapest
- Pálffy Miklós (2004): Magyarország szoláris fotovillamos energetikai potenciálja. *Energiagazdálkodás*. 45, 6, 7–10.



A SZÉLENERGIA HELYZETE MAGYARORSZÁGON

Szalai Sándor

kandidátus,
Szent István Egyetem, Gödöllő
szalai.sandor@mkk.szie.hu

Gács Iván

kandidátus,
BME Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék
gacs@energia.bme.hu

Tar Károly

kandidátus,
Debreceni Egyetem Természettudományi
és Technológiai Kar Földtudományi Intézet
Meteorológiai Tanszék
tark@puma.unideb.hu

Tóth Péter

PhD,
Széchenyi István Egyetem
Műszaki Tudományi Kar
Környezetmérnöki Tanszék
tothp@sze.hu

Bevezetés

A szélenergia mint valódi megújuló energia ideális eszköz az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentéséért vívott harcban az antropogén éghajlatváltozás hatásainak elviselhető szinten tartásához. Így jelentősége többszörös: nemcsak csökkenti a szén-dioxid-kibocsátást, hanem energiaszegény régiókban olyan forrás, amely lényegében független a politikai helyzettől, más energiahordozók áraitól. Ennek, valamint helyenkénti nagy energiasűrűségének következtében, az utóbbi időben a használata rohamosan növekedett.

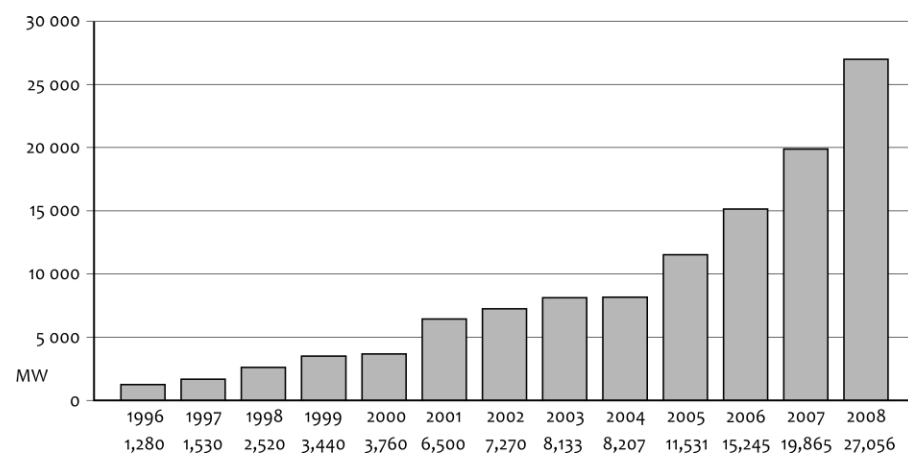
Az EU-ajánlásoknak megfelelően Magyarországon is nagy erővel folyik a megújuló energiák hasznosítása (Bíróné et al., 2009). Sajnos hazánk földrajzi helyzete miatt a megújuló energiafajták egy részéből a többi országnál csak kisebb potenciállal rendelkezik. Ilyen például a medencei jellegből adódóan a szélenergia is.

A földrajzi helyzeten kívül a szabályozási rendszer is nehezíti a szélenergia-hasznosítás magyarországi fejlődését. Több adminisztrációs akadály, a pontos lokális előrejelzések követelménye, azaz a napi és havi menetrendtől való eltérés büntetése csökkenti a szélenergia-művek nyereségét.

A szélenergia-művek jelentősen képesek csökkenteni a szén-dioxid-kibocsátást. Német vizsgálatok szerint egy 2 MW-os szélenergia-mű elkészítéséhez, felállításához, működtetéséhez, végül elbontásához az üvegházhatású gázok akkora kibocsátása szükséges, amennyit az erőmű nyolchónapos működtetésével ki lehet váltani. Az ezen felüli működési időben már csökken az üvegházhatású gázok kibocsátása.

Nemzetközi helyzet

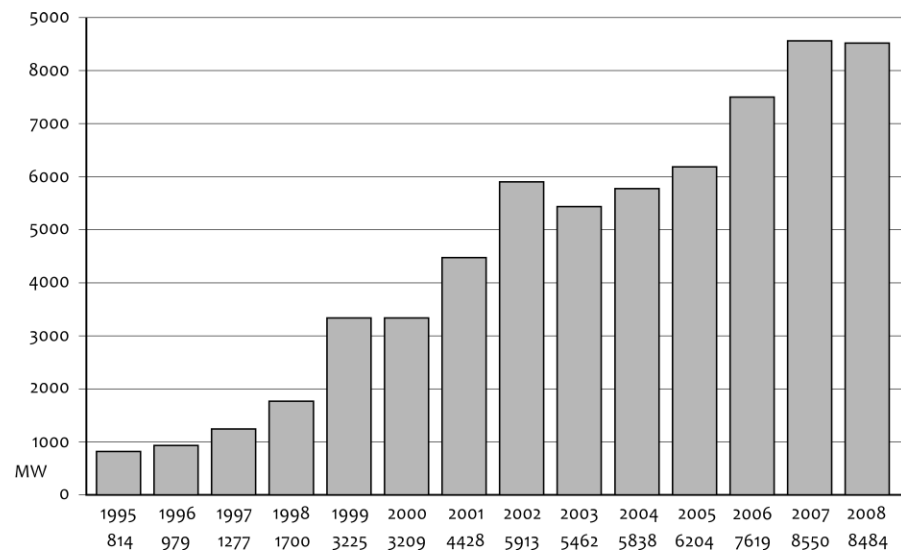
A szélenergia hasznosítása világszerte dinamikusan fejlődik. Például az USA-ban 27,2 GW a szélenergia-kapacitás (ebből 2008-ban telepített 8,4 GW), Németországié 23,9 GW



1. ábra • A világban évente beépített szélerőmű-teljesítmény MW-ban (GWEC-adat)

(ebből 2008-ban 1,7 GW), Kínáé 12,2 GW (2008-ban telepítette a felét). A világon évente üzembe helyezett kapacitást az 1. ábra mutatja, míg ugyanez Európára a 2. ábrán látható. A megújuló energiák közül 2008-ban a szélenergiából ruháztak be messze a legtöbbet a kontinensünkön (1. táblázat).

Figyelemreméltó, hogy míg néhány évvel ezelőtt az évenkénti európai telepítés többszöröse volt az észak-amerikaiak és nagyságrenddel több az ázsiaiaknál, addig 2008-ban a három kontinens lényegében hasonló teljesítményt létesített. A világ többi részében létrehozott szélerőmű-teljesítmény a fenti három



2. ábra • Évente Európában beruházott szélerőmű-teljesítmény MW-ban (Forrás: EWEA)

Az erőmű típusa	Teljesítmény (GW)
Szél	8,484
Gáz	6,932
Olaj	2,495
Szén	0,762
Víz	0,473
Biomassza	0,296
Egyéb	0,149
Nukleáris	0,060
Összesen	19,651

1. táblázat • A 2008-ban, Európában beépített erőmű-teljesítmények (Forrás: EWEA, http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/statistics/2008_wind_map.pdf, Platts Power Vision)

régióhoz viszonyítva elenyésző. Európában a fejlesztési környezetet kedvezően befolyásolja az Európai Unió döntése, amely pontos ütemterv szerint egyre nagyobb arányban kívánja az energiát megújulókból előállítani, és amely döntést Magyarországnak is figyelembe kell vennie.

A magyar helyzet

A külső feltételeknek megfelelően a hazai kapacitás is jelentősen emelkedett (3. ábra), csak 2007-ben torpant meg a fejlődés (4. ábra). A termelt villamos energia mennyisége pedig 2005 után ugrásszerűen megnövekedett (5. ábra).

A szél nagy térbeli változékonysága miatt egy átlagosan nem nagy szélességű térségben is előfordulhatnak jelentős sebességnövekedések (6. ábra). Ezért kell erőmű-telepítés esetén mindig helyi méréseket is végezni.

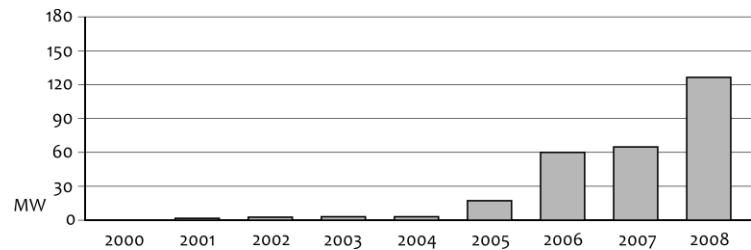
Sajnos a hazai szabályozási környezet éppen ebben az időszakban jelentősen megnehezítette a beruházásokat. Bonyolódott a szélerőművek engedélyezési eljárása (2005-

ben). Szél erőmű létesítéséhez 2 MW (védett természeti területen 200 kW) teljesítménytől kezdve kötelező a környezetvédelmi engedély. 2010-ig 330 MW-ban maximálták az előállítható szélenergia mennyiségét (2006). Ez abban az időben történt, amikor már több mint 1100 MW teljesítményre történt igénybejelentés. A korlátozás hivatalos indokaként rendszerirányítási problémát jelöltek meg. A bizonytalan gazdasági környezet jelentősen visszafoghatja a befektetői kedvet, ami a jelen adatokon (3-5. ábra) még azért nem látszik, mert az építési folyamat időigényessége miatt a most üzembe álló erőművek engedélyeztetése a fenti akadályok fellépte előtt indult el. De később ez jelentős visszaesést okozhat (Tóth, 2009). 2009-ben sikerült további 410 MW-ra pályázatot kiírni.

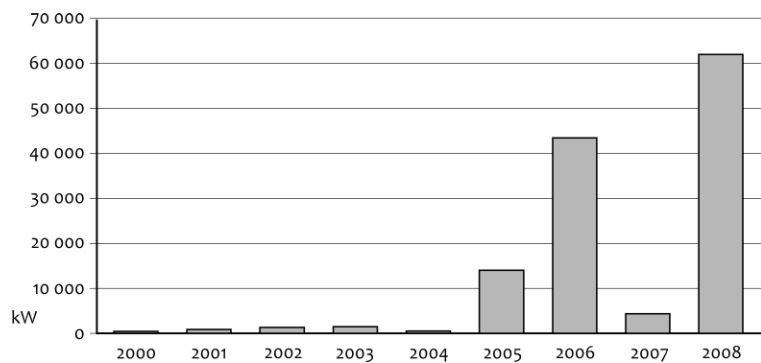
Magyarország szélklimája, a szél mint meteorológiai elem jellemzői

A szél nagyon változó meteorológiai elem. Ez érvényes irányára és nagyságára is. Magyarországon a szélesség éves átlaga 2-4 m/s között van (a felszíntől 10 m magasságban). Meg kell jegyezni, hogy a meteorológiai célú és az energetikai célú szélességmérés feltételei eltérőek. A meteorológiai szélességnek inkább nagyobb környezetre kell reprezentatívnak lennie, míg az energetikai célú inkább a lokálisan nagy szélességű helyeket keresi. Ezért van az, hogy a meteorológiai szélérésekre alapozva külön energiaszámtási módszert dolgoztak ki (a legerjedtebbet, a WAsP-módszert lásd alább). Magyarországon úgy választottak energetikai mérőhelyeket, hogy az elektromos hálózat leggyakoribb és legnagyobb kárt szenvedett helyein, oszlopokra helyeztek mérőműszereket.

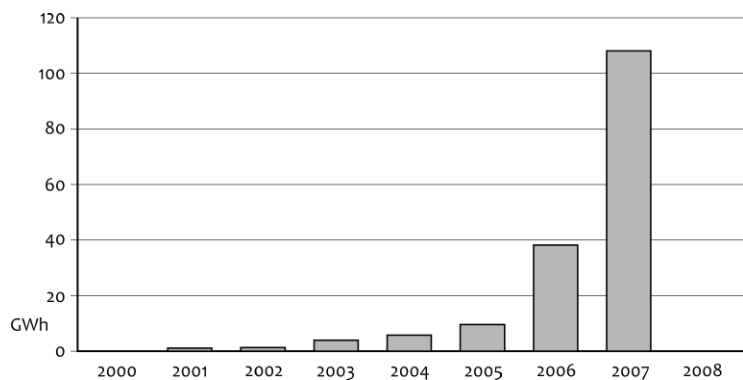
Másik probléma, hogy hosszabb idejű szélérés a felszínhez közelebb áll rendelkezé-



3. ábra • Kumulált telepített szélenergia-kapacitás Magyarországon 2008 végéig (71 erőmű, 12,7 MW 2008 végén) (Forrás: www.msztet.hu)



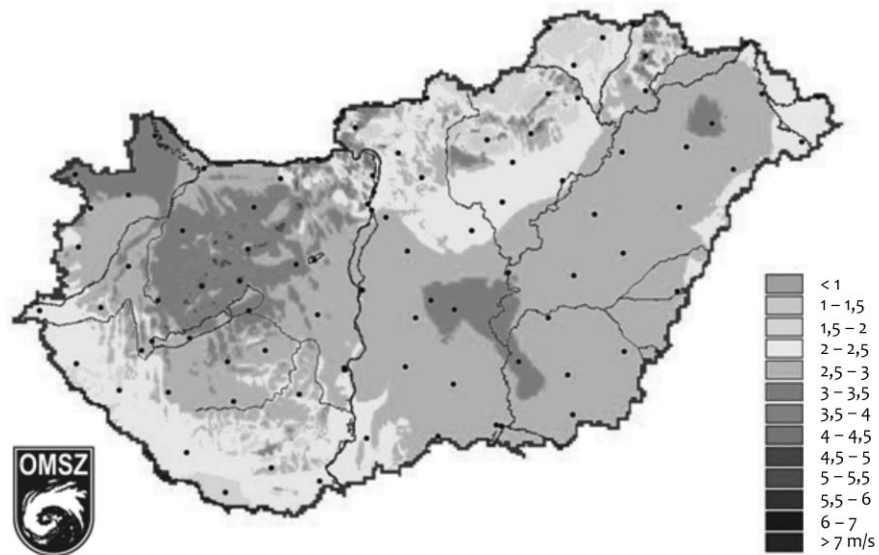
4. ábra • Évente installált szélenergia-kapacitás Magyarországon (Forrás: www.msztet.hu)



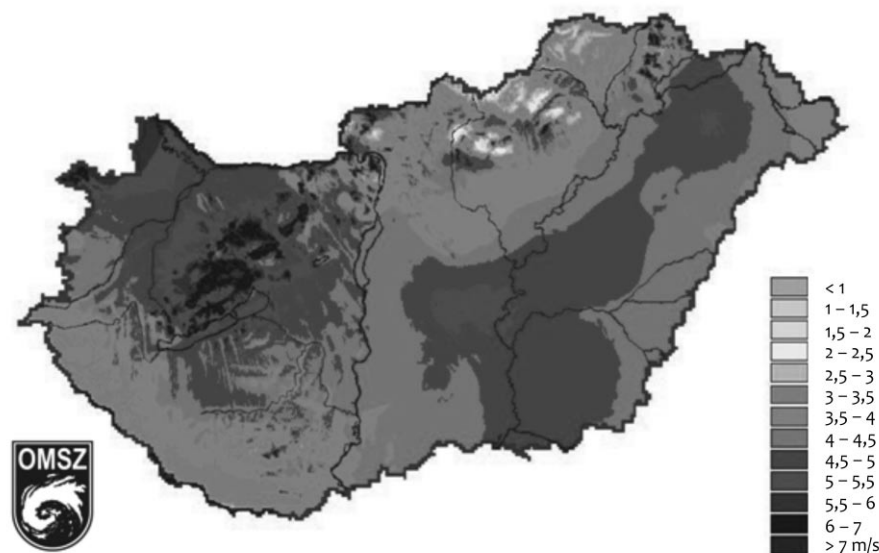
5. ábra • A szélenergia-termelés mennyisége évente, 2007 végéig (Forrás: www.msztet.hu)

sünparkok, meteorológiai állomásokon (ott a javasolt szabvány-magasság 10 m), míg általában a szélsebesség a magassággal nő. Ennek pontos meghatározása is nehézséget okozhat.

A sebesség magasságtól való függéséből kifolyólag elvileg a minél nagyobb tengelymagasság adja a nagyobb hasznot. Ám az állvány költségei és a biztonsági problémák csökken-



6. ábra • Az éves szélsebesség 10 m-en, statisztikai módszerrel interpolálva, 0,1 m érdességgel számolva (Major, 2005)



7. ábra • Az éves szélsebesség 75 m-en, statisztikai módszerrel interpolálva, 0,1 m érdességgel számolva (Major, 2005)

tésének a költségei optimalizálják az állvány-magasságot. Az aktuális nemzetközi tendenciák a nagyobb teljesítményű turbinák és magasabb tartóoszlopok irányába mozdultak el. Magyarországra általában a kb. 100 m magasság ajánlható. Egy másik hazai szempont: a szolgáltatott energia ingadozásait elkerülné, célszerű lenne megvizsgálni egy kisebb tengelymagasságú, de stabilabb szélességű (az ún. *inflexiós magasságban* elhelyezett) turbina gazdaságosságát a magasabb, de nagyobb napi termelésingadozást mutató szél-erőművekkel szemben (Tar, 2007, 2008b).

A potenciális szélenergia a szélesség köbével arányos, ezért hosszabb időszak (például egy nap) szélesség-átlagából nehéz becsülni. A rövid ideig tartó szélökések pedig a nagy tehetetlenségű turbinára nincsenek hatással. Ezért az energetikai számításokhoz a szélesség optimális időintervallumának a 10 percet szokták tekinteni.

A szél-turbinák általában 2,5–3 m/s sebességnél indulnak be, de ha a szélesség meghalad egy kritikus értéket (22–25 m/s), akkor a szél-erőművet leállítják, hogy ne károsodjon a generátor. Tehát az értékes szélességi tartomány a két érték között, de inkább a felső határhoz közel van. A szélenergia termelése szempontjából a konstans, nem túl erős szél az ideális, főleg amelyik az irányát is alig változtatja.

Számítási módszerek

Amint említettük, a meteorológiai állomások méréseiből az EU-ban elfogadott szélenergia-számítási módszer a dán Risø laboratórium által készített WAsP-modell (Wind Atlas Analysis and Application Programme). A modell szerint a regionális alapáramlást a környező domborzat, a felszín érdessége és a műtárgy körüli akadályok határozzák meg.

Mivel a meteorológiai mérések már tartalmazzák a zavaró tényezőket, így azokból ezek hatásait kiszűrve kapjuk meg az alapáramlást. A szél-erőmű tervezett helyén pedig éppen ellenkező módon, ugyanezeknek a tényezőknek az adott helyre vonatkozó értékei fogják az alapáramlást módosítani. A modell nem szélességet, hanem annak eloszlását számítja a szélirányai szerint, és egy-egy pontban irányonként adja meg a szélesség eloszlását. Ezek összege adja az egy ponthoz tartozó szélenergia-potenciált (Radics, 2004).

Egy NKTH-projekt keretében az Országos Meteorológiai Szolgálatnál (OMSZ) megkísérelték a szelet a meteorológiai állomások adataiból statisztikai módszerrel interpolálni, ami azért nagy vállalkozás, mert a lokális tényezők erősen módosítják mind a szélességet, mind a szélirányt. Ezért a térképek térbeli felbontása nem jobb, mint 0,5'×0,5', mert ez alatt már a lokális hatások miatt jelentős eltérések lehetnek (6–7. ábra).

Az OMSZ-nél azt is vizsgálták, hogy dinamikus modellszámításokból lehetne-e szélenergia-vizsgálatokat végezni. A válasz lényegében pozitív, itt azonban a felbontással még nagyobb problémák vannak. Az eredeti modellszámítás 8–10 km-es felbontású, amit különböző módszerekkel 2 km-re javítanak. Ez azonban a szél térbeli változékonyságát figyelembe véve meglehetősen durva közelítés, amire még ráakódnak a modell hibái.

Félreértésre adhat okot, hogy nagyobb időtávra számítva a sebesség eltérései kicsik. Azonban a számításoknál a harmadik hatvány miatt nem lehet nagy időátlagot használni, ami a különbségeket megnöveli. Ráadásul a hatványozás miatt irróalisan magas a szélcsend gyakorisága a szél-erőművek működési magasságára történő becslésekben, ezáltal a Hellmann-módszer rendszerint alulbecsli az

átlagos szélességet. A helyi, expedíciós jellegű mérések tehát a pontos vizsgálatokhoz elkerülhetetlenek (Dobi et al., 2006).

Ugyancsak a meteorológiai állomások szél-méréseit használják a Debreceni Egyetem Meteorológiai Tanszékén a szélenergia irány szerinti eloszlásának, napi menetének vizsgálatára, mennyiségének az időjárási helyzetektől függő becslésére. A legnagyobb energiájú szélirányok a szél-turbinák telepítésénél, a napi menetben megfigyelhető periódusok pedig a rendszerirányítás számára jelenthetnek információt (Tar, 2008a).

Magyarország szélklimájának pontosabb feltárásához mindenképpen szükség lenne szélprofilvizsgálatokra, toronymérésekkel vagy a légköri hullámok visszaverődéséből a szélességre következtető műszeres mérésekből. Ezen utóbbiakból Magyarországon expedíciós céllal a hanghullámokkal működő, ún. SODAR-t alkalmazzák (Varga et al., 2006). Toronymérésekhez a legmagasabb ilyen építmény a paksi mérőtorony, ahol a közeli atomerőmű hatása sajnos az épület felőli szegmensben megfigyelhető. Ezek az adatok azonban alkalmasak arra, hogy az ún. inflexiós magasság (ahol a szélességnek, a potenciális szélenergiának nincs szignifikáns napi menete) meghatározását szolgáló módszert kidolgozzuk, és azt a SODAR-mérésekre is alkalmazzuk. A 2000–2001. évi paksi toronymérések alapján készült a 8. ábra, amely szerint itt ebben az időszakban az inflexiós magasság 50–60 méter körül található. Más magas tornyoknál az adott torony hatását csak több szél-mérő üzemeltetésével lehetne megoldani, ami eddig még nem sikerült. E mérések pontos elvégzése több helyütt az országban alapvetően fontos lenne a hazai szélenergia-potenciál jobb meghatározásához (Tar, 2009).

A szél-erőmű-telepítésből kizárt területek

Az első magyar szél-erőmű engedélyeztetése több évig tartott. Az esztétikai és turisztikai következményekről ma is folyik a vita. Az alábbiakban felsoroljuk azokat a területeket, ahol tiltott, vagy gyakorlatilag nem engedélyeztethető nagy teljesítményű szél-erőmű:

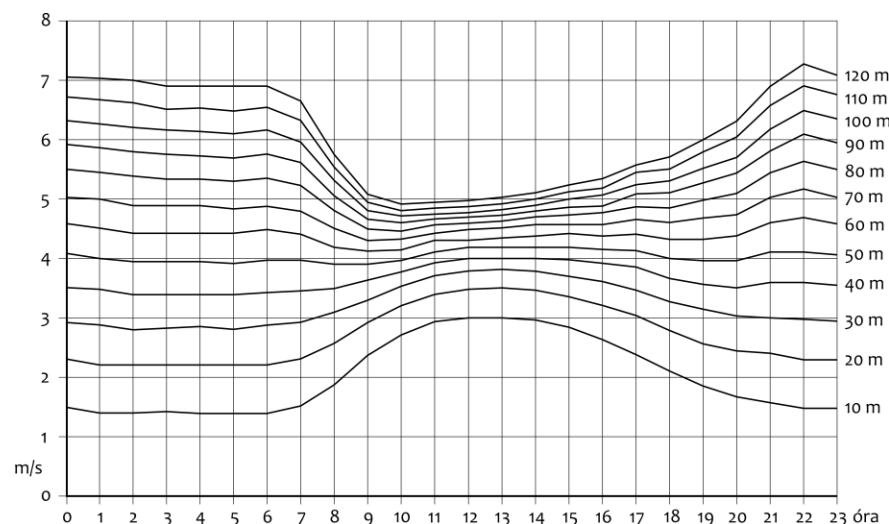
- települések belterületei,
- nagyobb tavak vízfelületei és ezek közvetlen környezete,
- nagyobb folyók és árterek,
- védett területek (nemzeti parkok, tájvédelmi körzetek, természetvédelmi területek, helyi jelentőségű területek),
- vasútvonalak és környezetük,
- közutak és környezetük,
- nagy- és középfeszültségű vezetékek közvetlen környezete,
- meredek lejtésű területek.

Ez az ország területének mintegy 60%-át kizárja a szél-erőmű-telepítésből.

Meglevő és lehetséges környezeti problémák

A szél-erőművek által okozott környezeti problémák közül általában a zaj és a madarakra való hatás az ismert. Hazánk az EU tagjaként a közösségi jogszabályokat, az ún. *Acquis Communautaire*-t, azaz a Közösségi Vívmányokat beépíti jogrendjébe, és azok végrehajtásáról gondoskodik. A szél-erőművek telepítésénél e nemzetközi, valamint a hazai jogszabályok előírásait is fokozottan érvényesíti.

Esztétikai hatás • A szél-erőmű-tornyok, amelyek közül a jelenleg telepítésre tervezettek meghaladják a 100 m-es oszlopmagasságot, művi jellegű tájelemek, amelyek a domborzati és felszínborítottsági adottságoktól is függően akár 20 km távolságból is észlelhetők, domináns tájalkotó elemekké válnak. Vizuális hatásuk megfelelő elhelyezéssel csökkent-



8. ábra • A szélesség átlagos óránkénti menete különböző magasságokban paksi toronymérések alapján (2000–2001).

hető, elviselhetővé tehető. Táj- és természetvédelmi szempontból az egyszerű, funkcionális szerkezet, a tájba illesztett, (felfelé haladva a zöldtől az égszínkébe váltó) festés felel meg a legjobban. A szerkezet kialakítása is csökkenti az érzékelt hatást. Magyarországon a szélörvényeket hosszú, csonka kúp alakú acéltornyokra szerelik, melyeket esztétikusabbnak találunk.

Felvillanás, árnyék-vibrálás hatás • Szélörvénytelepnl figyelhető meg az ún. diszkóeffektus. A napfény periodikus visszaverődése szükségessé teszi a hely gondos kiválasztását és a lapátfelületek kialakításának optimális megválasztását. Szórt fény, felhős égbolt esetén a hatás jelentéktelenné válik. A teljes mértékben előre kiszámítható hatás kiküszöbölése a szélfarm tervezésének egyik feladata (Tóth, 2009; Bíróné et al., 2009).

Zajhatás • A korai szélörvények zajosak voltak, a jelenleg működők csendesek. Az észlelt zajterhelés lehet mechanikai és aerodinamikai eredetű. A mechanikai zaj (ilyen

például a fogaskerék-áttétel és a generátor működése során keletkező hang) a modern erőművekben minimális. Az ilyen zaj csökkenthető áttétel nélküli hajtóművel, speciális áttétekkel és generátorokkal, továbbá hangszigetelő borítással.

Az aerodinamikai zajt a hajtóműről és szárnyakról leváló légáramlatok okozzák. Ez nagymértékben függ a lapátok alakjától, különösen a lefutó rész és a lapát csúcsának kialakításától, továbbá a turbina forgási sebességétől, de az áramlástechnikai zaj mérsékelhető a lapátok szögállásának változtatásával. Ez azért fontos, mert kis szélességen a kisebb háttérzaj miatt az emberek kényesebbek a szélörvény okozta zajra.

Az aero-akusztikai kutatás egyre halkabb lapátokat fejleszt a repülőgépiparból átvett anyagok használatával. A szélörvény hanghátasának térbeli változása látható a 9. ábrán (Tóth, 2007). A rotorlapátok forgása által keltett zaj a szél erősödésével fokozódik, és ezt nem mindenki tűri egyformán. A zaj a

lapátok anyagának változtatásával, halkabban működő sebességváltóval és a gondola zajszigetelésével csökkenthető.

Alacsony frekvenciás zajok • Több esetben panaszkodtak, hogy a szélörvények fejfájást, álmatlanságot, állatok esetében termelési csökkenést okoznak. Felmerült az a lehetőség, hogy a kevésbé kutatott alacsony frekvenciájú (1–5 Hz) hullámok élettani hatásairól lehet szó, de a hatások leírásánál szubjektivitás is feltételezhető. Az eddigi vizsgálatok szerint a szélörvények hallható és alacsonyfrekvenciás zaja egyaránt a megengedett küszöbérték alatt van, azonban további vizsgálatok szükségesek a jelenség kutatására (Tóth, 2007).

Jegesedés • Hazánkban kevésbé jellemző a lapátokra ráakadó jég forgáskor történő letörése, ami veszélyes a környezetre.

Ökológiai következmények (zajon kívül)

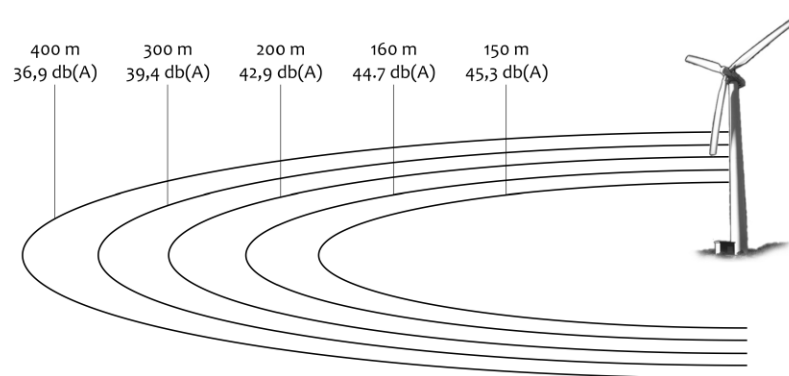
A növényvilágra való hatás a létesítés és üzemeltetés során történő pusztítás. Közvetlen fizikai kontaktus a madarakkal van. A vélemények eltérőek, vannak erősen negatívak, de akadnak pozitívak is. A madarak rotorlapátok általi elpusztítása jórészt elkerülhető, ha a szélörvényparkok létesítésekor figyelembe

veszik a madárvonulások útvonalát. Az biztos, hogy a forgó lapátok sok madár pusztulását okozták (bár érdekes módon a villanyvezetéseket nem kívánják leszereltetni, pedig a magasfeszültségű vezetékek veszélyesebbek a madarakra). Vitatott, hogy mennyire tudnak a madarak alkalmazkodni a forgó rendszerhez. Vannak megfigyelések arra nézve, hogy a madarak alkalmazkodni tudnak a szélörvényekhez. Van irodalom arról is, hogy egyes madárfajok mintha jobban szeretnék a szélörvények környezetét, mint más területeket, de ezeket a cikkeket is kritikával kell fogadni.

A szélörvények gazdaságossági kérdései

Európában 1 MW szárazföldi szélenergia átlagos befektetési igénye 1,23 M EUR (2006-ban, minden költséget beleszámítva). Ebből a turbina 76%, a hálózatra való csatlakozás 9%, az alap 7%. A többi rész a terület, az ellenőrző rendszerek stb. A szélörvények előállításának költségei hosszú távon csökkentek, kivéve az elmúlt néhány éves időszakot. Európai szinten az 1 MW feletti teljesítményű turbinák adták 2007-ben a piac több mint 95%-át.

A beruházás gazdaságosságát elsősorban a szélviszonyok és az azokból levezethető évi kihasználási tényező (óraszám) határozzák



9. ábra • Szélörvények zajhatása a hallható hangtartományban

meg. Magyarországon a kihasználási tényező átlagosan 20% körül van, ami 1600–1700 órát jelent évente. Ez az érték szelesebb, tengerparti területeken elérheti a 30%-ot, ami évente 2500 órának felel meg.

A gazdaságosságot a közgazdasági és adminisztratív környezet is erősen befolyásolja: a hitel kamatlába, a létesítmény megalkotásához és üzemeltetéséhez szükséges egyéb környezeti és adminisztratív kívánalmak.

Alapvetően eltérő a szélenergia gazdasági megítélése a vállalkozói, illetve a nemzetgazdasági szemléletmód szerint. A vállalkozói gazdaságot javítja a termelt villamos energia magas átvételi ára (a beépített támogatás mértéke), ami nemzetgazdasági szempontból nem bevételt, hanem kiadást jelent. Befolyásolják a gazdaságosságot az átvétel különböző feltételei, például az előrejelzések pontossága, az eltérések befolyása az átvételi árakra.

A közvetlen költségek mellett figyelembe kell venni az országra és a villamosenergia-rendszerre gyakorolt közvetett hatásokat is. Ezek közül a legfontosabb a szén-dioxid-kibocsátás csökkentése, amelynek a szén-dioxid-tőzsdé aktuális (jelenleg 20 EUR/t körül mozgó) áraival számított értékét jóvá lehet írni. A szén-dioxid-megtakarítás a megtermelt villamos energia mennyiségével és a kiváltott fosszilis eredetű villamos energia fajlagos kibocsátásával határozható meg. A döntően fosszilis erőművekből felépülő villamosenergia-rendszerben azonban korrekcióba kell venni a szélenergia terhelés-változásait kiegyenlítő erőmű hatásfokromlása miatti többletkibocsátást.

Közvetett előny a szélenergia létesítése és üzemeltetése révén bekövetkező munkahelyteremtés. Az Európai Szélenergetikai Szövetség (EWEA) 2008. évi becslése szerint ez Európában több mint százezer többlet-

munkahelyet jelent. Ebből száz jut Magyarországra (Gács, 2009).

Előrejelzés – a működés során előállított energia rövid távú előrejelzése

A megújuló energiák termelésében szükséges a rövid távú előrejelzés. Ez a szélenergia esetében nagyon fontos kívánalom. Jelenleg a dinamikus modelleredmények alapján viszonylag jó, de az energetikai kívánalmak nehezen megfelelő pontossággal tudjuk megmondani a termelhető energia mennyiségét. Jelentős hibát okozhat, hogy az előrejelzést (a modell szempontjából) pontszerűen kell elvégezni. Célszerű lenne a területi meghatározottság, mert így az előrejelzés pontossága ugrásszerűen javulna (Tóth, 2009).

Ismeretes, hogy átlagos napi menetét tekintve éjjel a legerősebb a szél a rotor magasságában, ami nem kedvez az energetikai kívánalmaknak (8. ábra). Az általános gyakorlat szerint a szélesség magassággal való változását a Hellmann-kitevővel írjuk le. A kitevő megválasztása jelentősen kihat az energetikai számításokra, és értéke az ország területén eltérő. Ezért mindenképpen javasolt helyi mérések elvégzése (Tar, 2009).

A szélenergetika európai jövője, hosszú távú előrejelzés

A szélenergia felhasználása még a szakemberek elgondolásait is magasán túlszárnyalta. Az EU 1997-es, a megújuló energiákról szóló *Fehér könyve* 2010-re 40 GW szélenergia előállítását tűzte ki célul. Ezt 2005-re teljesítették. A fejlődést látva, az Európai Szélenergetikai Szövetség (EWEA) már 2000-ben módosította ezt a célt 50%-kal, 60 GW-ra, majd 2003-ban újabb 25%-kal 75 GW-ra. Az EU bővülése miatt még egy változtatás vált szükségessé, így jelenleg a 2010-es cél 80 GW,

míg a 2020-as 180 GW. Ez energiatermelés szempontjából 177 TWh 2010-ben (5%) és 477 TWh 2020-ban (11,7%). 2030-ra az összenergiatermelés 21,2%-a lesz szélenergia. Ennél még nagyobb arányok is előfordulnak egyes dokumentumokban. Az eltérések oka egyrészt az, hogy a kontinens nyugati részén a fejlődés már elsősorban a kisebb turbinák nagyobbakra és magasabbra való kicserélésével történik, míg a középső és keleti területeken még sok a lehetőség új szélenergia telepítésére. Ennek a tendenciáját részben a közgazdasági mutatók, részben a technológia határozza meg. Az egyre jobban előrejelezhető, de irányíthatatlan szélenergia ugyanis nem feltétlenül ott és akkor keletkezik, ahol szükséges lenne a felhasználása. Ezt tárolással és a rendszerek egyesítésével próbálják áthidalni, de mindkettő növeli a költségeket.

Összefoglalás

A szélenergia jövőbeli szerepének meghatározásához további meteorológiai és gazdaságossági vizsgálatok szükségesek. Meteorológiai szempontból több, feladatorientált (a szélenergetikai számítási paraméterekre irányított és optimalizált) mérésre lenne szükség, míg

gazdaságosság szerint egyre több tényezőt kell bevonni a finanszírozási elemzésekbe. Ide értendők a szélenergia időbeli változékonysága okozta bizonytalanságai, illetve az ezt kiváltó más erőművek költségei is. Kívánatos lenne energetikai és meteorológiai szakemberek egyeztetése arról, hogy milyen tér- és időbeli felbontásban lehet energiaelőállítás menetrendet adni, amely még elfogadható az energetikusok számára, elég pontos az előrejelzés szempontjából, de a szélenergia előállítását jelentősen csökkentheti.

Mivel Magyarország üvegházgáz-kibocsátási és megújuló energiára vonatkozó nemzetközi vállalásai csak a szélenergia felhasználásával teljesülhetnek, mindenképpen meg kell vizsgálni az előállítható szélenergia 330 MW-ban maximált értékének kérdését, illetve megbízható politikai környezetet kell létrehozni a szélenergia-termelés számára. Ez összeköthető az utóbbi időben gyakran hangoztatott és a Parlament által egyhangúlag elfogadott Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégiával is.

Kulcsszavak: *szélenergia, megújuló energia, környezeti hatások, gazdaságosság, szélenergia-potenciál*

IRODALOM

- Bíróné Dr. Kircsi Andrea – Dr. Tóth P. – Dr. Bulla M. (2009): *A szélenergia-hasznosítás legújabb magyarországi eredményei*. Környezet és Energia Konferencia Debrecen, 2009. május 8–9.
- Dobi Ildikó (szerk.) (2006): *Magyarországi szél- és napenergia-kutatás eredményei*. OMSZ, Budapest
- Gács Iván (2009): *Gondolatok a szélenergiáról és a pénzürről*. Kézirat.
- Európai Szélenergia Társaság honlapja: www.ewea.org
- Magyar Szélenergia Társaság honlapja: www.mszt.hu
- Major György (2005): *Negyedik szakmai beszámoló a 2005. január 31. határidővel elvégzett feladatairól*. Projekt tartama 2002–2005.

- Radics Kornélia (2004): *A szélenergia hasznosításának hazai lehetőségei Magyarországon: hazánk szélklímája, a rendelkezésre álló szélenergia becslése, modellezése*. Doktori disszertáció, ELTE Meteorológiai Tsz., Bp.
- Tar Károly (2007): *Diurnal Course of Potential Wind Power with Respect to the Synoptic Situation*. Időjárás. III, 4, 261–279. (Abstract: www.met.hu)
- Tar Károly (2008a): *Energetic Characterization of Near Surface Windfield in Hungary*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 12, 250–264. DOI: 10.1016/j.rser.2006.05.007.
- Tar Károly (2008b): *Some Statistical Characteristics of Monthly Average Wind Speed at Various Heights*.

Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12., 1712–1724. DOI: 10.1016/j.rser.2007.01.14.

Tar Károly (2009): *A magyarországi szélenergia potenciál meghatározásának megoldandó problémái*. MTA Környezettudományi Elnöki Bizottság Energetika és Környezet Albizottsága részére

Tóth Péter (2007): *Szélenergia-zajemissziója*. Előadás a Széchenyi István Egyetem Környezettudományi Konferenciáján, 2007. nov. 9.

Tóth Péter (2009): *A magyarországi szélenergia-hasznosítás legújabb eredményei*. Előadás a XIV. Országos

Energiatakarékossági Konferencia és Ausztriai Energiatakarékossági Szakvásáron. Sopron, 2009. február 26–27.

Tóth Péter – Bíróné Dr. Kircsi Andrea (2009): *A szélenergia-hasznosítás környezetvédelmi és területfejlesztési összefüggései, követelményei*. Környezet és Energia Konferencia. Debrecen, 2009. május 8–9.

Varga Bálint – Németh P. – Dobi I. (2006): *Szélprofilvizsgálatok eredményeinek összefoglalása*. In: Dobi Ildikó (szerk.): *Magyarországi szél- és napenergia-kutatás eredményei*. OMSZ. 7–20.



A VÍZENERGIA-HASZNOSÍTÁS SZEREPE, HELYZETE, HATÁSAI

Szeredi István

a műszaki tudomány kandidátusa
Magyar Villamos Művek Zrt.
iszeredi@mvm.hu

Alföldi László

a földtudomány doktora,
nyugalmozott főigazgató
VITUKI

Csom Gyula

a műszaki tudomány doktora
BME Nukleáris Technikai Intézet
csom@reak.bme.hu

Mészáros Csaba

műszaki doktor
BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék
meszaros@vit.bme.hu

Bevezetés

A tanulmány a vízenergia-hasznosítás helyzetével és szerepével kapcsolatban a tények és a látható trendek számbavételére vállalkozik. Ma a vízenergia *primer energiaforrásként* a világban megújuló forrásból előállított villamos energia többségét biztosítja, *rendszer szabályozási eszközként* pedig a megújuló energia hasznosítások rendszerbe illesztésének legkiforrottabb eszköze.

Ezzel szemben a magyar gyakorlat lényegében nemlétezőként kezeli a vízenergiát. A tárgyilagos helyzettünetelés kísérlete sem mindig mentes a szélsőséges megnyilvánulásoktól. A szakma háttérbe szorult és hallgat. A tapasztalatok és ismeretek hiánya mellett vélelmek, feltételezések keverednek a bulvársajtó eszköztárával. A tények iránt a fogadókézség sem látszik biztosítottnak. A rendszerváltás után húsz évvel megengedhetetlen, hogy a hazai vízenergia kérdése kizárólag politikai ügy legyen elfogulatlan szakmai elemzés nélkül.

Elfogadhatatlan, hogy a mai magyarországi villamosenergia-fogyasztás 10–12%-át kitevő hazai vízenergia-potenciál energetikai hasznosításáról úgy mondjon le az ország, hogy e lemondást nem alapozta meg energetikai, környezeti, vízgazdálkodási, hajózási, mezőgazdasági, gazdasági, nemzetközi jogi stb. szempontokra kiterjedő, tudományos igényű, komplex vizsgálat. Az sem indokolható, hogy a megújuló forrásból termelt villamos energia részarányának előirányzott növelésében a villamosenergia-fogyasztókra és a lakosságra valószínűleg a legkisebb gazdasági terhet hárító vízenergia-hasznosítás még vizsgálat tárgyát sem képezi. A vízenergia hasznosításának kérdésében több mint fél évszázada nem készült átfogó vizsgálat, pedig a műszaki, gazdasági és környezeti feltételek megváltoztak. A megalapozott, racionális álláspont kialakításához le kellene lépni a vélelmek, feltételezések és emlékek bázisáról. *Tudományos igényű, komplex vizsgálatokra van szükség.*

A vízenergia-hasznosítás lehetséges funkciói

A vízenergia hasznosítása a leghosszabb múltú a természeti erőforrások közül. A mechanikai energia hasznosításaként már az ókorban is jelen volt, a villamosenergia-szolgáltatásnak pedig a kezdetektől fontos szereplője. A vízenergia hasznosításának a villamosenergia-rendszerben betöltött szerepe alapján két lényeges funkciója különíthető el.

Primer megújuló energiaforrásként a vízenergia az áramszolgáltatás kezdetétől villamos energia előállítására szolgál. Jellegénél fogva szerepe a villamosenergia-ellátás terén elsődleges. A ma ismert trendek alapján fontossága e tekintetben a jövőben is hasonló marad. A klímavédelmi törekvések felértékeltek a vízenergia szerepét. A vízenergia ugyanis **megújuló és tiszta energia**. A *Kiotói Nyilatkozat*, majd a johannesburgi WSSD-világtalálkozó állásfoglalása értelmében a vízenergia hasznosítását növelni kell.

Termelés- és fejlesztéstámogató eszközként a vízenergia is bekerült a villamosenergia-szolgáltatás biztonságát támogató rendszerekbe, a termelőkapacitás és a csúcsidei igények közötti differencia áthidalására. A megfelelő tározókapacitású vízerőművek a csúcsidei teljesítményigények teljesítésére használhatók. Emellett a vízerőművek és a szivattyús energiatározók a rendszerirányítás gyors reagálású, flexibilis eszközeivé váltak.

Teljesítményük szerint a vízerőművek lehetnek nagy- és kisvízerőművek. A regionális rendszerek részét képező *nagyvízerőművek* eszközül szolgálnak a termelés egészének emisszió csökkentéséhez. A *kisvízerőművek* a decentralizált villamosenergia-termelés részét alkotják, és kulcsfontosságúak sok ország vidékfejlesztésében. A víztározó léte, nagysága szerint két fő csoportra bontható meg,

Az *átfolyó vízerőművek* a vízfolyáson érkező vízhozamot visszatartás nélkül áteresztik, lényeges tározó nélkül. A *tározós vízerőművek*hez a tervezett üzeműkhöz szükséges napi, heti vagy szezonális kiegyenlítést biztosító nagyságú tározó tartozik. Ennek speciális változata a *szivattyús energiatározó*, amelynek feltöltését nem, vagy nemcsak természetes hozzáfolyás, hanem szivattyúzás biztosítja.

A víz hasznosítása primer energiaforrásként

A vízenergia a jelenleg legnagyobb mértékben hasznosított megújuló villamosenergia-forrás. Több mint 150 országban játszik meghatározó szerepet a villamosenergia-szolgáltatás terén, és ötvennél több országban a fogyasztás több mint felét a vízenergiára alapozzák.

A vízenergia hasznosítása primer energiaforrásként jelenleg a világ villamosenergia-termelésének ötöd-hatod részét teszi ki a termelés vagy a beépített teljesítmény arányában. A beépített teljesítmény 2007-ben elérte a 850 GW-ot, és a termelt villamos energia 3045 TWh volt. A jelenleg hasznosított vízenergia kevesebb mint a fele a gazdaságilag hasznosítható mennyiségnek, és kb. negyede a műszakilag hasznosíthatónak. A meglévő kapacitás és a termelés kb. fele Európában és Észak-Amerikában van. Az arányok folyamatosan változnak, főleg az Ázsiában és Dél-Amerikában épülő vízerőművek miatt.

Egyes országokban a vízenergia-hasznosítás kiemelt ütemű fejlesztésével más energiahordozók kiváltását teszik lehetővé, például Ausztria a nukleáris energiát, Norvégia pedig a földgáz villamosenergia-termelési célú használatát helyettesíti. A világ vízenergia-termelésének több mint felét öt ország (Brazília, Kanada, Kína, Oroszország, USA) végzi.

A vízerő-hasznosítás fejlődése az egyes kontinenseken és régiókban eltérő irányú, de

sok ponton azonos problémák kezelését teszi szükségessé. A nagyobb teljesítmények megvalósításánál nem kerülhető meg a folyók hasznosítására alapozott más gazdasági ágak fejlesztése, illetve az azokkal való kölcsönhatások kérdése. Az energiatermelés kiegészítéseként az árvízvédelem, az öntözés, a vízi közlekedés, a helyi infrastruktúra fejlesztése mellett a környezeti és szociális körülményekhez való illeszkedést kell biztosítani.

A nagy ütemű fejlődést jelzi, hogy egyetlen évben (2005-ben) 18 GW új vízerőműkapacitás került üzembe. A 2007. évi adatok szerint a megújuló forrásból termelt villamos energiának kb. 87%-a vízenergiából származott. Európában 2007-ben 2,4 GW teljesítményű vízerőmű állt építés alatt, tervezési fázisban pedig 11 GW-nyi. Az előbbi adatok csak a vízenergiát primer energiaforrásként hasznosító vízerőművekre vonatkoznak, és nem tartalmazzák a szivattyús energiatározókat, melyekből csak Svájcban és Ausztriában több mint 10 GW van építés, illetve tervezés stádiumában.

A belátható jövőben a vízenergia a megújuló energia hasznosításának meghatározó eleme marad. Az US Energy Information Administration (EIA) prognózisa szerint a vízenergia 2030-ig megőrzi domináns szerepét a megújuló forrásból termelt villamos energia mennyiségében, bár a jelenlegi 83%-ról 71%-ra csökken a részaránya.

Az elmúlt időszakban a vízenergia-hasznosítás volumene folyamatosan növekedett, 1980 után átlagosan évi 2,3%-kal. Az EIA prognózisa szerint a vízenergia-hasznosítás növekedési üteme hosszú távon átlagosan évi 2% lesz. Magasabb növekedési ütem a fejlődő országokban, illetve azokban az iparilag fejlett országokban várható, ahol megfelelő nagyságú hasznosítatlan vízerőforrások állnak ren-

delkezésre. A vízerő-hasznosítás feltételezett növekedése 2030-ig összesen 500 GW új teljesítmény megvalósítását teszi szükségessé, ami a termelés 1772 TWh/év ütemű növekedését eredményezi.

A vízenergia hosszú távon rendelkezésre álló energiaforrás, mert a műszakilag hasznosítható vízerőforrás legfeljebb egynegyede hasznosított. A legnagyobb készletek Ázsiában vannak, ahol a tervezett vízerőművek teljesítménye 224 GW. Afrikában 24 GW, Dél-Amerikában 65,7 GW, Észak-Amerikában 18,4 GW teljesítményű új vízerőmű létesítésével számolnak.

A vízerő-hasznosítás fejlesztésének hajtóerejét a vízerőmű-beruházás hosszú távú előnyei jelentik, közülük a következők emelhetők ki:

- A vízenergia-hasznosítás eszközei kiforrottak és sokszorosan kipróbáltak. Megvalósításuk műszaki kockázatai nem jelentősek.
- A vízerőmű üzeme gazdasági szempontból stabil, termelési költségei alacsonyak, az éves üzemeltetési költségek nem jelentősek.
- A vízerőművi villamosenergia-termelés gazdasági kockázata alacsony, az üzem független a tüzelőanyag ármozgásaitól, hosszú távú árstabilitást biztosítva.
- A létesítmények és berendezések élettartama más erőműtípusokénál hosszabb, az élettartam egyszerű eszközökkel és viszonylag olcsón megnövelhető.
- A vízenergia-hasznosítás jelentős mértékben vesz részt az üvegházhatást okozó gázok kibocsátásának csökkentésében. A vízenergia-hasznosítás megvalósítása helyi eszközöket és kivitelezést igényel, így a helyi foglalkoztatottságot javítja.
- A vízenergia tiszta, megújuló természeti erőforrás, nincs számottevő környezeti

hatása (káros emissziók esetleg egyes hasznosítási módoknál jelentkezhetnek). A vízenergia-hasznosítás jövőbeni alakulásának becslésénél két lényeges körülmény kölcsönhatását kell számításba venni: egyrészt a folyók hasznosítható vízhozamának – főként a klímaváltozás következtében történő – változását, másrészt a meglévő vízenergia-összetételének és funkcióinak változását. A várható fejlődésben dominálnak különböző politikai törekvések és gazdasági döntések is, amint azt az EU és USA klímapolitikája mutatja. Kiemelhetők az USA-ban kibontakozó nagy volumenű tervek a vízenergia primer energiaforrásként történő hasznosítására, amelyek megvalósításától az USA hétszáz ezer új munkahelyet remél. Európában alapvetően új helyzetet teremtett a vízenergia-hasznosítás területén az EU direktívája, amely szerint el kell érni, hogy a megújuló energia részaránya 2020-ig 20%-ra nőjön.

Az egyes országokra háruló megújulóenergia-fejlesztési kötelezettségek teljesítéséhez például Spanyolországban és Portugáliában nagy vízerőművek építése kezdődött el.

A bolgár és a román kormány úgy határozott, hogy kötelezettségei teljesítéséhez a bolgár–román közös Duna-szakasz vízenergia-hasznosítását használja fel. A tervezett négy vízerőmű összesen 1330 MW teljesítményű, előirányzott termelése 7,70 TWh/év. A közölt adatok szerint többcélú hasznosítási projektet terveznek, amely a vízenergia-hasznosítás mellett magában foglalja a hajózást, az árvízvédelmet, a közlekedésfejlesztést és az öntözést. A projekt megoldást kínál a hajózási feltételek megbízható, folyamatos rendelkezésre állására az EU által a VII. számú európai közlekedési folyosójává nyilvánított Északi-tenger és a Fekete-tenger közötti vízi út bolgár–román közös Duna-szakaszán.

Szerbia és Németország kormánya 2009 novemberében megállapodott a Duna szerbiai szakaszán tervezett vízerőmű-létesítés közös előkészítéséről. *E projektek megvalósulásával a Rajna–Majna–Duna vízi úton folyó hajózás megmaradó leghosszabb szűk keresztmetszetévé a Duna magyarországi szakasza válik* (a lényegesen rövidebb Bécs–Pozsony és Vilshofen–Straubing szakaszok mellett).

Az EU törekvései, a NATO stabilizációs programja és a Világbank, IFC támogatása együttesen nagyléptékű fejlesztési program elindítását eredményezték a balkáni országokban (köztük Albániában, Boszniában, Koszovóban, Macedóniában, Szerbiában).

A legnagyobb ismert európai terv a 700 km hosszú hajózási csatorna-rendszer megvalósítására irányuló Duna–Tiro–Adria projekt, amely a Rajna–Majna–Duna vízi úthoz Passaunál csatlakozva, az Északi-tengert az Adriával köti össze. A tervezett vízenergia-hasznosító kapacitás 3,5 GW, a beépített szivattyúteli teljesítmény 2 GW. A beruházást előkészítő brit cég szerint az összesen 5,5 GW szabályozó kapacitás elég öt atomerőművi nagyblokk, vagy 2500, egyenként 2 MW teljesítményű szélturbina rendszerbe integrálásához.

A vízenergia hasznosítása szabályozó teljesítményként

A villamosenergia-termelési kapacitás és az igények folyamatos egyensúlyának biztosítása és a változó nagyságú különbségek áthidalása szükségessé teszi a gyorsan mobilizálható és a villamosenergia-szolgáltatás biztonságát támogató rendszer kialakítását. E téren a műszaki és gazdasági szempontból is kedvező megoldás, a szivattyús energiatároló létesítése vált a nemzetközi gyakorlat fő irányává.

A terhelési minimumok kezeléséhez és egyéb követelmények teljesíthetőségéhez

szükséges rendszerszabályozási feladatokra alkalmas eszközök többsége a villamos energia tárolását alkalmazza. Elvileg többféle tárolási mód áll rendelkezésre. Ezek összehasonlítása a következőt mutatja:

A lehetséges erőműnagyság, a műszaki kiforrottság és a piac értékítélete szempontjából a szivattyús energiatároló bizonyult legkedvezőbbnek. Az üzemelő szivattyús energiatárolók száma világvizonylatban eléri a háromszázötvenet, a legnagyobb erőművek teljesítménye pedig a 2,5 GW-ot. A második helyre sorolható sűrített levegős energiatárolókból mindössze kettő létesült a világon, teljesítményük nem haladja meg a 200 MW-ot. Háttérbe szorulását a magas geológiai követelmények, a szabályozási lassúság, a földgázfogyasztás és a szivattyús energiatárolóhoz hasonlítható víztároló igénye egyaránt indokolják.

Az élettartam és a ciklushatásfok szempontjából ugyancsak a szivattyús energiatárolás emelhető ki. Ciklushatásfokát csak egyes akkumulátortípusok hatásfoka haladja meg, de azok megengedhető terhelési ciklusainak száma mindössze töredéke a szivattyús energiatárolónál megengedettnek. A sűrített levegős energiatárolás ciklushatásfokban és az élettartamát meghatározó terhelési ciklusok számában egyaránt elmarad a szivattyús energiatárolókétól. A rendszerszabályozási szolgáltatásokat biztosító szivattyús energiatárolók évenkénti üzem módváltásainak száma eléri a gépenkénti tíz-tizenötezeret, a teljes tárolós vízerőműveké a negyvenezretet, és ezzel az akkumulátorok csak néhány ezres élettartam alatti ciklusszáma állítható szembe.

A kiadott villamos energiára vetített egységköltség szempontjából ugyancsak a szivattyús energiatárolást tartják legkedvezőbbnek. A sűrített levegős energiatárolás egységköltségeinek szintje kb. három-négyszer, a többi

alternatíva egységköltsége egy nagyságrenddel magasabb.

A szivattyús energiatároló *részvétele a rendszerszabályozásban* a gyakorlatban szokásos és előnyösen teljesíthető funkció. A lehetséges alternatív megoldások esetében ilyen funkció nem biztosítható, vagy gyakorlata nem alakult ki. Sűrített levegős energiatároló esetében a terhelés felvételének időtartama normál esetben 8–10 perc, szükséghelyzetben 4–5 perc. A szivattyús energiatárolók felterhelési ideje viszont 10–20 másodperc közötti, egyes esetekben 6 másodperc. A terheléskövetési és terhelésváltoztatási képesség tekintetében a szivattyús energiatároló nagyságrendekkel magasabb műszaki minőséget kínál.

Meg kell azonban jegyezni, hogy kizárólag a kis terhelésű időszakban vásárolt és csúcsideben értékesített villamos energia alapján az üzem gazdasági szempontból gyenge. A villamosenergia-árprognózisok szerint a napi-heti terhelési menettrend kiegyenlítése energiavásárlással és -értékesítéssel, gazdasági szempontból gyenge szolgáltatás marad a jövőben is. Ilyen működés alapján kevés esély van finanszírozható projekt kialakítására. Az alternatív megoldások magasabb beruházási költségeik miatt még kedvezőtlenebbek. Rendszerszabályozási szolgáltatásokra az alternatív energiatárolási módok nem is képesek megfelelő feltételekkel. *Ezért önmagában az energiatárolást és a napi-heti terheléskiegyenlítést alapul véve, céltalan elvi vitának tűnik az alternatív lehetőségek bármelyikét favorizálva más megoldást keresni.*

Az utóbbi évtizedekben a szivattyús energiatároló a frekvenciaszabályozás és a gyors reagálású tartalék biztosítás hatékony eszközzé vált. Ma már a nemzetközi gyakorlatban a szivattyús energiatároló leglényegesebb funkciója a szabályozó teljesítmények bizto-

sítása a rendszer működéséhez, a folyamatos üzembiztonság megfelelő szintjéhez. Más alternatíváknál kedvezőbb dinamikai tulajdonságokkal, rövidebb mobilizálási idővel képes a rendszerszintű szolgáltatások, köztük a szekunder és perces szabályozási teljesítmények biztosítására, de számításba vehető üzemzavari tartalékként is.

A villamosenergia-piac liberalizálása, a nagyblokkos erőműépítés és a megújuló energiaforrások hasznosításának hármasszorítása felértékelte a flexibilis üzemű szivattyús energiatárolókat. Jelentős beruházások vannak folyamatban:

- Ausztriában öt új szivattyús energiatároló épül, és további öt előkészítése van folyamatban, összesen 3,6 GW teljesítőképességgel.
- Svájcban folyik a Cleuson-Dixence bővítése, elkezdődött a Nant de Drance és a Linthal II szivattyús energiatároló építése. Több mint tíz helyszínen összesen 6,27 GW szivattyús energiatároló kapacitás építése, ill. előkészítése van folyamatban.
- Litvániában folyik a Kruonis szivattyús energiatároló bővítése 1,6 GW-ra.
- Szlovéniában épül az AVCE szivattyús energiatároló, és előkészítés alatt áll egy újabb szivattyús energiatároló projekt.
- Portugáliában üzembe került a Venda Nova II, és EU-hozzájárulással épül a Baixo Sabor, előkészítés alatt van a Venda Nova III.
- Spanyolországban épül a 852 MW-os La Muela II, a 177 MW-os San Esteban II és a 400 MW-os Moralets.
- Németországban üzembe került az 1 GW-os Goldistahl, modernizálás folyik több erőműben. Épül a Vianden III.
- Lengyelországban modernizálták mind a hét szivattyús energiatárolót.

- Az USA kormánya 2009-ben nagy volumenű programot kezdeményezett szivattyús energiatárolók (az első ütemben húsznál több létesítmény) gyorsított ütemű építésére. A teljes program 31 GW új szivattyús energiatároló építését irányozta elő.
- Folytatódik a kínai, az indiai, a japán és a dél-afrikai nagy ütemű fejlesztés.

Külön említendő, hogy a többnyire földalatti szivattyús energiatárolók környezetbe illesztése terén eredményes és elfogadott módszerek alakultak ki a nemzetközi gyakorlatban. Így gyakran védett természeti területen valószínűleg meg, például a Fekete-vág az Alacsony-Tátrai Nemzeti Parkban, a Foyers a Loch Ness-tavon, az Imiachi (Imaichi), a Numappara és a Simogó (Shimogo) a Nikkó (Nikko) Nemzeti Parkban, a *Dlouhá Stráně* a Jeseník-hegység tájvédelmi körzetében és az EU hozzájárulásával jelenleg fokozottan védett természeti területen épül a Baixo Sabor Portugáliában.

A szivattyús energiatárolók létesítése és használata terén tehát világszerte gyorsuló, nagy ütemű fejlesztések vannak folyamatban. A piac értékítéletét mutatja, hogy a szivattyús energiatárolók váltak a rendszerirányítás leghatékonyabb, gyors reagálású, flexibilis eszközeivé.

Vízenergia-hasznosítás és fenntartható fejlődés

A primer energiaforrásként történő hasznosítás gazdasági feltételei • A különböző erőműtípusok beruházási és termelési költségei csak bizonyos közelítésekkel hasonlíthatók össze, mert a helyi adottságok az egyes erőműtípusokon belül is számottevő sokféleséget eredményeznek. Az utóbbi néhány év régióinkra is jellemző költségadatai a következőket mutatják:

A vízerőművek fajlagos beruházási költsége tag határok között változhat, a helyi adottságtól, a kapacitásnagyságtól, a tározó térfogatától és az infrastruktúra-fejlesztési igényektől függően. Például a Silistra és Călărăsi között, a Dunán tervezett vízerőmű fajlagos beruházási költsége 2265 EUR/kW. A régióban a koncesszió megszerzésére irányuló tenderekben szereplő Zhur kb. 700 EUR/kW.

A vízerőművek éves karbantartási és üzemanyagköltségeinek átlagos összege kisebb, mint az atomerőműveké, és sokkal kisebb, mint a gáztüzelésű erőműveké. A Nyugat-Balkán országaiiban 2009-ben vizsgált esetekben a villamosenergia-termelés önköltsége 8–10 EUR/MWh közötti volt. A termelés önköltsége alapján a vízenergia-hasznosítás hosszú távon is versenyképesnek ítéhető. Ár-előnye még egyértelműbb, ha a fosszilis energiahordozóknál figyelembe vesszük a CO₂-kibocsátás költségnövelő hatását.

A vízenergia hasznosítása megfelelő létesítési feltételek esetében az egyik legkisebb termelési költségű villamosenergia-termelési mód, a technológia egyszerűségének és a hosszú élettartamnak köszönhetően hosszú távú árstabilitást és megbízható előretervezhetőséget eredményezve. Többnyire nem támogatásigényes, képes az önfinanszírozásra.

A több mint száz év gyakorlatot maga mögött tudó vízenergia-hasznosítás jól kipróbált, alacsony kockázattal megvalósítható technológia, amely jellemzően helyi tudásra és munkaerő-használatra alapozható. A megvalósításához felhasznált helyi eszközök és munka aránya elérheti a 80%-ot, szemben más erőműtípusokkal, ahol ez az arány mindössze 20% körüli. A helyi, belföldi forrás hasznosításával erősíti az energiafüggetlenséget. A piaci értékítéletet jellemzi a meghirdet-

tett vízerőmű-létesítési koncessziók iránti magas érdeklődés.

Gazdasági szempontból kiemelhető, hogy a vízenergia-hasznosítás magában hordozza a többcélú vízhasznosítás és az infrastruktúra-fejlesztés feltételeinek megteremtését. A víztározók általában többféle feladatot látnak el az élelmiszer-termeléshez szükséges víz és az ivóvíz biztosításától kezdve a folyószabályozáson és a vízi közlekedés feltételeinek biztosításán keresztül az árvízzel szembeni biztonság növeléséig. Pozitív ökológiai hatása is lehet, mivel a duzzasztással vizet juttathatnak a vizes élőhelyekre, amire számos példa található Ausztriában és Németországban.

A szabályozó teljesítményként való használat gazdasági feltételei • A szivattyús energiatároló megvalósítása három fő üzleti modell alapján vizsgálható.

A rendszerérdekű szivattyús energiatároló megvalósításában a rendszerirányító a leginkább érdekelt, ezért az ő kezelésébe és esetleg tulajdonába kellene rendelni azt. (A mai magyar jogszabályi környezet a rendszerérdekű modell alkalmazását nem teszi lehetővé.)

A portfólióhatás kiaknázására és a villamosenergia-termelő portfólió üzemének optimalizálására szolgáló szivattyús energiatároló megvalósítására sok példa van a világon (a közeli országokban pl. a ČEZ és a Verbund szivattyús energiatárolói). A portfólióhatás kiaknázására szolgáló szivattyús energiatároló létesítését előirányozhatja egy megfelelő portfólióval rendelkező cég vagy cégcsoport.

A piaci alapon működő, független modellre példa az Egyesült Királyság First Hydro Co. cége, ahol a szivattyús energiatárolók kapacitását a piacon, illetve a spot piacon értékesítik. Az ilyen projekt megvalósítása a piaci körülményekhez igazodik. A meghatározó piaci elemek közé tartozik a csúcsidei és völgy-

idei energia ára, a rendszerszintű szolgáltatások állásának díja, a kiegyenlítő energia ára és a rendszerszintű szolgáltatások iránti igény.

A magyar villamosenergia-rendszerben a piaci alapon működő modell látszik alkalmazhatónak.

A szivattyús energiatároló létesítésének beruházási költsége a helyi adottságoktól és a kiegészítő fejlesztési igényektől függően tág határok között változhat. A jelenlegi árakon 600–950 EUR/kW közé esik a reálisan megvalósítható beruházások fajlagos költsége. Az utóbbi évtizedben megvalósított vagy elindított néhány európai szivattyús energiatároló beruházásának fajlagos költségadatai a következők: Waldeck (Németország) 714 EUR/kW, Goldisthal (Németország) 613 EUR/kW, Argess (Svájc) 833 EUR/kW, Limberg II (Ausztria) 760 EUR/kW.

Az éves üzemi és karbantartási költségek rendkívül alacsonyak, a kis területre koncentrált és többnyire nagyblokkos létesítmények üzemi költségei a vízerőművek üzemi költségeinél általában kisebbek. Szemben a vízerőművekkel, ahol a természeti erőforrás (a víz) alacsony költséggel vagy díjtalanul áll rendelkezésre, a szivattyús energiatároló éves költségeit nagyságrendileg a töltő energia beszerzésének és beszállításának költsége határozza meg. Utóbbi alapvetően függ a szivattyús energiatároló funkciójától és az adott régió villamosenergia-piaci lehetőségeitől.

A rendszerből felvett és a rendszerbe visszaadott energia mennyisége és aránya a különböző veszteségek hatására minden tárolási mód esetén más és más. A szivattyús energiatárolók terén bekövetkezett technológiai fejlődés eredményeként az új létesítmények elméleti ciklushatásfoka legalább 80%.

A szivattyús energiatárolók gazdasági értékével kapcsolatban gyakran megalapozat-

lan következtetésekre vezet az energiatárolás ciklushatásfokának helytelen értelmezése. A *ciklushatásfok értékének* meghatározása és a *hatásfok megfelelőségének* értékelése egyaránt félrevezető lehet.

A *ciklushatásfok számított elméleti értéke* általában az egy teljes feltöltési és leürítési ciklus összes veszteségét foglalja magában. A gyakorlati értékek azonban a szivattyús energiatároló tényleges használatától és az üzem prioritásaitól függenek. A meghatározó karakterisztikák többnyire nemlineárisak, és a teljes feltöltés-leürítés periodikus ismétlődése rendkívül ritkán fordul elő. A tényleges hatásfok a meghatározott időn – például egy éven – belül vásárolt és kiadott villamosenergia-mennyiség arányával jellemezhető. A *gyakorlati értékek* már az 1980-as években is 4–5%-kal magasabbak voltak a számított elméleti értékeknél.

A *ciklushatásfok megfelelőségének* objektív mérőszámát a szivattyús energiatárolóból biztosított szolgáltatás és a lehetséges alternatív megoldás költségeinek összehasonlítása eredményezheti. A rendszerszabályozás biztosítása terén a szivattyús energiatároló a meglévő és a tervezett földgázüzemű berendezésekkel versenyezhet. A rövid mobilizálási idő miatt a földgáztüzelésű blokkok folyamatosan részterheléssel üzemelve képesek a fel- és leszabályozásra. A földgáztüzelésű blokkok részterhelésű üzemének két fő gazdasági következménye: az alacsonyabb hatásfokából eredő többletköltség és a folyamatos részterhelés melletti kényszertermelés értékesítésének kereskedelmi kockázata és vesztesége.

Az előbbiek azt mutatják, hogy gazdasági szempontból nincs valós versenyhelyzet a szivattyús energiatároló és az alternatív megoldások között. Az természetesnek mondható, hogy műszaki összehasonlíthatóság sincs,

mert a szabályozási dinamika a szivattyús energiatároló esetén több nagyságrenddel jobb.

A primer energiaforrásként történő hasznosítás környezeti feltételei • Minden infrastruktúra-fejlesztés esetén elkerülhetetlenek bizonyos ökológiai hatások. A vízenergia-hasznosítás környezeti hatásainak vizsgálatánál egyrészt mérlegelni kell a helyettesítő alternatív villamosenergia-termelési módok alkalmazásának hatásait, másrészt vizsgálni kell a megvalósításból eredő ökológiai hatásokat és azok mérsékelhetőségét.

Az EU Stratégiai Környezeti Vizsgálat Irányelve (2001/42/EK irányelv) értelmében környezeti vizsgálatot kell végezni minden mezőgazdasági, erdészeti, halászati, energetikai, közlekedési, hulladékgazdálkodási, vízgazdálkodási, távközlési, idegenforgalmi, területrendezési és földhasználati tervvel és programmal kapcsolatban.

A Víz Keretirányelv (VKI) (2000/60/EK) az EU új vízpolitikájának kereteit határozza meg. A vizeket érintő minden emberi beavatkozásnak, így a vízerő-hasznosításnak is összhangban kell lennie a VKI előírásaival, amelynek fő környezeti célkitűzése a vizek jó állapotba hozása 2015-ig. Ez a felszíni vizek esetében a jó ökológiai és kémiai állapotot jelenti. A VKI természetesen nem tiltja a duzzasztóművek vagy más energetikai célú létesítmények építését, de a szigorú környezetvédelmi szempontok betartását kötelezővé teszi.

A gátak, illetve a duzzasztók lényeges emberi beavatkozást jelentenek a hidrológiai és ökológiai rendszerekbe. Ez időben és térben széles tartományban változtathatja meg az ökoszisztémák megszokott feltételeit. A vízi ökoszisztémák reakciója sokféle, a létesítmény kialakítása, működtetésének módja, a klimatikus viszonyok, a hordalékszállítási feltételek stb. függvényében.

Az utóbbi évtizedekben kiemelt figyelmet kaptak a vízenergia-hasznosítás negatív hatásai: a földterület-használat csökkenése, a faunára és flórára gyakorolt hatások, és a folyók vízjárásának változása. A vízenergia-hasznosítás terén hosszú megfigyelési időszak tapasztalatai halmozódtak fel, és a különböző szakterületek művelői kutatják a hatásokat a folyók ökológiai feltételeire, valamint a legjobb védekezési módokat a jelentkező hatásokkal szemben. Az erőfeszítések eredményeként a hatások elkerülésére vagy mérséklésére eredményes stratégiák alakultak ki.

A környezeti megfontolások beépítése a tervezésbe és az üzembe ma már többé-kevésbé standard gyakorlat, ennek ellenére éppen a sokféleség következtében előfordulhat, hogy az nem minden esetben teljesen hatékony. Összességében az új és a meglévő létesítményeknél elért eredmények környezeti javulásra vezettek. Példaként említhető a természetvédelmi területté vált néhány rendszer.

A környezeti kapcsolatok néhány szempontja és a lehetséges intézkedések:

- *A vízminőség változása a duzzasztás következtében.* Megfelelő állapotfelmeléssel a potenciális problémák előzetesen azonosíthatók, és kijelölhető a szükséges megoldás.
- *A hordalékszállítás változása és az erózió.* A hordalékkerakódás a hosszú távú működőképességet korlátozza, a duzzasztás alatti folyószakaszon pedig eróziót, a meder degradálódását eredményezheti. Ezek mérséklésére alkalmas megoldások alakultak ki.
- *Az alvизoldali hidraulikai feltételek változása.* A tervezett működéstől függően csökkentheti a biodiverzitást. Az alvизoldali ökológiai vízigény biztosításának átláthatónak kell lennie.

- *Az építés közbeni hatások.* Szervezéssel, megfelelő intézkedésekkel a minimumra kell csökkenteni az építés közbeni környezeti hatásokat. Az építést követően rehabilitációra és a fauna zavarásának mérséklésére van szükség.
- *A ritka vagy veszélyeztetett egyedek.* Ezeket azonosítani kell az építést megelőzően. Ha a változás elkerülhetetlen, a megmaradó élőhelyek védelmét biztosítani kell, akár az élőhelyek áthelyezésével.
- *A halak és a vízi fauna átjárása.* A vízi fauna átjárását a folyó mentén már a tervezés fázisában ki kell alakítani. A tömeges halvándorlás szükségessé teheti a turbinákon áthaladó halak életben maradásának biztosítását. A korszerű technológiák ehhez rendelkezésre állnak.
- *Kártevők, fertőzések.* A fertőzés lehetőségét a létesítés előtt fel kell tární, és biztosítani kell a veszély csökkentését.
- *Környezetirányítás.* Általában a vízerőművek megfelelő, auditált környezetirányítási rendszert alkalmaznak, amely effektív intézkedéseket tartalmaz az üzem során jelentkező környezeti problémákra. Az ehhez tartozó monitoring biztosítja a környezetirányítás folyamatos javulását.

Nem minden környezeti hatás szükségszerűen negatív. Ha az építés befejeződött és az állapot stabilizálódott, gyakran a természetes tavakban szokásoshoz hasonló feltételek alakulnak ki. Ez előnyös lehet a nyugodt vízi feltételekhez szokott élővilág alakulására. Különösen kedvező hatása lehet a madarakra, amint azt a kiskörei víztározón kialakult állapot bizonyítja.

Más megközelítésben a villamosenergia-termelés minden módja kiválthat negatív hatásokat. Ezért a környezeti következmények vizsgálatának az alternatív villamosener-

gia-termelési lehetőségek esetleges környezeti hatásaival való összehasonlításon kell alapulnia. Egy összehasonlító vizsgálat szerint a vízenergia hasznosításának súlyozott környezeti hatásai egy kWh villamos energiára vetítve háromszázszor kisebbek, mint a lignitből termelt villamos energia esetén, kétszázötvenszer kisebbek, mint a szén- és olajtüzelésű erőművek termelésénél, és ötvenszer kisebbek, mint a földgáztüzelésű erőműveknél.

A fosszilis üzemanyag használatán alapuló villamosenergia-termelés az ökoszisztémákat nagyszámú emisszióval terheli (CO₂, SO₂, NO_x, por, nehézfém és egyéb egészségre ártalmas anyagok). A globális felmelegedés és a szennyezések felhalmozódása az egyéb negatív hatások mellett a talaj és a víz elsavasodását okozza. Sok országban a vízenergia az egyetlen alternatíva a szénnel szemben a szennyezések elmaradása és a bioszférára gyakorolt kis hatása miatt.

A vízenergia a világ villamosenergia-szükségletének kb. 19%-át szolgáltatja, főként fosszilis tüzelőanyagú hőerőműveket szorítva ki. Az üvegházhatású gázok így elmaradt kibocsátása lényegében megegyezik a világ összes személyautója által kibocsátott szennyezés nagyságával.

A szabályozó teljesítményként történő használat környezeti feltételei • A vízenergiára megfogalmazott általános jellemzéstől eltérően a vízerőművek élővizeken okozott környezeti hatásai általában a szivattyús energiatárolók esetén nem jelentkeznek. A szivattyús energiatárolónak üzem közben saját anyagfelhasználása nincs, nem termel hulladékot, nem terheli saját emissziókkal a környezetét, és kicsi a területigénye. A környezeti elemek összességére vonatkozóan minimális környezeti hatásokkal és zavarással jár. Zárt rendszer alkalmazásával ez szűk területre

korlátozható. A környezet- és természetvédelmi követelmények általában egyszerűen teljesülnek és teljesíthetők. Az erőmű jelenléte az üzem során, különösen a földalatti elhelyezés esetén, a környezetében észrevehető. A technológia kiforrott és sokszorosan kipróbált.

Üzeme a rendszer egészének hatásfokát javítja, a rendszer erőműveiben jelentkező hatásfok-növekedés az üzemanyag-felhasználás és az emisszió csökkenését eredményezi, biztosítva a legkisebb emisszióval járó villamosenergia-termelés lehetőségét.

A szivattyús energiatároló lehetővé teszi a környezeti szempontból tiszta villamosenergia-termelés részarányának növekedését.

A vízenergia-hasznosítás hatása a fenntartható fejlődésre • Az UNESCO által létrehozott International Hydropower Association (IHA) szerint a vízenergia-hasznosítás fenntarthatóságra gyakorolt hatásának leglényegesebb tíz tényezője a következő:

- *A vízenergia megújuló energiaforrás.* A vízerő-hasznosító projekt – kis vagy nagy, átfolyó vagy tározós vízerőmű – a lefolyó víz energiáját – azt nem kimerítve – hasznosítja villamos energia előállítására.
- *A vízenergia támogatja más megújuló források hasznosítását.* A tározós vízerőművek egyedülálló üzemi rugalmasságot kínálnak, azonnal reagálva a villamosenergia-igény ingadozásaira. A vízenergiát rugalmassága és tárolókapacitása hatásos megoldássá teszi az egyéb megújuló energiaforrások (például a szél- vagy a napenergia) természeti feltételektől függően termelő üzemének támogatásában.
- *A vízenergia elősegíti az energetikai ellátás biztonságát és az árstabilitást.* A folyók vize belföldi forrás, és nem befolyásolják a piaci áringadozások. A rugalmassága és

megbízhatósága segíti a hőerőművek üzemének optimalizálását.

- *A vízenergia részt vesz a víz tárolásában.* A vízerőművek tározói összegyűjtik a csapadékvizet, ami felhasználható öntözésre vagy ivóvíz-szolgáltatásra. A víz tárolásával megvédik a vízáradó rétegeket a kimerüléstől, és mérséklik az árvizekkel és az aszályokkal szembeni sebezhetőségünket.
- *A vízenergia javítja a villamos hálózat stabilitását és biztonságát.* A vízenergiából előállított villamos energia minden más forrásnál gyorsabban kapcsolható a hálózatra. Kiemelkedően alkalmas a terhelésváltozások követésére, a rendszerszolgáltatások nyújtására, valamint a villamosenergia-termelés és -fogyasztás közötti folyamatos egyensúly biztosítására.
- *A vízenergia segíti a klímaváltozás elleni küzdelmet.* A vízerő-hasznosítás – megfelelő kialakítása esetében – az erőmű életartama alatt rendkívül kis mennyiségű üvegházhatású gázt bocsát ki a környezetbe. A gáz-, szén- és olajtüzelésű erőművek kiváltásával így csökken az üvegházhatást okozó gázok kibocsátása. A vízenergia tehát lassítja a globális felmelegedést.
- *A vízenergia csökkentheti a környezetszennyezést.* A vízerőművek nem termelnek légköri szennyezést, sem mérgező hulladékot. Gyakran a vízenergia fosszilis tüzelőanyagú villamosenergia-termelést vált ki, ezáltal csökkentve a savas eső és a szmog előfordulását.
- *A vízenergia jelentősen gyorsítja a fejlődést.* A vízerőművek létesítményei villamos energiát, utakat, ipart és kereskedelmet hoznak magukkal, ezáltal fejlesztik a gazdaságot, javítják az egészségügy és az oktatás elérhetőségét, emelik az életminőséget. A vízenergia hatalmas készletet

kínál, és pedig többnyire ott, ahol a fejlesztés leginkább szükséges.

- *A vízenergia tiszta és megfizethető erőforrás.* Az átlagosan ötven-száz év élettartamú vízerőművek hosszú távú befektetést jelentenek, több generációnak is hasznot hajtva. A vízerőművek könnyen fejleszthetők a legújabb technológia alkalmazásával. Üzemének és karbantartásának költségei nagyon alacsonyak.
- *A vízenergia a fenntartható fejlődés kulcsfontosságú eszköze.* A gazdasági szempontból életképes, környezeti szempontból megbízható és szociális szempontból felelős módon megvalósított és működtetett vízerőmű-projektek a fenntartható fejlődést szolgálják. Ez a legjobb módja a mai ember energiaigényeinek kielégítésére anélkül, hogy a jövő generációk igényeinek kielégítésében kompromisszumokra lenne szükség.

A vízenergia-hasznosítás előnyei és hátrányai

A vízenergia előnyeinek és hátrányainak mérlegét az IHA így foglalta össze (1. táblázat):

A vízenergia általános jellemzésétől eltérően a vízerőművek élővizeken okozott hatásai, hordalékmozgások általában a szivattyús energiataárolókat nem terhelik.

Az előnyök és hátrányok összevetéséből, a hátrányok mérséklésének, illetve megszüntetésének lehetőségéből kiindulva az országok döntő többsége úgy ítélte meg, hogy indokolt és lehetséges a vízenergia biztonságos és a fenntartható fejlődés követelményeivel összhangban álló hasznosítása. Természetesen bármely ország dönthet úgy is, hogy nem él a rendelkezésére álló vízenergia-potenciál hasznosításának lehetőségével. Nem térhet ki azonban a minden körülményt figyelembe

vevő, elfogulatlan komplex szakmai elemzés, és az ennek eredményeire alapozott döntésnek indoklása elől. E megállapítások Magyarországra is érvényesek.

A vízenergia-hasznosítás adottságai és feltételei Magyarországon

A primer energiaforrás hasznosításának adottságai Magyarországon • A magyarországi vízerőművek összes beépített teljesítménye kb. 50 MW, éves termelésük kb. 200 GWh (azaz kisebb, mint a jelenlegi teljes hazai villamosenergia-felhasználás 0,5%-a). A villamosenergia-szolgáltatás szempontjából szerepük nem jelentős. A nem befejezett Bős–Nagyymaros-vízerőműrendszer magyar részre jutó hányada a jelenlegi vízerőművek beépített teljesítményének kb. kilencszerese (kerekén 440 MW) lett volna.

A magyarországi vízerő-készletek a nemzetközileg jellemző adottságokhoz viszonyítva szerények. A legutolsó készletfelmérés szerint az elméleti vízerő-készlet 7446 GWh/év, amiből az 1961–65 között a műszakilag hasznosíthatónak ítélt vízerő-készletet 4590 GWh/év nagyságúra (azaz a jelenlegi teljes hazai villamosenergia-felhasználás 10–12%-ára) tették. Ez nagyságrendileg kb. 1 GW teljesítményt jelent. A vízerő-hasznosítási lehetőségek a következőkkel jellemezhetők:

A Duna vízerő-készletének hasznosítása • Magyarország vízerő-hasznosítási lehetőségeinek több mint háromnegyedét a Duna kínálja. Azonban a magyarországi Duna-szakasz jelentős része (a teljes 417 folyamkilométerről 140) közös Szlovákiával. Ezen a szakaszon a szlovák hozzájárulás nélküli vízenergia-hasznosítás eleve kizárt. A Bős–Nagyymaros-vízerőműrendszer vitás kérdéseinek megfelelő, kétoldalúan elfogadott kompromisszummal történő lezárásáig még arra sincs lehetőség,

ELŐNYÖK

Gazdasági szempontok

- Alacsony üzem- és karbantartási költség
- Hosszú élettartam (50–100 év)
- Rugalmasság biztosítása
- Kipróbált, bevált technológia
- Regionális fejlesztést ösztönöz és segít
- Magas energiahatékonyságot biztosít
- Támogat más vízhasználatokat
- Munkalehetőségeket teremt
- Üzemanyag-megtakarítást eredményez
- Az energiatárolást erősíti
- Optimalizálja a villamosenergia-termelés szerkezetét

Szociális szempontok

- Biztosítja a vizet más vízhasználatokhoz
- Növeli a környező területek árvízrel szembeni biztonságát
- Javíthatja a hajózási lehetőségeket
- Gyakran üdülési infrastruktúrát teremt
- Javítja a terület megközelíthetőségét (utak, hidak stb.)
- Építési és üzemelési munkát biztosít a helyi munkaerőnek
- Javítja az életkörülményeket

Környezeti szempontok

- Minimális üvegházhatást okozó gázt termel
- Javítja a levegőminőséget
- Nem termel hulladékot
- Lassítja a nem megújuló üzemanyagkészletek kimerülését
- Gyakran új édesvízi ökoszisztémákat hoz létre
- Növeli az ismereteket az értékes egvedek kezelése tekintetében
- Segíti a klímaváltozás lassítását
- Nem használja el és nem szennyezi a vizet a villamosenergia-termelés melléktermékével

HÁTRÁNYOK

- Hosszú megvalósítási idő
- Csapadékfüggőség
- A tározókapacitás csökkenése hordalékos helyeken
- Hosszú távú tervezést igényel
- Hosszú távú megállapodásokat igényel
- Több szakterület együttműködését igényli
- Gyakran külföldi kivitelező és finanszírozás szükséges

- Egyes helyeken áttelepítést igényel
- Korlátozhatja a hajózást
- A helyi földhasználati módok változhatnak
- A vízi eredetű járványokat ellenőrizni kell
- Vízkészlet-gazdálkodást tesz szükségessé több vízhasználó esetén
- Az érintett emberek életfeltételeit biztosítani kell

- Eláraszt szárazföldi élőhelyeket
- Megváltoztatja a vízjárást
- Megváltoztat vízi élőhelyeket
- A vízminőséget ellenőrizni kell
- Időleges változást okoz a táplálékláncban
- Az egvedek és populációk ellenőrzése szükséges
- Korlátozza a halak vándorlását
- A hordaléklerakást és -szállítását ellenőrizni kell

I. táblázat

hogyan Magyarország megkaphassa a több mint másfél évtizede üzemelő Bósi Vízerőmű termeléséből az országot megillető részt. A Dunakanyar és a déli országhatár közötti Du-

na-szakasz hasznosíthatóságát nem korlátozza más országok joga. Kötöttséget a Duna Bizottság terve jelent, melyben Adonynál és Fajsznál jelölték ki a hajózási szempontból

szükségesnek ítélt vízlépcsők helyét. (A Fajsznál esedékes duzzasztás egyébként javítaná az üzemelő Paksi Atomerőmű hűtővízellátási feltételeit, biztonságát, különösen a Duna vízhozamának időnkénti jelentősebb csökkenéseiben, és lehetővé teszi a hűtőtornyok elhagyását az atomerőmű tervezett bővítésekor.) Más helyszínek esetén a déli határon a szerb–horvát közös szakaszra átterjedő hatások jelentenek korlátot, ami csak a horvát–magyar viszony rendezése keretében kezelhető.

Példaértékű lehet az, hogy Bulgária és Románia kormánya milyen eredményt ér el a bolgár–román közös Duna-szakasz hasznosításának támogatásához az EU által a megújuló forrásból termelt villamos energiára előírt követelmény teljesítése során. A szerb–német megállapodás szerinti, koncessziós alapú Duna-hasznosítás pedig példát mutat az adott ország lakosságát gazdasági többletterekkel nem terhelő megvalósítási formára.

A Tisza vízerőművesítésének hasznosítása • A Tisza Magyarország vízerő-hasznosítási lehetőségeinek 10–15%-át teszi ki. A korábbi tervek egyrészt a víziút-paraméterek biztosításához igazodtak, ami a Kisköre alatti szakaszon jelenleg sincs meg, másrészt a Hármaskörös torkolata feletti vízhiányos szakasz öntözővízellátási gondjait próbálták enyhíteni. Gyakorlati szempontból Csongrád térségében tervezhető a vízi közlekedés fejlesztését és az öntözési vízkészlettel való gazdálkodást elősegítő vízerőmű kb. 20 MW teljesítménnyel. Távolabban a Tisza felső, Tiszalök feletti szakaszán a víziút biztosítása indokolhatja olyan létesítmény kialakítását, amit legfeljebb 10–15 MW teljesítményű vízerőmű egészíthet ki.

Egyéb hazai folyók és kisebb vízfolyások vízerőművesítésének hasznosítása • A Dráva határszakasza Magyarország vízerő-hasznosítási lehetőségeinek kb. 8%-át teszi ki. A tárgy-

ban kialakult feszültségek miatt ma nem valószínű a közös hasznosítás előtérbe kerülése. A vízerőművesítés fennmaradó részét a kisebb folyók – Maros, Hernád, Rába, Sajó, Körösök –, illetve a kisebb patakokon, folyókon elképzelhető törpe vízerőművek jelentik. Ezek megvalósításának költségintje többségükénél magas, és még a támogatási rendszerek alkalmazása esetén sincs számottevő esély a megvalósításukra.

A rendelkezésre álló vízerőművesítések primer energiaként történő hasznosításakor a lehetséges teljes termelés a jelenlegi hazai villamosenergia-fogyasztás 10–12%-át fedezheti. A vízerőművesítés országhatárt nem érintő felének hasznosítása az ország belügye, a másik fele csak a szomszédos országokkal közösen hasznosítható.

Az általános értékelés és megállapítások alapján a hazai vízenenergia-potenciál energetikai hasznosítása indokolt. A vízenenergia-hasznosítás többnyire nem támogatásigényes, így mérsékelheti a klímavédelmi célok elérésének költségintjét. Hasznosítása jelentheti a villamosenergia-fogyasztókra és a lakosságra legkisebb gazdasági terhet áthárító megoldást. Ugyanakkor a gazdaság más területein is jelentkezhetnek járulékos hasznai.

Szivattyús energiatárolók létesítési lehetőségei Magyarországon

A vízenenergia szabályozó teljesítményként való használata és a szivattyús energiatároló létesítése is évszázados múltú Magyarországon. Hazánk területén az első szivattyús energiatároló 1912-ben lépett üzembe. (Műszaki érdekesség, hogy máig a közel százéves főgépekkel működik.) A villamosenergia-rendszer fejlesztéséből eredő követelményekhez igazodva jelenleg a kötelező átvételű hőszolgáltatással kapcsolt termelés, a megújuló energia haszno-

sításának növekedése, valamint a nagyblokkos termelők megléte és belépése határozza meg a szivattyús energiatárolók létesítésének leglényegesebb követelményeit.

A megfelelő helyszín kiválasztása csak több szakterület szempontjainak együttes mérlegelésével lehet sikeres, ezért az MVM Zrt. együttműködést kezdeményezett az érintett országos hatóságokkal a kompromisszum feltárására. A legkedvezőbbnek ítélt potenciális hazai helyszínek több mint negyven lehetőség közül kerültek ki, és a több követelmény közötti kompromisszum keresése a Dunakanyar és Dél-Zemplén térségében hozhat eredményt. Ugyancsak prioritása lehet a bányák, felhagyott katonai területek igénybevétele. A legkedvezőbbnek ítélt helyszínek közül néhány: Keserű-hegy (esés: 525 m, területigény: 38 ha, fajlagos beruházási költség 2007-es árszinten: 655 EUR/kW), Sima (382 m, 85 ha, 667 EUR/kW), Hidegvölgy (214 m, 92 ha, 677 EUR/kW), Urak asztala – Visegrád (482 m, 46 ha, 749 EUR/kW), Urak asztala – Csódi-hegy (380 m, 74 ha, 791 EUR/kW). A magyarországi létesítési lehetőségeknél az adottságok és a költségint nem tér el számottevően a nemzetközi gyakorlattól.

A szivattyús energiatároló fajlagos beruházási költségei kis teljesítmények esetén magasak, és ez a beépített teljesítménynek 300 MW körül szab alsó gazdasági határt. A felső határt a piaci értékesíthetőség szabja meg. A jelenlegi igények szerint a középtávon megfelelő kapacitásnagyságra, a rendszer nagyblokkos fejlesztése és intézkedéseket igénylő volumenű megújulóenergia-hasznosítás nélkül 600 MW a felső teljesítményhatár. A rendszer nagyblokkos fejlesztéséhez, illetve a nagytömegű megújuló energiaforrás hasznosításához szükséges feltételek biztosítása a

fejlesztés második szakasza lehet. A szivattyús energiatároló létesítése szempontjából a bővíthető helyszínek perspektivikusak, két szakaszban valósítva meg az 1–1,2 GW összkapacitást.

A legkedvezőbbnek ítélt potenciális hazai telephelyek a kiegészítő vizsgálatok alapján három csoportba sorolhatók. Az első csoportba a rendszerszabályozási és tartalék-biztosítási igényeket hosszú távon biztosítani képes és támogatás (vagy lényeges támogatás) nélkül finanszírozható helyszínek tartoznak, melyek a Dunakanyarban és a Zempléni-hegységben alakíthatók ki. A második csoportba a rendszerigényeket hosszú távon biztosítani képes, de csak támogatás esetén finanszírozható helyszínek, a harmadikba pedig a rendszerigényeket hosszú távon nem biztosító, és csak bizonyos támogatás esetén finanszírozható helyszínek tartoznak.

Azoknak a lehetőségeknek kell prioritást kapniuk, amelyek a villamosenergia-fogyasztókra és a lakosságra a legkisebb gazdasági terhet jelentik, és a lehetséges termékek versenypiaci értékesítésével, támogatási igény nélkül megvalósíthatók. A gazdasági megvalósíthatóság szempontjából ezért a Dunakanyarban és Zemplénben tervezett létesítmények kaphatnak prioritást.

A vizsgálatok szerint az országhatáron túli (Szlovákia, Románia, Ukrajna) erőművek létesítési költségei a hazaiakéval azonos nagyságrendűek. A szükséges távvezeték-kapcsolatok kiépítése miatt ehhez minden esetben lényeges többletköltség járul. Önmagában a beruházási költségek nagysága alapján nem látható számottevő előnye az országhatáron kívüli megoldásnak. A jelenlegi feltételek mellett nem látszik célszerűnek az országhatáron túli szivattyús energiatároló létesítésére vonatkozó vizsgálat.

A műszaki, területfoglalási és költségadatok azt mutatják, hogy számos belföldi lehetőség megvalósítási költségei versenyképesek a külföldi projektekével, így a más országokból történő kapacitásimportnak nincsenek előnyei.

A primer energiaforrásként történő hasznosítás feltételei Magyarországon

A megújuló forrásból termelt villamos energia mennyiségének és felhasználási arányának növelésére irányuló célok elérését segítő támogatási rendszerek jelentős többletterhet rónak a magyarországi villamosenergia-fogyasztókra (beleértve a lakosságot is). Miközben a villamosenergia-piaci termelői árak kb. a felükre csökkentek, ez sem a támogatásokra, sem pedig a támogatott árakra nem hatott. A folyamatosan növekvő és a fogyasztókra áthárított terhek miatt egyes időszakokban a támogatott átvételi árak elérik vagy meghaladják a nemzetközi piac termelői árainak a négy-öttszörösét is. A támogatási spekulációk sem az etikus viselkedési formákat, sem a racionális mérlegelést nem segítik.

Ugyanakkor a támogatást nem igénylő vagy a villamos energia fogyasztóit legkevésbé terhelő lehetőségek még vizsgálat tárgyát sem képezik. A magyarországi vízenergia-készletek hasznosítása egy lehetséges nagyblokkos, koncentrált kapacitást biztosító fejlesztési opciót kínál, amely számottevő támogatás nélkül is megvalósítható. A kérdés vizsgálata több szempontból aktuális, és a meghatározó feltételei meglehetősen komplexek.

A Magyarországra háruló kötelezettségek • A 2009/28/EK irányelv szerint a megújuló energiából termelt villamos energia részarányának 2020-ig közösségi szinten el kell érnie a 20%-ot. Magyarországra ez az arány legalább 13%. Az EU által megszabott köte-

lezettség teljesítéséhez a 2148/2008. (X. 31.) számú kormányhatározat szerint 2020-ra a megújuló energia felhasználásával termelt villamos energiának el kell érnie a 9470 GWh/év értéket.

A válság hatása a kötelezettségek teljesíthetőségére • A villamos energia terén a megújuló energia hasznosításának elérendő mértékét a prognózisok szerint Magyarország várhatóan nem tudja teljesíteni. A gazdasági válság tovább rontotta a villamosenergia-ipari fejlesztések megfelelő ütemű megvalósításának esélyét. A villamos energia fogyasztásának növekedési üteme lelassult. Az energiaárak drasztikusan csökkentek, csökkent a kereslet, és ez a nagykereskedelmi árak változásában jól lemérhető. Az erőmű-beruházások vonzereje mérséklődött. Növekedett az ösztönzés a régi erőművek további üzemeltetésére. A beruházás csökkenése a megújuló források hasznosítását is érintette, a beruházók jelentős hitelnehézségekkel küzdenek. Veszélybe kerülhet az EU klímavédelmi céljainak teljesítése.

A vízenergia-hasznosítás az EU irányában vállalt kötelezettségek tükrében • A vízenergia-készlet hasznosítása az EU-tagként vállalt megújulóenergia-használati részarány eléréséhez egy koncentrált kapacitást biztosító opció, amely számottevő támogatás nélkül is megvalósítható. A rendelkezésre álló adatok alapján a Duna országhatáron belüli szakaszán (a szlovák–magyar határszakasz nélkül) lényeges támogatás nélkül is biztosítható kb. 2,0 TWh/év megújuló energia, ami kb. 5%-a a hazai villamosenergia-fogyasztásnak.

A vízerőmű-készlet-hasznosítás vizsgálatának kötelezettsége • Magyarországon a vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló tevékenységekre és létesítményekre vonatkozó 379/2007. (XII. 23.) kormány-

rendelet 62. §-a szerint a folyók vízszintszabályozásának kialakításánál minden esetben meg kell vizsgálni a vízerő-hasznosítás lehetőségét is. A rendelet 4. § (1) bekezdése szerint a vízi létesítmények tervezése során előnyben kell részesíteni a többcélú alkalmazási, hasznosítási megoldásokat.

Az állam szerepe a vízerőmű-készlet hasznosítása terén • A vízerőmű-készlet az ásványvagyonhoz hasonlóan természeti erőforrás, amely az állam tulajdonát képezi. A hasznosításához szükséges területek (például a vízfolyások medre, parti területek, hullámterek) ma általában az állam tulajdonában vannak. Nem alakult ki az állami tulajdon hasznosítására vonatkozó egységes (például koncessziós) rendszer. A jogszabályok az adott szakterületet nem is fedik le teljeskörűen. Így a bármilyen kis léptékű vízenergia-hasznosítás engedélyeztetése előtt a jogszabályokat rendezni kell. Megfelelő jogszabályok hiányában nem védhetők azok a döntések sem, melyeket esetenként a vízügyi szervezet valamelyik perifériális egysége saját hatáskörében hoz. A jogi helyzet megfelelő rendezése után a kormány megfelelő döntése nyithat teret a vízenergia hasznosításának.

Kormányzintű döntést nem (feltétlenül) igénylő hasznosítási lehetőségek • Léteznek kormányzintű döntés nélkül is megvalósíthatónak ítélt hazai vízenergia-hasznosítási lehetőségek a meglévő létesítmények kiegészítésével. A szigetközi Duna-ágrendszer vízpótlására üzembe került Dunakiliti Duzzasztómű 20–25 MW teljesítmény beépítését teszi lehetővé lényegében új építmény nélkül. Így a jelenleg átfolyó (nemzetközi egyezményben garantált mennyiségű) vízből 150–180 GWh/év villamos energia nyerhető. A Paksi Atomerőmű hűtővizének visszavezetése a Dunába 7–8 MW teljesítmény beépítését és

a jelenlegi hűtővízforgalom feltételezésével 50–55 GWh/év villamos energia visszanyerését teszi lehetővé. A Hármaskörösön kb. hetven éve üzemelő Békésszentandrási Duzzasztómű hozzávetőleg 4 MW teljesítmény beépítését teszi lehetővé lényegében új építmény nélkül. Ennek révén 12–14 GWh/év villamos energia nyerhető. A kormánydöntés nélkül is megvalósítható, gazdasági szempontból reálisnak ítélt, új környezeti hatásokat nem okozó, kiegészítő hasznosítási lehetőségek mintegy 40 MW teljesítmény beépítését és 280–320 GWh/év villamos energia termelését teszik lehetővé. Ez önmagában a jelenlegi két és félszeresére emelné a vízenergiával termelt villamos energia mennyiségét.

Szivattyús energiatároló létesítésének feltételei Magyarországon

A magyar villamosenergia-rendszer a nyugat-európai egyesített villamosenergia-rendszer (UCTE) tagja. Magyarország vállalta az együttműködés feltételeinek biztosítását. A magyar villamosenergia-rendszer tartósan nem tud megfelelni a szabályozás minőségére vonatkozó UCTE-követelményeknek. Az UCTE hierarchikus működése, a felelősség rendszerirányítók közötti megosztása miatt a magyar villamosenergia-rendszer szabályozhatóságának hiánya és romlása nemcsak belügy, hanem regionális hatású uniós probléma is.

A magyar villamosenergia-rendszerben a rendszer fejlődésére visszavezethető okokból hiányzó rendszerszabályozási kapacitás következtében a piac növekvő költségekre vezet, magas terheket hárít a fogyasztókra, anélkül, hogy a keletkező problémák hosszú távú megoldásához eszközül szolgálna. Az előregedett, szabályozási üzemre nem kialakított és nem is alkalmas, versenyképtelenül magas terme-

lési önköltségű erőművek tartalékban tartása a megnövekedett szabályozási igények mellett már nem képes a rendszerszabályozási szolgáltatások biztosítására. Szükség van olyan rugalmas üzemű nagyerőműre, amit a szabályozásra alkalmas módon alakítottak ki.

Az együttműködő villamosenergia-rendszer szabályai szerint minden villamosenergia-rendszernek önállóan kell biztosítania a fogyasztás és a termelés egyensúlyát, ezért a rendszer szabályozását a magyar villamosenergia-rendszeren belül kell megoldani. Egyes szolgáltatások, például a szekunder szabályozás, országhatáron túlról nem biztosíthatók.

A rendszerszabályozási kapacitás iránti igény sürgősségét indokolja az évenkénti 26–33 milliárd Ft rendszerszabályozási költség-növekmény. (Egyszerűsítve ez azt jelenti, hogy a megoldás egyéves késedelve hozzávetőleg 30 milliárd Ft szükségtelen és értelmetlen többletterhet, illetve veszteséget hárít a villamosenergia-fogyasztókra, anélkül, hogy az áthárított terhek magukban hordoznák a megoldás kibontakozásának lehetőségét.) A MAVIR jelentései szerint a magyar villamosenergia-rendszer a gyorsan növekvő, tetemes többletköltség ellenére sem szabályozható megfelelően.

A komplex szolgáltatást és rendszerszabályozást biztosító szivattyús energiatároló gazdasági szempontból erős és megfelelő profitot biztosító befektetés a beruházó részére, versenyképes piaci pozíció mellett. Megvalósításához nem szükséges gazdasági támogatás, ezért vonzó célpontja a szakmai és nem szakmai befektetők érdeklődésének. Lényeges és eldöntendő stratégiai kérdés, hogy a magyar villamosenergia-rendszer kulcsfontosságú irányítási eszközét a nagyfeszültségű hálózathoz hasonlóan az állam diszpozíciójában kell-e tartani.

Tárgyi tévedés, hogy új gáztüzelésű blokkok beléptetésével a rendszer szabályozásának problémái megoldódnak. A napi minimális rendszerterhelések kezelhetetlenségén az új gáztüzelésű egységek belépése nem javít. A merevvé vált rendszerből a szabályozásra használható gáztüzelésű blokkok kiszorultak. Ezek visszakерülése vagy új gáztüzelésű egységek bevonása a rendszerszabályozásba csak akkor lehetséges, ha a rendszer merevségét megfelelő szivattyús energiatároló kapacitás kiküszöböli.

Az előbbiek alapján a szivattyús energiatároló belépésével a rendszerirányító egyrészt az árak stabilizálásával, másrészt pedig a projekt megfelelő használata esetén a rendszer szintű szolgáltatások iránti igény mérséklésével csökkenti a költségeit. Összességében a villamosenergia-szolgáltatás költségeit mérsékelné, biztonságát pedig növelné – tehát a villamosenergia-fogyasztók érdekét szolgálja.

Az ország egészét érintő ellátásbiztonsági, gazdasági és a további fejlesztések előfeltételét jelentő kérdés megoldását a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium Nemzeti Parki és Tájvédelmi Főosztálya által kiadott állásfoglalás szerint az MTA *ad hoc* bizottságának megállapítása akadályozza. Az *ad hoc* bizottság a villamosenergia-rendszer működési feltételei szempontjából jelentős kérdésben úgy alakított ki álláspontot, hogy a szakmailag kompetens MVM-et sem közvetlenül, sem pedig az MVM Célcsoportnál tevékenykedő MTA-köztisztületi tagokon keresztül nem vonta be, illetve nem kérdezte meg. Az *ad hoc* bizottság állásfoglalásának megismerését a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium nem tette lehetővé.

Célszerű lenne, hogy az MTA vizsgálja felül az *ad hoc* bizottság állásfoglalását, annak létét, hatályát, az abban foglaltak megfelelő-

ségét, az MTA tényleges álláspontjával való megegyezését, és tegye meg a lépéseket az akadály kiküszöbölésére.

Összefoglalás

A vízenergia hasznosítása primer energiaforrásként világviszonylatban ma igen jelentős. Egyes országokban ez adja a villamosenergia-termelés legfontosabb alapját, és lényeges szerepet játszik a villamosenergia-rendszer szabályozásában. Felhasználása a jövőben csak növekszik.

A magyar villamosenergia-rendszerben a vízenergia szerepe jelenleg nem jelentős. A hazai vízenergiával kapcsolatos vizsgálatok két lényeges szempont köré rendelhetők: a megújuló forrásból termelt villamos energia arányának és mennyiségének növelése a vízenergia-hasznosítás fejlesztésével, illetve a villamosenergia-rendszer szabályozási problémáira megfelelően rugalmas megoldás kialakítása.

A vízerőművek és hasznosítási lehetőségek részletes felmérése legutóbb 1960–1965 között történt. A készletfelmérés óta eltelt közel fél évszázad során gyakorlatilag minden körülmény megváltozott, beleértve a műszaki, gazdasági, környezeti, jogi feltételeket. Lényegesen megváltoztak a vízenergia-hasznosítás gyakorlati megvalósításának eszközei, és a folyók vízjárása sem maradt olyan, mint amilyen ötven évvel ezelőtt tapasztalható vagy prognosztizálható volt. Az előbbiek kétségbe vonhatóvá teszik a vízenergia-hasznosítás tárgyában kialakított eddigi álláspontokat. A szakma kiszorult a véleményalkotásból. A szakmaiság helyreállítása a megbízható és komolyan vehető véleményalkotás előfeltétele. A racionális álláspont kialakításához ki kellene lépni a vélelmek, feltételezések és ma már történetinek számító emlékek köréből.

Ehhez *tudományos igényű komplex vizsgálatokra van szükség, s ha azok pozitív eredményre vezetnek – amit e tanulmány készítői valószínűsítünk –, akkor módosítani kell a korábbi elutasító döntéseket.*

A villamosenergia-rendszer üzeme által meghatározott komplex szabályozási igények kielégítése leghatékonyabban szivattyús energiatároló beléptetésével biztosítható. A szivattyús energiatároló a villamosenergia-szolgáltatás költségeit mérsékli, biztonságát növeli, tehát a villamosenergia-fogyasztók érdekét szolgálja. *Célszerű lenne, hogy az MTA felülvizsgálja a szivattyús energiatároló létesítését akadályozó ad hoc bizottsági állásfoglalást.*

A villamos energia terén elrendő, az EU-ban vállalt megújulóenergia-hasznosítási mértéket a prognózisok szerint Magyarország várhatóan nem tudja teljesíteni. A gazdasági válság tovább rontotta a villamosenergia-ipari fejlesztések megfelelő ütemű megvalósításának esélyét. A hazai vízenergia-potenciál energetikai hasznosítása indokolt. A klímavédelmi célok eléréséhez ez jelentheti a villamosenergia-fogyasztókra és a lakosságra legkisebb gazdasági terhet áthárító megoldást, és a gazdaság más területein is jelentkezőnek járulékos hasznai.

A végleges döntéseket azonban csak a lehetséges helyszínek figyelembevételével lefolytatott, tudományos igényű, részletes és komplex vizsgálatok eredményeire alapozva lehet meghozni. Minthogy az egész országot érintő kérdéstről van szó, a vizsgálatok feltételeit (beleértve a pénzügyieket is) a kormánzatnak kell biztosítania. E vizsgálatok tudományos koordinálását az MTA magára vállalhatná.

Kulcsszavak: *vízenergia, megújuló energia, szivattyús energiatároló, energiabiztonság, tiszta energia, fenntartható fejlődés*

IRODALOM

- Bartle, Alison (2008): The Role of Hydropower Continues to Increase Worldwide. In: *2008 World Atlas & Industry Guide of the International Journal of Hydropower & Dams*. Aqua-Media International, Surrey, UK
- Brown, Paul David (2006): *Evaluation of Integration of Pumped Storage Units in an Isolated Network*. FEUP, Porto
- Energy Information Administration (2009): *International Energy Outlook 2009*. U.S. Department of Energy, Washington
- Gerse Károly (2007): Miért kell tározós vízerőmű? MVM Közlemények. 1–2, 10–20.
- Giesecke, Jürgen – Mosonyi Emil (2003): *Wasserkraftanlagen, Planung, Bau und Betrieb*. Springer, Berlin–Heidelberg
- Haga, Ingvald (1999): *Coordinating Hydropower and Thermal Power*. Norwegian University of Science and Technology, Trondheim
- International Hydropower Association (2003): *The Role of Hydropower in Sustainable Development, IHA White Paper*. IHA, Sutton, Surrey, UK
- Kerényi A. Ödön (2003): Az EU és a megújuló áramtermelés. MVM Közlemények 2003/3, 40–42.
- Kundur, Prabha (1993): *Power System Stability and Control*. McGraw-Hill, New York–Toronto
- Mosonyi Emil (2007): A hazai vízgazdálkodás távlati feladatai. Javaslatok tervezési munkák megkezdésére a klímaváltozásnak és Magyarország sajátos földrajzi helyzetének figyelembevételével. MVM Közlemények. 1–2, 63–67.
- Nicolet, Christophe (2007): *Hydroacoustic Modelling and Numerical Simulation of Unsteady Operation of Hydroelectric Systems*. EPFL, Lausanne
- Országos Vízügyi Hivatal (1984): *Országos Vízgazdálkodási Keretterv*. Vízügyi Dokumentációs Szolgáltató Leányvállalat, Budapest
- Spanish Association of Renewable Energy Producers (APPA) (2000): *Environmental Impacts of the Production of Electricity. Comparative Study of Eight Technologies of Electrical Generation*. ESHA, Bruxelles
- Vuorinen, Asko (2007): *Planning of Optimal Power Systems*. Ekoenergo Oy, Helsinki–Espoo



SZEMPONTOK AZ ENERGETIKA ÉS KÖRNYEZET KAPCSOLATÁHOZ

Szarka László

az MTA doktora, tudományos igazgatóhelyettes,
MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet, Sopron
az MTA Kutatóintézeti Főosztály vezetője, MTA Titkárság
szarka.laszlo@office.mta.hu

Környezeti hatásnak az emberi tevékenység természeti következményeit nevezzük. Mivel a természeti folyamatokba való emberi beavatkozás következményei nemlineárisak és beláthatatlanul hosszú távúak, ezért a környezeti hatás helyett inkább az emberi tevékenység, a természeti folyamatokba történő beavatkozás mértéke, intenzitása becsülhető. Az emberi beavatkozás három lényeges összetevője: (1) a geo-, hidro- és atmoszféra szennyezése (amelyek közül a figyelem manapság – alighanem túlzó mértékben – a CO₂-kibocsátásra összpontosul); (2) az a terület, amit az adott energiatípus kiaknázása a természet-től elvesz; (3) a természeti erőforrások kiaknázásának mértéke, ugyanis míg az egyes energiatermelési módok a természeti folyamatokba történő emberi beavatkozás mértékét illetően specifikusak, az energiafelhasználás az energia mennyiségével arányos emberi beavatkozást: hőszennyezést és felszínátalakító munkát jelent.

Bevezetés

Az MTA Környezettudományi Elnöki Bizottság (MTA KÖTEB) Energetika és Környezet Albizottság tanulmányokat készített az ún. megújuló energiatípusok Magyarországon re-

leváns fajtáiról: a bioenergia, geotermika, szél-, víz- és napenergia helyzetéről és azok környezeti hatásairól (lásd a többi tanulmányt e cikkgyűjteményben). Az MTA KÖTEB vitáján kirajzolódott a szintézisszerű összehasonlítás igénye, és ehhez különféle (gazdasági, szociális, helyi, regionális, nemzetpolitikai, valamint európai uniós) szempontok figyelembevételét ajánlották. E komplex megközelítés helyett azonban egy jóval egyszerűbb összehasonlítást talál itt az olvasó. Az egyszerűsítésnek több indoka van. Egyfelől az egyes energiatípusokról szóló tanulmányok már a bonyolult hazai és nemzetközi feltételrendszerbe ágyazottan tárgyalják az adott energiatípus helyzetét, és ennek a sokféle – időben és térben változó – szempontnak az együttes figyelembe vétele kezelhetetlen. Másfelől azt lehet tapasztalni, hogy még az alapkérdések is tisztázatlanok. Ezért ez a tanulmány – a tényekből és a jelenlegi helyzetből kiindulva – az energiatípusok helyzetét kizárólag természettudományi nézőpontból tárgyalja.

Energetika és környezet

Globális körkép • Bio- és geoszakemberek egybehangzó véleménye szerint a legnagyobb globális probléma a Föld természeti tőkéjének

felélése. Ökológusok az ökoszisztéma-szolgáltatások fenntarthatóságát látják veszélyeztetve (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Török, 2009); a Föld Bolygó Nemzetközi Éve (2007–2009, 2008-ban ENSZ-év) szerint pedig – a felszín alatti víz és a talaj (azaz a biodiverzitás kérdéseivel szorosan összefüggő élelmiszer-ellátás), valamint egyes ásványi nyersanyagok, elsősorban a ritkaföldfémek fogyasztása mellett – az energiakérdés megoldatlansága jelenti a legnagyobb fenyegetést az emberiség számára. A lényeg ugyanaz, csak a nézőpont más.

Richard Smalley (2003) – és annak alapján Dinya László (2008, és e cikkgyűjteményben közölt tanulmánya) – szerint az emberiség előtt álló globális kihívások hierarchikus rendjében az energia áll az első, az ivóvíz a második, az élelmiszer-ellátás a harmadik, az élhető környezet pedig a negyedik helyen. A magyarázat kézenfekvő: (1) energia nélkül nincs ivóvíz (még a tengervíz sem sóatlanítható); (2) energia és víz nélkül nincs élelmiszertermelés; (3) energia, ivóvíz és élelem hiányában az egyéb környezeti kérdések értelmezhetetlenek. Hasonló érveléssel (nevezetesen az energiakérdés megoldatlanságával) indokolta a kiotói egyezmény aláírásának mellőzését Bush elnök tudomány- és technológiaügyi tanácsadója egy tudományos világkonferencián (Marburger, 2007). A biztonságos energiaellátás az európai akadémiai tudományos tanácsadó testületét is erősen foglalkoztatja (EASAC, 2009).

A világ ugyanakkor a legnagyobb környezeti problémának – a fő döntéshozók (többek között az Európai Unió) és a média nyomán – nem a várható energiahiányt (és nem is a felszín alatti víz, valamint a talaj fogyasztás), hanem az éghajlatváltozást tekinti. A megújuló, avagy közvetlen természeti energiákat

eredetileg a *sustainable development* (*développement durable, dauerhafte Entwicklung*, azaz inkább *fenntartható fejlesztés*, mint „*fejlesztés*”), azaz a fenntarthatóság követelménye állította előtérbe. Manapság azonban az indoklás az ún. „gyorsuló globális melegezés” elleni védekezés szükségességére egyszerűsödött. Míg az eredeti fenntarthatósági kérdésfeltevés korrekt, a túlzóan leegyszerűsítő megközelítés sajnálatosan elfedi a lényegi összefüggéseket. Nem is szólva arról, hogy esetleg megállhat a melegezés (Kerr, 2009), vagy netán kiderülne, hogy a földi üvegházhatás és a légkör CO₂-koncentrációja nincs is olyan szoros összefüggésben, mint ahogyan azt általánosan feltételezik.

Tény, hogy a világ – a Föld lélekszámának és a fogyasztói társadalom igényének szinte megállíthatatlan növekedése következtében – évről évre egyre több energiát igényel (bár 2008/2009 a gazdasági válság miatt megtorpanást jelez [World Energy Outlook, 2009]). A 21. század közepéig a Föld népessége elérheti a kilencmilliárd főt, ami új helyzetet alakít ki az energiafelhasználásban és a környezet védelmében. Az ismert kőolajkészletek további termelése a jelenlegi szinten mintegy negyven évre, a földgáz kb. hetven évre, a kőszén legalább kétszáz évre, a hasadóanyagok mennyisége az eddigi technológiával nyolcvan évre (új eljárásokkal azonban több ezer évre) elegendő (Desmarest, 2008). A szénhidrogén-termelés üteme tovább már nemigen fokozható, a világ elért a szénhidrogén-termelési csúcspont közelébe. Az ún. „nemkonvencionális” szénhidrogéntelepek – valamint a szénhidrogén abiotikus és mélybeli eredetéről és folyamatos utánpótlódásáról („megújulásáról”) felröppentő hírek – ellenére a szénhidrogénkészlet nagyjából felét már tényleg el fogyasztotta az emberiség.

A felteendő kérdések egyike az, hogy az ún. megújuló energiák mekkora szerepet játszhatnak a lehetséges energiaforrások között. Ha nem tudnak a mai – meglehetősen felfokozott – várakozásnak megfelelni (az Európai Unió például „tisztá, olcsó, kimeríthetetlenül rendelkezésre álló” energiát óhajt), az energiaszegénység elkerülhetetlen lesz, ha csak a tudományos-technikai fejlődés valamilyen módon – magfúzióval, vagy ma még nem látható más megoldással – meg nem oldja ezt a kérdést. Ugyanakkor az is tény, hogy a környezetszennyezés döntő része az energiatermelésből és -felhasználásból származik.

Hazai helyzet • Hazánkban a konvencionális szénhidrogén nagy részét letermelték, a nemkonvencionálisak majdnem kitermelhetősége meglehetősen bizonytalan. A szénkészletek viszonylag nagyok, de újabb hagyományos szénérőművek nyitása fokozott környezeti kockázatot (légszennyezést, CO₂-kibocsátást) jelentene. Energiaigényünk nagy részét (több mint kétharmadát) importból (nagy részt orosz gázból) fedezzük. Miközben a média szerint geotermikus és biomassza-nagyhatalom lehetnénk, az energetikusok az energiahordozó-szegénységre és kiszolgáltatottságunkra figyelmeztetnek (Reményi, 2009). Ez az ellentmondásos helyzet megköveteli a megújuló energiaforrások hazai lehetőségeinek és hatásainak átgondolását.

Az idehaza elérhető ún. „megújuló” energifajták, azaz a természeti folyamatok megcsapolt energiái között a nap- és szélenergia, a vízenergia, a geotermikus energia és a biomassza-energia veendő figyelembe. Egyéb ismert energifajta-lehetőségek Magyarországon vagy nincsenek (például tengeri árapály és hullámzás), vagy jelentéktelenek. (Elvileg létezhetnek másféle megújulók is, csupán az

energiamegmaradást sértő hipotéziseket kell kizárni.) Egyre több szó esik az ún. metanol- és hidrogéngazdaságról is. A metanol és a hidrogén az energiátárolás és -elosztás egy-egy módszere: előállításukhoz úgyszintén energia szükséges.

Az energetika alapvető összefüggéseiről Vajda György művei (Vajda, 2001, 2004, 2006, 2009) széles körű áttekintést adnak.

Célkitűzés • A Nemzetközi Energetikai Ügynökség, és ennek nyomán a kormányzatok általában az „ellátásbiztonság, gazdaságosság, környezetvédelem” hármas követelményét tekintik követendőnek. E követelmények egymásnak ellentmondók, azaz az egyik előtérbe állítása a másik kettő rovására történhet csak. Magyarország számára a lehető legtermészetesebb cél a takarékoskodás, illetve a minél nagyobb mértékű önellátás biztosítása. Ennek különböző lehetőségei vannak. Az energiával, ezen belül a fosszilis energiával való takarékoskodás eszköze a különféle megújuló energiák fokozott mértékű bevonása. A mi feladatunk pedig az, hogy összevessük a különféle energifajták lehetőségeit és lehetséges környezeti hatásait.

Ebben az összehasonlításban – a tanulmányok és a róluk folytatott viták ismeretében – összefoglaljuk a specifikus környezeti hatásokat, majd az egyes energifajták eltérő energiasűrűségének következményeit. Az energifajták környezeti szempontú összehasonlítása eddig jobbra csak az ún. klímavédelmi előírások (elsősorban a CO₂-emisszió) szempontjából történt meg (Sawin – Moomaw, 2009; Láng, 2008).

Az alapvető energetikai mértékegységek

Az összevethetőség alapfeltétele a különféle erőművi energiamennyiségek pontos értelmezése és átszámíthatósága. Köztudott, hogy az

elektromosenergia-ellátást a teljesítmény (wattóra, Wh), azaz az energia (nem csak az elektromos energia) előállításának vagy fogyasztásának az üteme (joule/másodperc, watt, W) segítségével fejezik ki. 1 watt teljesítmény másodpercenként 1 joule (J) energia keletkezésének, illetve fogyasztásának felel meg.

A W, Wh vagy esetleg a J előtti betűk (k, M, G, T, P) különféle nagyságrendeket jelölnek:

- k (kilo): ezer ($10^3=1000$)
- M (mega): millió ($10^6=1\ 000\ 000$)
- G (giga): milliárd vagy ezermillió ($10^9=1\ 000\ 000\ 000$)
- T (tera): billió, vagy milliószor millió ($10^{12}=1\ 000\ 000\ 000\ 000$)
- P (peta): billiárd vagy ezerbillió ($10^{15}=1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$)
- E (exa): trillió vagy milliószor milliószor millió ($10^{18}=1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$).

Az 1. táblázat a különféle energia- és teljesítmény-mértékegységeket hasonlítja össze.

Magyarország éves primerenergia-felhasználása kb. 1100 PJ, azaz kb. 305 TWh, illetve 26 Mtoe („millió tonna olajegyenérték”) körüli érték, teljesítményben kifejezve mintegy 35 GW. A hazai energiatermelés a felhasználásnak csupán kb. negyede. A hazai villamosenergia-termelő kapacitás 7,8 GW, amelyből az atomerőművi kapacitás 1,84 GW. Egy ház-

tartás 1–3 MWh villamos energiát fogyaszt. Néhány további energiamegnyiség: 1 Btu (British Thermal Unit) = 1055 J, 1 cal = 4184 J.

A légkörbe kibocsátott üvegházhatású gáz mennyiségét szénegyenértékben (C), esetleg CO_2 -egyenértékben adják meg. Egymillió tonna szén mennyiségének jelölése például: 1 MtC. A szén és szén-dioxid $12/(12+2\cdot 16)$ tömegarányából következik, hogy a MtCO_2 nagyjából 0,27 MtC-nek felel meg. A többi üvegházhatású gáz a CO_2 -höz viszonyított időintegrált üvegházhatása alapján veendő figyelembe. Százéves időtartományon egy molekula metán húszszorosan, egy molekula dinitrogén-oxid háromszázszorosan számítódik.

Az elektromos teljesítményt kis „e” alsó indexszel, a hőteljesítményt pedig „t” alsó indexszel szokás ellátni. A MW_e tehát elektromos, a MW_t pedig hőteljesítményt jelent.

Emberi beavatkozás és a környezeti hatás

A környezeti hatás (*environmental impact*) lényegében az emberi beavatkozás természeti következményeinek összességét jelenti. A beavatkozás mértéke és annak következményei azonban egy ilyen bonyolult rendszerben nemlineáris kapcsolatban vannak egymással, úgyhogy a beavatkozás különféle hosszú távú következményei valójában kiszámíthatatlannak. A környezeti hatás csak egy egyszerű

lineáris kapcsolat esetén lenne – úgy-ahogy – becsülhető, ezért inkább a természeti folyamatokba történő emberi beavatkozás mértékét célszerű meghatározni. A CO_2 -kibocsátás (amely a természeti folyamatok közül az üvegházhatásba való emberi beavatkozás mértékét kívánja becsülni) például egyike a lehetséges mérőszámoknak, de a víz-, talaj- és levegőszennyezés összes módozatát célszerű lenne figyelembe venni. A természeti körfolyamatból kivont energia aránya (Vajda, 2009), de a természettől elvett terület is jellemzi a beavatkozás mértékét. A fosszilis energiahordozók – a közvetlen természeti (megújuló) energiahordozókkal szemben – természeti körfolyamatban már nem vesznek részt. Intenzív kibányászásuk azonban jelentős víz-, talaj- és légszennyezéssel, CO_2 -kibocsátással jár, és természeti folyamatokat zavar meg. Megállapítható tehát, hogy végső soron mindenféle energiatermelés – óhatatlanul – beavatkozást jelent a természeti folyamatokba.

Bármilyen forrásból nyertük is, az energia – tekintet nélkül az eredetére – vagy hővé alakul, vagy átalakítja a Föld felszínét. Mark Myers (2008) szerint az ember egy nagyságrenddel több üledéket mozgat meg a Föld felszínén, mint a természeti folyamatok együtvéve. Az ember tehát nem csupán az energia-termelés különféle módjaival, de az energia felhasználásával is beavatkozik a természeti folyamatokba. Az összes emberi tevékenység közül a legnagyobb környezeti hatása minden bizonnyal az energiatermelésnek és -felhasználásnak van.

Klasszikus összehasonlítás

Az energiatermelés gazdaságossága és a környezeti hatások (azaz inkább az emberi beavatkozás) összehasonlításának becslésére több klasszikus módszer létezik. Az *összköltség* (a

beruházás + üzemeltetés + karbantartás + elbontás együttes költsége), a *nettó energianyerés* (a felhasználható és a teljes életciklus során – bányászattól a rekultivációig – ráfordított energia különbsége), az *anyagigény* (egységnyi teljesítmény előállításához szükséges anyag mennyisége), valamint mindezek az ún. belső költségeken túlmenő ún. külső (meg nem fizetett, externális) költségek jelentik a legfontosabb összehasonlítási alapot. Az egyik legrészletesebb magyar nyelvű összehasonlítás Kádár Péter (2009) munkájában található.

Összehasonlító paraméterek • *Nettó energianyerés*: ez a paraméter a felhasználható (E_f) és a ráfordított energia (E_r) különbsége. Ismereteink szerint az E_f/E_r hányados értéke gázerőművek esetén – a mai árakon – mintegy 150, a szél- és napenergia esetén mintegy 7–10. A nap- és szélenergia esetén ezért a megtérülési időt (payback time) szokták figyelembe venni, ami a technológiától függően 1–3 év között van. A fosszilis erőművek élettartama lényegesen hosszabb (40 év).

Anyagigény: 1 MW elektromos teljesítmény előállításához szélenergia esetén 460 t vas és 870 m³ beton kell, míg például atomenergia esetében egy nagyságrenddel kisebb anyagmennyiség: 40 t vas és 190 m³ beton szükséges. A vízenergiánál az anyagigény a nagyobb vízenergia esetén kedvezőbb mértéket mutat, mint a kisebbeknél, de az anyagigény a nagy vízenergia esetén is tekintélyes. Egyes megújuló energiatípusoknak korlátja lehet, hogy a hatékony működtetéshez csakis bányászattal kinyerhető különleges anyagok szükségesek (szélturbinákhoz csapágyak és tekeresmagok, napenergiahoz ugyanazok a különleges ritkaföldfémek, amelyek az informatikában is kulcsfontosságúak).

Belső és külső költségek: a megújítható energiák a konkrét (belső) költség szempontjából

	TJ/év	PJ/év	Mtoe/év	GWh/év	TWh/év	GW
1 TJ/év	1	10^3	$2,388\cdot 10^5$	0,2778	$2,778\cdot 10^4$	$3,17\cdot 10^5$ (31,7 kW)
1 PJ/év	10^3	1	$2,388\cdot 10^2$	277,8	0,2778	0,0317 (31,7 MW)
1 Mtoe/év	$4,1868\cdot 10^4$	41,868	1	11630	11,63	1,33
1 GWh/év	3,6	$3,6\cdot 10^3$	$8,6\cdot 10^5$	1	10^3	$0,114\cdot 10^3$ (114 kW)
1 TWh/év	3,600	3,6	$8,6\cdot 10^2$	1000	1	0,114 (114 MW)
1 GW	31536	31,536	0,754	8760	8,78	1

1. táblázat • Az évi energiafelhasználás mennyiségeinek összehasonlítása

nem versenyképesek a fosszilis energia költségeivel. A külső (nem megfizetett) költségek vonatkozásában a fosszilisok – környezeti károsításuk, elsősorban CO₂-kibocsátásuk révén – az EU ExternE szerint többé kerülnek. A számítások eredménye azonban ellentmondásos, mert a megújulók érdekében végzett környezeti beavatkozás nem vagy csak pozitív előjellel szerepel. Például – amint arra Kerényi A. Ödön (személyes közlés, 2009) felhívja a figyelmet – a szél erőművek beruházásánál a mai számítások nem veszik figyelembe, hogy a villamosenergia-rendszerbe beépített minden egyes kW szél erőművi kapacitáshoz kb. 0,7 kW tartalék fosszilisenergia-bázisú erőmű tartálékolására van szükség, hogy szélcsend idején pótolják a kiesést. Levonható tehát az a következtetés, hogy a külső költségek, a külső hatások bevonása a megújuló energiaforrások megítélését nem egyértelműen előnyösen befolyásolja, és minden efféle számítás eredménye meglehetősen vitatott.

Specifikus környezeti hatások • A hagyományos energiafajták környezeti hatása ismert. A megújuló energiafajták specifikus hatásai cikkgyűjteményünk öt további tanulmányában szerepelnek. A *Future Energy* című könyv (Letcher, 2008) adataival kiegészítve ezek nagyjából a következők:

Vízenergia: a vízerőmű csupán járulékos hasznosítása az egyéb okokból szükséges duzzasztásnak. Eláraszt szárazföldi élőhelyeket, megváltoztatja a vízjárást, megváltoztat vízi élőhelyeket. Minden egyes vízlépcsőterv egyedi hatástanulmányt kíván.

Geotermika: igazából „hőbányászat”: összesen mintegy 5%-ban megújuló csak. Gáz kibocsátása esetleg nagyobb lehet, mint a gáz-tüzelésű erőműveké; környezetidegen anyagok kerülnek a felszínre; vízkövesedés és felszíni vizek hőszennyezése jelentkezik; a

túlzott hővíztermelés felszíni süllyedéseket okozhat és veszélyeztetheti az ivóvízbázist; az aktív vízbesajtolás kisebb földrengéseket indukálhat; zajártalom is felléphet (különösen gőzkutaknál).

Szélenergia: zavaró a látványa (kevesebb nagy, de lassan forgó lapáttal; felszín alatti kábelezéssel, színek alkalmazásával mérsékelhető e zavaró hatás); reggel és este hosszú árnyék keletkezhet; nagy a területigény (de a szélturbinák által elfoglalt terület részlegesen – például mezőgazdasági célra – hasznosítható); aerodinamikai zajok keletkeznek (a megengedett legnagyobb zaj a legközelebbi településen 45 dB, és már a projekt megvalósítása előtt eldönthető, hogy ez tartható-e); elektromágneses interferencia jöhet létre, mivel a szélturbinák visszaveri, elnyeli az elektromágneses jeleket; madarak alkonyatkor nekirepülhetnek, és a táplálékul szolgáló élőlényeket is megzavarhatja; esetleg jegesedés is bekövetkezhet, és a jégdarabok messzire repülhetnek. A szélturbinák előállításához különleges anyag kell. Szeszélyessége energia-tározással (például könnyen szabályozható víztározókkal) mérsékelhető.

Napenergia (jelenleg napkollektor és fotoelektromos átalakítás): a napenergia kémiai energiává való átalakításának technikai feltételei még kidolgozatlanok (Papp Sándor, személyes közlés, 2009). Ritka és kellemetlen fémek (pl. kadmium) kerülnek a felszínre; hatékony fotovoltaiikus átalakítók előállításához intenzív ritkafém-bányászat szükséges. Területigénye kizárólagos. Kritikus pont a ritkaföldfém-bányászat. Komolyan felmerült, hogy ritkaföldfémeket a távoli jövőben a Holdról és a Marsról lehetne beszerezni (Hultqvist, 2003).

Biomassza: a legkisebb energiasűrűségű, következésképpen igen területigényes megújuló energiafajta. Az élet alapját hordozó

szerves anyag nélkülözhetetlen a környezeti folyamatok stabilitásának biztosításában; a biomassza-alapú energiatermelés élelmiszertől veszi el a helyet; elkerülhetetlenné teszi az intenzív kemikália-használatot; biodiverzitáscsökkenést és talajdegradációt okozhat; a kinyert energia alig több a befektetettnél; az energiafű mély gyökérzetétől nemigen lehet majd megszabadulni (Gyulai, 2006). A túlzott mértékű bioenergia-termelés környezeti hatásaira a European Energy Agency is felfigyelt (EEA Signals, 2009).

Energiasűrűség

A 2. táblázat különféle anyagok energiataralmát mutatja. Az energiahordozók többnyire nem állnak készen rendelkezésre a felhasználás helyén: összegyűjtésükhöz és a közvetlen felhasználásra alkalmassá tételükhöz is szükséges energia és anyag (a napenergia esetén például fotoelektromos átalakító, szélenergia esetén szélturbinák). A gazdaságosságot ezek költségei is nyilvánvalóan befolyásolják (János, 2009). A kis sűrűségű energiát a felhasználáshoz nagy területről kell összeszedni, ami önmagában is anyag- és energiaigényes folyamat. Kiterjedt területi energia esetén az összenergiamennyiség a távolsággal négyzetesen arányos, míg a szállítási energia a távolsággal köbösen (l. i. ábra), úgyhogy energiafajtatól függetlenül beleütközünk egy – az adott energiafajtatól függő – kritikus méretbe, amikor a felhasználható energiamennyiség pusztán a szállítás következtében elemésződik. Ha

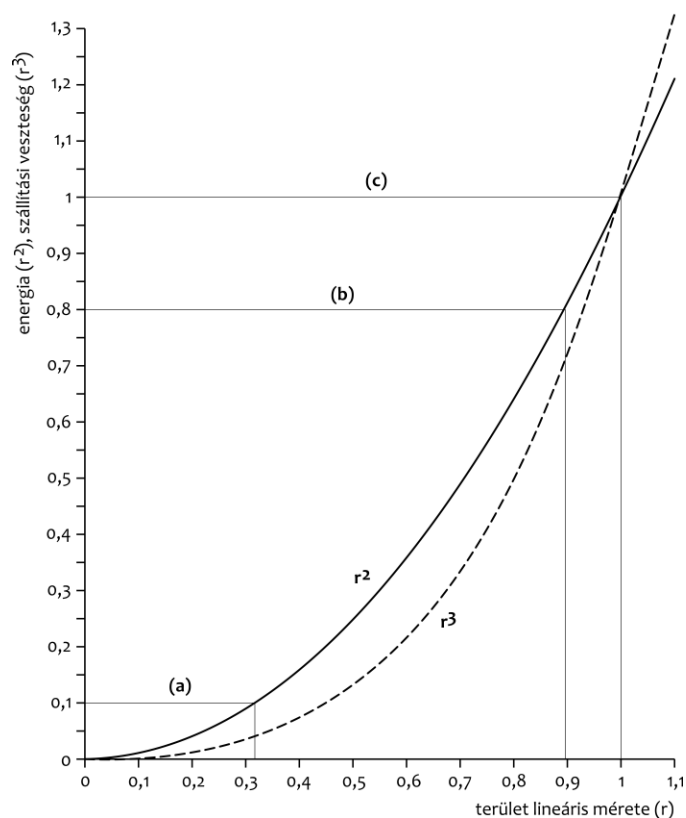
Energiahordozó anyag	Fajlagos energiataralom (MJ/kg)
tömeg-energia ekvivalencia	89 876 000 000
hidrogénfúzió	645 000 000
urán (235)	80 250 000
folyékony hidrogén	130
földgáz	50
nyers kőolaj	40
kőszén	30
metanol	20
száritott faanyag	20
lignit	15
száritott növény	15
szalma	13
nyers tűzifa	8
háztartási hulladék	8
víz, párolgáshő	2,257
víz (100–0 °C között)	0,418
víz, olvadáshő	0,334
telepek (ólomtól lítiumig)	0,1–2,5
1 kg tömeg, 100 m-ről leesve	0,001
10 m/s sebességű 1 kg tömeg	0,0005

2. táblázat • 1 kg energiahordozó anyag energiataralma (tájékoztató adatok)

egy bizonyos energiaigény kis területről is kielégíthető, a szállítási veszteség elhanyagolhatóan kicsiny (1. ábra, a eset). Ha kis energiasűrűséggel nagy energiaigényt akarunk koncentráltan kielégíteni, a veszteség meglehetősen nagy (1. ábra, b eset), mígnem elérkezünk egy olyan méretig, amely már elvileg veszteséges (1. ábra, c eset).

Magyarország egy évnyi energiaellátásához (1100 PJ-hoz, ami 35 GW folyamatos teljesítménynek, azaz $0,4 \text{ W/m}^2$ -nek felel meg) az einsteini tömeg-energia ekvivalencia

szerint évi 12 kg tömeg elég lenne, míg helyzeti energiából az évi energiaszükséglet annyi, mint amennyivel a teljes talajréteg évi másfél kilométerrel (napi 4 m-rel) lenne megemelhető az ország teljes területén (vö. a 2. táblázat első és utolsó előtti sorát). Nyilvánvaló, hogy az einsteini tömeg ún. „környezeti hatása” összemérhetetlenül kisebb, mint annak az energiatípusának, amelyik a teljes felszínre kihat. A hallatlan mértékben koncentrált energia működtetésének azonban természetesen nagyobb a hirtelen katasztrófa-kockázata.



1. ábra • A szétszórt területi energia mennyiségének (r^2) és egy pontba gyűjtésére jellemző energia (r) elvi alakulása. (a): nagy energiasűrűség, illetőleg kis energiaigény esetén a szállítási veszteség kicsiny, (b): kis energiasűrűség, illetve nagy energiaigény esetén a szállítási veszteség nagy, (c): egy bizonyos – energiaigénytől és energiasűrűségtől függő – távolságon túl a szállítási veszteség meghaladja a kinyerhető energia mennyiségét

A 3. táblázat első sora áttekintést ad arról, hogy az egyes energiatípusoktól négyzetméterenként mekkora teljesítmény várható. A második sor egy atomerőmű-blokknyi (1 GW) teljesítmény előállításához szükséges területigényt mutatja, a harmadik sor pedig azt, hogy Magyarország teljes energiaszükségletéhez mekkora területre lenne szükség az adott energiatípusból. Az adatok fő forrása: Letcher (2008). A víz- és geotermikus energia esetében az alkalmas helyek száma korlátozott, ezért a 3. táblázatban az átlagos energiasűrűség zárójelben szerepel. Az elsőként megadott szám egy igen kedvező helyen tapasztalt érték.

A 3. táblázat az adott területen elérhető bruttó energia mennyiségét mutatja. A koncentrált felhasználáshoz szükséges (ún. begyűjtési) anyag- és energiaigény nem szerepel a táblázatban. Levonható tehát a következtetés, hogy nagy energiaigény koncentrált kielégítéséhez a lehető legnagyobb energiasűrűségű anyagot érdemes előnyben részesíteni, és minél kisebb az adott energiatípus energiasűrűsége, annál inkább lokális felhasználás az ajánlott. A megújuló energiatípusok az energia kínálatot az erőművi szinten csak kis mértékben szélesíthetik. Koncentrált erőművi hasz-

nálatus mértékten erőltetése – pusztán azzal, hogy elveszik a természet elől a helyet – kifejezetten környezetkárosító.

Amennyiben a különböző energiatípusok azonos területhasználatot biztosítanak, akkor a 3. táblázat alapján a következő portfólió adódik: atom + gáz + geotermika együttese: 66,1%, szénre: 21,2%, vízenergiára: 7,4%, napenergiára: 4,5%, szélenergiára: 0,6%, bioenergia-ültetvényből származó alaperőművi energiára: 0,2%. A fosszilis erőművek részesedése (a geotermikával együtt) eszerint tehát 87,3%, a megújulóké pedig 12,7%. Figyelemreméltó, hogy a fosszilis-megújuló energiatípusok 2005-ös aránya e számítási eredményhez igen közeli értékű (87%:13%) volt.

Energetika és környezet

A természeti (fosszilis vagy megújuló) erőforrás kiaknázása érdekében befektetett teljesítménynek, az összes hő (a hulladék hő és az ún. „hasznosított”, de a természet számára ugyancsak hulladék hő) teljesítménye, a természetátalakító munka teljesítménye és a melléktermékekkel (és azok mennyiségének csökkentésével) kapcsolatos teljesítmény a természet szempontjából egyaránt emberi beavatkozást

	Víz*	Bioenergetikai ültetvény	Szél	Nap	Geotermika*
W_e/m^2 (MW_e/km^2)	13,9* (0,01)	0,4	1,2 (30% kapacitás)	7–10 (10% hatásfok)	125* (0,1)
km^2/GW	72*	2,500	770	100–150	8*
km^2 -igény Magyarország ellátásához	nincs értelmezve	87 500	26 950	3500–5300	nincs értelmezve

3. táblázat • Az egyes megújítható energiatípusok teljesítménysűrűsége, illetve területigénye a felhasználható energia előállításához (Szarka – Ádám, 2009) (A vízenergia és a geotermikus energia esetén a csillag korlátozott helyen és mértékben elérhető tapasztalati értéket jelent, a nagy területre vonatkozó zárójelben átlagértékekkel szemben.)

jelent. Ezek összege a természeti erőforrástól „elvett” teljesítmény. A szennyezés és a terület-használat mellett az ember környezetátalakító tevékenységének intenzitását energetikailag végeredményben a felhasznált természeti erőforrás teljesítménye jellemzi.

Összefoglalás

Az eredeti feladat – a különféle energiatípusok környezeti hatásának összehasonlítása – megoldhatatlan, ugyanis a környezeti hatás nem határozható meg, csakis az ember természeti folyamatokba történő beavatkozásának mértéke becsülhető valamelyest. Ez jellemezhető a (1) felszín alatti térség, a hidro- és az atmoszféra különféle szennyezésének mértékével, (2) a természettől elvett területtel, valamint (3) magával az energiatípus felhasználás mértékével.

A CO₂-kibocsátás csupán egyike a lehetséges szennyezéseknek. A területigény alapján egyértelmű, hogy egy bizonyos energiaigény kielégítéséhez a legnagyobb területi energiasűrűségű anyagot érdemes előnyben részesíteni, és minél kisebb az adott energiatípus

energiasűrűsége, annál inkább ajánlott a lokális felhasználás. Az energiatípus felhasználás pedig azért jó jellemző, mert bárhogyon állították elő az energiát, annak felhasználása pontosan ugyanazzal a környezeti hatással: hőszennyezéssel és a felszín átalakításával jár. A legjelentősebb környezetátalakító tényező az ember által termelt és felhasznált energia. A környezeti hatások mérséklésének leghatékonyabb módja ezért az energiatípus felhasználás és -termelés lehető legnagyobb mértékű visszafogása.

Az energiaigények és a lehetőségek hosszú távon fenntartható összeillesztése a jövő talán legnagyobb kihívása. Az ember természeti folyamatokra gyakorolt hatását csökkentendő, kívánatos lenne az energiaigény jelentős csökkenése, de ehhez alapvető szemléletváltás (a fogyasztói társadalom visszaszorulása) lenne szükséges. Az emberiség jövője az energiaellátás – ma még nem tudni, hogy mekkora – lehetőségeitől függ.

Kulcsszavak: *környezeti hatás, energiatermelés, energiatípus, emberi tevékenység, természet*

IRODALOM

- Desmarest, Thierry (2008): *World Energy Prospects According to Total*. IYPE Global Launch Event <http://www.yearofplanetearth.org/content/GLE/ThierryDesmarest.pdf>
- Dinya László (2008): *Biomassza-alapú fenntartható energiagazdálkodás*. Korreferátum a Magyar Tudomány ünnepén. <http://vod.niif.hu/player/index.php?q=1587/500K>
- EEA SIGNALS (2009): *If Bioenergy Goes Boom. Key Environmental Issues Facing Europe*. 1831–2772.
- EASAC (2009): *Transforming Europe's Electricity Supply – Full Report of European Academies Science Advisory Council*. <http://royalsociety.org/EASAC-Transforming-Europe-Electricity-Supply-summary/>
- Gyulai Iván (2006): *A biomassza-dilemma*. Magyar Természetvédők Szövetsége. ISBN-10: 963-86870-8-8; ISBN-13: 978-963-86870-8-1 <http://www.mtvz.hu/dynamic/biomassza-dilemma2.pdf>

- Hultqvist, Benqt (2003): *Space, Science and Me*. ESA Publications Division, European Space Agency, Noordwijk, The Netherlands
- Jánosi Imre (2009): *Megújuló energia. Számoljunk utána!* *Természet Világa*. 140, 11, 502–505.
- Kádár Péter (2009): *Erőművi technológiák összehasonlítása*. <http://www.energiaklub.hu/dl/merlin/kadarpeter.pdf>
- Kerr, Richard A. (2009): *News of the Week. Climate Change: What Happened to Global Warming? Scientists Say Just Wait a Bit*. *Science*. 326, 5949, 28–29.
- Láng István (2008): *Megújuló energiatípusok pro és kontra*. Nap-, szél-, geotermikus, bioenergia – környezet és gazdaságosság. In: Szentgyörgyi Zsuzsa (szerk.): *Tanulmányok a magyarországi energetikáról*. MTA, Budapest, 191–198.
- Letcher, Trevor M. (ed.) (2008): *Future Energy: Improved, Sustainable and Clean Options for Our Planet*. Elsevier <http://books.google.hu>

- Marburger John H. (2007): *Reflections on the Science and Policy of Energy and Climate Change*. American Geophysical Union, 2007 Fall Meeting, U15A-01 Invited
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005, <http://www.millenniumassessment.org/en/index.aspx>
- Myers, Mark (2008): *Earth Resources: Threat or Treat? Science, Society, and the Future of Earth's Resources*. IYPE Global Launch Event, http://www.yearofplanetearth.org/content/GLE/Session2_Myers.pdf
- Reményi Károly (2009): *Az energiastratégia sarokpontjai*. *Magyar Tudomány* 170, 3, 323–333.
- Sawin, Janet L. – Moomaw, William R. (2009): *A fenntartható energiaellátás jövője. A világ helyzete 2009. Úton egy melegedő világ felé*. Worldwatch Institute. Magyar változat: Föld Napja Alapítvány
- Smalley Richard E. (2003): *Top Ten Problems of Humanity for Next 50 Years*. Energy & Nano Technology Conference, Rice University, May 3, 2003.

- Szarka László – Ádám József (2009): *A megújuló energiatípusok környezeti hatásainak összehasonlíthatóságáról*. Környezet és Energia Konferencia (Debrecen, 2009. máj. 8–9.) k., ISBN 978-963-7064-20-3, 7–12.
- Török Katalin (2009): *A Föld ökológiai állapota és perspektívái*. *Magyar Tudomány*. 1, 48–53.
- Vajda György (2001): *Energiapolitika. Magyarország az ezredfordulón. Stratégiai tanulmányok a Magyar Tudományos Akadémián 2001*. MTA, Budapest
- Vajda György (2004): *Energiaellátás ma és holnap. Magyarország az ezredfordulón. Stratégiai tanulmányok a Magyar Tudományos Akadémián 2004*. MTA Társadalomtudományi Központ
- Vajda György (2006): *Energia és környezet*. *Ezredforduló*. 2, 3–7.
- Vajda György (2009): *Energia és társadalom*. MTA Társadalomkutató Központ
- World Energy Outlook 2009. http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2009/fact_sheets_WEO_2009.pdf



Tanulmány

SINA SIMON 1810 – 1876 Kétszáz éve született a magyar tudomány és kultúra görög mecénása

Fokasz Nikosz

tanszékvezető egyetemi tanár, ELTE Társadalomtudományi Kar
a Magyarországi Görögök Kutatóintézetének igazgatója
fokasznikosz@tatk.elte.hu

„Tékinetes magyar tudós Társaság!”

A tudomány hatalom; oly hatalom, mely egy részről kutatásai s találmányai által a lelketlen természet felett vív ki mind több s több győzelmet s azt mintegy adózójává teszi, más részről fényt árasztó szövétnékénél fogva, a szellemi s erkölcsi világban szintúgy szétoszlattván lassanként a tudatlanság s előítéletek ködeit, midőn az értelmet fejti, a szívet nemesíti, a Valónak megismerésére s megkedvelésére vezet, egyszersmind a társadalmi hiányokból származó bajokat is orvosolja; s eképegyént, nemzetet s végre az egész emberi nemet azon tökély s boldogságra képes emelni, melyben az Alkotó eszes teremtményeit adományai által, ha ezekkel kellően élni tudnak és akarnak, e földön részesíteni kívánta.”

Báró Sina Simon 1858. augusztus 14-én Bécsben kelt levele – amelyben 80 000 forintot ajánl fel a célból, hogy az Akadémia „saját, hozzá illő lakhelyre” tehesen szert – kezdődik a fenti sorokkal. Ajánlata az MTA

székházára szánt első, s egyben legnagyobb magánadomány volt. Ennek jelentőségét elismerve az Akadémia a bárót 1858. december 19-én igazgatósági tagjai közé választotta, élete végéig az is maradt.

Máskor is, másoknak is gyorsan és bőkezűen adott. Akkor is, ha segítségre volt szükség, például árvíz- vagy tűzkárok esetén, de még inkább akkor, ha a magyarországi gazdasági, kulturális, oktatási intézmények fejlesztése volt a cél. Pályadíjak kiírásával, találmányok jutalmazásával támogatta a hazai mezőgazdaságot. A Magyar Gazdasági Egyesületnek induláskor tízezer forintot adott, a *Gazdasági Lapok* és a *Budapesti Szemle* évekig az ő támogatásával jelenhettek meg. A Nemzeti Színházat többször is, összesen mintegy 25 ezer forint összeggel támogatta, s a színház nyugdíjintézetét is többször kisegítette adományaival. A Magyar Nemzeti Múzeum éremtárának 2000, a Nemzeti Casinónak 6000 forintot adott. Fölkarolta a Képzőművészeti Főiskola ügyét, 2000 forinttal támo-

gatta a lipótvárosi Bazilika építését, 3000, illetve 1000 forintot adott barátai, Eötvös József és Deák Ferenc emlékművére, valamint 3000 forintot Széchenyi István kéziratának megvásárlására. Nem kétséges, hogy Sina Simonban a tizenkilencedik század egyik legnagyobb kultúra- és tudománytámogató mecénását tisztelhetjük. Becslések szerint Ausztria és Magyarország területén adományai meghaladták a félmillió forintot.

A hatalmas vagyon, amely a Habsburg-birodalom leggazdagabb főurai közé emelte, többgenerációs családi kereskedelmi tevékenység eredményeként, ezen belül is azonban döntően az édesapa, báró Sina György (1782–1856) kiemelkedő üzleti képességeinek köszönhetően jött létre.

Sina György bécsi székhelyű kereskedőként kezdte. Legfőbb terméke a gyapot volt, amelyet döntően az Oszmán Birodalomnak Makedóniaként ismert régiójából szerzett be, de forrásai egészen Indiáig is elértek. Ezzel a gyapottal látta el Ausztria és Európa textilmanufaktúráit, termékeiket pedig az Oszmán Birodalomban értékesítette. Második legfontosabb kereskedelmi terméke a Makedóniában és Kis-Ázsiában beszerzett dohány volt. A források elégtelensége, és a helyi termelés megerősítése, minőségének feljavítása érdekében új dohányfajtákat honosított meg Szeged környéki dohányültetvényein.

Egyre kiterjedtebb kereskedelmi tevékenysége mellett fokozatosan részt vállalt az ipari termelésben is. Ausztriában egy textilmanufaktúrát modern, angol technológiájú textilüzemé alakított át, részesedést szerzett a papírgyártásban, s nagyszabású elképzelései voltak a közlekedés, szállítás modernizálása terén. A vasút jóvoltából ugyanis valósággá válhatott azoknak a szárazföldi térségeknek a bekapcsolása a világpiac áramába, amelyek

addig tengeri kijárási híján, a rendkívül magas szárazföldi szállítási költségek miatt el voltak zárva attól. Sina György egy Bécsből Sopron és Győr érintésével Triesztig nyúló vasúthálózat kiépítésének tervével állt elő.

A Duna hasznosítására 1829-ben megalapítják az első Duna Gőzhajózási Társaságot, amelynek tőkéjét Sina György adja. A társaság első gőzhajója I. Ferenc császár nevét kapja, a másodikat Argónak keresztelik. Ötven gőzhajójuk Bécsből és Budapestről fut ki Zimony, Galac, Várna, Trapezunt, Tesszalóniki, Szmirna, Rodosz, Szíria és Alexandria felé.

Tulajdonképpen közlekedési infrastruktúrális vállalkozásnak tekinthető a Lánchíd építésében való részvétele is. Kétségtelen, hogy a Lánchíd napjainkra a Magyarországot reprezentáló legfontosabb tárgyi szimbólumok egyikévé vált. Ismert, hogy az ötlet Széchenyi Istvántól származik, a megvalósítás pénzügyi feltételeinek megteremtésében azonban a kezdetektől kiemelkedő szerep jutott Sina Györgynek. Nem véletlen, hogy a Lánchíd részvényein az állt: „Alapítá br. Sina György”. Mindezek mellett Sina György a Monarchia legnagyobb földbirtokosává, a Sina-bankház révén pedig egyik legbefolyásosabb pénzügyi befektetőjévé, az osztrák kormány hitelezőjévé vált.

Kétségtelen, hogy ezt a sokszínű és hatalmas vállalkozást Sina György hozta létre, de ő sem a nulláról indult. A család első bécsi letelepült tagja idősebb Sina Simon volt, akinek vagyona, vállalkozásának léptéke meg sem közelíti az őt követő generációét, de a családot mégiscsak ő emelte be a magyar arisztokrácia soraiba. 1818-ban ő és fia bárói címet kapott.

Idősebb Sina Simon, mint annyi más a Habsburg Birodalomban akkoriban tevékenykedő kereskedő, török alattvaló volt. E török alattvalók legnépesebb csoportját a

„görögök” tették ki, ahol a *görög* elnevezés nyelvi-népi sokszínűséggel együtt járó vallási kategóriát jelölt. E görögök túlnyomórészt a mai Görögország északnyugati határát övező régióból származtak, bár egy más eredetű bevándorló hálózat révén Tesszaliából, sőt a Kis-Ázsia közvetlen szomszédságában fekvő Khiosz szigetéről is érkeztek Bécsbe. Egy részüket „cincár” vagy „makedovlah” néven emlegették. Ők eredetileg vlahok, balkáni oláhok voltak, akik a görögkeleti egyház befolyására, illetve az általuk úzított kereskedőtevékenység szükségletei miatt áttértek a görög nyelv használatára. A cincárok szülőföldjének legfontosabb települése a mai Albániához tartozó Moscopolis volt, ahonnan a Sina-család is származott. A hatvanezer lakosú Moscopolis a 18. században fontos állomása a Konstantinápolyt Velencével, később pedig Béccsel összekötő fő kereskedelmi útvonalnak. A Balkán kereskedelmi és ipari központja, önkormányzattal, céhszervezettel, felsőoktatási intézményekkel, könyvtárakkal és nyomdával rendelkezik. Miután a török katonaság 1770 körül feldúlta, ahogy idősebb Sina Simon, úgy sokan mások is elmenekültek, hogy aztán később véglegesen a Monarchiában telepedjenek le.

Gazdasági tevékenysége alapján azonban a görög kereskedődiaszpórát két részre oszthatjuk. Első és nagyobb létszámú csoportjuk már jóval korábban megjelent a törökök által elfoglalt országrészben és Erdély területén. Ezek az ortodox vallású ottomán alattvalók, hegyvidéki falvak, kisvárosok lakói, észak felé indultak el, követvén a vándorkereskedelem útvonalait. Döntően kiskereskedelmet folytattak a legkülönfélébb termékekkel, kihasználva minden lehetőséget, amit csak állomáshe-lyeik gazdasági élete nyújtott. Erdélyben a 17. század elejétől kezdtek véglegesen megtele-

pedni, a 18. század elejétől pedig már Magyarországon is tömegesen megjelennek. Többségük a Dunától keletre és északkeletre eső területeken, valamint a Duna–Tisza-közén telepedett le. Miután a sorozatos háborúk után alig folyt árucsera az országban, a görögöknek gyakorlatilag nem volt vetélytársuk.

A második görög kereskedő diaszpóra jelentős hányadában az előzőből alakult ki, de mégsem szabad pusztán egy újabb fejlődési fázisnak tekinteni. Fő tevékenysége most már döntően az Oszmán Birodalom és a Habsburg Császárság közötti nagykereskedelem volt. A két birodalom közötti kereskedelem szempontjából kedvező földrajzi fekvése miatt az újonnan érkezők közül sokan választották Pestet telephelyül. Más, döntően keletmagyarországi városok görög kompániáinak korábban letelepült tagjai közül is sokan költöztek át ekkor Pestre, s tették együttesen Pestet országos jelentőségű kereskedőközponttá. A pesti kereskedelmi testületek tagságának kétharmada 1780-ban közülük került ki.

Persze amikor Sina György lett a Monarchia leggazdagabb embere, akkorra már elapadt a korábbi nagy görög bevándorlási hullám. A kereskedelemben először bécsi nagykereskedők léptek a helyükbe, a terménykereskedelemben játszott szerepüket pedig a század végétől a zsidó kereskedők vették át. Számos, üzleti tevékenységét a 18. században indító és jelentős vagyont felhalmozó görög család – mint a Dumcsa, Lyka, Manno, Nákó, Szacellár, Takátsy, Vrányi és a Derra család – azonban a nemesítés után is folytatta kereskedelmi tevékenységét. A Derra családot, amely szintén Moscopolisból származott, házassági kapcsolatok fűzték a Vrányi és a Sina családhoz is. Mindez összefüggött azzal, hogy a nyelvi-népi szempontból igen heterogén összetételű görög kereskedők egységét

sokáig a közös görögkeleti vallás biztosította, ez volt identitásuk meghatározó eleme, amelyet sokszínűen keveredő etnikai, nyelvi, kulturális, sőt foglalkozási identitás egészített ki.

A Sina család tagjai esetében azonban nem kétséges, hogy különösen szoros kapcsolatot áptak az 1832-ben létrejött Görög Királysággal. A diplomácia terén az osztrák állampolgár Sina György 1834-től haláláig főkonzul, Sina Simon pedig a visszatelepülés nélkül is lehetővé tett görögországi honosítását követően 1858-tól a Görög Királyság bécsi, müncheni és berlini nagykövete lett. Mindketten reprezentatív épületekkel ajándékozták meg az újkori görög állam fővárosaként még csak formálódó Athént. Akár szimbolikusnak is tekinthetjük, hogy az athéni Akropolisszal átellenben a Nimfák dombján teljes egészében Sina György adományából felépülő Athéni Csillagvizsgáló és a Lánchíd alapkövetételére egyaránt 1842 augusztusában került sor. Adományai révén Sina Simon is szimbolikus kapocs Magyarország és Görögország között. 1856-ban, apja halálának évében, annak emléke előtt tisztelegve bejelentette, hogy magára vállalja az Athéni Akadémia felépítésének teljes költségét. Bár az épület 1887-es átadását már nem érthette meg, Athén központját díszítve az ma is ott áll az Akadémia és Sina utcák sarkán.

IRODALOM

- Bácskai Vera: A görög kereskedők szerepe a főváros polgárosodásában, Budapesti Negyed. 14, 4, 54,
 Kerényi B. Eszter (2006): A magyar kultúra görög mecénása. Budapesti Negyed. 14, 4, 54,
 Λάιος Γεώργιος Σ. (1972), Σίμων Σίνας, Αθήνα, Γραφείων Δημοσιευμάτων της Ακαδημίας Αθηνών.

Magyarországon mai is él egy néhány ezres, aktív, sokszínű közösségi életet élő görög kisebbség. Közismert, hogy a mai magyarországi görögök nem közvetlen leszármazottai a 18–19. századi görög kereskedő diaszpórának, mégis e hagyomány folytatóinak tekinthetjük magukat. A Magyar Tudományos Akadémia a Magyarországi Görögök Kutatóintézetével közösen 2006 novemberében a magyar tudomány ünnepe sorozata keretében felavatta Széchenyi István és Sina Simon emléktábláját az MTA Nádor utcai irodaházában. Ezt követően az MTA Főtitkára és a Magyarországi Görögök Kutatóintézetének Igazgatója Sina Simon-éremet alapított, amelyet a legjelentősebb magyarországi egyetemek rektoraiból és az alapítókból álló kuratórium ítél oda a magyar tudomány legjelentősebb mai mecénásainak. Az eddigi két jutalmazott a Richter Gedeon Rt. és a Paksi Atomerőmű Zrt. volt. A díj idei ünnepélyes átadására a Magyar Tudományos Akadémia Nagytermében 2010. szeptember 18-án, Sina Simon születésének kétszázadik évfordulója alkalmából rendezett nemzetközi konferencián került sor.

Kulcsszavak: *görög kereskedők Magyarországon, Lánchíd, mecénátúra, Magyar Tudományos Akadémia*

- Athéni Akadémia, Athén
 Lanier, Amelie (2006): Az osztrák kereskedelem-politika és a görögök. Budapesti Negyed. 14, 4, 54,
 Seirinidou, Vasso (2006): Görög diaszpóra a Habsburg Monarchiában (17–19. század). Budapesti Negyed. 14, 4, 54,

REKURZÍVAK-E A TERMÉSZETES NYELVEK?

Kornai András

az MTA doktora, tudományos tanácsadó,
Harvard University, MTA SZTAKI
kornai@sztaki.hu

*Nem tudjuk mi történt ezzel a férfival,
Mózesel, ki minket Egyiptomból kihozott*
2 Móz. 32.1.

0. Bevezetés

A *Magyar Tudomány* 2009/9 számában hozza a Noam Chomsky 80. születésnapjára a Nyelvtudományi Intézetben 2008 decemberében rendezett szimpózium anyagát. A „vita Chomsky jelentőségéről” (<http://www.nytud.hu/archives/chomskyvita2008.html>) annyiban természetesen illuzórikus, hogy Chomsky jelentőségét, érdemeit (el)vitatni nem lehet, nincs a kortárs nyelvészek közt egy sem, akinek ilyen erős, szerteágazó és tartós hatása lett volna. A sok dicsérő, sőt időnként magasztalásba hajló írás közt éppen ezért némileg furcsán hat Kálmán László kijelentése: „A számítógépes nyelvészet főáramában a generatívizmuson alapuló modelleket nem találunk. A szabályalapú megközelítések általában is sikertelennek bizonyultak.”

Ebben a cikkben (szakmaibb, jegyzetekkel ellátott változatát lásd <http://www.szv.hu/cikkek/rekurzivak-e-a-termeszetes-nyelvek>) azt próbáljuk meg körüljárni, hogy miként történhetett ez meg. Hogy lehet, hogy Chomsky gondolatait ma éppen a nagyrészt általa elindított formális/számítógépes/mate-

matikai nyelvészetben veszik legkevésbé komolyan? Kálmán szerint ennek egyik alapvető oka Chomsky antiempirista hozzáállása (melyet igen frappáns idézetekkel dokumentál), de szerintünk az igazi ok mélyebben van, és Chomsky munkásságának matematikai tartalmát figyelmen kívül hagyva nem is érthető.

A címben feltett kérdés körüljárását azzal kezdjük, hogy egy kicsit pontosabban megnézzük, mi a rekurzivitás és mi a nyelv. Természetesen ha *rekurzión* csak annyit értünk, hogy valamilyen konfiguráció ismétlődik, ismétlődhet, akkor a válasz triviális. Ilyen ismétlődésre jó példa a koordináció, hiszen a *Láttuk Jánost és Pétert és Zolít és ...* konstrukció addig terjeszthető, amíg ki nem fogyunk a lélegzetből. (A leghosszabb ilyen mondat állítólag a második világháború végén az arlingtoni nemzeti temetőben hangzott el, ahol felolvasták a hősi halottak névsorát.) Hogy tovább tudjunk lépni ezen a trivialitáson, a rekurzivitás a matematikában megszkott definíciójánál maradunk: **rekurzíve felsorolható** az, amire Turing-gépet (Turing Machine – TM) be lehet programozni. Azok, akik a Turing-gépeket elsősorban a logikából ismerik (emlékeztetőül: a Turing-gép egy végtelen szalagból és az ennek mozgatását/írását/olvasását szabályozó véges kontroll-automa-

tából áll), gyakran hozzá vannak szokva, hogy ezek (bináris) számokon operálnak. Alan Turing eredeti definíciója ezt a megkötetést nem tartalmazza: a szalagra tetszőleges véges szimbólumhalmaz elemeit írhatjuk. Egy rögzített TM által megadott **formális nyelv** azon füzetek halmaza, melyeket a gép szalagjára írva a program véges idő alatt vagy megáll úgy, hogy a szalag üres (üres szalaggal való elfogadás), vagy kitüntetett állapotok valamelyikébe kerül (állapothalmazzal való elfogadás), vagy egy előre rögzített füzet, illetve erre a célra fenntartott OK-szimbólum kiírásával reagál (jelzéssel való elfogadás). Bár egy adott nyelvhez természetesen másféleképpen kell programozni a TM-et, aszerint, hogy melyik elfogadás-definíciót választjuk, összességében a TM-ek által megadható (Chomsky terminológiájával: **nullás típusú**) nyelvek halmazát ez a döntés nem befolyásolja.

A *nyelv* fogalmának alapos, mind filozófiai, mind nyelvészeti szempontból kielégítő definíciója messzire vezetne, de céljainkhoz ez nem is szükséges, hiszen matematikai kérdést csupán matematikai objektumokról lehet feltenni. A formális nyelv a természetes nyelvek Chomsky által bevezetett matematikai modellje: a nyelvészeti alkalmazásokban az ábécé elemeire gyakran mint a természetes nyelv fonémáira (általában néhány tucat elem), illetve szófajaira (gyakran több ezer elem) gondolunk. A természetes nyelvről fontos plusz információ, amit most első közelítésben elhanyagolunk, hogy a szavak és nagyobb konstrukciók közt különféle kapcsolatok állhatnak fenn, és hogy a szavaknak/mondatoknak mérhető gyakoriságuk/valószínűségük van. A formális nyelvekről immár formális szigorúsággal felvethető az a kérdés, hogy vajon végesek vagy végtelenek, és ha végtelenek, akkor rekurzívak-e?

A kérdés, ha nem is egészen ebben a formában, egyidős a formális nyelvészeti kutatással, melynek alapjait még Pāṇini (i. e. 520–460) vetette meg, nagyjából két évszázaddal az előtt, hogy Euklidész megvetette a matematika alapjait. A *Mahābhāṣhya* (*Nagy Kommentár*) az első fennmaradt Pāṇini-magyarázat, i. e. 200 körülről. A bevezető részben a szerző, Patañjali azzal kezdi, hogy egyszerűbb a helyes (grammatikus) alakokat felsorolni, mint a helyteleneket, majd azt a kérdést veti fel, hogy hogyan kell ezt megcsinálni: szedjük listába a helyes alakokat? Nem, ez túlságosan nehéz lenne. *Mert mint tudjuk*, Bṛhaspati (az istenek tanára) ezer égi évig (360 ezer földi évig) tanított Indrának egy olyan munkát, amely felsorolta a helyes szanszkrit kifejezéseket, és még így sem jutott a végére. Akkor hogy lehetne most, amikor az emberek még száz nyarat sem élnek meg, ily módon tanítani?

Igaz ugyan, hogy egy adott nyelv eddig elhangzott/leírt mondatai véges halmazt alkotnak, de a nyelvészek körében teljes az egyetértés (és mindig is az volt), hogy az ezen a tényen alapuló naiv modell érdektelen, hiszen minket nemcsak egy létező korpusz leírása érdekel, hanem az is, hogy predikciókat tegyünk a még el nem hangzott (vagy le nem írt) mondatok halmazára nézve is. Ha megadjuk a koordináció szabályait, például a perl, python és más programnyelvekből ismert szabályos kifejezésekkel (regular expressions), akkor máris egy olyan nyelvtanunk van, amely végtelen sok, eddig még nem hallott/látott mondat elfogadhatóságára tesz *tesztelhető* jóslatot. 1956 előtt a matematikusok a végtelen nyelvek algoritmikus megadására csupán két módszert tartottak számon: a véges automatakon (vagy ami ugyanaz, szabályos kifejezéseken) keresztüli, illetve a Turing-gépes

definíciót. A véges automaták által elfogadott (szakszóval: **hármastípusú**) nyelvekre lehet úgy is gondolni, mint az olyan TM-ek által elfogadott nyelvekre, amelyek csak olvasni tudnak, de a szalagot nem írhatják (természetesen ehhez az állapothalmazzal való elfogadás-definíciót kell használni). Az ilyen TM csak véges sokféle részeredmény megjegyzésére képes, hiszen a memóriakapacitását behatárolja a kontroll-automata (véges) állapottere.

Az **egyes típust** Chomsky a XIX. századi neogrammatikus hangtörvények formalizálására általa bevezetett **környezetfüggő nyelvtan** (context sensitive grammar – CSG) segítségével írta le: ezekben a füzérek egyes elemeit a szabályok át tudják alakítani akkor, ha az elemek környezetére bizonyos feltételek teljesülnek. Például a magyar szavak végén a zöngétlen mássalhangzók zöngésülnek, ha zöngés mássalhangzóval kezdődő rag (vagy szóösszetétel második eleme) követi őket: vaskalap, vasszöngölő (ejtésben), vassal, de vasszöngölő. A környezetfüggő nyelvtanok ezt a tényt egy $s \rightarrow zs / _ Z$ szabállyal ragadják meg, melynek jelentése *cseréld ki s-t zs-re ha jobboldali kontextusa Zöngés*. A Turing-gépek perspektívájából nézve az egyes típust úgy nyerjük, hogy engedélyezzük az írást (a részeredmények tárolását a gép szalagján) de csak bizonyos korlátok közt: a TM-nek csak akkora memóriát teszünk írhatóvá, amekkora a bemenő fűzér.

A **kettes típust** Chomsky a közvetlen összetevős elemzés formalizálására szintén általa bevezetett **környezetfüggetlen nyelvtan** (context free grammar – CFG) segítségével definiálta. Ezekben a nyelvtanokban szintén $x \rightarrow y$ alakú szabályok vannak, de most mindenféle megszorítás nélkül: egy ilyen szabály mindig alkalmazható, *függetlenül* attól, hogy x előtt és után milyen szimbólumok állnak. (Szigorú értelemben itt is és az egyes típusnál is meg kell különböztetni az ún. terminális és nemterminális szimbólumokat, ennek részleteit most figyelmen kívül hagyjuk.) Megemlítjük, hogy ez az osztály nem zárt komplementációra: például (legalább kételemű ábécé fölött) az az N nyelv, amely a nem négyzetes füzérekkel áll (tehát elemei nem állnak elő xx formában, ahol x tetszőleges fűzér) kettes típusú, míg komplementuma, tehát az az I nyelv, ami pontosan a négyzetes (xx alakú) füzérekkel áll, nem lesz kettes típusú. Az eddigieket összefoglalva már készen is áll az eredeti **Chomsky-hierarchia**, melyet itt bővített formában hozunk (az eredeti 0-3-hoz itt hozzátett nyelv-, illetve nyelvtanosztályokról később lesz szó). (1. táblázat)

E tipológia annyiban hierarchikus, hogy a csökkenő számoknak egyre bővülő eszköztár felel meg: minden nyelv, amit le tudunk írni 3. típusú nyelvtannal, az leírható 2. típusúval is, amit le lehet írni 2. típusúval, az le-

típus	nyelvosztály	definíciós eszköz	nyelvtan
0	rekurzíve felsorolható (r. e.)	TM (egyoldalú)	tetszőleges
0.5	rekurzív	TM (kétoldalú)	
1	környezetfüggő (CSL)	lin. korl. aut (LBA)	környezetfüggő (CSG)
1.5	enyhén környezetfüggő (MCS)	beágyazott veremautomata	linear indexed, CCG, LTAG
2	környezetfüggetlen (CSL)	veremautomata (PDA)	környezetfüggetlen (CFG)
3	véges állapotú (regular)	véges automata (FSA)	FSG, szabályos kifejezések

1. táblázat

írható 1. típusúval is, és persze minden, amit egyáltalán le lehet írni nyelvtannal, az leírható Turing-géppel is. Chomsky érdeme, hogy a címben felvetett triviális kérdést egy sokkal izgalmasabbra cserélte fel: *hova esnek a nyelvek a Chomsky-hierarchiában?* (amit ő természetesen még nem hívott így). De ha egyszer ilyen jó, tartalmas kérdést tett fel, olyan formai eszközöket kínálva, melyek egyben a mesterséges (programozási) nyelvek elméletét is forradalmasították, akkor végül is miért vesztette el hitelét pont a legfelsőbb szakmai körökben? Felfogásunk szerint ez csak úgy történhetett meg, hogy a kérdésre nemcsak rossz választ adott, hanem ahhoz kitartóan, egyre nagyobb retorikai vehemenciával ragaszkodott akkor is, amikor a tények ennek minden irányból ellentmondottak. Történetileg Chomsky radikális antiempiricizmusa nem ok, hanem okozat: ha nem kvadrálnak az elmélettel, hát antul rosszabb a tényeknek.

1. A korai szakasz: 1956–1982

Chomsky nemcsak felvetette a problémát, de úgy vélte, hogy kielégítően meg is oldotta. Azt az állítást, hogy a harmadik típus nem elégséges a természetes nyelvek leírásához, az ún. középponti beágyazás (center-embedding) jelenségével indokolta: matematikailag bizonyította, hogy az olyan CF-nyelvtanok, amelyek megengednek $X \rightarrow aXb$ alakú levezetést (ahol tehát a végeredményben a kiinduló X a és b közé beágyazva jelenik meg) szükségképpen túllépnek a 3. típuson (e kikötés nélkül ez nem igaz, CF, azaz 2. típusú nyelvtan is generálhat olyan nyelvet, amely szabályos kifejezésekkel, azaz 3. típusú nyelvtannal is megadható) majd rámutatott, hogy az angolban a vonatkozó mellékmondatok középponti beágyazott helyzetben is megjelenhetnek: *a rat that stole the cheese, a cat a*

woman loves, the cheese that a rat (that a cat (that a woman loves) chased) stole. A *Mondat-tani szerkezetek* (1957, magyarul 1999) ezért írja, hogy „Nemcsak nehéz, de *lehetetlen* olyan [véges automatát] létrehozni, amely az angol nyelv valamennyi nyelvtanilag helyes mondatát létrehozná, és csak azokat. [...] E tétel azt állítja, hogy a nyelv [...] Markov-folyamat koncepciója elfogadhatatlan, legalább is a nyelvtan céljaira.” (Chomsky, 1957, 24.)

Az érvelés nyelvtani része, különösen a zárójelzés nélkül gyakorlatilag érthetetlen: *the cheese that a rat that a cat that a woman loves chased stole* már annak idején is sok vitát váltott ki, erre a kérdésre majd a 2.1 szakaszban térünk vissza. Chomsky (1957) nem sok kétséget hagyott a felől sem, hogy szerinte a CF-nyelvtanok sem elégségesek a feladathoz: „[A CF-nyelvtanok] angol nyelvre történő alkalmazásának korlátait tovább vizsgálva, meggyőzően igazolható, hogy ezek a nyelvtanok olyan reménytelenül bonyolultak, hogy teljesen érdektelenné válnak, hacsak nem építünk beléjük [transzformációkat].” (Chomsky, 1957, 50.)

A korai szakaszban ezt az érvelést szinte mindenki elfogadta, sőt nem egyszerűen elfogadta, hanem mint a XX. századi nyelvtudomány legnagyobb felfedezését ünnepelte: „The single most important contribution to the development of linguistic theory in the [20th] century is [the demonstration of] the inadequacy of CFGs as a model of linguistic structure.”¹ (Selkirk, 1977)

A tét nagy: ha sikerül általános matematikai formulákkal leírni a nyelvtanilag helyes mondatok generálási szabályait, akkor hatal-

¹ A huszadik század legeslegfontosabb hozzájárulása a nyelvtudomány fejlődéséhez annak a bebizonyítása, hogy a környezetfüggetlen nyelvtanok alkalmatlanok a nyelvi szerkezetek modellálására.

mas lépést tettünk a gépi fordítás, a géppel történő dialógus, az automatikus szövegkezelés felé. Patañjali teljes joggal elvárhatta olvasóitól a védikus bölcsesség ismeretét és feltétel nélküli elfogadását, de a modern nyelvészeketől már kicsit furcsábbnak tűnik a *mert mint tudjuk* érv használata. E korszak végét Geoffrey Pullum és Gerald Gazdar (1982) ma már klasszikus „meztelen a király” cikke jelzi (Pullum – Gazdar, 1982, 471–504), melyben sorra vették az irodalomban fellelhető érveket, és egyenként kimutatták róluk, hogy tarthatatlanok, méghozzá három egymással gyakran összefüggő hiba miatt. Ezek közül az első és legfontosabb az, hogy időről időre *1. az eredeti érvelés matematikailag hibás*. Erre jó példa Chomsky saját érvelése, ami azon a jelenségen alapul, hogy az angolban a középfokú összehasonlításban *nem szeretjük*, ha ugyanazzal hasonlítunk: *This desk is wider than that chair is tall* de **This desk is wider than that chair is wide*. Ez utóbbi esetben inkább az összehasonlítás alapját képező NP törlésével dolgozunk: *This desk is wider than that one*. Hogy ez a „nem szeretjük” mit jelent, arra majd később visszatérünk (Pullum és Gazdar igen szórakoztatóan írnak arról, ahogy Chomsky később megváltoztatta az itt még csillaggal hozott mondatok grammatikalitásáról való véleményét), most fogadjuk el, hogy a jelenség valóban így igaz. A baj az, hogy az így kijelölt *N* nyelv nem ellenpélda CF-nyelvre, csak a komplementuma, *I* lenne az, de a CF-család nem zárt komplementumra! *Quandoque bonus dormitat Homerus*.

A második, hasonlóan gyilkos ellenérv az, hogy *2. Az eredeti érvelés összekeveri a szintaxist a szemantikával*. Ezt most Zwicky (1963) példáján illusztráljuk, amely a *trillió*, *kvadrillió*, *kvintillió* (*trilliárd*, *kvadrilliárd*, *kvintilliárd*) és hasonló nagy számok nyelvi kifejezésén

alapul. Nem tudjuk, mi a legnagyobb ilyen, de nem is fontos, hogy elkötelezzük magunkat egy konkrét *-illió* (vagy *-illiárd*) mellett, legyen a *zillió* a legnagyobb szótári szó, ami 1000ⁿ-t fejez ki. Ennek a négyzete *egyziillió zillió*. Még ennél is nagyobb szám az *egyziillió zillió egyziillió egy*. De az **egyziillió egyziillió zillió* nem legális számnév, mert a nagyobb zillió-hatványokat kell előbb mondani.

$$\{p_1 z^{n_1} p_2 z^{n_2} \dots p_r z^{n_r} | n_j > n_{j+1}\} \notin CF$$

A probléma az, hogy ez nem nyelvtani, hanem matematikai tudás. Későn sajátítjuk el, és nem is mindenki tudja, aki egyébként kompetens anyanyelvi beszélő. Ugyanez a baj a híres *respectively* konstrukción alapuló érveléssel is, mely szerint a *John, Mary, and Bill are a widower, widow, and widower respectively* típusú mondatokban, ha csupán a nem szerint egyértelmű keresztnevekre szorítkozunk, és elvárjuk hogy *widower* csak hímnemű, a *widow* csak nőnemű legyen, akkor a grammatikus mondatok halmazát az *xx* halmazba tudjuk képezni, ahol *x* tetszőleges fűzér a két-elemű *hímnem*, *nőnem* halmaz felett (tehát a nem-CF *I* nyelvet nyerjük).

Külön hangsúlyozzuk, hogy a nyelvtan nem törődik a tényekkel; az a mondat, hogy *Einstein was a great physician* grammatikailag ugyanolyan helyes mint az, hogy *Einstein was a great physicist* bár tényszerűleg az egyik igaz, a másik hamis. Az *Anna özvegyember* mondat valóban nehezen értelmezhető (hacsak nem Boris Viannál találjuk) de ebben a nehézséget nem a mondat szerkezet, hanem a világról való ismereteinkkel való összeférhetetlenség okozza. Igen, de nem lenne elképzelhető olyan nyelv, ahol a nem szerinti egyeztetés nem szemantikai, hanem grammatikai kérdés? Miután pontosan tudjuk, hogy számtalan ilyen nyelv van, a *respectively*-n alapuló érvelés esetleg az angolban nem, de mondjuk,

a spanyolban tarthatónak tűnik. A probléma az, hogy nyelvtani alapon már a két felsorolás hosszúságának megegyezése sem garantálható, hiszen a *Going left to right, the last two people in the line are John and Bill respectively* mondat helyes, szemantikailag is és grammatikailag is, pedig a *respectively*-vel összekapcsolt felsorolások nem tartalmaznak ugyanannyi elemet, hiszen a baloldalt egyetlen NP, *the last two people*, áll szemben a jobboldalt két NP-vel, *John and Bill*.

A harmadik ellenérv annyiban hasonló az elsőhöz, hogy ez is egy matematikai hibát pécéz ki: *3. az eredeti érvelés empirikusan lyukas*. Általában ahhoz, hogy egy nyelv nem-CF voltát igazoljuk, nem elég rámutatni egy nem-CF résznyelvre, mert a Chomsky-hierarchia nem zárt tartalmazásra, egy nem-CF nyelv résznyelve is lehet CF, és egy CF-nyelv résznyelve is lehet nem-CF (és hasonlóan a hierarchia többi tagjára, a véges nyelvek családjának kivételével). A problémát az egyik legkorábban felfedezett és legizgalmasabb jelenségkör, a mohawk főnév-inkorporáció (Postal, 1964) erősen egyszerűsített változatán illusztráljuk. A nyelvészetben szokatlan módon elhagyjuk az eredeti mohawk példamondatokat és csupán magyarított glosszákat adunk (az eredeti mondatok megtalálhatók Paul Postalnál és kritikusaínál). A mohawk nyelv a tárgyias ige tárgyát gyakran megismétli az igei csoportba beépítve: *Nekem ház-tetszik a ház* „Tetszik a ház”. Az inkorporált elem lehet pronominalizált formában is: *Nekem idea-tetszik ez* „Egyetérték ezzel”. Postal azt állította, hogy az inkorporált főnév megegyezik az inkorporálatlan (külső) tárggyal, a mohawk tehát *I* nyelv. Igen ám, de az általa vizsgált nem az egyetlen inkorporatív konstrukció, be lehet építeni teljes birtokos szerkezeteket is: *Nekem János-ház-tetszik János ház* ‘Tetszik

János háza’. Ez még nem lenne baj, de az ilyen szerkezetekből a birtokos elhagyható: *Nekem ház-tetszik János* ‘Tetszik János háza’, és ez betölti a lyukakat, a nyelv tehát végső soron nem *I* jellegű. Már itt megjegyezzük, hogy a mohawk egyik legalaposabb leíró nyelvésze, Floyd Lounsbury szerint az érvelés eleve fiktív annyiban, hogy az inkorporáció nem iterálható, a kétszeres inkorporálásnál az egyik tő mindig egy idióma része, de ez most a birtokos szerkezet által felszínre hozott probléma szempontjából közömbös, a jelenségre később térünk majd vissza.

2. Az elszakadás időszaka: 1982–2000

Geoffrey Pullum és Gerald Gazdar cikke csupán negatív érveket hozott, és retorikailag nyitva is hagyta a kérdést, hogy vajon a második Chomsky-típusba beleférnek-e a természetes nyelvek. Sokkal fontosabb volt, hogy ezek a szerzők megalapozták az általánosított frázis-struktúra nyelvtan (generalized phrase structure grammar – GPSG) elméletét, amelyben a nehéz, mindaddig a természetes nyelvek nem-CFL voltának igazolására használt nyelvi problémákat, mint például a hosszú távú függőség (*unbounded dependency*), sorra oldották meg. De nem tartott sokáig, amíg megjelentek az új érvek, elsősorban Stuart Shieber (1985) a svájci némettel foglalkozó, Christopher Culy (1985) a bambara nyelvvel foglalkozó, és Kenneth Beesley és Lauri Karttunen (2000) a malájjal foglalkozó cikkei – ez utóbbi érdekessége, hogy nem a szintaxisban, hanem már egy lépéssel előbb, a morfológiában (ahol *f* fűzerek a szavak, az ábécé pedig a morfémák) mutat nem-CF konstrukciót.

Elődeikkel ellentétben ezek a munkák már matematikailag hibátlanok, tisztán nyelvtani (nem pedig szemantikai) tényeken alapulnak, és empirikusan sem lyukasak. Ez azonban

nem jelenti azt, hogy a kérdést végképp eldöntik, hiszen másfajta gyengeségeik azért még lehetnek, és mint látni fogjuk, vannak is. A modern ellenérvek két nagy csoportra oszthatók, egyrészt a megfigyelhető bizonytalan grammatikai státus, a „nem szeretjük” körüli problémák, ezekről *korlátozott iterativitás* néven beszélek a 2.1 részben, másrészt a *nagyon kis gyakoriság* okozta problémák, lásd 2.2. Egy kicsit előreugorva megjegyezzük, hogy ezek az ellenérvek egyben a klasszikus középponti beágyazási példákat is kilövik, így nemcsak a 2. osztály elégtelensége, hanem az ennél jóval kisebb 3. osztály elégtelensége (és ezzel Chomsky eredeti, a Markov-modellezzéssel szembeni dörgedelmei) is kérdésessé válnak. De mielőtt erre rátérnénk (lásd 3.), lássuk a modern ellenérveket részletesebben.

2.1 Bizonytalan grammaticitás, korlátozott iterativitás

A klasszikus generatív felfogásban éles dichotómia van a grammatikus (OK) és az agrammatikus (*) mondatok közt. Hogy egy konkrét kifejezés hova esik, azt a nyelvész intuíciója (illetve az anyanyelvi informáns) dönti el. Sajnos a Shieber, Culy és mások által vizsgált szerkezetek mindegyike nagyon hamar olyan kifejezésekhez vezet, ahol a nyelvész/informáns intuíciója elbizonytalanodik. Ezt az önmagában érdekes tényt Chomsky (1965) a performancia és a kompetencia közti megkülönböztetéssel próbálta magyarázni, de nyitva hagyta azt a kérdést, hogy ha a beszélők fejében lévő grammatikai apparátus olyan nagyon komplex, akkor miért pont ezek a kifejezések okoznak nehézséget, míg egyéb tetszőlegesen nagyra növelhető konstrukciók (mint a koordináció) nem.

Az általános performancia-probléma fontos speciális esete az, amit itt *korlátozott itera-*

tivitásnak fogunk nevezni, lássuk ezt egy egyszerű beágyazási példán. Tekintsük először elemi kijelentések valamilyen S halmazát: *Meleg van, esik az eső, kigyulladt a ház. ...*, majd kezdjük el bővíteni ezt attitűdöt kifejező kijelentésekkel: *Az hogy S (az) hazugság/egy nagy hülyeség/biztos/kétségbeejtő/... Az első iterációban egészen rendes, értelmes magyar mondatokat nyerünk: Az hogy esik az eső az kétségbeejtő, az hogy kigyulladt a ház az hazugság... Mindez valamiféle $S \rightarrow Th S (D) Att$ szabály felvételét indokolja, ahol Th az „Az hogy” formatíva, D az „Az” formatíva, Att pedig az attitűdinális kifejezések „kacsa, hétszentség, elszomorító, ...” gyűjteménye. A második iterációban ezek a szabályok már különös eredményeket hoznak: *??Az hogy az hogy meleg van az kacsa az elszomorító* – mit is jelent ez? Hát, vidámabbak lennénk, ha a hír nem lenne kacsa (hanem tényleg meleg lenne). Ez még talán rendben is van, bár a kognitív folyamat már inkább a rejtvényfejtésre, mint a szokásos nyelvi megértésre emlékeztet. De ha még egyszer-kétszer iterálunk, az amúgy olyan remekül működő mondatelemzőnk végképp fejreáll: *????Az hogy az hogy az hogy esik az eső az bizonytalan az hétszentség az hazugság*, és csak a rejtvényfejtés marad.*

A középponti beágyazás hamar kivezet az emberi ésszel felfogható (és előállítható) mondatok köréből: ezt találjuk más nyelveknél és más konstrukcióknál is. Fred Karlsson (2007) tizenhat nyelvre kiterjedő vizsgálatai szerint az írott nyelvben maximum háromszoros, a beszélt nyelvben maximum kétszeres beágyazást találunk. Ez hát egy erős, jól replikálható nyelvi jelenség, és ha ezt tudjuk, mindegy is, hogy a kompetencia vagy a performancia részének tekintjük. Chomsky (1965) még elsősorban azért különítette el a kompetenciát a performanciától (ezzel nagy, évtizedekig

nem csillapuló módszertani vihart kavarva) hogy a középponti beágyazások korlátozott iterativitását átsorolhassa a performanciába, és ezáltal (hiszen minket mint nyelvészeket a kompetencia modellezése jobban érdekel) fenntarthasson egy olyan idealizációt, ami kivezet a szabályos kifejezések közül. De ebben a formában az érvelés már nem meggyőző: ha egyszer a naiv matematikai modell, ami az iterálást egyáltalán nem korlátozza, a tényektől épp egy ilyen kritikus ponton tér el, akkor célszerűbbnek tűnik a modellt finomítani, például ellátni egy olyan számlálóval, ami legfeljebb egyszeres vagy kétszeres iterációt engedélyez. Tulajdonképpen mindegy is, hogy hánynak választjuk ezt a d iterációs korlátot, kettőnek vagy ötnek, hiszen a kétszer és az ötször iterált konstrukciók közötti különbség-halmazban már csak marginális (grammatikailag kétes és szemantikailag csak igen nehezen értelmezhető) füzérek lesznek.

2.2 Gyakoriság

A klasszikus érvelés (Chomsky, 1957, 2.4) szerint a nyelvtan világában a gyakoriság nem számít, hiszen *colorless green ideas sleep furiously* és *furiously sleep ideas green colorless* egyaránt nulla gyakoriságúak, de előbbi grammatikus, utóbbi pedig nem. Ha ez igaz, a grammaticitás nem jellemezhető valószínűséggel, hiszen itt mindkét példa gyakorisága nulla. A tudomány történetének különös fintora (bővebben lásd Pereira, 2000), hogy ezt a minden matematikusnak azonnal láthatóan hibás érvelést a szakma évtizedekig nem tudta, nem merete megkérdőjelezni. Hol a hiba? Ott, hogy a nulla empirikus frekvenciából *nem következik* nulla valószínűség.

Természetesen mindkét mondatnak nagyon kicsi a valószínűsége. Ez már abból is kiderül, ha a mért szógyakoriságokat egymás-

tól függetlennek tekintő (unigram) modellt vesszük, hiszen ekkor a mért szógyakoriságokat összeszorozva $2,14 \times 10^{-25}$ körüli értéket nyerünk – ebből már látható, hogy mindenképpen nagyon nagy mintára lenne szükség ahhoz, hogy az ilyen jellegű mondatok előbukkanjanak. Ha most a nyilván túlságos egyszerűsítést jelentő függetlenségi feltevést elhagyjuk (annál is inkább, hiszen az unigram modellek még nem különítik el a szavak permutálásával nyert füzérekre jósolt valószínűségeket), és szópárok, szóhármason alapuló (bigram, trigram) modelleket veszünk, akkor a két mondat valószínűségére egyre inkább eltérő értékeket kapunk. A híres példában a két valószínűség hányadosa mintegy 2×10^5 , tehát a Chomsky által grammatikusnak ítélt változat mintegy kétszázszázszor valószínűbb agrammatikus társánál. Ezen az intervallumon belül bárhol (tehát meglepően robosztusan) meghúzhatjuk a határt úgy, hogy a *colorless green ideas sleep furiously* grammatikusnak, a *furiously sleep ideas green colorless* pedig agrammatikusnak minősüljön, pusztán valószínűsége alapján. Igaz ugyan, hogy ezt a valószínűséget matematikai modelleink csupán becsülni tudják, direkt méréséhez nem áll rendelkezésünkre elégséges minta, de ez módszertanilag épp oly kevésbé zavar minket, mint az, hogy a nap belsejének a hőmérsékletét sem tudjuk hőmérővel megmérni.

Gyakran találkozunk a fenti hibás érvelés konverzával is, mely szerint „a bizonyíték hiánya nem a hiány bizonyítéka” – abból, hogy egy kifejezést a korpuszban nem találunk meg, még nem tudjuk megmondani, hogy a kifejezés csak ritka vagy tényleg agrammatikus. Ha ez igaz, akkor az intuícióna (akár a nyelvészére, akár az informánséra) való hivatkozás a nyelvészet kikerülhetetlen része. Természetesen ez az érv ugyanúgy nem állja meg

a helyét, mint az előző. Hol a hiba? Vegyük például azt az érdekes jelenséget, hogy az angol *cost* igének nincs passzívuma: *The book cost thirty dollars. *Thirty dollars were cost(ed) by the book.* Való igaz, hogy a passzívum hiányát nyelvi intuíciónk világosan jelzi – a fenntebb tárgyalt példákkal ellentétben itt senki nem fog a csillagok elhelyezésén vitatkozni. De tényleg csak az jelzi? Anatol Stefanowitsch (2006) az alábbi kétszer kettes kontingenciatablát közli:

	Passive	Active	Total
cost	0	63	63
-cost	13,861	122,627	136,488
Total	13,861	122,690	136,551

Ebből bármilyen megszokott statisztikai teszttel (például Fisher–Yates) kiszámolható, hogy a bal felső sarokban álló nulla nem véletlen nulla, az a tény, hogy a *cost* esetén nem találunk passzív alakot szignifikáns ($p < 0.01$). Külön figyelmet érdemel az, hogy a statisztikai és a performancia-alapú megfontolások igen hasonló eredményre vezetnek: ha csak annyit teszünk fel, hogy az $S \rightarrow Th$ (D) Att szabály mondjuk $1/1000$ valószínűséggel működik, akkor iterációjának már csak egy a millióhoz, kétszeri iterációjának már csak egy a milliárdhoz az esélye.

2.3 A fennmaradó esetek

Bár a CFG-ellenpéldák eredeti bestiáriumból nem sok maradt, van mégis egy olyan konst-

rúció a hollandban, amelyre már Rini Huybregts (1976) felhívta a figyelmet (ez mind szinkron nyelvtanát, mind történeti kialakulását tekintve közeli rokona a Stuart Shieber (1985) tárgyalta svájci német példának), és amely változatlanul sok fejtörést okoz, annak ellenére, hogy mint füzérhalmaz (stringset) környezetfüggetlen. A holland *hogy*-os mellékmondatok szőrendjét, beágyazott infinitívális tárgyak esetén, kereszteződő szerkezet jellemzi:

... dat Jan de kinderen zag zwemmen
 hogy Jan a gyerek.PL lát.PAST úszik.INF
 hogy Jan látta a gyerekeket úszni
 ... dat Piet de kinderen hielp zwemmen
 hogy Piet a gyerek.PL segít.PAST úszik.INF
 hogy Piet segítette a gyerekeket úszni
 ... dat Marie de kinderen liet zwemmen
 hogy Marie a gyerek.PL küld.PAST úszik.INF
 hogy Marie elküldte a gyerekeket úszni

A kereszteződés (crossed dependency) azt jelenti, hogy a dependens a fejfelé összekötő gráf élek (például *Jan* és *lát* illetve *gyerek* és *úszik* közt) keresztezik egymást, hiszen nem a gyerek lát és Jan úszik hanem épp fordítva. Az ilyen szerkezeteket rekurzíve egymásba is lehet helyettesíteni (2. táblázat).

Igaz, hogy a nyelv CF ($a^n b^n$), de a struktúra nyilván nem az, mert az i -edik a az i -edik b -hez kapcsolódik, nem pedig az $n-i$ -edikhez, míg egy CF-nyelvtan, például $S \rightarrow aSb; S \rightarrow ab$ ez utóbbi struktúrát állítaná elő. Ezeket a tényeket Chomsky és tanítványai a mozga-

... dat Jan Piet de kinderen zag helpen zwemmen
 hogy Jan Piet a gyerek.PL lát.PAST segít.INF úszik.INF
 hogy Jan látta Piet-et (amint) segíti a gyerekeket úszni
 ... dat Jan Piet Marie de kinderen zag helpen laten zwemmen
 hogy Jan Piet Marie a gyerek.PL lát PAST segít.INF elküld.INF
 hogy Jan látta Piet-et Marie-nak segíteni elküldeni úszni a gyerekeket

2. táblázat

tószabályok (transzformációk) cáfolhatatlan bizonyítékának tekintették, de már csak ők tekintették annak, mert a más forrásból (első sorban a kategoriális grammatika elméletéből) merítő modern matematikai nyelvészet számos alternatív eljárást dolgozott ki az ilyen esetek kezelésére: itt csak a beillesztés (wrap), a fa-adjunkció (tree adjunction), és a kombinátoros kategoriális nyelvtan (combinatory categorial grammar) módszereit említem. Külön érdekesség, hogy ezeknek az egymástól gyökeresen eltérő eljárásoknak mindnek van olyan variánsa, amelyik ugyanahhoz az *enyhén környezetfüggő* (mildly context sensitive) nyelvosztályhoz vezet, melynek a fenti táblázatban a másfeles típuszámot adtuk.

3. Nébó hegyén: 2000–

Az enyhe környezetfüggés fogalmával a kiinduló kérdésünk körüli vita annyiban nyugvóponttra jutott, hogy ennél bővebbet ma senki nem javasol a természetes nyelvek kezelésére, maga Chomsky sem, akinek „minimalista” elmélete ugyancsak egy enyhén környezetfüggő osztályra mutat. Tudományszociológailag azonban nem elhanyagolható az a tény, hogy a Chomsky-hierarchiában a CFG-nél bővebb, de a CSG-nél szűkebb nyelv- és nyelvtanosztályok szisztematikus vizsgálatát nem Chomsky, hanem a kortárs matematikai nyelvészet legnagyobb alakjának tartott Aravind Joshi kezdeményezte, és a legfontosabb előzmény, a lineáris indexált nyelvtanok, sem a nyelvészetből, hanem a számítógéptudományból indult, abból a formális program-elemzésből (compiler design), melynek alapjait indirekte még Chomsky vetette meg. A minimalizmus a Chomsky-tanítványok körében sem talált egyértelműen lelkes fogadtatásra, sőt vannak, akik egyenesen miszticizmussal vádolják Chomskyt az elmélet

alapját adó tökély-hipotézist (perfection) illetéknépp jellemezve:

Imagine a biologist specializing in human physiology announcing that (...) his work is motivated by two related questions: (1) what are the general conditions that the human urinary tract should be expected to satisfy?, and (2) to what extent is the urinary tract determined by these conditions, without special structure that lies beyond them? The first question in turn has two aspects: what conditions are imposed on the urinary tract system by virtue of (A) its place within the array of physiological systems of the body and (B) general considerations of conceptual naturalness that have some independent plausibility, namely simplicity, economy, symmetry, non-redundancy, and the like?

*It seems to us, and we suspect would to the great majority of working physiologists, that to ask what conditions the human urinary tract should be expected to satisfy makes no sense whatsoever. (...) Why then would one expect that it makes any more sense with 'language faculty' substituted for 'urinary tract'?*² (Lappin et al., 2000)

² Képzeljünk el egy, az emberi fiziológiára szakosodó biológust, amint kijelenti, hogy [...] munkáját két, egymással összefüggő kérdés vezérli: (1) mik azok az általános feltételek, amelyek teljesítését elvárhatjuk az emberi húgyúttól? (2) milyen mértékben határozzák meg ezek a feltételek az emberi húgyutat, figyelmen kívül hagyva a mögöttes speciális struktúrát? Az első kérdésnek két aspektusa is van: milyen test feltételeknek van alávetve a húgyút (A) az emberi test fiziológiai rendszereinek közt betöltött helye által és (B) olyan általános fogalmi megfontolások alapján, mint egyszerűség, gazdaságosság, szimmetria, irredundancia és hasonló? Nekünk (és gyanítjuk, a fiziológiával foglalkozók nagy többségének is) úgy tűnik, hogy semmi értelme nincs azt kérdezni, hogy a húgyútra vonatkozóan milyen feltételek teljesülése várható el. [...] Ha ez így van, nem remélhetjük, hogy a kérdésnek több értelme lesz akkor, ha a kérdések tárgya a húgyút helyett a *nyelvi készség*.

Messzire vinne annak vizsgálata, hogy Chomskynak ma mekkora hatása van az elméleti nyelvtudományon belül a szintaxis kutatóira, de azt gondoljuk, e hatás máig jelentős (az idézet szerzői szerint jóval nagyobb, mint azt a nyelvtan tényei indokolnák). Bennünket most az a kérdés érdekel, hogy az elméleti nyelvtudománytól távolabb álló, a nyelvtan számítógépes modellezésére törekvő kutatók miért szakadtak el a Chomsky által kijelölt kutatási iránytól, hisz az új elmélet, a generatív grammatika a kezdeti időszakban elsősorban az ő körükben hódított.

A legfontosabb tényező kétségkívül az, hogy eltelt negyven év, és a sok bolyongás után a csapat, vagy legalábbis az előőrse, megérkezett az ígéret földjére. A beszédmegértés és -szintézis technológiája különösebb csinnadratta nélkül a mindennapi élet részévé vált: ma már gyakran emberi beavatkozás nélkül kapunk a telefonba feltett kérdésre választ, és a szakértők sem tudják megkülönböztetni, még műszeres elemzéssel sem, a mesterséges és a természetes beszédet. Minden szoftverboltban kapható olyan program, ami a PC-ből beszédbeemenetű írógépet csinál – a tudományos-fantasztikus jóslatok csak azt nem látták előre, hogy ezek nem válnak közkeletűvé, hanem elsősorban a gépelni nem tudó csökkent mozgásképességűek számára jelennek majd fontos segítséget. Ma már nem ritka, hogy az ilyesfajta 'voice command' rendszerek jobban értik a súlyosan torzult beszédű beteget közvetlen (emberi) környezeténél; nemcsak az ápolójánál, de még az édesanyjánál is.

Különösen fontos tudni Chomsky jelenlegi visszhangtalanságának megértéséhez, hogy ezek a számítógépes programok éppen azokon a Markov-modelleken (tehát a legegyszerűbb, hármas osztályba tartozó rendsze-

reken) alapulnak, amelyekről Chomsky és George Miller (Miller – Chomsky, 1963, 419–491.) kivont karddal védték az elméleti nyelvészeket. A történet nem lenne teljes annak említése nélkül, hogy a mindehhez a statisztikai háttérrel adó George Miller (a Princeton Egyetem nagyszerű pszichológusa, aki a klasszikus Zipf-törvényt Benoit Mandelbrotot megelőzve vezette le egy egyszerű 'majmok és írógépek' modellből), végül is nem ezzel, hanem egy tudományos szempontból ultrakonzervatívnek nevezhető elmélettel, az Arisztotelész eszméit a számítógépes szótárszerkesztésbe átültető WordNet rendszerrel vált a számítógépes munka egyik szellemi vezéralakjává.

Nem tudjuk teljesen elfogadni Kálmán László fentebb idézett megjegyzését, hogy a szabályalapú megközelítések általában is sikertelennek bizonyultak, hiszen maradt egy terület, a szótan (morfológia) ahol a mai számítógépes nyelvészetet domináló tanuló-algoritmusok még messze nem olyan sikeresek, mint a képzett fonológus/morfológus által kézzel írt szabályrendszerek. A helyzet külön érdekessége, hogy ezek a szabályrendszerek remekül együttműködnek a statisztikai alapú beszédfelismerő és szintetizáló-rendszerekkel, sőt azok ma még nélkülözhetetlen részei. De ez a fejlődés is lényegében a Chomsky által határozottan kijelölt iránnyal ellentétes vonalú volt: míg Chomsky és Morris Halle (1968) a környezetfüggő (egyes típusú) nyelvtanokat és a szekvenciális szabályalkalmazást szorgalmazták, addig C. Douglas Johnson, Kimmo Koskenniemi, Ronald M. Kaplan, Martin Kay, Lauri Karttunen, és társaik épp a véges automaták (hármas típusú rendszerek) hatékony technikai általánosításával, párhuzamos szabályalkalmazással értek el eredményeket.

A történet még távolról sem ért véget, jól látjuk ezt a gépi fordítás jelenlegi állapotán: e rendszerek jónak semmiképp sem nevezhető, de ma már használható eredményeket hoznak. Úgy gondoljuk, hogy itt is lassú, de feltartóztatathatlan minőségi javulás várható,

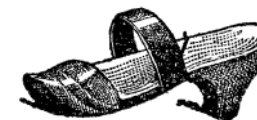
s az áhított cél, a magas színvonalú, emberi beavatkozás nélküli szöveg megértés és -fordítás még Chomsky életében elérhető lesz.

Kulcsszavak: *Chomsky-hierarchia, formális nyelvek, nyelvtanok*

IRODALOM

- Beesley, Kenneth – Karttunen, Lauri (2000): Finite-state Non-concatenative Morphotactics. In: Proceedings of the 5th SIGPHON Workshop. 1–12.
- Chomsky, Noam (1956): *Three Models for the Description of Language*. I.R.E. Transactions on Information Theory II-2.
- Chomsky, Noam (1957): *Syntactic Structures*. Mouton, The Hague
- Chomsky, Noam (1965): *Aspects of the Theory of Syntax*. MIT Press
- Chomsky, Noam and Morris Halle (1968): *The Sound Pattern of English*. Harper and Row
- Culy, Christopher (1985): The Complexity of the Vocabulary of Bambara. *Linguistics and Philosophy*. 345–351.
- Huybregts, Rini (1976): *Overlapping Dependencies in Dutch*. Utrecht Working Papers in Linguistics 1. 24–65.
- Joshi, Aravind (2003): Tree Adjoining Grammars. In: Mitkov, Ruslan (ed.): *Handbook of Computational Linguistics*. Oxford University Press, 483–500.
- Karlssohn, Fred (2007): Constraints on Multiple Center-embedding of Clauses. *Journal of Linguistics*. 43, 2, 365–392.

- Miller, George – Chomsky, Noam (1963): Finitary Models of Language Users. In: Luce, Duncan – Bush, R. R. – Galanter, E. (eds.): *Handbook of Mathematical Psychology*. II. Wiley, New York, 419–491.
- Pereira, Fernando (2000): Formal Grammar and Information Theory: Together Again? *Philosophical Transactions of the Royal Society, series A*. 358, 1239–1253.
- Postal, Paul (1964): *Constituent Structure*. Mouton, The Hague
- Pullum, Geoffrey – Gazdar, Gerald (1982): Natural Languages and Context Free Languages. *Linguistics and Philosophy*. 4, 471–504.
- Selkirk, Elizabeth (1977): Some Remarks on Noun Phrase Structure. In: Culicover, Peter W. – Wasow, T. – Akmajian, A. (eds.): *Formal Syntax*. Academic Press
- Shieber, Stuart (1985): Evidence Against the Context-Freeness of Natural Language. *Linguistics and Philosophy*. 8, 333–343.
- Stefanowitsch, Anatol (2006): Negative Evidence and the Raw Frequency Fallacy. *Corpus Linguistics and Linguistic Theory*. 2, 1, 61–77



Tudós fórum

Szubjektív tudománytörténet

Az MTA 2010-es Közgyűlésén többen részesültek magas kitüntetésben. Arra kértük őket, hogy írjanak nekünk – és önöknek – egy-egy olyan történetet, amely emlékezetes volt kutatómunkájuk során. A *Magyar Tudomány* ezzel a kis összeállítással (is) köszönti a díjazottakat.

Akadémiai Díjat kapott **Madas Edit**, az MTA doktora, az Országos Széchényi Könyvtár kutatócsoport vezetője, az OSZK-ban a Magyar Nyelv Éve alkalmából megnyílt „*Látjátok feleim...*” *Magyar Nyelvmélekek a kezdetektől a 16. század végéig* című kiállítás megszervezéséért és a kiállítás katalógusának szerkesztéséért.

A magyar gazdaság- és társadalomtörténeti iskolának egyik legkiemelkedőbb és nemzetközi szinten is jól ismert képviselőjeként elért kimagasló eredményiért részesült **Akadémiai Díjban** **Tomka Béla**, a Szegedi Tudományegyetem Történeti Intézet tanszékvezető egyetemi docense.

E havi számunkban kettejük írása olvasható.

PERGAMENKÉSZÍTÉS HÁZILAG

Mezey László az 1970/71-es tanévben *Érdy-kódex* címen szemináriumot hirdetett az Eötvös Collegiumban. Nagy László (ma Szelestei Nagy László professzor a Pázmány Péter Katolikus Egyetemen) néhány nap alatt lelkes társaságot verbuvált a kollégium latinosaiból, jelezve, hogy különleges lehetőségéről van szó: egy nagy tudású, de háttérbe szorított professzorral kerülhetünk közvetlen kapcsolatba, aki ezúttal saját belátása (és világlátása) szerint vezethet be minket a középkori kultúra rejtelmeibe. Az említett mű a legjelentősebb magyar nyelvmélek-kódex, egész évet átfogó prédikáció- és legendagyűjtemény 1526-ból. Egy évig foglalkoztunk vele, életreszóló élmény volt, ekkor köteleződtem el a középkor iránt, s idáig nyúlnak vissza az Országos Széchényi Könyvtárban megrendezett, Akadémiai Díjjal jutalmazott „*Látjátok feleim...*” nyelvmélek-kiállítás személyes előzményei is. Az alkalmi szeminárium végül egy hosszú távú képzési program kezdete lett, melyet Tóth Gábor, a kollégium igazgatója messzemenően támogatott. A gyakorlati cél tudományos utánpótlás nevelése volt kézírattárak számára, s egy akadémiai kutatócsoport létrehozása egy teljesen új forrásterület feltárására. Az új forrásterület pergamenkódexek lapjait jelentette, amelyekbe nyomtatott könyveket kötöttek a korai újkor folyamán. Ezek a kódextöredékekbe kötött könyvek százsámra őriztek meg könyvtárainkban egy-két fóliót egyébként elpusztult kódexekből. A töredékeket azonosítva, szerzőhöz, műhöz, korhoz és esetenként Magyarországhoz kötve, remény volt arra, hogy középkori művelődésünk képét

segítségükkel plasztikusabban lehet majd megrajzolni. A Fragmenta codicum Kutatócsoportot Mezey László 1974-ben hozta létre az Akadémia, az ELTE és az Eötvös Collegium támogatásával a kollégium „kis” épületében (ahol 1983-tól a Bibó István szakkollégium kapott helyet, mi addigra átköltöztünk a nagy épületbe). A kutatás megszervezése és irányítása mellett élete végéig itt tanított, s valamennyi tanítványa elhelyezkedéséről gondoskodott. Én 1975-ben kezdtem a kutatócsoportban dolgozni, s rögtön bevont a tanításba is. Az irodalomtörténetre, liturgiátörténetre, intézménytörténetre, kodikológiára és írástörténetre kiterjedő középkori stúdiumok posztgraduális formában is folytatódtak, úgyhogy első „tanítványaimnak” egyúttal hallgatótársa is voltam. Alig tudtam náluk többet. Speciális kollégiumom címe *Íróanyag és íróeszköz* volt. A középkori kéziratokkal való foglalkozás alapja a kodikológia és a paleográfia. Azért lehet egy kódexet időhöz és helyhez kötni, mert az írás társadalmi szerepének megfelelően változik, egy adott korban pedig régiókra jellemző különbségeket mutat. A latin paleográfia a teljes folyamatot kutatja a latin ábécé kialakulásától a humanista íráskorig. Ám az írásképet nemcsak a kor írásszükséglete határozza meg, hanem az is, hogy mivel és mire írtak. Nyilvánvalóan más mozdulatokkal írt az ember a rostos szövétű papiruszra írónáddal, a tenyérbe fogható viaszos táblára egyik végén hegyes, másikon lapos stílussal vagy sima pergamenre ferdére faragott, bemetszett végű pennával (lúdtollal). Pályakezdő lelkesedéssel mindezt a valóság-

ban is szerettem volna megmutatni. A középkorban a tintát pontos recept alapján főzték, egy 1412-ből való lejegyzés szerint eképpen: „Végy gubacsokat, és gondosan törd porrá, önts ná esővizet vagy gyenge sört, tégy hozzá annyi vitriolt, amennyit jónak látsz, és hagyd állni néhány napig. Ekkor szárd át gyolcsos, s jó tintát kapsz. Amikor írni készülsz, tégy hozzá egy kevés gumianábikumot, enyhe tűzön langyosítsd meg, s jó és letörülhetetlen tintád lesz, bármire is írj vele.” A visegrádi Mátyás király Múzeum restaurátora, Tavasz Imre meg is főzte a remek tintát; az „amennyit jónak látsz” kitétel nem ijesztette meg. Hasonló lelkesedéssel készített viaszablát is, a viaszt egy speciális gyurmával helyettesítve. A stílust édesapám esztergálta és faragta. Igaz, nem elefántcsontból vagy ezüstartól készült, csak fából, de a két „eszköz” jól érzékelhetővé tette, hogy a „régbbi római kurzív” írás miért áll leegyszerűsített betűkből, laza, függőleges vonalakkból. A stílust megfordítva pedig, a ferdére vágott kis lapáttal, jól el lehetett törölni az írottakat, ha már nem volt rájuk szükség. Az első sikereken felbuzdulva elhatároztuk, hogy megpróbálkozunk a pergamenkészítéssel is, amihez a kollégium mosókonyhája megfelelő szintérnek ígért. Igaz, csak abban hasonlított a Diderot-féle enciklopédiában ábrázolt műhelyhez, hogy kád, víz és lefolyó volt benne. Sikerült a váci vágóhídról frissen lenyúzott borjúbőrt szerezni, olyan valóságosat, hogy még a kis paták is rajta voltak. A pergamenkészítés lényege a meszes víz, megfelelő szerszámok és a szakértelem. Ezekből csak az első állt valójában korlátlanul rendelkezésre. A bőrt jól megmostuk, érzékelve, hogy a pergamennek méltán van „szőrös” és „húsos” fele, és sűrű meszes vízbe tettük, s ezt gyakran kevergettük, cseréltük. Néhány nap múlva a szőr levált a bőrről, a hús- és zsírmaradványokat pedig

viszonylag könnyen el lehetett távolítani egy éles késsel a másik oldaláról. Az első nagyobb baj ekkor történt, a lefolyó úgy eldugult, hogy a szippantó is csak keservesen birkózott meg vele. Az egyébként nagyon kedves gondnoknő jóindulatát ezzel egy időre elvesztettük. A bőrt ekkor már csak enyhén meszes vízbe merítettük, és megpróbáltuk éles, nagy késsel mindkét oldalán vékonyítani. Ehhez domború bakra lett volna szükség és két végén nyélben végződő hajlított pengére. Belenyugodtunk, hogy nem lesz tökéletes a pergamen, de azért csináltattunk egy fakeretet, amire kifeszíthettük a még mindig legalább 3-4 mm vastag bőrt. A megfelelő szerszám egy olyan fakeret lett volna, melyből kis pecek állnak ki. Ezekhez kellett volna körben a pergamen széleit hozzáérősíteni, hogy a tágulásának vagy zsugorodásának megfelelően utána lehessen engedni, s itt kellett volna a bőrt egy másik, hold alakú, nyeles szerszámmal papírvékonyaságúra finomítani, kréppapírral meghinteni, s a keretből levéve megfelelő nagyságúra vágni. Mivel a minőségről ügyis lemondtunk, hosszú kárpitoszettekkel feszítettük a keretre a vastag bőrt, s péntek lévén alig vártuk, hogy hétfőn folytathassuk a kontárkodást. Hétfőre azonban a matéria kőkeményre merevedett, felkunkorodó széleiből hetykén álltak ki a hosszú szögek. Később tudtam meg, hogy az áthatolhatatlan középkori bőrpáncél anyagát sikerült előállítanunk. A pergamenkészítés mestersége iránti megbecsüléssel veszek kézbe azóta is minden kódexet és kódextöredéket, még ha a tartalmuk a fontos számomra ma már, s nem az íróanyag.

Kulcsszavak: *középkori könyvkultúra, kéziratok és kézirat-töredékek, kodikológia, paleográfia, pergamen, tintarecept*

Madas Edit

KÉZNYÚJTÁSNYIRA

Hatan-heten ültük körbe az asztalt a neves berlini egyetem szintén nemzetközi híru intézetének igazgatói szobájában – volt közöttünk nő és férfi, fiatalabb és idősebb, a pályán már előrehaladt kolléga és szárnyait még csak bontogató fiatal kutató. A szobába belépő német professzor kézfogással üdvözölt bennünket. Ez a semmiképpen sem rendkívüli aktus azonban sajátos koreográfia szerint zajlott. Az újonnan érkezett nem az asztalnál körben haladva, sorban rázott kezét a jelenlévőkkel. Ehelyett a professzor egy szempillantás alatt áttekintette a hierarchiaviszonyokat és az udvariassági szabályokat, s az így kapott szintetizált rangsornak megfelelően, mintegy lóugrásban haladva üdvözölte az asztalnál ülőket: a magasabb pozícióban lévőkkel és a hölgyekkel előbb, mint a pályakezdőkkel és férfival, de az idősebb és magasabb pozícióban lévő férfival előbb, mint a fiatalabb nővel. Ezt a megoldást bizonyára jó néhányan a kifinomultság és illetudás eredményének tekintik, de az adott helyzetben számomra mégis komikusnak tűnt, s nem csak azért, mert a jelenlévők elhelyezkedése igencsak körülményessé tette a kézfogásban éppen sorra kerülő személy megközelítését. Ilyen és ehhez hasonló hétköznapi tapasztalatok ébresztettek rá arra, hogy a magyarországi akadémiai vagy tudományos kultúra még az általában példának tekintett rendszerekkel szemben is hordoz előnyös vonásokat.

Idővel megtanultam becsülni ezeket a jellemzőket, melyek általában nem kapnak figyelmet. Hiszen ki ne ismerné a tudományos kutatás kiváló németországi, vagy Egyesült

Államok-beli feltételeit? Magam is jónéhányszor megtapasztaltam, milyen munkafeltételeket nyújtanak a példás szervezetségű német levéltárak, ahol – sok hazai társunkkal ellentétben – az anyagok rendszerezve és feldolgozva sorakoznak, s például mutatókönyvek és más segédletek egész garmadája segíti a gyors eligazodásban a történezt. Ugyanez érvényes a kiváló amerikai egyetemi könyvtárakra, ahol a hagyományos papíralapú könyv- és folyóirat-állomány mellett az elektronikus adatbázisokon keresztül magától értetődően elérhető gyakorlatilag a nyugati világ minden folyóirata, s ha valami mégsem, huszonnégy órán belül másolatban és ingyenesen beszerezhető a könyvtár az igényelt tanulmányt. Maradva a német példánál, töltöttem már hosszabb időt olyan német egyetemi intézetben, ahol a hetente megrendezett szemináriumokon egymásnak adták a kilincset a világ vezető kutatói, bemutatva éppen folyamatban lévő munkáikat, s meghívásuk természetesen kiváló konzultációs és kapcsolatfelvételi lehetőségeket biztosított a helyi kollégáknak. Még sokáig lehetne sorolni az ilyen tapasztalatokat, amelyekből nyilvánvalóan tanul a külföldre látogató hazánkfi vagy -leánya, de szokásos reakció – saját magamat is beleértve – emellett a frusztráció, esetleg a lemondó legyintés, hogy ilyennel mi magyarok soha nem rendelkezünk majd. Legrosszabb esetben pedig azt a következtetést vonjuk le, hogy ezekhez hasonló kutatási feltételek híján nem is lehetséges nemzetközileg magasán elismert kutatások folytatása Magyarországon, legalábbis a társadalom- és humán tudományokban nem.

Nem teljesen alaptalanok az ilyen vélemények, és semmiképpen sem szeretném megerősíteni a hazai tudományszervezés és -támogatás számos negatív vonását. Mindig is nagy élvezettel tettem külföldi szakmai utakat, tanítottam vagy kutattam idegen egyetemeken, mégis az elmúlt két évtizedben szerzett számos külföldi tapasztalatom megtanított becsülni a hazai tudományos élet és egyetemi szféra jó néhány előnyös oldalát is. A hiányok mellett gyakran éreztem azt is, hogy a hazai adottságok előnyöket is kínáltak számomra külföldi kollégáimmal összevetve. Nem állítom, hogy szakmai életutam általánosan jellemző, de az elmúlt két évtizedben éppúgy élvezhettem Magyarországon a tanítás szabadságát s a kutatás és a tanítás egységét, mint az azonos generációhoz tartozó német kollégáim, velük ellentétben azonban már pályám korai szakaszában is biztos állással rendelkeztem, ami lehetővé tette, hogy hosszú távra tervezzek, s minden energiámat – a család mellett – a kutatásnak szenteljem. Német

pályatársaimtól eltérően, s azonos korú amerikai kollégáimhoz hasonlóan nem akadályozta munkámat a merev egyetemi hierarchia – utalok a bevezetőben említett példára, s annak itt hely hiányában nem részletezhető konzekvenciáira. Ugyanakkor sok amerikai kollégától eltérően – akik közül jó néhányan nyáron még fizetést sem kapnak – a munkavállalói jogok viszonylag magas fokával rendelkeztem, ami szintén növelte számomra a pálya vonzerejét.

A kérdés mindazonáltal aktuális: lehetséges-e úgy felszámolni a hazai egyetemi és kutatási szféra hiányosságait, a gyakori bezárkózást és slampossgót, hogy megőrizzük ezeket az értékeinket, melyek maguk is egyértelműen a hazai kutatás versenyképességét segítik?

Kulcsszavak: *szakmai pályafutás, szubjektív jegyzetek*

Tomka Béla



A Magyar Tudományos Akadémia új levelező tagjai

Kedves Olvasóink,

régi szokásunk, hogy az MTA új tagjait – ha csak röviden is – bemutassuk. Reméljük, hogy a *Magyar Tudomány* néhány kérdésére adott válaszaik legalább vázlatos képet adnak róluk. Az Akadémia most megválasztott tagjai idén a következő kérdéseket kapták:

1. *Mit tart a legfontosabbnak, leghasznosabbnak kutatómunkájában, és mit tart a legérdekesebbnek? Mert e kettő nem mindig közös halmaz. . .*
2. *Mit vár saját magától, milyen tudományos eredményt szeretne elérni tudományos pályafutása során?*
3. *Ki tart az egyetemes tudománytörténetben példaképének – nem feltétlenül a saját tudományterületéről –, és miért éppen őt?*
4. *A tudományosság elkövetkező tíz évének eredményei közül mi izgatja leginkább a fantáziáját?*



KAMARÁS KATALIN (1953)

Fizikai Tudományok Osztálya • Szakterület: szilárdtestfizika, rezgési spektroszkópiák • Foglalkozás: tudományos tanácsadó

1. A két legtöbbet hivatkozott, tehát a nemzetközi tudományos közösség által jelentősnek tartott munkámban közös, hogy csapatmunkában született és nagyon jó minőségű mintákon: az egyik kuprát szupravezetőkön, a másik szén nanocsöveken. Gondos spektroszkópiai munka és alapos analízis után jutottunk mindkét esetben fontos következtetésekre ezeknek az anyagoknak az elektron szerkezetét illetően.

Amit a legérdekesebbnek tartok, az az a terület, ahol „tanult” és „választott” két szakmámat, a kémiát és a szilárdtestfizikát össze tudtam kapcsolni, ez pedig a molekuláris szilárdtestekben a molekularezgések és az elektrongerjesztések csatolása. Egy molekulakristályban a klasszikus kémia nem számol szabad elektronok jelenlétével, egy fémben pedig az atomtörzseket a fizikus háttérnek tekinti, nem feltételezi, hogy a rácspontok külön többatomos egységként tárgyalhatók. A két szemlélet összekapcsolásában fontos szerep jut a molekuláris szimmetriának, ami pusztán esztétikai okokból már nagyon korán megfogott Török Ferenc professzor úr kvantumkémiai előadásait hallgatva. Végül két

anyagcsaládra alkalmaztam ezt a megközelítést, időben meglehetősen távol egymástól: először, még doktoranduszként, egydimenziós szerves vezetők infravörös spektrumait értelmeztem két, viszonylag kis impaktfaktorú folyóiratcikkekben, amiket szerencsére belépőül használhattam David Tanner professzor laboratóriumába, ahol a szilárdtestek infravörös spektroszkópiájának alapjait megtanultam. Hazatérve, már a saját itthoni laboromban, az egyik első doktoranduszom közreműködésével, a fullerénekből képzett sok elektromos tulajdonságait sikerült a molekularezgésekkel való kölcsönhatás alapján értelmezni (Mott–Jahn–Teller szigetelő állapot). Ezek az eredmények már nagyobb nemzetközi visszhangot keltettek, főleg, mivel a Berkeley Egyetem kutatói pásztázó alagútmikroszkópiával az általunk jósolt szimmetriát meg is tudták jeleníteni.

A „hasznosságról” még: több olyan területen dolgoztam, ahol később hasznosítható eredmények születtek, bár már nem az én munkámhoz kapcsolódóan. Az egydimenziós szerves vezetők közül nőtte ki magát a szerves világító diódák (OLED) kifejlesztése, amiért Alan Heeger, Sirakava Hideki (Hideki Shirakawa) és Alan MacDiarmid 2000-ben Nobel-díjat kaptak. A szén nanocsövek egyik legígéretesebb alkalmazása az átlátszó vezető rétegek, például érintőképernyők új generációja. A jövőben is szeretnék olyan alapvető eredményeket elérni, amelyek hasonló alkalmazásokkal járulnak hozzá a technológia fejlődéséhez.

2. Azt várom, hogy továbbra is kíváncsi maradjak, lelkesedni tudjak az új és ismeretlen dolgok iránt, és a tanulni vágyás mellé kapcsolódjon a kellő tanulni tudás és szorgalom is ahhoz, hogy a kíváncsiság eredménnyel is

járjon. Hozzá szeretnék tenni a világról alkotott képünkhöz, hogy évek múltán többet tudjunk róla, mint most. Ezt valószínűleg az anyagtudomány területén és valamilyen spektroszkópiai módszert alkalmazva tudom elérni, de ha arra most válaszolni tudnék, hogy az pontosan micsoda, akkor az már nem a jövő lenne, hanem a múlt. A hazai tudományos és a tudományt befolyásoló külső körülmények közti életben maradáshoz pedig határtalan optimizmust és humorérzékletet kívánok magamnak.

Ennél is fontosabbnak érzem, hogy az így összegyűjtött tapasztalatot, hozzáállást tovább tudjam adni fiatal kollégáimnak: legyenek elegenden, és én tudjak nekik követhető mintát adni és lelkesíteni őket, hogy hosszú távon a tudományos kutatást válasszák életpályának, de úgy, hogy közben teljes életet tudjanak élni. Jelenleg két tanítványom van távol, egyikük sikeres kutatómunkát folytat külföldön, másikuk két kislány édesanyja, aki mostanában készül visszatérni a kutatásba, és én mindketőtőlükre egyformán büszke vagyok.

3. Marie Curiet, pontosítok: *azt* a Marie Curiet, akit Ève Curie könyvéből megismertem. E könyvnek nagy szerepe volt abban, hogy kutató lettem, és hogy nem vettem különösebben komolyan a sötét jóslatokat, hogy ez vagy úgyse fog nekem menni, vagy ha igen, sose lesz normális családom. Még egy lényeges tanulsága van az ő pályájának: ha mint tervezte, hazamegy Lengyelországba a Sorbonne-beli tanulmányai után, és középisko-

lai tanár lesz, akkor valóban eggyel több jól képzett tanár lett volna Lengyelországban, de soha nem neveztek volna el kémiai elemet az országról. Úgy gondolom, fontos, hogy azokat a kivételes tudósainkat, akik az egyetemes tudományt máshol tudják szolgálni, jó szívvel engedjük el és legyünk büszkéek rájuk.

A másik példakép Alexander Fleming, aki ragaszkodott ahhoz, hogy a penicillint a háborús sebesültek azonnali kezelésére alkalmazassák, és nem *spin-off* céget alapított.

Nem lenne teljes a kép, ha nem említéném meg édesanyámat, Dr. Osztovcics Magdolnát, aki a magyar klinikai humán genetika egyik megalapítója volt. Ő az igen jelentős kutatómunkája mellett mindig gyógyító orvosnak tartotta magát, és engem mindig csodálattal (és kicsit irigységgel) töltött el, hogy milyen közvetlenül tud embereken segíteni. Rengeteget tanultam tőle, főleg tudományos etikában, és nagyon sajnálom, hogy nem érhettem meg akadémikussá választásomat.

4. Nem akarok abba a hibába esni, amibe egyes tudománypolitikáért felelős döntéshozók: nem hiszem, hogy eredményeket meg lehet rendelni. Érdekes új anyagokat, az anyagi építőkövekbe való minél részletesebb belátást (mikroszkópiás módszerek), és minél több használható tudást a betegségek gyógyításához. Hogy ezt ki és hogy éri el, azt szigorúan a szaktudományok művelőire hagynám. Annyit talán hozzátennék, hogy alaposabb, intenzívebb párbeszédet szeretnék az egyes tudományágak között.



KOMJÁTH PÉTER (1953)

Matematikai Tudományok Osztálya • Szakterület: halmazelmélet, kombinatorika, valós függvénytan • Foglalkozás: matematikus, tanszékvezető egyetemi tanár

1. Munkám egyik legfontosabb része a végtelen gráfok kromatikus számával kapcsolatos vizsgálatokból áll. Már a véges gráfok kromatikus számának kérdései is igen nehezek, a végtelen gráfok esetében ezek még nehezebbé válnak, egyszerű állítások, amelyek a véges esetben triviálisak, néha nem is teljesülnek. Így például egy gráf részgráfjainak kromatikus számai átugorhatnak számosságokat. Ugyanezt elmondhatjuk egyes Ramsey-típusú kérdésekről. Az él-Ramsey kérdésekkel kapcsolatban vannak igen nehezek, van olyan végtelen gráfokra vonatkozó tétel, amely különös módon implikálja bizonyos tulajdonságú véges gráflétezését, anélkül, hogy akár elvi lehetőséget adna a mondott gráf megkonstruálására.

2. Van néhány igen nehéz, Erdős Páltól és Hajnal Andrástól származó probléma a végtelen kombinatorika témakörében, végtelen

gráfokkal, partíció relációkkal kapcsolatban. Ezekre eddig is sok időt szántam, szeretném látni a megoldásukat. Ugyancsak érdekelnek azok az állítások, amelyek a kiválasztási axióma segítségével adnak paradox halmazokat az euklideszi terekben. Vannak tételek, amelyekre szeretnék alternatív, egyszerűbb, többet megmutató új bizonyításokat adni. Ilyen például Ron Aharoni és Eli Berger bizonyítása Erdős egyik legmerészebb sejtésére, a Menger-tétel végtelen formájára.

3. Kivételes szerencse jutott osztályrészemül, mivel tanulóéveim, majd kutatótevékenységem alatt számos kiemelkedő, egyszerű tudóssal dolgozhattam.

Már gimnazista koromban nagy hatással volt rám Pósa Lajos, akitől sok matematikai eredmény mellett a tanítás fontosságát is megtanulhattam.

Mesterem elsősorban Hajnal András volt, akitől nemcsak szakmám nagy részét sajátíthattam el, de azt is, hogy sokszor egy jó fogalom, egy alkalmasan feltett kérdés többet jelenthet, mint számos tétel, mikor érdemes egy részállítást külön megfogalmazni. Úgy is fogalmazhatom, hogy Hajnal nemcsak azt tanította meg, min gondolkozzak, hanem azt is, hogyan. Ő ismertetett össze Erdős Pállal, aki a magyar matematikát mindvégig kapcsolatban tartotta a matematikusvilág élvonalával, és levezényelte a modern matematika egyik fontos paradigmaváltását. Nagy hatással volt rám Erdős szenvedélyes, ihletett problémakeresése, minden megoldott sejtés után azonnal újakat gyártott, kijelölve a továbbhaladás útját. Lenyűgöző módon sokszor évtizedekkel később derült ki, mennyire tökéletesen eltalálta a helyes állítást. Hatalmas tájékozottsága, intelligenciája és vérbő humora volt, emellett a legmélyebben hitte és gyako-

rolta az emberek teljes egyenlőségének elvét.

Szakmailag a mai napig nagy hatással van rám Saharon Shelah, az izraeli matematikus, aki teljesen átformálta a halmazelméletet és a modellelméletet.

Rendkívül izgalmas, végtelenül tanulságos a bizonyításait olvasni, nehéz, lehetetlen problémák tucatjait oldotta meg a legtöbb esetben egyedül, új módszerrel. Kéziratait, cikkeiket olvasva mindig az újdonság felfedezésének örömét érzem, lenyűgöző, hogy látszólag kis jelentőségű írásaiban is sokszor elképesztően szellemes eredeti gondolatok sorjáznak.



PODANI JÁNOS (1953)

Biológiai Tudományok Osztálya • Szakterület: numerikus ökológia • Foglalkozás: egyetemi tanár

1. A „*Mi a leg...*”-gel kezdődő kérdésekre nem mindig könnyű válaszolni. Ha a dokumentálhatóan legfontosabb eredményekről beszélünk, akkor kétségkívül a sokváltozós biológiai adatok feldolgozásának módszertanában elért eredményeimet kell megemlítenem, hiszen ezekre kaptam eddig a legtöbb hivatkozást. Könyveim és egyéb publikációim talán

4. Boldog lennék, ha valaki a közeljövőben igazolná a Riemann-sejtést, lehetőleg kiterjesztett formában. Ennek nemcsak az az oka, hogy a számelmélet igen sok területe áll kapcsolatban vele, sokszor teljesen természetesen kerül elő, hanem mert minden bizonytalannal új fogalmakat, módszereket igényelne. Márpedig, minden jel arra mutat, hogy egy rendkívül erős, új nemzedék lépett a világ matematikájának színpadára, amely eddig is érinthetetlennek vélt sejtések sorát oldotta meg. Remélem, a nagy tételek e sorozata folytatódik, és új, jelentős elméletek fognak létrejönni.

elősegítették azt, hogy a biológusok korrekt módon elemezzék adataikat, s a mintavételezés és adatgyűjtés megtervezése előtt tisztában legyenek későbbi értékelő lehetőségeikkel. Ha azonban számokban nem mérhető, szubjektív fontosságot nézünk, akkor más megvilágításba helyeződnek a dolgok, és a legfrissebb eredményeim jutnak először az eszembe. Mostanában több cikket is írtam az evolúciobiológia és a rendszertan kapcsolatáról, amely véleményem szerint Charles Darwin *A fajok eredete* című könyvének megjelenése után százötven évvel is még több ponton tisztázatlan. Az alapvető ellentét voltaképpen nyilvánvaló, az evolúció maga a többé-kevésbé folytonos változás, ám a taxonómusok számára az osztályozás állandósága, stabilitása alapvető fontosságú. A konfliktus négy ponton tapintható ki határozottan: az egyedek besorolása egymástól jól elhatárolható taxonokba, a taxonok hierarchiába rendezése, a törzsfák és a nómenklatúra. Egyetlen jó megoldás lehetséges, hiszen el kell döntenünk: vagy minden valaha élt szervezetet egy osztályozásban próbálunk egyesíteni, de ekkor a Linné-féle hierarchia nem működik, vagy pedig csak az egy idősíkban létező élővilágot rendszerez-

zük, ami viszont kiválóan megy a Linné-féle rangokkal is.

A dokumentáltan leghasznosabb eredményem talán az, hogy a módszereket, ide értve az általam kidolgozottakat is, közvetlenül felhasználható formában, számítógépes programként hozzáférhetővé tettem a biológusok számára. Ha a hasznot még inkább emberközpontúan vesszük, akkor kiemelném, hogy az utóbbi időben orvosi jellegű kutatásokban is részt vettem adatok elemzésével (például az oszteoporózis genetikai háttere), de közleményeink hatása kevésbé mérhető még. Ugyanakkor módszereimre és azok számítógépes megvalósításaira már több száz PhD-disszertációban hivatkoznak világszerte, s ezt legalább olyan fontosnak tartom, mint a cikkekben megjelent idézések.

A legérdekesebb és egyben legizgalmasabb talán nem is egy kutatás, hanem szervezőmunka volt: az Akadémiai Kiadó gondozásában megjelenő *Community Ecology* című folyóirat beindítása és szerkesztése. Két kisebb periódikum fúziójából jött létre 2000-ben, s kezdetől fogva az volt a célom, hogy minél előbb impaktfaktoros legyen, s ezáltal hazai kiadású, de nemzetközileg is jegyzett fóruma legyen a magyar ökológiának. Sok munkával és nagyon sok kolléga önzetlen segítségével mind ez már évekkal ezelőtt megvalósult, s mostanság egyre több kéziratot kapunk külföldről is.

2. Ez se könnyű kérdés, hiszen a tudományban nem egyszerű tervezni, az pedig végképp lehetetlen, hogy bármilyen eredményt előre lássunk, megjósoljunk, vagy akár várjunk. S valóban, sokan úgy adnak be kutatási pályázatokat, hogy eredményeik jelentős része voltaképpen rendelkezésre áll, de legalábbis a lényeges részletek már körvonalazódnak – s

az elnyert pályázati összeg a kutatások befejezésére, vagy egy része a pályázatban meg sem nevezett problémák vizsgálatára fordítódik. Ez szerintem teljesen elfogadható stratégia, hiszen a tudományban a határidők és a tervek nem azt jelentik, mint egy építkezésen. Nem lehet előre tudni, mikor milyen ötletünk pattan elő, mikor változtatja meg kezdeti elképzeléseinket egy részeredmény, s mikor jelenik meg időközben egy hasonló témában dolgozó külföldi kolléga publikációja. Így azután a jövőre nézve csak egy dologban vagyok bizonyos: szeretném megírni a zöld növények evolúciós rendszertanát, ami egy korábbi könyvem teljes átírását, kibővítését jelenti. Kutatásaimban pedig folytatom a megkezdett utat, vagyis az adatelemző eljárások fejlesztését, biológiai problémákhoz való igazítását. Manapság szinte exponenciálisan nő a rendelkezésünkre álló biológiai adatok mennyisége, s ezt a régi adatfeldolgozó eljárásainkkal követni se tudjuk. Úgyhogy kimeríthetetlenek a lehetőségek, de egy konkrét fejlesztés mindig a felvetett problémához igazított megoldásoktól függ.

3. Számomra leginkább meghatározó, példakép szintű személyiség néhai professzorom, Juhász Nagy Pál akadémikus volt, aki sajnos már tizenhét éve nincs közöttünk. Szerencsésnek mondhatom magam, hiszen közelről ismertem, s közvetlenül tanulhattam tőle. Sokat köszönhetek neki, és ilyen sok év elmúltával is sokszor képzeletben megkonzultálok vele egyes nehezebb, fajsúlyos problémákat. Nem állok ezzel egyedül, mert nagyon sokan tartják őt a magyar elméleti ökológiai iskola megalapítójának, és így sokan vallhatják magukat a tanítványának is. Szerintem Juhász Nagy Pál – vagy ahogy sokan hívtuk: JNP – munkássága az egyetemes biológiatörténet

része, mert olyan modelleket dolgozott ki, amelyek a biológiai mintázatok értékelésében forradalmian újak voltak.

Talán nem meglepő, hogy biológusként a legnagyobb valaha élt biológusnak Darwint tekintem. Nem is feltétlenül azért, amiről közismert. Művei egyszerűen félelmetes olvasmányok: földkörüli útról írt naplója elkesztő megfigyelőkészségről és éleslátásról árulkodik. A fent már említett *A fajok eredete* pedig páratlan szintetizáló képességet, hozzáadott tudományos értéket és bölcs előrelátást jelez, olyan gondolati konstrukciót, amit manapság az internet adta lehetőségek kihasználásával, a genetika és a molekuláris biológia mai eredményeit ismerve sem lenne könnyű megvalósítani. Entz Géza és Soós Lajos hetven évvel ezelőtti megjegyzése („szellemi nagyságánál csak a szerénysége volt nagyobb”) pedig ennek tükrében még igazabbnak tűnik, mint valaha.



SCHAFF ZSUZSA (1943)

Orvosi Tudományok Osztálya • Szakterület: patológia, hepatológia, onkológia • Foglalkozás: orvos, patológus, egyetemi tanár

4. Sok biológussal egyetértésben azt szeretném leginkább megtudni, hogy melyek is az Élet fájának főbb ágai, hova konvergál az a sok eredmény, amit laboratóriumok százai publikálnak világszerte. Igen izgalmas kérdés, hogy mai ismereteink alapján mennyire sikerülhet a múlt rekonstrukciója. Ezzel kapcsolatban azt várom, hogy szépen lassan elmosódik, ha nem is tűnik el teljesen az az ellentét, ami ma az ún. szupraindividuális és infraindividuális biológiai irányzatok között húzódik. Nagy dolog lenne például azt is megérni, hogy kifejlesztenek egy hordozható készüléket, melynek segítségével már a terepen lehetne gyorsan, molekuláris módszerekkel faji szinten azonosítani egy növényt, bármely szerve, s annak bármilyen picit darabja felhasználásával. Ennek lehetőségét már sokan felvetették, és látva, hogy milyen rohamosan csökken a DNS-szekvenálás költsége, ez talán nem is csak fantazmagória.

1. Pályám folyamán a legtöbbet a máj megbetegedéseit kutattam. Mindig elgondolkoztattott, hogy szervezetünk egyik legnagyobb, és szerkezetét tekintve viszonylag egyszerű felépítésű szerve milyen bonyolult funkciót lát el, és valóságos boszorkánykonyhaként működik. Ugyanez igaz a megbetegedéseire is. A különböző károsításokra a máj csupán néhány alapreakcióval válaszol, ezek kombinációjából mégis igen bonyolult, eltérő jellegű és súlyosságú betegségek alakulnak ki. Számomra a legérdekesebb azonban az, hogy a vírusok hogyan képesek „uralmuk alá hajtani” a májat, és a betegségek széles skáláját létrehozni, köztük az egyik legfélelmetesebbet, a májrákot. Kutatásaim során azt vizsgáltam, hogy egyes, egyébként többnyire májgyulladás okozó vírusok milyen módon válhatnak onkogén hatásúvá, azaz rákkeltő-

vé. Több munkatársammal rámutattunk arra, hogy a hepatitis B-vírus több citokin hatását fokozza, melyek serkentik a genetikailag károsított májsejtek növekedését. Igazoltuk, hogy a hepatitis C-vírus rákkeltő hatásában egyik komponensének, az ún. *core*-nak jelentős szerepe van, és az interferál a sejt zsíryanagycseréjével. Számos egyéb hatás, például az alkohol a hepatitis C-vírussal együtt hatva, felgyorsítja a daganatképződést, és májrákhoz vezethet. Újabban az egyik legizgalmasabb kérdésnek azt tartom, hogy a sejtek közötti kapcsolatok hogyan változnak meg a daganatok kialakulása során. A daganatsejtek „életében” a szöveti kötelékből való kiszabadulás igen fontos lépés, és a tumorsejtek terjedésében alapvető történés. A várttal ellentétben azonban azt találtuk, hogy egyes ún. sejtkapcsoló fehérjék fokozottan termelődnek a rosszindulatú daganatok kialakulását megelőző szakaszban, valamint egyes, már ún. invazív daganatokban. Ez a paradoxon megoldása és magyarázata még várat magára. A fokozottan termelődő sejtkapcsoló fehérjék kimutatása viszont jelentős lehet egyes tumorok korai felismerésében és esetleges célzott terápiájában is.

2. Az előző gondolatsort folytatva, tervem, hogy a fent említett sejtkapcsoló fehérjék szerepét, egymással való kapcsolatát jobban megismerjük. Ezek közül néhányat diagnosztikus, ún. tumor-markerként szeretnénk kifejleszteni. További vizsgálatokkal szeretnénk feltérképezni, hogy egyes szervek daganataiban mely fehérjék termelődnek fokozottan, és az ellenük termelt ellenanyagokkal vagy más módon ezeket a tumorsejtek elpusztítására használni. A májrák vonatkozásában elsősorban azt kívánom vizsgálni, hogy mi befolyásolja a hepatitis C-vírus okozta króni-

kus betegségek kialakulását, azaz miért jön létre egyesekben csak viszonylag enyhe betegség, másokban súlyos májgyulladás, májzsugor vagy éppen májrák. Régóta tanulmányozom a májdaganatok sokféleségét, lefolyását. Olyan új molekuláris osztályozásokat kívánok létrehozni, mely biztosabban elkülöníti egymástól a különböző dignitású daganatokat, és irányt mutatnak a kezelés számára.

3. Az általam művelttől igen eltérő területről választottam „példaképet”. Számomra Dante Alighieri a példakép, aki talán nem tudós a szó „természettudományi” értelmében, ám az életemet, etikai elveimet, a világról alkotott képemet meghatározó alkotó. Ha fáradt vagyok, ha sikertelenséget érzek, ha erőt akarok meríteni, Dantét olvasok. Ha boldog vagyok, sikert értem el, akkor is Dantét olvasok. Azt hiszem, ember csodálatosabb alkotást nemigen hozott létre, mint az ő művei. Nyelvének tömörsége, hihetetlenül gyönyörű szóképei, kifejezőereje írni is tanított. Élvezettel lapozom az *Isteni színjáték* illusztrációit is. Érdekes, hogy más, „képi” művészekben milyen reakciót váltanak ki az egyes énekek. Salvador Dali, Gustave Doré, Gy. Szabó Béla és sokan mások ugyanazt a történetet milyen eltérően vetették papírra. Gyakran idézem munkatársaimnak a *Purgatórium* 5. énekéből Babits gyönyörű fordításában a következő sorokat: „Mert akiben minden gondolat egymást kergeti, célját egy sem érheti, mert egy a másikat gyengíti folyvást.”

Ez tudományos munkám irányelve is...

4. Erre részben könnyű felelni általánosságban a saját területemről; természetesen a rák sikeresebb gyógyítását remélem. Ha a pontosabb, realisabb képet nézem, talán sikerül az elkövetkező tíz évben az egyik legnehezebb-

ben kezelhető daganat, a májrák jobb kezelése és fokozottabb megelőzése. Remélem és várom, hogy a hepatitis C-vírus elleni vakcinát is végre sikerül létrehozni, és kijátszani a vírus változatosságát. Ám ha a társadalom

egészt nézem, a mindnyájunkat fenyegető időjárásváltozás és -katasztrófa csökkentését, megállítását látnám legszívesebben, hiszen annak fokozódása gyermekeinket és az egész emberiséget veszélyezteti.



ZSOLDOS ATTILA (1962)

Filozófiai és Történettudományok Osztálya
• Szakterület: középkori magyar történelem •
Foglalkozás: osztályvezető

1. A hozzám hasonló középkorászok kutatómunkája javarészt a források felkutatásából és értelmezéséből áll. Előbbi a vadászat izgalma miatt kedves – többnyire nem tudható előre, hogy a következő oklevélben pontosan mi található –, utóbbi pedig a rejtvényfejtés örömét nyújtja. Mindkét tevékenységet rendkívül érdekesnek találom, nem tudok és nem is akarok sorrendet felállítani közöttük. Az, hogy e munkából mi hasznos vagy fontos, aligha ítéhető meg egyértelműen. Hasznosnak – a szó anyagelvű értelmében – nyilvánvalóan csak bizonyos fenntartásokkal mondható a történeti kutatás, hiszen nem lesz tőle több, olcsóbb vagy jobb a kenyér, mindazo-

nál nem tartom szükségesnek a mentegőtőzést emiatt, mivel azokkal értek egyet, akik az olyan fogalmakat, mint az 'érték' vagy a 'haszon' nem kizárólag anyagi javakhoz kötik, s bízom abban, hogy nem túlságosan merész annak feltételezése: a *Magyar Tudomány* olvasói között ők vannak túlnyomó többségben. Egyébiránt nap mint nap tapasztalom, hogy a történelem érdeklő az emberek egy jelentős részét, s ha az ő kíváncsiságuk kielégítéséhez hozzájárulnak írásaim, munkám, gondolom, mégiscsak hasznos valamiképpen a szó szűkebben vett értelmében is. Azt azonban, hogy mi a fontos belőle s mi nem – azaz mi az, ami szakmai szempontból a leghasznosabb –, végképp nem nekem és nem most kell eldöntenem, ami nem is baj, mert valószínűleg tévednék. Somogy és Zala megye kialakulásáról írt rövidke dolgozatom például – nagy meglepetésemre – heves vitákat váltott ki a szakmában, miközben több, általam jóval fontosabbnak ítélt elképzelésem gyakorlatilag visszhangtalan maradt, jóllehet ezek esetében sokkal indokoltabbnak éreztem volna a vitát, már csak a kérdések súlyára való tekintettel is.

2. Szűkebb szakterületemről, az Árpád-kor történetéről az a hír járja – s nem is teljesen alaptalanul –, hogy a magyar középkor legintenzívebben kutatott időszak. Ennek ellenére magam bőségesen látok feladatokat az Árpád-kor kutatását illetően. Ez részben azzal függ össze, hogy jelenleg – hála a levéltáros kollégák kiváló munkájának – összehasonlít-

hatatlanul több forrás áll a kutatás rendelkezésére, mint korábban bármikor, s a kutatási feltételek is dinamikusan javulnak, így a legtöbb esetben nincs akadály annak, sőt, kifejezetten szükséges, hogy az eddigi tudásunk által megrajzolt képet felülvizsgálva, azt kiegészítsük, vagy éppen módosítsuk. Ugyanakkor régi adósságok is terhelik a szakma lelkiismeretét, ezek törlesztésére is elérkezett az idő. Most folyó fő kutatásom is egyike ezeknek: az Árpád-kor világi archontológiájának összeállítását a közeljövőben, reményeim szerint befejezem. E munka arra ad választ, hogy az ország irányításában jelentős szerephez jutó tisztségeket mikor és ki viselte, ami részint az ország igazgatásának struktúrájára derít fényt, részint alapvető politika- és társadalomtörténeti következtetések levonására kínál lehetőséget. Ezen kívül számos más olyan téma foglalkoztat, amelyekről jelenleg úgy vélem, érdemes lenne alaposabb vizsgálatot szentelni nekik. Ezekről azonban még korai lenne beszélni, mivel a tudományos kutatás csak meglehetősen szűkre szabott korlátok között tervezhető, egyébként is, többnyire csak kutatás közben lehet megbizonyosodni arról, hogy egy életképesnek látszó elgondolás valóban az-e, ott pedig még egyik esetben sem tartok.

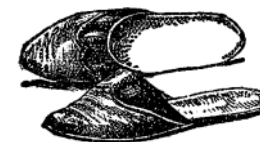
3. Példaképem, ha e fogalom azt a személyt jelöli, akihez hasonlítani szeretnék, nincs, beérem azzal, ha önmagam lehetek. Célkitűzésnek, készséggel elismerem, ez nem túlzotlan nagyratörő, de az elmúlt negyvennyolc évben elég jól összecsiszolódtunk, én meg én. Természetesen jó néhány olyan tudóst felsorolhatok, akiknek tudományos teljesítményére feltétlen tisztelettel tekintek, s közülük ketten minden kétséget kizáróan jelentős hatással is voltak rám. Egyetemi éveim alatt

– s nem csak a hallgatóként eltöltött időre gondolok, hanem az azt követő nyolc évre is, amikor TMB-ösztöndíjas, majd tanársegéd voltam – lenyűgözött egykori professzorom, Gerics József hatalmas tudása. Ő vezetett be a tudományos kutatás rejtelmeibe, s bár nem ő keltette fel bennem az érdeklődést jelenlegi szűkebb szakterületem, az Árpád-kor története iránt (az már korábban kialakult, ma már rekonstruálhatatlan folyamat eredményeképpen), de nyilvánvalóan döntő szerepe volt abban, hogy az érdeklődés igen rövid idő alatt elkötelezettséggé mélyüljön. A Magyar Tudományos Akadémia Történettudományi Intézetébe kerülve számos kiváló kollégát ismertem meg, közülük egyértelműen Engel Pál volt az, aki a legnagyobb hatást gyakorolta rám. Az ő felkészültsége nem kevésbé volt imponáló, mint Gericsé, ugyanakkor mind szakmai, mind emberi habitusát olyan nagyvonalú elegancia jellemezte, amit másban hasztalan próbáltam felfedezni.

4. Nincsenek efféle elképzeléseim, mindennek tudok örülni, mivel sok minden érdekel. Vannak persze kedvencek, ezt nem is akarom tagadni. Régebben például sokat olvastam etológiai és ökológiai tárgyú könyveket, persze, inkább csak az én tudásomnak megfelelő ismeretterjesztő írásokat, az ilyesmi most is érdekel. Örömmel olvasnék egy hatalmas Krúdy-életrajzot, mert érdekes lenne összehasonlítani a bennem élő képpel, vagy egy igazán jó és terjedelmes összefoglalást az Osztrák–Magyar Monarchia és benne Magyarország művelődéstörténetéről, különös tekintettel az irodalmi életre. A szűkebb szakmánál maradván, örülnék annak, ha zavar-talanul folytathatnánk a munkahelyemen, a Történettudományi Intézet Középkori Osztályán folyamatban lévő kutatásokat, amelyek

közül a szélesebb közvélemény előtt leginkább a néhai Györffy György akadémikus által megkezdett *Az Árpád-kori Magyarország történeti földrajza* lehet ismert. Fontos eredménynek tartanám végezetül, de legfőképpen, ha újra lennének tárgyyszerű tudományos viták a magyar középkorkutatásban. Annak idején magam számos vitát folytattam Kristó Gyulával, s mondhatom, ezek igen hasznosak voltak. Meggyőzni ugyan soha nem sikerült

egymást, de mindkettőnk érvrendszere sokat csiszolódtott a másik által felvetett új szempontok figyelembevétele következtében, s eközben emberi kapcsolatunk sem romlott meg, sőt, ellenkezőleg, mivel az a kölcsönös tiszteleten alapult, s egyébként sem egymással volt vitánk, hanem egyszerűen csak más volt a véleményünk egy-egy kérdésben. Az efféle viták, úgy tapasztalom, manapság elhalóban vannak, amit kifejezetten károsnak tartok.



Kitekintés

A FOCIBÍRÓK RÉSZREHAJLÁSÁRÓL

Meglehet, hogy a labdarúgó mérkőzéseken a játékvezetők önkéntelenül kedveznek valamelyik csapatnak, mégpedig az akció irányától függően. Egy most megjelent cikkükben ezt a feltételezést írják le a University of Pennsylvania neurológus kutatói.

Kísérleteikben, melyek részvevői a labdarúgás szabályait jól ismerő, egyetemi bajnokságokban játszó fiatalok voltak, az alanyoknak azt kellett eldönteniük, hogy látnak-e szabálytalanságot a bemutatott képeken, amelyek valós játékhelyzeteket ábrázoltak, és egyébként az angol bajnokság mérkőzésein készültek. A képeket azonban manipulálták, a mezek és a feliratok megváltoztatása mellett mindegyik akciónak elkészítették a tükröképét is, így minden szituációnak lett egy balról-jobbra és egy jobbról-balra támadó változata. Az eredmények szerint kicsi, de szignifikáns különbség volt a helyzetek megítélésében, jobbról-balra haladó akció esetén több szabálytalanságot adtak meg a kísérleti bírók.

A kutatók mindezt a balról-jobbra történő írás és olvasás következtében létrejövő beidegződéssel magyarázzák. Korábban, más típusú vizsgálatokból is kiderült már, hogy ezen beidegződés hatására az ellenkező irányú mozgással kapcsolatban esetenként bizonyos averzió, negatív érzés mutatható ki.

Ezek alapján – ajánlják a szerzők – focipályán a játékvezetőknek helyezkedésük közben

arra is ügyelniük kellene, hogy a két csapat akcióit nagyjából egyforma szemszögből ítélhessék meg.

Kranjec, Alexander – Lehet, Matthew – Bromberger, Bianca – Chatterjee Anjan: A Sinister Bias for Calling Fouls in Soccer. PLoS ONE. 2010. 5, 7, e11667. doi:10.1371/journal.pone.0011667

A KAMASZOK KÉSŐBB KELNÉNEK

Érdemes lenne az iskolakezdés reggeli időpontját a kamaszok napi biológiai órájához hangolni – ez a fő következtetése amerikai alváskutatók most megjelent munkájának.

A serdülők kialvatlansága közismert probléma a szakemberek körében, több vizsgálat is kimutatta, hogy a kamaszok sokszor krónikus alváshiányban szenvednek. Ebben az időszakban a biológiai változások gyakran vezetnek a belső biológiai ritmus eltolódásához. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy egy átlagos kamasz nem nagyon tud elaludni este tizenegy előtt. Mivel az optimális alvásmennyiség számukra kb. napi kilenc óra lenne, ideális esetben csak másnap reggel nyolc körül kelnének, de ekkor már kezdődik az iskola.

Az alváshiánynak számos kóros következménye lehet: rosszkedv, figyelem- és memóriaromlás, viselkedési zavarok, egészségügyi problémák, például elhízás vagy stimulánsok használata.

Egy amerikai magániskolában kísérleti jelleggel fél évre fél órával eltolták a tanítás kezdetét, azaz 8:30-kor kezdődtek az órák. Ez a minimális változtatás jelentősen javította a gyerekek közérzetét, éberebbek, jobbkedvűek és motiváltabbak lettek, csökkent a hiányzások és késések száma, kevesebbszer fordultak orvoshoz. Az átlagos alvásidő napi 45 perccel nőtt, és 80 százalékkal csökkent azok száma, akik hét óránál kevesebbet aludtak.

Owens, Judith A. – Belon, Katherine – Moss, Patricia: Impact of Delaying School Start Time on Adolescent Sleep, Mood, and Behavior. Archives of Pediatrics and Adolescent Medicine. Jul 2010. 164, 608.

MEMÓRIASERKENTŐ GÉNT AZONOSÍTOTTAK

Ugyanaz a molekuláris mechanizmus, amely a kalóriabevitel jelentősebb csökkentése esetén meghosszabbítja az életet, vagy amelyen keresztül a mérsékelt borfogyasztás kedvező hatással van az egészségre, pozitívan befolyásolja az agy működését is. Serkenti ugyanis a memóriát és más szellemi funkciókat – állítják a Massachusetts Institute of Technology kutatói. A vörösbortban jelentős mennyiségben jelen lévő resveratrol a sirtuin nevű enzimes család tagjait aktiválja, amelyekről az elmúlt években kiderült, hogy lassítják a sejtek öregedési folyamatait.

A Li-Huei Tsai vezette kutatások bebizonyították, hogy a sirtuin 1 fehérjét kódoló SIRT-1 gén erősíti az idegsejtek közötti plaszticitást, a neuronok közötti új kapcsolatokat, a memóriafunkciók szempontjából alapvető idegsejthálózatok kialakulását. A kutatók megállapították, hogy mindez egy általuk

felfedezett mikro-RNS-molekula működésének szabályozásán keresztül történik.

A mikro-RNS-ek világa csak néhány éve tárult fel a molekuláris biológusok előtt, és azóta egyre több folyamatról derül ki, hogy szabályozásában szerepet játszanak ezek a kicsi ribonukleinsav molekulák.

A kutatók szerint a SIRT-1 rendszer értékes terápiás célponttá válhat a központi idegrendszer betegségeinek kezelésében.

Wen, Jun Gao – Wang, Yuan – Mao, Ying-Wei – Gräff, J. et al.: A Novel Pathway Regulates Memory and Plasticity Via SIRT1 and miR-134 Nature. 11 July 2010. doi:10.1038/nature09271 Letter

REMÉNY AIDS ELLENI VÉDŐ- OLTÁS KIFEJLESZTÉSÉRE

Amerikai és izraeli kutatók két olyan emberi ellenanyagot fedeztek fel, amelyek laboratóriumi körülmények között megakadályozzák, hogy az AIDS-vírusok megfertőzzék az emberi sejteket. A kutatók le is írták azt a mechanizmust, amelynek segítségével az ellenanyagok a vírusok több mint kilencven százalékától megvédik a sejteket.

A VRCO1 és VRCO2 igen hatékony ellenanyagokat egy HIV-fertőzött páciens véréből egy általuk fejlesztett molekuláris készülékkel „halászták ki”.

A készülék alapja a HIV-vírus egy fehérjeje, amelynek szerkezetét a kutatók úgy módosították, hogy csak olyan ellenanyagokkal reagálhasson, amelyek képesek elfoglalni a vírusnak azt a kötőhelyét, amely segíti a kórokozót az emberi sejtekbe való behatolásban. Legnagyobb meglepetésükre az így kifogott VRCO1 és VRCO2 ellenanyag minden

eddig ismert ellenanyagnál jobban semlegesíti az AIDS-vírus törzsek jelentős részét.

A kutatók meghatározták a VRC01 ellenanyag HIV-hez való kötődésének atomi szintű szerkezetét is. Ezzel lehetővé vált az ellenanyag működési mechanizmusának felderítése, hiszen pontosan meghatározták, hogy a molekula mely része ejti csapdába a vírust. Ennek alapján egy olyan vakcina tervezését kezdték meg, amely megtanítja az immunrendszert arra, hogy a VRC01-hez hasonló ellenanyagot termeljen, és megakadályozza a HIV-fertőzést. A felfedezés nemcsak az AIDS megelőzése, hanem kezelése szempontjából is hasznos lehet, mert új gyógyszerek kifejlesztését segítheti – állítják a kutatók.

Wu, Xueling et al.: Rational Design of Envelope Surface Identifies Broadly Neutralizing Human Monoclonal Antibodies to HIV-1. *Science*. DOI: 10.1126/science.1187659 (2010).

Zhou, Tongqing et al.: Structural Basis for Broad and Potent Neutralization of HIV-1 by Antibody VRC01. *Science*. DOI: 10.1126/science.1192819 (2010).

NANORÉSZECSKÉKKEL A RÁK ELLEN

Régi elképzelés a daganatos betegségek elleni küzdelemben, hogy a kemoterápiás szereket szelektíven a ráksejtekhez juttassák el, csökkentve ezzel a súlyos mellékhatásokat, hiszen a sejtmérgek az egészséges sejteket is pusztítják. A University of California Los Angeles kutatói állatkísérleteikben most egy lépéssel közelebb jutottak ehhez a célhoz.

A Jie Lu által vezetett kutatások során ún. mezoporózus szilíciumrészecskékre „ültették” a kemoterápiás szert, majd beadták emberi

emlőrákkal megbetegített kísérleti egereiknek. Ezek a pórusok ezreit tartalmazó nanorészecskék pórusaikban szállították a hatóanyagot, felhalmozódtak a daganatokban, így az általuk szállított hatóanyag a tumorok pusztulását eredményezték. A kezelés végére az egerekből a tumorok gyakorlatilag eltűntek.

A kutatók emberi hasnyálmirigyrákban szenvedő állatokban is vizsgálták az eljárást, állítólag hasonlóan jó eredménnyel, ezeket azonban még nem publikálták.

Lu szerint a nanorészecskéknek két igen fontos sajátosságuk van. Az egyik, hogy kiválóan felhalmozódnak a tumorsejtekben, és úgy tűnik, hogy „útközben” az immunrendszer sem távolítja el őket idegenként a vérből. A másik, hogy négy nap alatt kiürültek a vizelettel és a székklettel, ami részben magyarázat arra, hogy miért nem találták mérgezőnek őket. Luék most újabb állatmodellekben is kipróbálják az eljárást, illetve a nanorészecske módosításával és a szállított kemoterápiás szer változtatásával is próbálkoznak.

Lu, Jie – Liang, Monty – Li, Zongxi – Zink, Jeffrey I. – Tamanoi, Fuyuhiko: Biocompatibility, Biodistribution, and Drug-Delivery Efficiency of Mesoporous Silica Nanoparticles for Cancer Therapy in Animals. *Small*, 2010;

DOI: 10.1002/sml.201000538

KISEBB A PROTON

Egy harminckét tagú nemzetközi kutatócsoport eredményei szerint a világegyetem egyik leggyakoribb alkotó részecskéje, a proton sugara körülbelül négy százalékkal kisebb, mint korábban gondolták. Ennek a látszólag nem túl jelentős eltérésnek nagy hatása lehet a kvantum-elektrodinamikai elméletekre.

Korábban a részecskefizikusok a proton méretének meghatározásakor hidrogénatomokat használtak. Ezek atommagjában egy proton található, amely körül egy elektron kering. A most publikált kísérletekben, melyeket Svájcban végeztek, a mérésekhez müonos hidrogénatomot használtak, amelyben az elektront egy negatív müon helyettesítette. Ennek töltése megegyezik az elektrónéval, tömege azonban kétszázszor nagyobb, aminek következtében közelebb kering az

atommaghoz. Ez a kisebb távolság, illetve a proton–elektron kölcsönhatáshoz képest erősebb proton–müon kölcsönhatás tette lehetővé, hogy a korábbi, hidrogénatomokkal végzett mérésekhez képest tízszer nagyobb pontosságot tudtak elérni.

Pohl, Randolph – Antognini, Aldo – Nez, Francois et al.: The Size of the Proton. *Nature*. 08 July 2010. 466, 213. doi:10.1038/nature09250

Gimes Júlia



Könyvszemle

A polgári jog Európa nagy jogrendszereiben

Még alig tettük le az *EU jog és jogharmonizáció* című nagyszabású művét, Kecskés László professzor, a Pécsi Civilisztikai Iskola „alapító atyja” máris újabb könyvvel jelentkezett. A tizenkét fejezetből álló monográfia aktualitása az uniós polgárságú magyar jogásztársadalom számára több mint kézenfekvő.

A szerző a magyar jogrendszer fejlesztéséhez és a nemzetköziesedő polgári jog egyetemi oktatásához kíván adalékokat és sémákat adni. Már most leszögezhetjük: mindezt maximálisan sikerült teljesítenie!

A mű I. fejezetében az európai magánjog történetéről és tagozódásáról szóló alapozó fejtegetések kaptak helyet, melyek közül kiemelést érdemel az európai jogi térképábrát elénk táró alpont. A római–germán és a *common law* jogcsalád sajátosságainak (René David) és jogköreinek (Konrad Zweigert – Hein Kötz) igényes bemutatásával összefüggően veti fel Kecskés professzor a kérdést, hogy beszélhetünk-e „posztoszocialista” jogcsaládról? Válasza: e problematika elmélyült vizsgálata még hátra van. Fontos a szerző azon végkövetkeztetése, hogy az európai magánjogban a konvergencia egyre nagyobb szerephez jut, a római jogi gyökerek ismét hangsúlyossá válnak.

A fenti tétel egyenesen átvezeti az olvasót az európai magánjog fejlődésének római jogi alapjait tárgyaló II. fejezetbe.

Mélyenszántó jogtörténeti elemzés után rámutat arra, hogy az ún. humanista jogtudomány járult hozzá a római jog és római jogi stúdiumok hanyatlásához. A XVII. század második felétől indult rügyezésnek a *ius commune* alól humanista hatásra felszabadulni, emancipálódni látszó nemzeti jog (*ius patrium*), illetve annak egyetemi oktatása (Uppsalában, Nagyszombaton, Párizsban, Leidenben, Spanyolországban és Itáliában).

A könyv a továbbiakban a kánonjog hatását vizsgálja a magánjog fejlődésére. Megtudhatjuk, hogy a kánonjog és a civiljog viszonya kölcsönös egymásra hatás. Nemcsak a kánonjog szelleme termékenyítette meg a római jogot, illetve a *ius communét*, hanem a kánonjogba is számos római jogi jogintézmény bekerült. A kánonjog és a világi jog egymás mellett élése, együttélése, kölcsönhatásai megkésett megnyilvánulásainak is tekinthető az a kiélezett vita, ami az EU alkotmányának előkészítése során bontakozott ki azzal kapcsolatban, hogy a kontinens identitását kifejező preambulumban történjen-e említés Európa keresztény gyökereiről.

A IV. fejezettől indul a főbb európai magánjogi rendszerek bemutatása és elemzése, nevezetesen a francia joggal. Igényes szellem- és jogtörténeti bevezető után kerül részletes bemutatásra a *Code Civil* (1804) jellege, főbb elvei, szabályai, valamint „utóélete” egészen napjainkig, beleértve a világ jogrendszereire gyakorolt hatását is Afrikától Amerikáig.

Ami az olasz polgári jogot illeti, az alapvetően a jogi partikularizmus, majd a jogi

egység kialakulásával jellemezhető. Az új *Codice Civile* (1942) érdekessége, hogy tartalmazza a kereskedelmi és munkajogot is. 1989-től az uniós jogharmonizáció felgyorsult.

A VI. fejezet tárgya: a Benelux államok polgári joga. A holland jogról a szerző megállapítja, hogy a római jog hatása nem, inkább a *ius commune* és a francia jog szerepe volt jelentős a fejlődésében. Dél-Afrikában pedig ma is hatályban van a „Roman–Dutch law” Az új holland Ptk. francia, angolszász, német és uniós elemeket egyaránt tartalmaz. A belga *Code Civil* bár a francia *Code Civil*-en alapul, de alkalmazása a belga jogi elmélet és joggyakorlat alapján történik. Ugyanez a helyzet Luxemburgban, azzal a sajátossággal, hogy a jogalkalmazó továbbfejlesztheti, sőt egyenesen módosíthatja a luxemburgi Ptk.-t.

A könyv a következőkben a német polgári joggal foglalkozik. Kecskés professzor kimutatja, hogy az 1495-ben recipiált római jog, a *gemeines Recht* hatályban maradt az újkori Ptk.-k megjelenéséig, ideértve a BGB-t is. Szép elemzést olvashatunk a pandektisztikáról, a történeti jogi iskoláról, valamint az érdeklátó jogtudományról. A BGB (*Bürgerliches Gesetzbuch*) nem csak a német magánjogfejlődésre gyakorolt óriási hatást, befolyása külföldön is jelentős (Svájc, Törökország, Magyarország, Ausztria, Japán és Brazília). 2002-ben hatályba lépett a BGB széles körű reformját hozó törvénymódosítás.

A mű VIII. fejezete Ausztria polgári jogáról szól. Az 1794. évi porosz ALR (*Allgemeines Landrecht*) kodifikációs színvonalát meghaladó, de a *Code Civil*-ét el nem érő ABGB (*Österreich Allgemeines Bürgerliches Gesetzbuch*) hatása jóformán csak a hajdani Osztrák–Magyar Monarchia területére korlátozódott. Ennek egyik fő oka az, hogy Ausztriában e kodifikáció is a birodalmi egységteremtés

részműveként jelentkezett, melynek természetes következménye volt a feudális abszolutisztikus berendezkedés megőrzése.

A továbbiakban a svájci polgári joggal ismerkedhetünk meg. A svájci ZGB (*Zivilgesetzbuch*) (1912) sajtója a francia, az osztrák és a német magánjogi hagyományok és kodifikációk kiegyensúlyozott szintézise. Nemcsak jogászok, hanem a laikusok számára is érthető. Ez azért is lényeges, mert néhány kantonban még ma is laikus bírák döntenek elsőfokon, igazságügyi ügyintézők segítségével. Bár a ZGB-ből merített Olaszország és Görögország is, teljes átvételére Törökországban került sor 1926-ban.

A X. fejezet kifejti, hogy hosszú és göröngyös út vezetett az 1946-ban hatályba lépett görög Ptk. megalkotásáig, melynek szabályozási stílusa és kodifikációs technikája félúton áll a német BGB szigorú strukturáltsága, kifinomult fogalmi apparátusa és a svájci ZGB népies nyelvezete között. A német kódex befolyása ellenére dologi jogi, családjogi és öröklési jogi részeiben önállóságot mutat. Csak az 1975-ös alkotmány és az uniós joganyag miatt kellett módosítani. Kár, hogy a könyv nem tér ki Ciprus jogfejlődésére.

Utolsó európai magánjogi szisztémaként a szerző Dániáról értekezik. Noha a dán jogi kultúrát a kontinens (főleg Németország) jogélete mindig befolyásolta, Dánia sok szempontból megőrizte sajátos különállását, amelyet a skandináv államok „belső jogharmonizációja” (1870-től) tovább erősített. Ennek egyik megnyilvánulása a polgári törvénykönyv hiánya. A „nemzetköziesedés” tendenciája, mindenekelőtt az EU joganyagának fejlődése formálja a modern dán jogot, és erősen hat a jogászai gondolkodásra.

A zárófejezet a szerény *Az európai magánjog egységesítése* címet viseli, noha tartalmilag

sokkal többet nyújt. A szerző kimerítően elemzi a hágai nemzetközi magánjogi konferenciától (1893) az Európai Bizottság által javasolt, a szerződési jog egységesítését célzó vegyes rendszerig (2003) ívelő több mint százéves folyamat állomásait és eredményeit.

A recenzált mű a főbb európai magánjogi rendszerek általános összefüggéseinek igényes bemutatásával, az egyes polgári jogi kódexek részletekre is kiterjedő dogmatikai elemzésével, problémafelvetéseivel hozzájárulhat a hazai jogászképzés minőségi megújításához, s egyúttal hasznos kézikönyve lehet az immár uniós polgárságú magyar jogásztársadalomnak. Ugyanakkor méltán tarthat számot az európai jogfejlődés iránt fogékony hazai olvasóközönség érdeklődésére is. (*Kecskés László: A polgári jog fejlődése a kontinentalis Európa nagy jogrendszereiben. Budapest: HVG–ORAC, 2009, 545 p.*)

Visegrády Antal
DSc

Újraiparosítás és a környezeti ipar

Az elmúlt harmincöt évben az ipar visszazsugorulása (a dezindusztrializáció) jellemezte a fejlett országok gazdaságának átalakulását. Egy sor hagyományos iparág – például a bányászat, vas- és acélipar, textilipar – csaknem teljesen eltűnt az európai és észak-amerikai gazdaság szerkezetéből. E termékeket vagy import helyettesítette, vagy a termelést kitelepítették az „olcsó” országokba. A következmény jól ismert: az ipari foglalkoztatás és az ipar hozzájárulása a bruttó hazai termékhez alaposan lecsökkent, s a különböző jellegű szolgáltatások foglalkoztatják a munkaerő 70–75 százalékát. A szerkezeti változás komoly társadalmi válságot okozott a hagyományos ipari körzetekben, és új típusú gazdaság- és területfejlesztési politikát igényelt. A fejlett országokban a válasz az ipari szerkezetváltás volt: a hagyományos ipar leépülésével párhuzamosan újraiparosítás kezdődött: új, tudásalapú, innovatív ipari ágazatok fejlődtek. Ez az új ipar kevesebb, de képzetesebb munkaerőt igényelt, mint a hagyományos, és általában a fejlett, gyakran nagyvárosi régiókba telepített, a kutatás-fejlesztési, pénzügyi-szolgáltatási koncentrációkhoz. A területfejlesztési po-

litika fő feladata lett a régi iparvidékek újraiparosításának vagy új gazdasági funkciók meghonosításának támogatása.

Ez a folyamat Kelet-Közép Európában – így hazánkban is – sajátos módon játszódott le. Az ipar szerkezeti átalakulása jóval később kezdődött, Magyarországon az 1980-as, több, gyengébben fejlett országban (például: Bulgária, Románia) csak az 1990-es években. A hagyományos ipar összeomlása rövid idő alatt zajlott le, és az általános tranzíciós válság kísérette, ezért következményei igen súlyosak voltak. Ekkor (1990–93 között) szűnt meg hazánkban egymillió munkahely, melyet a mai napig nem sikerült pótolni. Az újraiparosítás a tranzíciós válság lecsillapultával indult meg, s e folyamatot főleg a külföldi transznacionális vállalatok kihelyezett termelő (olykor kutatási) egységei formálták, a hazai tőke gyenge részvétele mellett. Az új, tudásalapú ipar az ország legfejlettebb régióiba települt, jelentős részben a Budapest–Bécs-tengely mentén, hozzájárulva ezzel a területi egyenlőtlenségek éles növekedéséhez. A magyar területfejlesztési politikának is egyik kulcskérdése, hogy milyen jellegű, szerkezetű újraiparosítást támogasson, mely a.) bevezethető a kevésbé fejlett régiókban is; b.) képes foglalkoztatni a helyi munkaerőt és helyi

infrastruktúrát c.) feltehető a tartós növekedése, és d.) hosszú távon is jó feltételekkel rendelkezik helyben, nem fenyegeti a gyakori áthelyezések veszélye. A kötet szerzői feltételezik, hogy a környezeti ipar megfelel a fenti feltételeknek, s a jelenleginél jóval nagyobb szerepet játszhat az újraiparosításban, hozzájárulhat az elmaradott, depressziós térségek foglalkoztatás-bővítéséhez. A publikáció alapját az MTA Regionális Kutatások Központjában végzett interdiszciplináris kutatás adta, melyet a Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Minisztérium finanszírozott.

Tizenhárom tanulmány elemzi a környezeti ipar különböző vonatkozásait Magyarországon adottságait és szükségleteit számba véve (például a globális felmelegedés lehetséges hatásai a mezőgazdaságra vagy a biomasszára alapozott energiatermelés kedvező feltételei). Az első két tanulmány (Horváth Gyula és Lux Gábor) tollából széleskörű áttekintést ad az újraiparosítás és a környezetmenedzsment sajátosságairól, jelentőségéről Közép-Európa regionális gazdaságában. Fontos megállapítás, hogy ipar nélkül napjainkban sincs gazdasági fejlődés: a többségbe került szolgáltató szektort is jelentős részben az ipar – kutatási, szállítási, kereskedelmi, pénzügyi stb. – igényei éltetik. 2005-ben – tehát a válság kitörése előtt – a legfejlettebb közép-európai gazdaságok (a szlovén, cseh és szlovák gazdaság) elérték az ipari foglalkoztatottak 1990. évi létszámát, míg a leggyengébbek (például a szerb, bulgár és román) ipari létszáma csak fele volt a tizenöt évvel korábbinak. Ez utóbbi országok a tudásalapú, innovatív ipar meghonosításához nem rendelkeznek jó feltételekkel. (A magyar adat, a lengyelhez hasonlóan: az 1990. évi létszám kétharmada). Fodor István és Suvák Andrea tanulmánya hasznos definíciókat ad a környezeti ipar fogalmáról,

értelmezéséről: ez korántsem közismert, hiszen sajátos termékek és szolgáltatások együtteséről van szó, a víztisztító berendezések gyártásától az energiatermelésig és az ökológiai kutatásokig. A szerzők a környezeti ipar világtermelését – kereskedelmét is elemzik. A nemzetközi piacot – kevés kivétellel – a világ nagy gazdaságai uralják. Nem tűnik egyszerűnek a magyar gazdaság betörése e piacra, mely piac bizonyára gyors bővülés előtt áll. Oláh Lajos tanulmánya optimista a hazai környezeti ipar innovatív fejlődését – ezzel a piacra jutását – illetően is.

A tanulmányok többsége a környezeti ipar egy-egy vonatkozásával foglalkozik: ezek főleg vidéki/mezőgazdasági régiókat érintenek. A fő figyelmet a környezeti problémák (például a klímaváltozás lehetséges hatásai a mezőgazdaságra) és a vidék alternatív energia-termelő kapacitása kapják. Csupán egy tanulmány (Czegledi Gergő) foglalkozik – Budapest példáján – a környezeti ipar és a fenntartható városfejlesztés kapcsolatával. Ez a problémakör több figyelmet, többoldalú megvilágítást érdemelt volna. Végül gyakorlati hasznú lehet az a néhány esettanulmány, melyek bemutatják a környezeti ipar alkalmazását Északkelet-Magyarország néhány területfejlesztési programjában.

Általános az egyetértés abban, hogy a fenntartható globális jövő nem nélkülözheti a környezetvédelmet, az ésszerű környezet-használatot. Az is közkeletű vélekedés, hogy ennek akadálya a gazdasági érdekek és a környezeti érdekek konfliktusa: a környezetbarát gazdaság a fogyasztás csökkentését, gazdasági hasznót nem hozó védelmi beruházásokat igényel. Ez az érdekes könyv a környezetgazdálkodásnak egy gazdaságilag is vonzó oldalát mutatja be: a környezeti ipar lehetséges szerepét a foglalkoztatás bővítésében, az el-

maradott térségek fejlesztésében. Érdemes lenne magyarul is megjelentetni a helyi gazdaság szereplőinek okulására. (Baranyi Béla – Fodor István eds.: *The Role of Environmental*

Industry in the Regional Reindustrialisation in Hungary. Debrecen–Pécs: MTA Regionális Kutatások Központja, 2009, 232 p.)

Enyedi György

A nyelvi kommunikáció mentális alapjai

Szécsi Gábor újonnan megjelent könyvének bevezetésében a következőt olvashatjuk: „Gondolkodásunk, világképünk, kommunikációra való hajlamunk, kommunikációs készségünk függvénye, és, *vice versa*, a rendelkezésünkre álló információ közössé tételére, másokkal való megosztására irányuló fogékonyaságunk az elménk szerkezetét alapvetően meghatározó fogalmi kapcsolatokra vezethető vissza.” Szécsi tehát arra vállalkozik, hogy feltárja a nyelvi kommunikáció és a nyelvi kommunikációban részt vevők mentális világa között fennálló viszonyt, mégpedig a nyelvi jelentés egy olyan elméletét preferálva, amely a mentálisnak kitüntetett szerepet szán a jelentés magyarázatában, illetve bemutatva azt, hogy a jelentést meghatározó mentális tevékenységek és az éppen aktuálisan uralkodó kommunikációs technológiák miképp hatnak egymásra. A könyv gondolatmenetét e két nagyobb gondolati egységhez kapcsolódóan mutatom be.

Szécsi először a nyelvi jelentés kérdését kívánja tisztázni. Az általa vizsgált elméletek közül azokkal rokonszenvez, amelyek a nyelvi jelentés magyarázatában a nyelvre nem úgy gondolnak, mint a nyelv használóitól független absztrakt dologra. Vagyis a szerző el van köteleződve amellett, hogy a nyelvi jelentést nem szerencsés azoktól a kommunikációs kontextusoktól függetlenül értelmezni, amelyekben a nyelvi kifejezéseket használjuk. Ez

azonban nem jelenti azt, hogy a jelentés azonos lenne a kommunikáció során használt nyelvi kifejezések kommunikációs funkciójával. Szécsi amellett érvel, hogy a jelentés kérdése összetettebb annál, hogy egyszerűen a kommunikációs szereppel való azonosítás kimerítené, ellenkezőleg: „... a nyelvel kapcsolatos magyarázatok logikai kiindulópontjával mentális eseményekre vonatkozó megállapítások szolgálnak. A mentális világ elemzésének ez a fajta logikai elsőbbsége abban az előfeltevésben gyökerezik, hogy a nyelv reprezentációs és kommunikációs funkcióját a tudat intencionalitásából meríti, azaz a nyelvi jelentést a nyelvhasználat valamennyi kontextusában meghatározzák azok az előzetes attitűdök, amelyek a világról való tudásunkat kísérik” (17.). A szerző meggyőződése, hogy a nyelvi kommunikáció résztvevői a nyelv mint reprezentációs és kommunikációs eszköz segítségével olyan tartalmakat fejtenek ki, amelyek kognitív és logikai értelemben egyaránt a nyelv használatától függetlenül is jelen vannak a tudatban. Szécsi John Locke és Paul Grice nézeteit alapul vevő és részben vitató filozófusok – többek között John Searle, Jerry Fodor és Ray Jackendoff – elméleteire alapozva azt a megközelítést tartja a leginkább elfogadhatónak, amely a jelentést a nyelvi kifejezések által a (nyelvi) kommunikáció során közvetített mentális tartalmak segítségével határozza meg.

Mik ezek a mentális tartalmak? Nehéz válaszolni a kérdésre, mivel a 'mentális tartalom' fogalma túlságosan képlekeny ahhoz, hogy egy mindenki által elfogadott megha-

tározást adjunk. Szécsi a kérdésre adott különböző válaszok közül azokat részesíti előnyben, amelyek internalista módon a mentális tartalmakat a fejben lévő mentális reprezentációkhoz kapcsolják. A mentális reprezentációknak két fontos sajátosságuk van: a mentális reprezentációk a tudat intencionális állapotainak tárgyai, magyarul a tudat ezekre a mentális tárgyakra irányul, amikor hisz valamit, gondolkodik valamiről, vágyik valamire, illetve gondolatilag megragadható, nyelvi leg kifejezhető, de nem nyelvfüggő tartalommal rendelkeznek. Világos, hogy a mentális reprezentációnak alapvető szerep jut egy olyan elméletben, amely a nyelvi jelentést mentalista alapon próbálja definiálni. Ilyen Szécsi elmélete is, hiszen maga is amellett foglal állást, hogy a tudat reprezentációs tevékenysége megelőzi a nyelvhasználat során lezajlódo reprezentációs és kommunikációs tevékenységet. A nyelvi jelentés éppen ezért csak részben analizálható a kommunikációs intenciókra való hivatkozással, lényegesebbek a magyarázatilag alapvetőbb szinten lévő reprezentációs intenciók. Ez a jelentés analízise szempontjából fontos aszimmetria a következő módon tehető világossá: a kommunikáció során a mentális reprezentációk tartalmi kerülnék kifejezésre a nyelv segítségével, de nem minden reprezentáció jár szükségszerűen együtt azzal a szándékkal, hogy a reprezentációs tartalom kommunikálva legyen.

Szécsinek sajátos, leginkább Jackendoff elméletével rokon megoldása van arra vonatkozóan, hogy mit is értsünk a nyelvi jelentés magyarázatában fontos szerephez jutó mentális reprezentáción, illetve annak tartalmán. Szécsi amellett foglal állást, hogy a reprezentáció fogalmi. Ez annyit jelent, hogy az elme egymással sajátos szerkezeti viszonyban álló fogalmi reprezentációk hálózata. „Ezek a

fogalmi relációk alkotják ugyanis a szavak és mondatok jelentésének magvát, azt az ismeretet, amely mint propozicionális tudás aktivizálódik a nyelvi aktusok végrehajtásakor. Vagyis jó okunk lehet azt feltételezni, hogy épp e fogalmi viszonyok intencionális tartalma rejti magában a sikeres kommunikatív aktusok lehetőségét” (44.). De mégis hogyan teszük ezt? Arra a kérdésre tehát, hogy ezek a fogalmi viszonyok mit is reprezentálnak, Szécsi azt válaszolja, hogy a mentális tárgyakkal tekintett fogalmak egymáshoz való viszonya a világban lezajló cselekvési helyzeteket jeleníti meg. És ez alól a nyelvi jellegű cselekvések sem képeznek kivételt: egy kommunikációs aktus éppúgy fogalmilag reprezentálódik a tudatban, mint másfajta cselekvések. Ez különösen érdekes, mivel a szerző által elismert kognitivisták és neurobiológiai modellek, amelyek az ember nyelvi produktivitásának reprezentációs alapjait hangoztatják és kutatják, ezen a ponton összeférnek azzal az elképzeléssel, hogy a kommunikációs cselekvések fogalmi reprezentációja visszahat a nyelvi kommunikáció alakulására.

A könyv ezen a ponton tér át annak elméleti kibontására, hogy a kommunikációs technológiák alakulása miképp hat a gondolkodásunkra, illetve megfordítva az irányt: a tudat fogalmi szerkezete miképp teszi lehetővé, hogy a kommunikációs technológiák megváltozzanak. Szécsi részben a Marshall McLuhant, Walter J. Ongot, Eric A. Havelockot, Jay Goodyt sorai között tudó Torontói Iskola, részben Nyíri Kristóf kutatásai eredményeire alapozva azt mutatja ki, hogy a nyelvhasználatot meghatározó kommunikációs eszközök milyen hatással vannak az elme fogalmi viszonyaira, hogyan módosítják a nyelvi kommunikáció mintázatainak átalakításával magának a nyelvi cselekvéseket

reprezentáló tudatnak a szerkezetét. Kultúrtörténeti vizsgálódásai során leginkább a szóbeliségről az írásbeliségre áttérő nyugati kultúra emberi gondolkodásra gyakorolt hatását vizsgálja, illetve alaposan kitér azokra a változásokra, amelyek éppen korunkban zajlanak le az elektronikus kommunikációs technológiák elterjedésével. Szécsi részletesen elemzi egyrészt azt, hogy a szóbeliségből az írásbeliségre való váltás Platón korában hogyan vezet egy elvontabb fogalmi gondolkodás kialakításához, másrészt azt, hogy ezt megelőzően az elme reprezentációs-fogalmi szerkezetében milyen változásoknak kellett végbemenniük ahhoz, hogy az írásbeliség elterjedjen. Egy ilyen jellegű összefüggés feltáráshoz a nyelvi jelentés Szécsi által kidolgozott mentális elméletére van szükség, amely arra ad választ, hogy a többek között nyelvi cselekvéseket is reprezentáló fogalmi viszonyok a nyelvi kommunikáció mentális alapjaiként miként alakítják a nyelv használatát, és miként alakulnak maguk is a nyelv használatában végbement változások hatására. Idézem a szerzőt: „... ha arra a kérdésre keressük a választ, hogy miként teremthető meg egyszerre valamely kommunikációs technológia elsajátításának nyelvi és mentális feltételei, mindenekelőtt annak a nyelvi jelentés szintjén megtestesülő viszonynak a természetét kell tisztáznunk, amely a kommunikáció folyamatában a tudat tárgyra irányultsága és a nyelvhasználat módja között áll fenn (110.)”.

Szécsi elméletének egyik sarokköve az a tétel, hogy a gondolkodás során mozgósított fogalmi reprezentációs elemek lényegüket tekintve nem (feltétlenül) nyelvi jellegűek. Ez

az elköteleződés elengedhetetlen ahhoz a lépéshez, hogy a szerző kielégítő választ adhasson a kommunikációs technológiák és a nyelvet használók mentális világa közti kölcsönhatás kérdésére. Ha elfogadjuk azt a Szécsi által bemutatott koncepciót, miszerint a gondolkodás mint mentális tevékenység alapvetően nem verbális alapokon nyugszik – bár kétségtelenül erős szálak fűzik a verbális cselekvésekhez, hiszen reprezentálja azokat –, akkor a gondolkodás éppannyira lehet képi, mint verbális jellegű. Más szóval: a kommunikáció során használt eszközök közül az emberi gondolkodás szerkezete nem zárja ki azokat, amelyek a képekkel való információközlés lehetőségét vetítik előre a verbális alapú információközlés mellett vagy helyett. Mint arra a szerző felhívja a figyelmet, korunkban, az elektronikus médiumok elterjedésével egyre inkább egy ilyen „képszerű nyelv” kialakulásának vagyunk tanúi.

Szécsi Gábor könyvét minden olyan olvasó számára ajánlom, akit érdekel, hogy a kommunikáció és gondolkodás egymáshoz való viszonyának kérdése milyen módon közelíthető meg nem csupán a nyelv- és elemfilozófiai elemzések felől, de a kognitív pszichológia, neurotudományok és a kultúratörténet szemszögéből is, amelyek tudományos eredményeit a szerző egy sajátos koncepciót kidolgozva használja fel. (*Szécsi Gábor: Kommunikáció és gondolkodás: Tanulmány a nyelvi kommunikáció és a mentális világ kapcsolatáról. Budapest: Áron kiadó, 2009, második kiadás.*)

Kocsis László

PTE BTK Filozófia Tanszék

CONTENTS

Renewable Energy Sources and Their Environmental Impacts

Guest Editors: József Ádám, László Szabados

József Ádám: Introduction	906
Tamás Németh: Report on the Activities of the Environmental Science Committee of the Presidium of the Hungarian Academy of Sciences	910
László Dinya: Biomass-based Energy Production and Sustainable Energy Management	912
Elemér Bobok – Anikó Tóth: Status Report and Perspectives of the Geothermal Energy	926
István Farkas: Domestic Possibilities of Solar Energy Use	937
Sándor Szalai – Iván Gács – Károly Tar – Péter Tóth: Status of Wind Energy in Hungary	947
István Szeredi – László Alföldi – Gyula Csom – Csaba Mészáros: Role, Status and Impacts of Hydropower Developments	959
László Szarka: Characterization of the Intensity of Human Activity on Nature Related to Energy Production and Use	979

Study

Nikosz Fokasz: Simon Sina 1810–1876 Two Hundred Years Birth Anniversary of the Greek Patron of Hungarian Science and Culture.....	990
János Kornai: Are Natural Languages Recursive?	994

Academy Affairs

Subjective History of Science by Award-winning Scientists	
Edit Madas	1007
Béla Tomka	1009
New Members of the MTA	
Katalin Kamarás	1012
Péter Komjáth	1014
János Podani	1015
Zsuzsa Schaff	1017
Attila Zsoldos	1019

<i>Outlook (Júlia Gimes)</i>	1022
------------------------------------	------

<i>Book Review (Júlia Sipos)</i>	1026
--	------

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. Közülünk témaösszefoglaló, magas szintű ismeretterjesztő, illetve egy-egy tudományterület újabb eredményeit bemutató tanulmányokat; a társadalmi élet tudományokkal kapcsolatos eseményeiről szóló beszámolókat, tudománypolitikai elemzéseket és szakmai szempontú könyvismertetéseket, de lapunk nem szakfolyóirat, ezért a szerzőktől közérthető, egy-egy tudományterület szaknyelvét mellőző cikkeket várunk.

2. A kézirat terjedelme szöveges tanulmányok esetében általában nem haladhatja meg a 30 000 leütést (ez szóközökkel együtt kb. 8 oldalnak felel meg az MT füzeteiben), ha a tanulmány ábrákat, táblázatokat is tartalmaz, kérjük, ezek várható felületével csökkentsek a szöveg mennyiségét. Beszámolók, recenziók terjedelme ne haladja meg a 7–8000 leütést. A teljes kéziratot MS Word.doc vagy .rtf formátumban interneten vagy mágneslemezen (CD-n) és 1 kinyomtatott példányban kell a szerkesztőségbe beküldeni.

3. Legfeljebb 10 magyar kulcsszót és a közlemények címének angol fordítását külön oldalon kérjük. A tanulmány címe után a szerző(k) nevét, tudományos fokozatát, a munkahely(ek) pontos megnevezését, és ha közölni kívánja(ják), e-mail címét(eit) 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 (*italic*), (esetleg félkövér – **semibold**) formázás alkalmazható; r i t k í t á s, VERZÁL, KISKAPITÁLIS (SMALL CAPITALS, KAPITÄLCHEN) és aláhúzás nem. A jegyzeteket lábjegyzetként kérjük megadni.

5. A képek, ábrák érkehetnek papíron, lemezen vagy e-mail útján. Kérjük a szerzőket: tartsák szem előtt, hogy a folyóirat fekete-fehér; formátuma B5 – tehát ne használjanak színeket, és vegyék figyelembe a megjelenő oldalak méreteit. Általában: az ábrák és magyarázataik legyenek egysze-

rűek, áttekinthetők. A lemezen vagy e-mailben érkező képeket lehetőleg .tif vagy .jpg formátumban kérjük; fekete-fehérben, min. 150 dpi felbontással, és nagyságuk ne haladja meg a végleges (vagy annak szánt) méreteket. A közlemény szövegében tüntessék fel az ábrák kívánatos helyét.

6. A hivatkozásokat mindig a közlemény végén, ábécé-sorrendben adjuk meg, a lábjegyzetekben legfeljebb utalások lehetnek az irodalomjegyzékre. Irodalmi hivatkozások a szövegben: (szerző, megjelenés éve – Balogh, 1957; Feuer et al., 2002). Ha azonos szerző(k)től ugyanazon évben több tanulmányra hivatkoznak, akkor a közleményeket az évszám után írt a, b, c jellel kérjük megkülönböztetni mind a szövegben, mind az irodalomjegyzékben. Különösen ügyeljenek a bibliográfiái adatoknak a szövegben, ill. az irodalomjegyzékben való egyeztetésére! Kérjük: csak olyan és annyi hivatkozást írjanak, amilyen és amennyi elősegíti a megértést. Számuk ne haladja meg a 10–15-öt.

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

- Folyóiratcikkek esetében: Feuer, Michael J. – Towne, L. – Shavelson, R. J. et al. (2002): Scientific Culture and Educational Research. The Educational Researcher. 31, 8, 4–14.

- Könyvek esetében: Rokkan, Stein – Urwin, D. W. – Smith, J. (eds.) (1982): The Politics of Territorial Identity: Studies in European Regionalism. Sage, London

- Tanulmánygyűjtemények esetében: Halász Gábor – Kovács Katalin (2002): Az OECD tevékenysége az oktatás területén. In: Bábosik István – Kárpáthi Andrea (szerk.): Összehasonlító pedagógia – A nevelés és oktatás nemzetközi perspektívái. Books in Print, Budapest

8. Havi folyóirat lévén a Magyar Tudomány kefelevonatokat nem küld, de még az elfogadás előtt minden szerzőnek elküldi egyeztetésre közleménye szerkesztett példányát. A tördelés során szükséges apró változtatásokat a szerző időpont-egyeztetés után a szerkesztőségben ellenőrizheti.

9. A cikkeket a lap internetes oldalán, s az időszakos CD-mellékleten is megjelentetjük. Kérjük, jelezzék, ha ehhez nem járulnak hozzá.