

Magyar Tudomány

50 ÉVES A FÖLDTUDOMÁNYOK
NEMZETKÖZI UNIÓJA

vendégszerkesztő: Demény Attila
és Szabados László

A D-vitamin újonnan felismert funkciói

Riótól Rióig

Emlékezés Szentágothai Jánosra

2012•5

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA FOLYÓIRATA. ALAPÍTÁS ÉVE: 1840
173. ÉVFOLYAM – 2012/5. SZÁM

Főszerkesztő:

CSÁNYI VILMOS

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:

ELEK LÁSZLÓ, GAZDAG KÁLMÁNNÉ, HALMOS TAMÁS, HOLLÓ VIRÁG,
MAJOROS KLÁRA, MAKOVECZ BENJAMIN, MATSKÁSI ISTVÁN, PERECZ LÁSZLÓ,
SIPOS JÚLIA, SPERLÁGH SÁNDOR, SZABADOS LÁSZLÓ, F. TÓTH TIBOR

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.t-online.hu

Előfizethető a FOK-TA Bt. címén (1134 Budapest, Gidófalvy L. u. 21.);

a Posta hírlapüzleteiben, az MP Rt. Hírlapelőfizetési és Elektronikus

Posta Igazgatóságánál (HELP) 1846 Budapest, Pf. 863,

valamint a folyóirat kiadójánál: Akaprint Kft. 1115 Bp., Bártfai u. 65.

Előfizetési díj egy évre: 10 440 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

50 éves a Földtudományok Nemzetközi Uniója

Vendégszerkesztő: Demény Attila és Szabados László

Demény Attila: Bevezető	514
Brezsnyánszky Károly: Az IUGS ötven évének jelentősége a hazai földtan szempontjából...	516
Bárdossy György – Fodor János: Környezeti és földtudományi kockázatok elemzése korszerű matematikai módszerekkel	525
Földessy János – Bóhm József: Arany és cianid – lehetőségek és kockázatok	532
Dobosi Gábor – Török Kálmán: Ritkaföldfémek geokémikus szemmel	541
Szűcs Péter: Hidrogeológia a Kárpát-medencében – hogyan tovább?	554

Tanulmány

Barna Mária – Bíró György: A D-vitamin újonnan felismert funkciói	566
Hannus István: Zeolitok és zeolitszerű mezopórusos anyagok	577
Faragó Tibor – Láng István: Nemzetközi program a fenntartható fejlődésért: Riótól Rióig	590

Tudós fórum

A szép: igaz, s az igaz: szép! – Emlékezés Szentágotthai Jánosra	595
Kitüntetések	600

Interjú

Sejtek között (<i>Várkonyi Benedek beszélgetése Kondorosi Évával</i>)	601
Távoli múltakban (<i>Várkonyi Benedek beszélgetése Róna-Tas Andrással</i>)	606
Leroy P. Steele, Rolf Schock, Abel (<i>Bán László beszélgetése Szemerédi Endrével</i>)	610
Szenvedély és kíváncsiság (<i>Gimes Júlia beszélgetése Ada Jonattal</i>)	614

Vélemény, vita

Török Csaba: Az üres trón. Válasz Brendel Mátyásnak	617
---	-----

Kitekintés (Gimes Júlia)

Könyvszemle (Sipos Júlia)

A szociologizáló hagyomány (<i>Forgács Gábor</i>)	627
Nőírók és író nők (<i>Nagy Beáta – Nagy Kristóf</i>)	629
Lukács ártértékelése (<i>Nagy József</i>)	632
A disputa visz előre (<i>Bakos Katalin</i>)	635
Germanisztika Ausztráliában (<i>Kertész András</i>)	638

50 éves a Földtudományok Nemzetközi Uniója

BEVEZETŐ

Demény Attila

az MTA levelező tagja, igazgató,
MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Földtani és Geokémiai Intézet
demeny@geochem.hu

Az International Union of Geological Sciences (IUGS), a Földtudományok Nemzetközi Uniója a világ legnagyobb nonprofit és nem kormányzathoz köthető szervezete, amelynek ötvennégy társult szakmai szervezete, nyolcvankilenc aktív és harminckét inaktív nemzeti tagja van. A Magyar Tudományos Akadémia a megalakulás kezdetétől vállalta a tagsági díj folyósítását és így az aktív tag szerepét. A mai, költséghatékonyt előterbe helyező szemlélet alapján felvethető a kérdés, hogy vajon érdemes-e ezt a tagsági díjat fedezni, vajon mit kap az ország cserében. Első pillantásra érdemes áttekinteni az aktív és inaktív nemzeti tagok listáját (<http://iugs.org/adheringmembers>), hogy meggyőzzön bennünket a hovatartozás kérdéséről. A csupán diplomáciai kérdés mellett azonban a haszon kérdését – úgy érzem – adekvát módon válaszolta meg az IUGS által életre hívott *International Year of Planet Earth* rendezvény-sorozat. Ez egyrészt természetesen nemzetközi konferenciák és az IUGS berkein belüli események láncolata volt, másrészt viszont lendületet adott a nemzeti bizottságok na-

gyobb aktivitásának és a helyi rendezvények megszervezésének. Ez utóbbira szolgált jó példát az utóbbi években a Magyar Természettudományi Múzeumban megtartott rendezvénysorozat, ahol a földtudomány hazai intézeteinek kutatóival találkozhatott a több ezer látogató. Ennek a sorozatnak volt méltó folytatása a 2011-es Magyar Tudomány Ünnepehez kapcsolódó Földtudományos For-gatag és az IUGS ötvenéves évfordulóját megünnepelő előadóülés, amelyre a Miskolci Egyetemen került sor. A rendezvény célja az volt, hogy a földtudomány aktuális kérdéseit, eredményeit és jelentőségét megismertesse a látogatókkal és az internetes híradások olvasóközönségével.

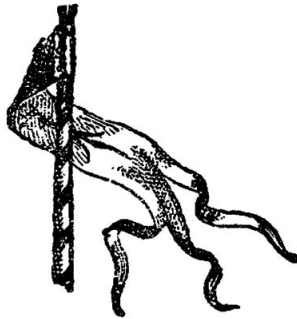
Ez a cikkgyűjtemény ennek az eseménynek mintegy a folytatása, amelyben szeretnénk a tudományos élet közreműködőivel is megismertetni az IUGS munkáját, illetve néhány kiemelt jelentőségű terület eredményeit. *Breznyánszky Károly*, az IUGS Magyar Nemzeti Bizottság elnöke foglalja össze az IUGS tevékenységének főbb pontjait, valamint az ezekhez kapcsolódó magyar részvétel jellem-

zöit és eredményeit. *Bárdossy György* és *Fodor János* a kockázatelemzés módszereinek környezeti és földtudományi alkalmazásait mutatják be. Az utóbbi évek hazai és külföldi katasztrófáinak ismeretében nem kérdéses, hogy a kockázatelemzés mind szélesebb körben való alkalmazása elsőrendű fontosságú az emberi környezet minőségének megőrzése és a társadalom védelme szempontjából. Gondoljunk csak az ajkai vörösiszap kiömlésének katasztrofális következményeire, ami feltehetően megelőzhető lett volna a geológiai és műszaki adottságokból adódó kockázati tényezők helyes feltárásával és a megelőzésben való felhasználásával. Kevesebb emberi áldozatot követelt ugyan, de igen jelentős környezetkárosodást okozott az aranybányászathoz köthető cianidszennyezés, amelynek geológiai, bányászati és technológiai hátterét világítja meg *Földessy János* és *Böhm József* publikációja. Bár a ritkaföldfémek az átlagember számára a kémia kevésbé ismert és némi tartózkodással figyelt világába tartoznak, az utóbbi hónapok világkereskedelmi hírei a figyelem középpontjába hozták ezen elemeket. A kínai export csökkentését követően hirtelen érdekessé váló fémekről kiderült,

hogy mennyi, az életünket befolyásoló, sőt esetenként meghatározó elektronikai készülékben alapvető összetevő egy-egy ritkaföldfém. *Dobosi Gábor* és *Török Kálmán* a ritkaföldfémek általános jellemzésén és felhasználási körük leírásán túl a ritkaföldfém-előfordulások geológiai leírását is nyújtják a tanulmányban. Végezetül, mint mindenhol, így hazánkban is az egyik legfontosabb természeti kincs, az ivóvíz kérdését, illetve a biztonságos vízellátás és -felhasználás hidogeológiai vonatkozásait mutatja be dolgozatában *Szűcs Péter*.

A jelen számban bemutatott területek csupán kis szeleteit ragadják meg a földtudományi kutatás legidőszerűbb kérdéseinek, de reményeink szerint rávilágítanak a tudományterület jelentőségére. Bízom abban, hogy a cikkek felkeltik az olvasók érdeklődését a földtudomány egésze iránt, és ennek egyik eredményeképpen az érdeklődőket a későbbiekben vendégül láthatjuk az IUGS kezdeményezésére elindított hazai rendezvényeken.

Kulcsszavak: *IUGS, földtudomány, jubileum, Földtudományos Forgatóg, Magyar Tudomány Ünnepe*



AZ IUGS ÖTVEN ÉVÉNEK JELENTŐSÉGE A HAZAI FÖLDTAN SZEMPONTJÁBÓL

Brezsnyánszky Károly

PhD, az IUGS Magyar Nemzeti Bizottság elnöke
brezsnyanszky.karoly@mfgi.hu

Bevezetés

A Földtudományok Nemzetközi Uniója, az *International Union of Geological Sciences* (IUGS) 2011-ben ünnepelte fennállásának 50. évfordulóját. Magyarország és a képviseletet biztosító Magyar Tudományos Akadémia csaknem a kezdetektől aktív résztvevője a világszervezetben folyó munkálatoknak. Az IUGS által kezdeményezett, támogatott programokban való részvétel, hogy csak a legfontosabbakat említsük, maradandó tudományos eredményeket, nemzetközi kapcsolatrendszer, az együttműködés, a megméretetés, a fejlődés, a hazai kutatási eredmények bemutatásának lehetőségét biztosította a földtan hazai képviselőinek. Az IUGS programjai hozzájárultak ahhoz is, hogy a döntéshozók és a nagyközönség előtt is ismertebbek legyenek a Föld történetével, szilárd kérgével, az ásványi nyersanyagok, a felszín alatti vizek kutatásával foglalkozó tudomány eredményei.

Az IUGS-szervezet

Az 1960. évi Nemzetközi Geofizikai Év – fő szervezője és motorja az *International Union of Geodesy and Geophysics* – világszerte ráirányította a figyelmet a Föld tudományos kutatásának fontosságára. A példátlan tudó-

mányos eredményeket és népszerűséget elkönyvelő program a nemzetközi geológiai szervezetek formális részvétele nélkül zajlott le. Az 1931-ben létrehozott ICSU-ból (*International Council for Sciences*, korábban: *International Council for Scientific Unions*), a tudományos uniók közös koordináló testületéből ugyancsak hiányzott a földtan képviselete. A geológusok társadalmának rá kellett ébrednie, hogy a négyévenként megrendezett, akkor már több mint nyolcvanéves hagyományt felmutató Nemzetközi Geológiai Kongresszus (*International Geological Congress* – IGC) a kongresszusok közötti időben nem tudja ellátni az egyre nagyobb igényrel jelentkező nemzetközi koordináció feladatait, szükség van egy állandó, erre hivatott szervezetre.

1960-ban a skandináv országok összefogásával rendezték meg Koppenhágában a 21. Nemzetközi Geológiai Kongresszust, fórumot adva egy geológiai tudományos világszervezet létrehozásának előkészületeihez (Harrison, 1978). A tizenegy országot képviselő bizottság munkája nyomán 1961 márciusában, Párizsban, az UNESCO székházában tartott tanácskozáson, az UNESCO természettudományi főosztály (*Natural Science Department*) vezetője, a szovjetunióbeli Viktor Kovda és az ICSU akkori főtitkára, a norvég Nicolai

Herlofson jelenlétében megalakult az IUGS, a földtudományi szakemberek kormányoktól független tudományos világszervezete. A szervezet elnökének – távollétében – a kanadai *James Merritt Harrison*t, főtitkárnak a dán *Theo Sorgenfreit*, kincstárnoknak pedig a norvég *Johannes Donst* választották meg. Magyar résztvevője nem volt a tanácskozásnak, a környező országok közül Ausztria, Csehszlovákia, Románia és a Szovjetunió képviseltette magát. Rövidesen harminc ország csatlakozott a szervezethez, 1964-ben pedig az első nyolc világ- vagy regionális szakmai szervezet. Magyarország 1965-ben csatlakozott az IUGS-hez, miután megalakult az azóta is folyamatosan működő Magyar Nemzeti Bizottság az MTA Műszaki Tudományok Osztálya keretében. Első elnöke *Szádeczky-Kardoss Elemér* akadémikus volt, titkára *Pantó Gábor*, nemzetközileg elismert vulkanológus szakember.

Napjainkban 122 ország tagja az IUGS-nek, a csatlakozott, affiliált szervezetek száma ötven. Az affiliált szakmai szervezetek között számos olyan van, amely önállóan is világszervezetnek tekintendő, vagy fontos regionális szerepet tölt be. Példaként említhetjük térségünk nagy hagyományú szervezetét, a Kárpát–Balkán Geológiai Asszociációt (*Carpathian Balkan Geological Association*), illetve a szakmai érdekvédelmi kérdésekkel foglalkozó és az *Eurogeológus* cím adományozását végző Európai Geológusok Szövetségét (*European Federation of Geologists*), amelynek hazai kapcsolattartó szervezete a Magyarhoni Földtani Társulat. Földtani adottságaink miatt számunkra is fontos a Hidrogeológusok Nemzetközi Szövetsége (*International Association of Hydrogeologists*) vagy a Nemzetközi Ásványtani Szövetség (*International Mineralogical Association*), amely nagy sikerű világkongresszusát 2010-ben Budapesten tartotta.

Az alapítása óta hatalmasra, az ICSU legnagyobb társult szervezetévé nőtt IUGS hű maradt eredeti státusához és célkitűzéseivel, a földtudományi kutatások támogatásához, a geológiai és társtudományok nemzetközi kapcsolatainak folyamatos koordinálásához és a Nemzetközi Geológiai Kongresszusok támogatásához. Mindezt annak érdekében teszi, hogy segítse a földtudományok nemzetközi fejlődését, az eredmények alkalmazását az emberi élet körülményeinek javítása céljából. Ezt a célt szolgálja az IUGS szervezete, amely a négyévenként megválasztott tisztségviselők (elnök, főtitkár, kincstárnok, végrehajtó bizottság tagjai) mellett egy változó székhelyű, de állandó titkárságot működtet. Az elnöki posztot jelenleg az argentin *Alberto Riccardi* tölti be, a főtitkár a kanadai *Peter Bobrowsky*, míg a kincstárnok az olasz *William Cavazza*. A szakmai munka fórumai a bizottságok, kezdeményezések, munkacsoportok, programok és projektek, amelyek széles körű kapcsolatot tartanak a földtudományokban érdekelt kormányzati szervekkel, a kutatóhelyekkel, az ipar és a szakmai képzés, oktatás képviselőivel.

Bár az IUGS célkitűzései alapvetően nem változtak, az ötven év folyamán a támogatott tevékenység súlypontja többször módosult. Ma az előre látható nyersanyag- és energiaszűkösség miatt új kutatások kezdeményezése, a természeti erőforrásokkal való felelős gazdálkodás kérdése áll az első helyen, s ezt a globális, főleg az éghajlatváltozások, a természeti veszélyek és az emberi tevékenység okozta környezetkárosodás problémaköre követi.

Az IUGS működése

Az IUGS széles kapcsolatrendszerrel tart fenn a világ földtudományi szakembereivel, intézményeivel. Az IUGS nemzetközi projekteket

és találkozókat szervez, szimpóziumokat, szakmai terepbejárásokat finanszíroz, publikációkat ad közre. Tevékenységének szakmai spektruma igen széles, a földi és planetáris geológiai folyamatok és jelenségek kutatásától a rétegtani, tektonikai nevezéktani kérdésekig, az alap- és alkalmazott kutatásokon keresztül a földtudományok gazdasági, társadalmi és környezeti szerepének értékeléséig terjed. Az IUGS nagy hangsúlyt helyez a geológia oktatása és a szakmai képzés területére, a fejlődő országokba irányuló technológiai transzfer elősegítésére, a kutatási eredmények népszerűsítésére.

Az IUGS kommunikációs tevékenysége

Az IUGS negyedévenként megjelenő tudományos magazinja, az *Episodes* a világ több mint százötven országába jut el. A tagországok a tagdíj fejében meghatározott példányszám-ban részesülnek. A folyóirat lektorált tudományos közlemények mellett konferenciabeszámolókat, könyvismertetések és a szervezet működésével kapcsolatos információkat közöl. A jól karbantartott, informatív honlap (URL) mellett az IUGS havonta elektronikus hírmagazint (*IUGS Bulletin*) tesz közzé, évente pedig nyomtatott jelentést (*IUGS Annual Report*). A szakmai kiadványok közül kiemelendő a Nemzetközi Rétegtani Bizottság által gondozott, világszerte etalonként kezelt, rendszerint a kongresszusok évében közzétett földtörténeti táblázat (*Standard Geologic Time Scale*).

Magyar részvétel az IUGS-ben

Az IUGS hazai koordináló testülete, az 1965-ben alakult Magyar Nemzeti Bizottság, az MTA Földtudományok Osztálya felügyelete alatt működik. Az ország kategóriájának megfelelő tagdíjat az MTA fedezi.

Az IUGS szervezetében két alkalommal magyar szakember töltött be alelnöki tisztséget *Grasselly Gyula* akadémikus (1976–1980) és *Gaál Gábor* professzor (1996–2002). Az IUGS affiliált szakmai szervezeteinek és társult programjainak vezetésében több magyar szakember viselt tisztséget, közvetlen irányító szerepkör betöltésére azonban viszonylag kevés példa van. Az INHIGEO (Nemzetközi Földtantörténeti Bizottság) főtitkári tisztségét *Dudich Endre* töltötte be (1984–1989), a CO-GEODATA-bizottság elnöke (1985–1992) és az IUGS-UNESCO Érclepel-Modellezési Program (*Deposit Modeling Program*) vezetője (1992–1995) *Gaál Gábor* volt.

Az IUGS programjai

Az IUGS széles körű tevékenységének keresztmetszetét és magyar vonatkozásainak bemutatását három nagyszabású program – egy nagy hagyományú tudományos rendezvény, a Nemzetközi Geológiai Kongresszus (IGC), a nagy sikerű Nemzetközi Földtudományi Program (IGCP) és egy világgraszoló tudománynépszerűsítő program, A Föld Bolygó Nemzetközi Éve (IYPE) – ismertetésén keresztül érhetjük el.

A Nemzetközi Geológiai Kongresszus

A Nemzetközi Geológiai Kongresszus (*International Geological Congress* – IGC) különleges helyet foglal el a nagyszámú geológia tárgyú nemzetközi szakmai kongresszus között. Az 1876-ban történt alapítás (Buffalo, USA) már történelmi távlatot jelent, a nemzetközi tudományos fórum létrehozásának igénye a geológia tudományának fejlődésével, a módszerek, nevezéktan és szabványok egységesítésének szükségességével függ össze (Vai, 2002). A kongresszusok sora 1878-ban Párizsban kezdődött, és 2012-ben az ausztráliai

Brisbane ad helyet a 34. Nemzetközi Geológiai Kongresszusnak. Az általában négyévenként rendezett kongresszusoknak saját vezető és szervező testülete van, amelynek hatásköre azonban csak a kongresszus idejére terjed ki. A kongresszusok közötti egyre nagyobb igénytel jelentkező koordináló feladatok folyamatos ellátásának szükségzerűsége volt az IUGS létrehozásának egyik fő mozgatórugója, mivel az állandó apparátussal rendelkező szervezet el tudja látni a köztes időszakok tudományszervezési feladatait. Így a Nemzetközi Geológiai Kongresszus az IUGS legnagyobb, legjelentősebb tudományos fórumává vált, amit az is erősít, hogy a kongresszus keretében megrendezett IUGS-közgyűlés dönt a következő négy év vezetői tisztségeiről és a tevékenység fő irányairól. Az IGC és az IUGS szervezeti integrációjának kérdése egyeztetési stádiumban van.

Kezdetben Európa és Észak-Amerika városai (Párizs, Washington, London, Moszkva, Mexikóváros) voltak a kongresszusok színhelyei, némelyik többször is, de mára már valamennyi kontinens biztosított helyet a geológusok nemzetközi tudományos találkozójának. Az IUGS szempontjából az 1964-es, Új-Delhiben rendezett kongresszus különösen jelentős volt, mert megállapodás formájában ott rakták le a két szervezet (IGC, IUGS) további együttműködésének alapjait. A 2004-ben, Firenzében rendezett kongresszuson terjesztette az IUGS a szakmai közösség elé (és nyerte meg támogatását) a tudományág megújulásának, reneszánszának tervét, amely néhány év múlva *A Föld Bolygó Nemzetközi Éve* programjában valósult meg.

Magyarország nem szerepel a kongresszusi helyszínek között. Szakmai szerepvállalásunk és sikerünk csúcspontja az 1882. évi, Bolognában rendezett 2. Nemzetközi Geológiai

Kongresszus volt, ahol elfogadták a Földtani Intézet szakemberei által előterjesztett és alapjaiban máig használatos szinkulcsot a földtani térképek egységesítésére. Szabó József geológust, a budapesti tudományegyetem ásványtanprofesszorát pedig a kongresszus alelnökévé választották. Még egy alkalom, az 1968-ban Prágában rendezett Nemzetközi Geológiai Kongresszus nyújtott volna nagy lehetőséget a magyar földtannak. A Magyarországot is érintő, a kongresszust követően magyar szakemberek által vezetett terepbejárások azonban a kongresszus félbeszakadása (Csehszlovákia katonai megszállása) miatt elmaradtak.

A Nemzetközi Földtudományi Program

Az UNESCO és az IUGS 1972-ben hozta létre közös földtudományi programját, a Nemzetközi Geológiai Korrelációs Programot (*International Geological Correlation Programme* – IGC), vállalva annak közös finanszírozását. Tudománytörténeti érdekesség, hogy a program gondolati alapjait 1969-ben Budapesten, a Magyar Állami Földtani Intézet centenáriumi ünnepsége keretében tartott nemzetközi összejövetelen foglalmazták meg.

A Föld szilárd kérgével, a geológiai környezettel, a Föld történetével, fejlődésével, a kőzetek világával foglalkozó program jól illeszkedik mind az UNESCO, mind az IUGS már korábban kezdeményezett nagy természettudományi programjai közé (Brezsnyánszky, 1997). A program nevében szereplő korreláció szó a geológiai tudományok egyik legfontosabb, az összehasonlítás, az azonosságok és különbségek vizsgálatán, elemzésén alapuló kutatási módszerre utal. A korreláció szó három évtized után, 2004-ben, a tematikai súlypontok eltolódása miatt kikerült a névből, helyette hosszú viták után, a

geológuskalapácsos védjegyét és az IGCP angol rövidítést megőrizve Nemzetközi Földtudományi Program (*International Geoscience Programme*) lett a program neve.

Az IGCP céljai közül az alapító szervezetek, az UNESCO és az IUGS négy kutatási, tevékenységi irányt jelöltek meg. A célok megállapításánál figyelembe vették azt az alapelvet, hogy a program sokkal inkább a kutatók, mint az intézmények közötti együttműködést támogatja:

- A földtudományok alapvető kérdéseinek, a geológiai jelenségeknek és folyamatoknak a Föld egészére kiterjedő, összehasonlító kutatása. Cél, hogy a „hagyományos” biosztratigráfiai korreláció (az ősmaradványok segítségével végzett korpárhuzamosítás) mellett más jellegű, korszerű kőzetrétegtani, geokémiai, ökosztratigráfiai, magnetosztratigráfiai stb. módszerek is részét képezzék a program eszköztárának.
- Hatékonyabb módszerek kidolgozása az ásványi nyersanyagok és energiaforrások felkutatására, értékelésre, hasznosítására.
- Kutatások végzése az emberi társadalomra ható geológiai környezeti tényezők szerepének jobb megértése, az emberek életkörülményeinek javítása érdekében.
- A kutatási módszerek és az alkalmazott eljárások fejlesztése (számítógépek alkalmazása, távérzékelés stb.), különös figyelemmel a fejlődő országok szükségleteire.

A jól megfogalmazott célok és a földtan sokféle tudományágának együttműködése miatt a program rövid idő alatt rendkívüli népszerűsége tett szert, és számos nagyszerű eredményt könyvelhetett el. Ennek egyik meghatározó eleme a program nyitottsága, az, hogy az IGCP nyitva áll minden földtudományi szakember előtt, tevékenykedjen a világ bármely országában. Különösen jelentős volt

ez a nyitottság a hetvenes években, az addig meglehetősen zárt politikai környezetben dolgozó szakemberek számára, legyen szó az egykori szocialista országokról vagy a fejlődő világ, elsősorban Afrika országairól.

A program tevékenysége jól definiált, nemzetközileg elismert kutatók által vezetett projektekben történik. A projektek kiválasztása, tevékenységük, eredményeik zsűrizése a program tudományos tanácsának a feladata. A projekt jóváhagyása egyúttal finanszírozási forrást is jelent, a program nem a kutatás költségeit, hanem a kapcsolatteremtés, tapasztalatátadás, szakmai konzultáció kereteit fedezi utazások és rendezvények támogatása révén. Mivel a geológiai folyamatok és szerkezetek függetlenek az államhatároktól, az IGCP meg tudja könnyíteni az államhatáron túli geológiai együttműködést és információáramlást.

A siker másik eleme, hogy a program egyéni kezdeményezéseken, a tudományos közösség és az egyének önkéntességén, szakmai érdekközösségen alapul, alulról építi fel szervezeteit, határozza meg működésének módját, a rendelkezésre álló alapok felhasználását.

Ezek a tényezők vonzóknak és hatásosnak bizonyultak, a részt vevő országok, intézmények, kutatóik támogatása révén biztosították a projektekben folyó kutatások finanszírozását, az UNESCO/IUGS-támogatás pedig a rendezvényekhez, utazásokhoz nyújtott némi segítséget.

Húszévi működés után, 1993-ban egy szakbizottság felülvizsgálta a célkitűzéseket, azonban csak annyit tett, hogy megváltoztatta azok sorrendjét. Első helyre kerültek a környezet problémái, másodikra a nyersanyagok és energiahordozók, és csak utána következtek a fogalmak, folyamatok, módszerek,

eljárások. Ekkor vezették be az új jelszó: *Geológia a társadalom szolgálatában* használatát, amely felkerült az IGCP évente megjelenő hivatalos lapja, a *Geological Correlation* címlapjára is.

Az IGCP az elmúlt csaknem negyven évben mintegy négyszáz tudományos igényű projektet támogatott. Éves átlagban negyvenötven futó projekttel számolhatunk, időtartamuk, ugyancsak átlagosan, három-öt év. Az 1997-ben kezdődött finanszírozási krízis – egyes nagy országok (Egyesült Királyság, USA) csökkentették a támogatás összegét – kihatott az IGCP által támogatott projektek számára és időtartamára is. Áttanulmányozva a projektek megvalósításának színterét és vezető kutatóik hovatartozását, a nagy, globális jelentőségű projektek mellett, mint amilyen a geológiai időskála pontosítása vagy a globális rétegtani lexikon megalkotása, kezdetben az európai kontinens túlsúlyáról beszélhetünk, viszont mára a program ázsiai központúvá vált.

Magyar részvétel az IGCP-ben

Az IGCP Magyar Nemzeti Bizottsága az elsők között alakult meg, és azóta is folyamatosan működik. Feladata főleg koordináló jellegű, regisztrálja, összefogja a hazai kutatók tevékenységét különböző projektekben, véleményezi a projektjavaslatokat, nemzetközi szinten képviseli a hazai érdekeket. A Nemzeti Bizottság forráshiány miatt soha nem folytattott önálló gazdálkodást, a minimális dologi költségeket a befogadó intézmények (Központi Földtani Hivatal, Magyar Állami Földtani Intézet stb.) biztosították. Magyar szakemberek kezdettől fogva számos IGCP-projektben vettek részt, eredményeikkel hozzájárultak az alpi, eurázsiai térség geológiai problémáinak megoldásához. A részvétel

intenzitása időben változó, napjainkra csökkenő tendenciát mutat. Példaként megemlíthetjük, hogy míg az 1973–1982 között futó 78 projektből magyar kutatók 25-ben vettek részt aktívan, addig ma a részvétel alig néhány projektre korlátozódik.

Több olyan IGCP-projekt is futott, melynek magyar szakember volt a társvezetője:

- III. sz. projekt: Mangánérctelepek keletkezése – Grasselly Gyula (1975–1979)
- 247. sz. projekt: Prekambriumi ércesedés és tektonika – Gaál Gábor (1986–1991)
- 262. sz. projekt: A tethysi kréta korrelációja – Császár Géza (1987–1992)
- 287. sz. projekt: Mediterrán karsztbauxitok – Mindszenty Andrea (1989–1994)
- 343. sz. projekt: A Tethys körüli medencék rétegtani elemzése – Dudich Endre (1992–1996)
- 356. sz. projekt: A lemeztektonika és az ércképződés kapcsolata a kárpát-balkáni területen – Vetőné Ákos Éva (1993–1997)
- 384. sz. projekt: Impakt és extraterresztrikus szferulák – Detre Csaba (1996–1998)
- 458. sz. projekt: Triász/jura határesemények – Pálffy József (2001–2005)

A projektek mellett az IGCP szakmai vezető testületeiben is regisztrálhatunk magyar részvételt. Megemlíthendő Gaál Gábor tagsága a Tudományos Tanácsban (1992–1997). Az IGCP-hez köthető egyik legnagyobb tudománydiplomáciai sikerünk: Dudich Endre 1986-ban elnyerte az IGCP szervezőtitkári pozícióját, amit az UNESCO Földtudományi Osztályának keretében, Párizsban, sikeres éveket mondhatva magának 1992-ig töltött be (Brezsnyánszky, 2004).

A Föld Bolygó Nemzetközi Éve

Az IUGS legnagyobb szabású és sikeres tudományos, ismeretterjesztő, tudománynépsze-

rűsítő programja 2007–2009 között nyolc-
van ország hivatalos részvételével zajlott világ-
szerte, így Magyarországon is. A programsoro-
zat magját az Egyesült Nemzetek Szervezete
által 2008-ra meghirdetett A Föld Bolygó
Nemzetközi Éve (*International Year of Planet
Earth* – IYPE) képezte.

A világméretű program részben arra hívta
fel a figyelmet, hogy szoros kapcsolat létezik
az emberiség és Földünk között, részben pedig
azt kívánta bemutatni, hogy a földtudomá-
nyok milyen sokrétű lehetőségeket kínálnak
az emberiség jövőjének kiegyensúlyozott,
javuló életminőséget biztosító fejlődéséhez. A
kezdeményezés legfontosabb társadalmi üze-
nete, hogy a természeti környezet és az embe-
riség léte, tevékenysége között évezredek-
en át fennállt érzékeny egyensúly felborulni
látszik. Ennek oka az emberiség létszámának
és fogyasztói szemléletéből fakadó hely- és
anyagigényének rohamos növekedésében,
valamint a Föld kincseinek (talaj/termőföld,
édesvíz, energiahordozók és egyes nyersanya-
gok) végességében keresendő (Brezsnyánszky
– Szarka, 2008).

A *Föld Bolygó Nemzetközi Éve* tudomá-
nyos és népszerűsítő programja tíz, az embe-
riség jövője szempontjából meghatározó je-
lentőségű, tudományágakat összekötő témát
ajánlott mind kutatási prioritásként, mind
pedig a népszerűsítő programok tárgyaként.
A témák fontossági sorrendet is jelöltek. Első
helyen a Föld legjelentősebb ivóvíztartalékát
képező felszín alatti vizek szerepeltek. Ezt kö-
vették a társadalmakat fenyegető természeti
veszélyforrások; az egészséges környezet fenn-
tartását célzó Föld és egészség; a klíma jelen-
kori és a földtörténeti múltban bekövetkezett
változásai; a természeti erőforrásokkal, nyers-
anyagokkal való tudatos gazdálkodás; a Föld
mélyének kutatása, belső szerkezetének meg-

értése; a Föld felszínének kétharmadát borító
óceánok kutatása; az óriásvárosok működésé-
nek, biztonságos építkezésének megalapozá-
sa; a talaj fenntartható hasznosítása; a bioszfé-
ra sokszínűségének védelme (Szarka, 2008).

A program által, az IUGS támogatásával
kibocsátott *Párizsi Nyilatkozat* felhívta a
döntéshozók figyelmét, hogy tegyék szaba-
don elérhetővé, és hasznosítsák a bolygónkról
rendelkezésre álló – a közvélemény számára
azonban jórészt ismeretlen – földtudományi
ismereteket. Alakítsanak ki olyan új stratégiá-
kat, amelyek mérsékelhetik a természeti ka-
tasztrófák következményeit, valamint – a
társadalom jelenlegi és a jövőbeni generációk
majdani nyersanyagszükségletei kielégítése
érdekében – tartsák szem előtt a fenntartha-
tóság követelményeit. A nyilatkozat kitért a
Föld természeti szépségének, az élet sokszí-
nűségének, az emberi kultúra megőrzésének
szükségességére. Az ismeretterjesztés fontos-
ságának hangsúlyozása mellett a nyilatkozat
által ajánlott megoldások között szerepelt a
nemzeti oktatási rendszerek felülvizsgálatának
szükségessége, a föld- és környezettudományi
oktatás (köz- és felsőoktatás), valamint a tu-
dományos kutatás feltételeinek javítása.

A *Föld Bolygó Nemzetközi Éve* arra is fel-
hívta a figyelmet, hogy a földi rendszerek
evolúciója folyamatos, ugyanakkor egyes je-
lenségek széles időskálán játszódnak le, a Föld
évmilliókban mérhető történetében gyöke-
reznek, még akkor is, ha a folyamatok egy
része emberi mértékkel is gyors lefolyású lehet.
Az emberiség is része a Földnek, hosszú evo-
lúciós folyamat során ezen a bolygón fejlődött
ki, léte a Föld folyamatosan változó ökológi-
ai rendszerének függvénye. Az összefüggések
megismerése, megértése széles körű, tudomá-
nyok közötti összefogást igényel. Szükségessé
teszi globális, regionális és lokális mérőrend-

szerek működtetését, adatbázisok kialakítását és a kutatási tapasztalatokon alapuló tudásbázis igénybevételét, az oktatási rendszerek fejlesztését.

A Föld Bolygó Nemzetközi Éve Magyarországon

A Föld Bolygó Nemzetközi Éve tudományos és ismeretterjesztő programjaiban – nemzeti bizottságaik révén – közel nyolcvan ország vett részt. Az MTA és a Magyar UNESCO Bizottság a feladatok koordinálása céljából a földtudományokat művelők széles táborára támaszkodó Magyar Nemzeti Bizottságot hozott létre, amely a program népszerűsítése terén elért eredményéért nemzetközi kitüntető elismerésben részesült.

A Föld Bolygó Nemzetközi Éve legjelentősebb tudományos sikere a *OneGeology* nevet viselő nemzetközi program (hazai résztvevője a Magyar Állami Földtani Intézet), amelynek célkitűzése a világhálón elérhető, egységes, az egész világra kiterjedő geológiai térkép-rendszer megalkotása (URL2).

A Föld Bolygó Nemzetközi Éve világszerte tudatosította a szakmában az ismeretterjesztés fontosságát: idehaza a 2008. áprilisi ún. *Földtudományos Forgatag* több száz szakembert és legalább hatezer látogatót mozgatott meg. Ugyanebben az évben a HUNGEO (a világ magyarságának földtudományi rendezvénye) konferencia a Földév jegyében zajlott. A hazai eseménysorozat csúcspontja kétségtelenül a Magyar Tudományos Akadémia 2008. évi *A Tudomány az Élhető Földért* rendezvénysorozata volt, amelynek fő témakörei tematikusan kapcsolódtak *A Föld Bolygó Nemzetközi Éve* által ajánlott témákhoz. Tudományos eredmények szempontjából is kiemelkedő jelentőségű volt a Nemzetközi Geomágneses és Aeronómiai Egyesület (IAGA) II. világkon-

gresszusa (Sopron, 2009). A hazai és nemzetközi visszhangot tekintve a 2008. októberi soproni *Föld és Ég (Geológia és Teológia)* című konferencia bizonyult a magyarországi program legkülönlegesebb, legérdekesebb rendezvényének.

Az IUGS kezdeményezése elérte célját. *A Föld Bolygó Nemzetközi Éve* rávilágított arra, hogy a talaj/termőföld, a felszín alatti vizek, a nyersanyagok és az energia sérülékenységeinek és szükségsegeinek a kérdését előbbre kell sorolnunk, mint a közgondolkodásban legfőbb veszélyként tudatosult éghajlatváltozást, a „globális felmelegedést”. Ennek oka, hogy a Föld kincsei (elsősorban a fosszilis energia, a felszín alatti víz, a talaj és egyes nyersanyagok) – a túlzó és egyre növekvő igénybevétel miatt – közel vannak a kimerüléshez (Szarka et al., 2010).

Összefoglalás

Az IUGS története arra hívja fel a figyelmet, hogy világméretű tudományos együttműködés segítségével könnyebben tudunk a természet által diktált kihívásokra, veszélyhelyzetekre, az emberiség növekvő energia-, nyersanyag- és ivóvízigényére választ adni, megfelelően reagálni. A geológiai kutatások segítségével meg kell és meg lehet találni a globális hatások regionális, lokális jellegzetességeit, fel kell mérni mind a lehetséges erőforrásokat, mind pedig a veszélyeket. A tudomány eredményeit felhasználva meg kell őrizni az emberiség otthonát adó Föld természeti értékeit és szépségét!

Kulcsszavak: *IUGS, nemzetközi együttműködés, geológiai világkongresszus, tudománytörténet, IGCP, földtudományi program, A Föld Bolygó Nemzetközi Éve*

IRODALOM

- Breznysnyánszky K. (1997): *Geológia a társadalom szolgálatában, a Nemzetközi Geológiai Korrelációs Program*. A Magyar UNESCO Bizottság Évkönyve 1996, 170–172.
- Breznysnyánszky K. (2004): *A geológia diplomatája. Egy magyar geológus nemzetközi szolgálatban*. In: *Egy XX. századi magyar humanista polihisztor. Dudich Endre 70 éves. Földtani Tudománytörténeti Évkönyv 8. különszám*. Magyarhoni Földtani Társulat, Budapest, 59–63.
- Breznysnyánszky K. – Szarka L. (2008): Földtudományok az emberiség szolgálatában – A Föld Bolygó Nemzetközi Éve. *Magyar Tudomány*. 169, 10, 1227–1237. • <http://www.matud.iif.hu/o8okt/o8.html>
- Harrison, James M. (1978): *Roots of IUGS*. Episodes. 1, No.1, 20–23.
- IUGS Brochure – www.iugs.org
- Szarka L. (ed.) (2008): *GEO-FIFIKA: Földtudományi ismeretterjesztő füzet sorozat*. 1–12. <http://www.foldev.hu/geofifika.htm>
- Szarka L. – Breznysnyánszky K. – Ádám J. (2010): Körkép a Földről. Környezeti kérdések földtudományi szemmel. *Theologiai Szemle*. Új folyam, LIII, 18–22. • <http://www.teremtesvedelem.hu/content/cikk/korkep-foldrol-kornyezeti-kerdesek-foldtudomanyi-szemmel>
- Vai, Gian Battista (2002): Giovanni Capellini and the Origin of the International Geological Congress. *Episodes*. 25, 4, 248–254. • <http://www.episodes.co.in/www/backissues/254/248-254%20Vai.pdf>
- URL1: www.iugs.org
- URL2: www.onegeology.org



KÖRNYEZETI ÉS FÖLDTUDOMÁNYI KOCKÁZATOK ELEMZÉSE KORSZERŰ MATEMATIKAI MÓDSZEREKKEL

Bárdossy György

az MTA rendes tagja
bar4750@iif.hu

Fodor János

egyetemi tanár, az MTA doktora,
Óbudai Egyetem
fodor@uni-obuda.hu

Bevezetés

Kockázat alatt egy kedvezőtlen esemény bekövetkezésének lehetőségét értjük. A szakirodalomban a bekövetkezés esélyét, illetve az esély és az esemény által okozott számszerűsített következmény (kár) kombinációját is szokták kockázat alatt érteni.

A legtöbb kockázat váratlan időpontban jelentkezik, ami a kiinduló feltételek hiányos ismeretéből fakad. Kockázatok a legkülönbözőbb területeken felléphetnek: pénzügyi, szociális kérdésekben, közgazdaságban, iparban, kereskedelemben, közlekedésben, orvostudományban, környezet- és földtudományokban. A következőkben csak az utóbbi két szakterülettel foglalkozunk.

Korábban a kockázat értékelésére többnyire elegendőnek tartották a szakemberek véleményét. Ez ma már egyre ritkábban hoz megbízható eredményt. Ezért a következőkben a korszerű matematika által nyújtott módszerek bemutatásával kívánjuk a kockázatelemzés lehetőségeit szemléltetni.

A környezet- és földtudomány fő kockázatai

E kockázatokat két fő csoportra lehet felosztani: a természeti veszélyforrások kockázatai

(*natural perils*), illetve az emberi tevékenységből eredő (*mesterséges*) kockázatok.

A *természeti veszélyforrásokból* származó kockázatok a következők:

- földrengések;
- cunamik (szökőárak);
- vulkáni kitörések, forró iszapárak (laharok), tüzés felhőárak;
- krátertavakból felszabaduló gázok;
- földcsuszamlások, kőzetomlások, hideg iszapárak;
- lavinák;
- metánfeláramlás földgázmezőkből;
- meteorológiai kockázatok: szélviharok, hurrikánok, tornádók, tájfunok, szárazságok, árvizek;
- metánhidroxid felszabadulása szubpoláris talajokból és sekély tengerfenékről.

Az *emberi tevékenység* fő környezeti és földtudományi kockázatai:

- nyersanyagkutatással járó kockázatok: eredménytelenség, sikertelen bányászati beruházási javaslat;
- a szénhidrogén-kutatás kockázatai, különös tekintettel az óceáni mélyvízi szénhidrogén-kutatásra és -termelésre;
- földgázmezők kitermelésével kapcsolatos gázrobbanások és tűzvészek;

- bányászati kockázatok: műszaki ellehetetlenülés, sújtólégrobbanások, vízbetörések;
- környezetszennyezés például cianidos aranytermelésnél, földalatti bányaomlások felszíni kihatásai;
- atomerőművek termelési kockázatai (sugárszennyezések);
- toxikus hulladékok elhelyezésének kockázatai;
- radioaktív hulladékok elhelyezésének kockázatai;
- ipari melléktermékek elhelyezésének kockázatai, például timföldgyári vörösiszap, érctelepek meddőhányói.

*A kockázatelemzés fő feladatai
a felsorolt tárgykörökben*

A *természeti veszélyforrások* sajnos túl nagyok ahhoz, hogy meg lehessen szüntetni azokat. A kockázatelemzés feladata itt az, hogy elősegítse az adott veszély bekövetkezésének előrejelzését. A földtudományok feladata a veszélyek okainak feltárása, valamint a veszély maximális mértékének és ismétlődésének minél pontosabb meghatározása.

A *földrengések* terén a szeizmológia már értékes eredményeket ért el, de a fenti feladat még nem megoldott. Sikertelenül megpróbálták meghatározni a földrengésektől leginkább veszélyeztetett területeket és a földrengések eddig észlelt gyakoriságát, de a földrengés bekövetkezésének időpontjára az előrejelzések bizonytalansága még igen nagy. Nagy pontosságú geodéziai mérések (felszín megemelkedése vagy süllyedése, dőlése), egyes geofizikai paraméterek megváltozása (elektromos vezetőképesség, ultrakis frekvenciájú elektromágneses hullámok megjelenése), radongáz kiáramlása és egyes állatok nyugtalansága az eddig kimutatótt fő előrejelző tényezők (Varga, 2011). Véleményünk szerint a *földi feszültségtér* helyi

megváltozása lehetne a legeredményesebb veszélyjelző tényező. Francia tapasztalat szerint az adott terület összes korábbi szeizmogramjainak összehasonlító értékelése nagyban elősegíti a földrengés-veszélyeztetettség előrejelzését (Pino, 2011). A földrengéskockázat következményei ún. földrengésbiztos építkezési technológiával csökkenthetők. További kockázatot jelentenek a földrengések hatására létrejött tűzvészek. A földrengések jártak eddig a legnagyobb emberáldozattal: például Kínában 1556-ban 830 ezer halott, 1976-ban 243 ezer halott.

Cunamik. Az Egyesült Államokban az utóbbi években a földrengések által előidézett cunamik előrejelzésében érdemi előrehaladást sikerült elérni tenger alatti nyomásmérő állomásokkal és tengerszintváltozást érzékelő műholdas műszerekkel. Ezt a rendszert (*Early Warning System*) a Csendes-óceán területén már alkalmazták.

A *vulkánkitörések* napjainkig szintén sok ezer emberéletet oltottak ki. Súlyos kockázatot jelent, hogy jelenleg is több millió ember él vulkánok által veszélyeztetett területeken. A kitöréseket sajnos csak néhány nappal tudják előre jelezni. Erősödő szeizmikus aktivitás a közelgő kitörés legjobb jelzője, különösen a hosszú periódusú rengéseké. Nagyon pontos geodéziai mérések, így a felszín megemelkedése vagy deformációja ugyancsak előre jelzik a vulkáni kitörést. A hőfluxus megemelkedése és a vulkánok feletti műholdas mérések is hasznos előrejelzést szolgáltatnak.

A főleg forró vulkáni gázokból, hamuból és finom piroklasztikus szemcsékből álló *tűzes felhőárak* jelentik a vulkanizmus legveszedelmesebb kockázatát. Sebességük a 200 km/órát is elérheti, és a kitörés helyétől 10–15 km távolságig terjednek. Szerencsére viszonylag ritkák, de előlük gyakorlatilag nincs me-

nekvés. 1992-ben a Kis-Antillák Montserrat szigetén levő Mont Pelée vulkán tüzes felhő-ára 29 ezer ember életét oltotta ki néhány óra alatt. A földtörténet legnagyobb vulkáni kitérősei sok millió évvel ezelőtt történtek: Brazília déli részén a triász és jura határán, Szibériában a permben, Indiában a felső krétában, Kanadában a Felső-tó térségében 22 millió éve és az Egyesült Államok délkeleti részén. Több millió négyzetkilométert öntöttek el bazaltos lávával, és az élővilág tömeges pusztulásához vezettek. Nem ismerjük, hogy milyen hatóerők hozták létre őket és azt sem, hogy miért nem ismétlődtek meg azóta. Potenciális veszélyforrást jelentenek tehát. Napjainkban egy ilyen kitérés bármely kontinensen minden eddigit felülmúló számú halálos áldozattal járna.

A vulkáni tevékenység legalattomosabb kockázati forrása a kihunytt vagy szünetelő vulkánokban létrejött *krátertavakkal* kapcsolatos. A mélyben levő magmakamrából szén-dioxid áramlik fel, amely a tó legalján oldva felgyűlhet. Hirtelen erős esőzés, vagy szélvihar hatására a szén-dioxid felszabadul és feláramlik – hasonlóan a kinyitott pezsgős palackhoz. A szén-dioxid-gáz szétárad, és a levegőnél nehezebb lévén a mélyedésekben gyűlik fel. Kamerunban számos ilyen krátertó létezik. 1984-ben a Nyon-tónál a felgyűlt szén-dioxid-gáz hatására 1750 ember fulladt meg a teljes állatállománnyal együtt. Tekintettel arra, hogy ilyen krátertavak más országokban is léteznek, a veszély kockázatára előrejelző rendszer kiépítése ajánlatos.

A *földcsuszamlások* és *hideg iszapárak* kockázatát többnyire mérnökgeológiai vizsgálatokkal és közetmechanikai mérésekkel előre lehet jelezni. Többnyire átlagot meghaladó esőzések hatására jönnek létre. A földcsuszamlás-kockázat értékelésére Újvári Gábor (2007)

dolgozott ki fuzzy és neuro-fuzzy rendszerek felhasználásával jól bevált módszert. Bonyolultabb a helyzet, ha nagyobb földrengések váltanak ki földcsuszamlásokat, mint például El Salvadorban 2001-ben. Egy ilyen földcsuszamlás kb. 30 000 m³ laza agyagos iszappal öntötte részben el Santa Tecla városát, és 580 ember életét oltotta ki. A történelem eddigi legnagyobb iszapár-katasztrófáját a kolumbiái Nevado del Ruiz vulkán okozta 1965-ben. A lezúduló iszap felolvasztotta a környező hótakarót, és elöntötte Armero városát 23 ezer ember halálát okozva. A veszélyforrást és az azzal járó kockázatot a helyi hatóságok nem ismerték fel, ami a katasztrófát nagyban megnövelte. Azóta itt is megfigyelő- és előrejelző rendszert építettek ki.

A *lavinák* az Alpokban a téli sportot űzők számára jelentenek halálos kockázatot. Kivételes esetekben a lavinák egész falvakat is elborítottak. Például 1999-ben Tirolban egy lezúduló lavina hét házat rombolt le, és negyven embert ölt meg. Azóta az Alpokban egy lavinaveszély-skálát dolgoztak ki, amely a természeti veszélyforrás kockázatának nagyságát jelzi. Az időpont előrejelzése még nem megoldott.

Metánfeláramlás földgázmezőkből. Ilyenkor fennáll a felszínre kiszivárgott földgáz felrobbanásának veszélye. Jó példája ennek a 2005-ben az angliai Hertfordshire területén levő Buncefield földgázmezőn bekövetkezett gázrobbanás és az ezt követő tűzvész.

A *meteorológiai* kockázatok közül a legveszedelmesebbek a hurrikánok. A Katrina nevű hurrikán 2005-ben elöntötte New Orleans városát 1300 ember halálát okozva. A mexikói-öbölbeli olajkutató és -kitermelő berendezésekben pedig 100 milliárd dollárt meghaladó kárt okozott. Mindezek hatására a hurrikánok előrejelzése terén az utóbbi

években a legnagyobb előrehaladás az Egyesült Államokban történt légi és műholdas megfigyelések bevezetésével és az informatika széles körű alkalmazásával, mert a Mexikói-öbölben a meteorológusok szerint további hurrikánok várhatók.

Metánhidroxid (metánklatrát) felszabadulása szubpoláris talajokból és sekély tengerfenékről. Óriási mennyiségekről van itt szó, egyedül a szubarktikus talajokban 400 gigatonnára becsülik a megkötött metánhidroxid mennyiségét. A megkötés csak adott hőmérséklet- és nyomáshatárok között érvényesül. A kockázatot az esetleges felmelegedés jelenti, mert ez hatalmas mennyiségű metángáz felszabadulásához vezetne.

A kockázatok következményeinek nagyságát érdemben befolyásolja az érintett lakosság felkészültsége és fogadókészsége. Jó példa erre a 2004-ben Szumátra szigetén pusztított földrengés és cunami, amelynek kb. 230 ezer áldozata volt a lakosság, a kormányzat és a helyi hatóságok teljes felkészületlensége miatt.

*Az emberi tevékenységből származó kockázatok*at megfelelő matematikai módszerek alkalmazásával többnyire kellő megbízhatósággal meg lehet határozni. A kockázatelemzés fő feladatai itt a következők:

- A *nyersanyagkutatásban* a kutatási optimum a Bayes-statisztika segítségével meghatározható, és ezáltal csökkenthető a kutatás eredménytelenségének kockázata.
- A globális *szénhidrogén-kutatás* különféle kockázatairól Craig P. Smalley és munkatársai (2008) készítettek részletes értékelést. Ennek ismertetése meghaladja e tanulmány kereteit. A könnyen kitermelhető szénhidrogén-készletek csökkenése miatt megnőtt a tengeri mélyvízi kitermelés jelentősége. Itt a kutató- és termelőfűrészeknél a nagy nyomással és magas hő-

mérséklettel kell megküzdeni. Emiatt a mélyvízi kőolaj- és földgázkutatás a legkockázatosabb. Az eddig alkalmazott szakértői véleményezés szerintünk egymagában már nem elégséges. Ezt bizonyítja a Mexikói-öbölben 2010 áprilisában bekövetkezett katasztrófa egy „mélyvízi” fűrészi szigeten. A hirtelen megnőtt nyomást nem sikerült kivédeni, a kiáramló földgáz begyulladt, és robbanást okozott, a fűrészi platform elsüllyedt. Ezek a következmények számítógépes szimulációval kellő biztonsággal nem modellezhetőek. Véleményünk szerint itt is minden tényezőre kiterjedő, matematikailag megalapozott kockázatelemzés jelenthetne megoldást.

- A *bányászati beruházásoknál* a kockázatelemzés fő feladata a technikai veszélyforrások (például vízbetörés, sújtólégrobbanás) előrejelzése, valamint a minőségi elvárások elérésének biztosítása. A földtani és geomatematikai modellek itt igen fontosak.
- Az *atomerőművek* technikai veszélyforrásai nem tartoznak szakterületünkbe. A természeti veszélyforrások – például földrengések – várható maximális magnitúdójának meghatározása elsőrendű kockázatelemzési feladat. Az eddigi kockázatelemzések egy adott időegység (például száz év) alatt észlelt, adott magnitúdójú rengések számára vonatkoznak. Viszont helytelennek tartjuk ezeknek az adatoknak a jövőre történő lineáris extrapolációját. A természeti folyamatok ugyanis többnyire nem lineárisak.
- A *toxikus hulladékok* elhelyezésénél a mérgező anyagok kiszabadulása jelent nagy kockázatot (például a cianidos aranytermelés esetében Erdélyben).

– A *radioaktív hulladékok* kockázatcsökkenésére világszerte több évtizede összehangolt erőfeszítések folynak. A hulladékot felszíni és mélységi tárolókban helyezik el. Míg a toxikus hulladékok mérgező hatása állandó marad, addig a radioaktív hulladékok veszélyes sugárzása a felezési idő miatt fokozatosan csökken.

A nyersanyagok ipari feldolgozása során nagy tömegű *melléktermékek* is keletkeznek, amelyek biztonságos elhelyezése is kockázatelemzéssel érhető el. Az ajkai vörösiszap-katasztrófa bekövetkezése (2010. október) véleményünk szerint megfelelő kockázatelemzéssel elkerülhető lett volna. Nagy nehézfém-tartalmuk miatt különösen veszélyesek a felhagyott ércbányák hányói (például a Mátra-hegységben Gyöngyösoroszi).

A fent felsorolt kockázatoknál gyakran egy előre meghatározott *küszöbérték* megállapítását tekintik a kockázatelemzés egyik fő feladatának. Ugyanakkor az ezt meghaladó értékek bekövetkezésének valószínűségét általában alábecsülik.

Bizonytalanság és kockázat

Minden kockázatelemzés több-kevesebb bizonytalanságot tartalmaz. Ezek egyik része a természet térbeli és időbeli *változékonyságából* fakad, másik része pedig a *nem tökéletes ismeretekből* eredő emberi hibaforrások következménye. Ilyenek a tárgykör hiányos ismerete, a hiányos mintavétel és adatgyűjtés, a pontatlan modellezés, az elemzési hibák, a kiválasztott matematikai módszerek pontatlan alkalmazása stb. A kétféle bizonytalanság megkülönböztetett értékelése elengedhetetlen feladat. A klasszikus valószínűség-számítási módszerek mellett az utóbbi években született új matematikai eljárások – például a lehetőségelmélet (Zadeh, 1978; Dubois –

Prade, 1988; Dubois, 2006), a fuzzy halmazok, a fuzzy geostatisztika, a valószínűségi dobozok (Ferson et al., 1999), a pontatlan valószínűségek – erre a célra alkalmasak, amint erről a *Magyar Tudományban* nemrég írtunk (Bárdossy Gy. – Fodor, 2011). A bizonytalanságokról és a kockázatelemzés módszereiről további részletes leírás található könyvünkben (Bárdossy Gy. – Fodor, 2004).

A kockázatelemzés során a bemenő paraméterek bizonytalanságának kezelésére kiválasztandó módszer a rendelkezésre álló információtól függ. Ha változékonyságról van szó, és elegendő statisztikai információnk van, akkor a valószínűség-számítás alkalmazható. Ha az információ hiányos valamelyik értékre, akkor az intervallumaritmetika (Moore, 1966) vagy a lehetőségelmélet (fuzzy intervallumok) jöhet szóba (Dubois, 2010).

A kockázatelemzés folyamata

Az alapadatok összegyűjtése reprezentatív mintavétellel. A mintavétel akkor tekinthető reprezentatívnak, ha a minták együttese valósan, torzításmentesen képezi le az adott objektumot, folyamatot. Az adatok bizonytalanságát már ezen a szinten figyelembe kell venni.

Földtudományi modell készítése, ami alapfeltétele a valós eredményt hozó kockázatelemzésnek. Ennek fontossága ma még sok helyen nem tudatosult. A földtudományi modellben a kockázatot befolyásoló összes tényezőt figyelembe kell venni. A tényezők kiválasztása nem lehet önkényes (Brezsnyánszky, 2011).

Geomatematikai modell készítése, amelyben matematikai formába öntjük a földtudományi modell szükségszerűen leíró jellegű megállapításait. A változékonyság modellezése esetén a hagyományos statisztikai mutatók közül az átlag, a módusz, a szórás és a ferdeség megadása kívánatos. Nem tökéletes

ismeretekből eredő bizonytalanságok esetén fuzzy számok, valószínűségi dobozok és lehetségeseloszlások közlése szükséges. Mindezek kiegészítésére Monte Carlo-szimulációt lehet alkalmazni, ilyenkor figyelembe kell venni a változók korrelációs kapcsolatait. Folyamatok geomatematikai modellezéséhez differenciálegyenletek alkalmazása is szükséges.

A kockázatelemzés geomatematikai módszereinek kiválasztása. Legegyszerűbb esetben a statisztika „frekventista” módszereit lehet alkalmazni. Érdemben kiegészíthető ez a Bayes-féle statisztika módszereivel. Az alsó és felső valószínűségi sávok alkalmazása többletmunkával jár, de hasznos információkat eredményez (Ferson et al., 1999). Információhiány esetén nélkülözhetetlen a fuzzy aritmetika és logika alkalmazása. Különösen bonyolult jelenségek esetén célszerű a fuzzy neurális hálózatok alkalmazása (Fullér, 2000). Kiemelt fontosságúnak tartjuk a következő négy módszert bizonytalan objektumok és folyamatok kockázatelemzésére (Baudrit–Dubois, 2005): hibrid módszer, független véletlen halmazok, konzervatív véletlen halmazok, függőségi határok konvolúciója. E módszerek alkalmazását konkrét esettanulmányokon is bemutatták, ami a hazai alkalmazást nagyban megkönnyítheti.

Befejezésül értékelni kell, hogy a kiválasztott módszerek az adott esetben elegendőek-e a megbízható kockázatelemzésre.

A kiválasztott geomatematikai módszer alkalmazása. A számításoknál az adott módszer szabályait *kell* alkalmazni (például fuzzy módszernél a fuzzy aritmetika szabályait). Speciális metodikát kíván a hibák terjedésének végigvezetése a számításokon. Ezeket a végeredményben külön fel kell tüntetni.

A lehetséges kimenetek és bekövetkezésiük esélyének meghatározása. A lehetséges kimene-

telek meghatározása alapvetően földtudományi feladat, és a földtudományi modellre épül. A kimenetek esélyét (valószínűségét) változékonyság esetén a statisztika módszereivel lehet meghatározni. További lehetőség rejlik a Dempster–Shafer-elméletben (Dempster, 1976; Shafer, 1976), valamint a copulákban (Bárdossy A. – Li, 2008). A hiányos információból fakadó bizonytalanságok esetén nélkülözhetetlen a nem sztochasztikus módszerek alkalmazása (Bárdossy Gy. – Fodor, 2011), mert a kimenetek között, ha ritkán is, átmenetek is lehetségesek.

A következmények nagyságának kiszámítása (kimenetelenként külön-külön). A következmények matematikai értelemben lehetnek folytonos vagy diszkrét változók, amit a kiértékeléskor figyelembe kell venni. Bizonytalan kiinduló adatok esetén a következmények meghatározása is bizonytalan. Az ún. érzékenységvizsgálatok segítik a bizonytalanságot leginkább befolyásoló tényezők felismerését. Nemzetközi tapasztalat, hogy gyakran igen kis valószínűségű kimenetek következményei a legnagyobbak.

Döntéshozatal

A kockázatelemzés záró lépése a döntéshozatal. A legtöbb esetben több alternatíva közül lehet választani. A döntés alapjául a következmény nagysága és bekövetkezésének esélye szolgál. A hazai gyakorlatban ezért több szakember a következmény és valószínűségének szorzatát tekinti a választás fő szempontjának. Ez sajnos téves megközelítés, mert az adott helyzettől függően mind a következmény, mind annak valószínűsége eltérő jelentőségű lehet. Jó példa erre az atomerőművek biztonsága, ahol még igen kis valószínűség esetén is a következménynek meghatározó szerepe lehet.

Összefoglalás

Tanulmányunk elsődleges célja a természeti és az emberi eredetű veszélyforrások, kockázatok áttekintése volt. Ezután a kockázatelemzés új, hazánkban eddig kevésbé ismert módszereit tekintettük át. A tanulmány

megszabott terjedelme nem tette lehetővé a módszerek részletes ismertetését és esettanulmányok bemutatását. Ezeket egy újabb tanulmányban érdemes lenne kifejteni.

Kulcsszavak: *természeti veszélyforrások, emberi kockázatok, kockázatelemzési módszerek*

IRODALOM

- Baudrit, Cédric – Dubois, Didier (2005): Comparing Methods for Joint Objective and Subjective Uncertainty Propagation with an Example in Risk Assessment. In: *Proc. of the 4th International Symposium on Imprecise Probabilities and Their Applications*. Pittsburgh, Pennsylvania • http://www.irit.fr/~Didier.Dubois/Papers0804/isipta2005_paper_021_BAUDRIT.pdf
- Bárdossy András – Li, Jing (2008): Geostatistical Interpolation Using Copulas. *Water Resources Research*. 44, 1–15. DOI:10.1029/2007WR006115
- Bárdossy György – Fodor J. (2004): *Evaluation of Uncertainties and Risks in Geology*. Springer, Berlin–Heidelberg • <http://books.google.hu>
- Bárdossy György – Fodor János (2011): Matematikai módszerek alkalmazása a földtudományokban. *Magyar Tudomány*. 172, 6, 703–709. • <http://www.matud.iif.hu/2011/06/09.htm>
- Breznyánszky Károly (2011): És mégis mozog a Föld. *História*. 4, 24–25.
- Dempster, Arthur P. (1976): Upper and Lower Probabilities Induced by a Multivalued Mapping. *Annals of Mathematical Statistics*. 38, 2, 325–339. • http://projecteuclid.org/DPubS/Repository/1.0/Dissminate?view=body&cid=pdf_1&handle=euclid.aoms/1177698950
- Dubois, Didier (2006): Possibility Theory and Statistical Reasoning. *Computational Statistics and Data Analysis*. 51, 47–69. • http://www.irit.fr/~Didier.Dubois/Papers0804/D_CSDAo6.pdf
- Dubois, Didier (2010): The Role of Epistemic Uncertainty in Risk Analysis. In: *Scalable Uncertainty Management. Lecture Notes in Computer Science*. 6379, 11–15. DOI: 10.1007/978-3-642-15951-0 • <http://www.springerlink.com/content/978-3-642-15950-3/#section=782415&page=14>
- Dubois, Didier – Prade, Henri M. (1988): *Possibility Theory. An Approach to Computerized Processing of Uncertainty*. Plenum Press, New York
- Ferson, Scott – Root, W. – Kuhn, R. (1999): *RAMAS Risk Calc. Risk Assessment with Uncertain Numbers*. Applied Biomathematics, Setauket, New York
- Fullér Róbert (2000): *Introduction to Neuro-Fuzzy Systems*. Physica Verlag, Heidelberg • <http://books.google.hu>
- Moore, Ramon E. (1966): *Interval Analysis*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Pino, Alessandro (2011): *The Analysis of Historical Seismograms: An Important Tool for Seismic Hazard Assessment. Case Histories from French and Italian Earthquakes*. *Bulletin de la Société Géologique de France*. 182, 4, 367–379. doi: 10.2113/gssgfbull.182.4.367
- Shafer, Glenn (1976): *A Mathematical Theory of Evidence*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey
- Smalley, Craig P. – Begg, S. H. – Naylor, M. – Johnsen, S. – Godi, A. (2008): Handling Risk and Uncertainty in Petroleum Exploration and Asset Management. *AAPG Bulletin*. 92, 10, 1251–1261.
- Újvári Gábor (2007): Földcsuszamlás-kockázat vizsgálata fuzzy és neuro-fuzzy rendszerek segítségével. *Geomatikai Közlemények*. 10, 145–158. • http://www.geomatika.ggki.hu/kozlemenyek/abstract/docs/GK_X_1_honlap.pdf
- Varga Péter (2011): Földrengések előrejelzése. *Magyar Tudomány*. 172, 7, 843–860. • <http://www.matud.iif.hu/2011/07/11.htm>
- Zadeh, Lotfi A. (1978): Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility. *Fuzzy Sets and Systems*. 1, 3–28. DOI:10.1016/0165-0114(78)90029-5

ARANY ÉS CIANID – LEHETŐSÉGEK ÉS KOCKÁZATOK –

Földessy János

geológus, a földtudományok kandidátusa,
Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar
Ásványtani és Földtani Intézet
foldfj@uni-miskolc.hu

Bóhm József

bányamérnök, a műszaki tudományok kandidátusa,
Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar
Nyersanyagelőkészítési és Körny. Eljárástechn. Int.
ejtbohm@uni-miskolc.hu

Bevezetés

Az elmúlt években a környezetünkért érzett felelősségből adódóan, míg, különösen napjainkban, a gazdasági problémák kapcsán is egyre nagyobb figyelmet kapnak ismét a nyersanyagok, ezek közül is kiemelten a nem-fémek, ritkaföldfémek kutatása, kitermelése, előkészítése és feldolgozása. Az arany, a „misztikus” fém, amelynek birtoklása gazdaságot jelent, évezredek óta felkeltette, és ma is felkelti az emberek érdeklődését, megmozgatja fantáziájukat. Naponta hallunk az aranyár emelkedéséről, de érdeklődve figyeljük azt is, hogy földrajzi régióinkban, a Kárpát-medencében tervezett aranybányászat milyen terhelést jelenthet a környezetre (tíz évvel ezelőtt már megtapasztalhattuk), a civilizáció emlékeinek megőrzésére, és nehezen tudunk eligazodni az egymásnak sokszor ellentmondó hírek között. Ajándék vagy átok az arany? Veszélyes vagy nem veszélyes az arany bányászata és előkészítése? Természetesen nem egyszerű a válasz, erre a tanulmány sem vállalkozik, csak az arany bányászatával, az alkalmazott kinyerési technológiával kapcsolatos ismereteket próbálja összegyűjteni, és közérthető formában közreadni.

Gazdasági menedék és tartalékvaluta

Az arany az egyik legősibb felhasznált természetes anyag, amelynek felkutatását és kitermelését az ember már az írásos történelem előtti időkben megkezdte. Ehhez valószínűleg több tulajdonság együttesen járult hozzá: kihívó sárga fénye az ékszerek fontos jellemzője, ellenáll a korrózióknak, ez a tartósság, értékállóság biztosítéka; könnyen kohósítható és formázható, ez a sokoldalú felhasználás egyik alapja; nagy fajsúlya miatt kis helyen is elrejtethető. Ehhez a modern időkben újabb tulajdonságok kerültek előtérbe, például az igen jó elektromos vezetőképesség és a különböző hullámhosszú elektromágneses hullámok nagyfokú visszaverő képessége.

Mindezek ellenére az arany nem került volna az állandó figyelem és érdeklődés középpontjába, ha nem volna hagyományos kincsképző, értékmérő szerepe is. Ennek köszönhető, hogy igen hosszú ideig – az ezüsttel és rézzel együtt – az arany volt a legtöbb kultúrában a pénzrendszer alapja és biztosítéka. Birtoklásáért – akár napjainkban az energiaforrásokért – háborúk folytak. A XX. század közepéig az arany fedezet volt a papírpénzre áttérő gazdaságok által kibocsátott

pénzjegyre. Ezt a fontos értékmérő szerepet erősítette meg az IMF alapítását is előíró 1944-es Bretton Woods-i egyezmény, amely akkor az USA dollár és az arany árparitását is rögzítette 35 USD/uncia értéken. Ettől a paritástól 1971-ben szakadt el az Egyesült Államok, ettől kezdődően az aranyár dollárban folyamatosan emelkedett, s a csúcstól a második olajválság hatására 1980-ban érte el, 850 USD/uncia szinten. A politikai és gazdasági helyzet megszilárdulásával az arany iránti kereslet, így az ár is tartósan visszaesett, a kisebb fellendüléseket – körülbelül öt-nyolc-éves ciklusokban – visszaesések követték.

2002-től az arany USA dollárban mért ára monoton emelkedik, és ez az emelkedés a 2008-as gazdasági válság hatására szinte exponenciális üteműre váltott, mára beteljesítve az arany tartalékvaluta és tőkemenedék szerepét. Érzékeltetéstül az arany árváltozásának tízéves menetét mutatjuk be az 1. ábrán, a BUX-index arányos változása mellett.

Érc és fém –

az arany megjelenési formái és dúsulása

Az arany a természetben alapvetően két típusban fordul elő: kőzetekben kialakult dúsulásokként, illetve ezek lepusztulása után keletkezett folyóvízi hordalékokban, ún. *torlatok* formájában. Az aranytartalmú telérekben gyakran termésfém ásványként jelenik meg. Az így előforduló aranyszemcsék mérete a néhány milliméterestől a mikrométeres tartományig terjed. A szabad szemmel is látható nagyobb szemcsék alkotta dús ércek kitermelése már évezredek óta tart, a felszínközeli zónákban mára ezek a lelőhelyek már világszerte kimerültek. A ma is működő legjelentősebb kitermelőhelyeken az ércterelés a mikrométeres szemcseméretű aranyércekből folyik.

Agazdaságosan kibányászható aranyércek minimális fémtartalma számos tényezőtől együttesen függ: a lelőhely méretétől, az arany ásványtanától, a fémipari kereslet-kínálat ala-



1. ábra • Az arany árának változása és a BUX-index arányos változása (szaggatott vonal) 2001–2011 között. Forrás: URL₁, URL₂

kulásától. Ma akkor tekintünk egy kőzetet gazdaságosan bányászható aranyércnek, ha szilárd kőzet esetén aranytartalma tonnánként néhány gramm (ppm). Folyóvízi hordalékokban ez az érték köbméterenként néhány tized gramm arany.

Az aranyaknak húsznál több szulfid, tellurid, szelenid ásványa is van, és bizonyos szulfid ásványok (például pirit) kristályrácsába beépülve is megtalálható. Savakban nem oldható, a természeti folyamatokban klorid komplexként való mobilitásának van jelentősége. Technológiai folyamatokban más komplexképző anyagokhoz kapcsolódva mozgatható (cianid, tiourea, tioszulfát, tiocianát).

A világon ma kb. 2500 tonna fémaranyat termelnek évente. A legjelentősebb termelő országok jelenleg: Kína, Egyesült Államok, Ausztrália, Oroszország és Dél-Afrika, amelyek együttesen a világtermelés kb. 50%-át adják. Az európai országok (Oroszország nélkül) aranytermelése a világgranglistán nem jelentős (1,2%), de az elmúlt évtizedben dinamikus, 250 %-kal emelkedett (1. táblázat). A tradicionális európai termelők – Spanyolország, Franciaország – lelőhelyein megszűnt a bányászat, de más országok léptek be. Ezek közül ki kell emelni Törökországot, ahol korábban több mint egy évtizedig folyt a vita

az aranyérctermelés engedélyezéséről, illetve Svédországot és Finnországot, ahol az aranyérc termelése és feldolgozása egyúttal Európa legmagasabb színvonalú környezetgazdálkodásába illeszkedve folyik.

Hazai aranyérctermelésünk a recski ércbánya 1979-es leállítása óta nincs. Számos lelőhelyünk ismert (2. ábra), kettő közülük (Recsk mélyszint, Recsk Lahóca) bányászatra kész ismeretességi állapotban van.

A recski Lahóca ásványvagyonának fémösszértéke ma meghaladja az 500 Md forintot, így a hazai aranyérctermelésre vonatkozó döntések nem csupán a környezetgazdálkodás elvi jelentőségű kérdéseit, de a nemzetgazdaság stratégiai lehetőségeit is komolyan érintik.

Ércből fém – aranyérc-feldolgozási technológiák

Az arany közvetlenül használható formában nagyon ritkán fordul elő. A történelmi időkben a Kárpát-medencében és Erdélyben Verespatak környékén is találtak néha több tíz kilogrammos aranyrögöket. Korábban a természetes arany-tartalmú telérek és szabadarany-tartalmú torlatok kitermelése jelentette az aranytermelést, de mára ezek a telepek kimerültek. Ma a világ termelésének több mint 90%-át alacsony (0,5–10 ppm) aranytartalmú érctelepek bányászati kitermelése és feldolgozása adja.

A természetes arany-tartalmú telérek, aranytorlatok előkészítése egyszerű fizikai módszerekre épült. Az érces kőzetet előbb aprították, majd az arany szemcseméretétől függően 0,5–0,2 mm alá őrölték. A felőrölt ércből az aranyat a kísérőkőzet eltérő sűrűsége alapján ($\rho_{\text{Au}}=19,3 \text{ kg/dm}^3$, $\rho_{\text{kőzet}}=2,7\text{--}3,2 \text{ kg/dm}^3$) szűreken, csatornákon leválasztották. A leválasztás során nyert „nehéz” féltermékből az aranyat hígany felhasználásával, amalgamálással

	tonna fém
Törökország	26,3
Svédország	11,1
Bulgária	4,2
Finnország	4,1
Lengyelország	0,9
Románia	0,5
Szlovákia	0,2
Összesen	47,3

1. táblázat • 2008. évi termelési adatok
(forrás: URL₃)



2. ábra • Magyarország ismert aranyérclelőhelyei. A nagy körök a megkutatott ásványvagyonú lelőhelyeket, a közepes körök a múltban vagy jelenleg kutatás alatt álló területeket, a kis körök az ismert, de nem kutatott előfordulásokat jelzik.

választották ki, majd az arany–higany amalgámból a higany elgőzölésével nyerték ki a színaranyat.

Szulfidokhoz kötött aranyat flotációs eljárással előállított ásványkoncentrátumból (főleg rézszulfidok, illetve pirit) tűzi kohászati módszerekkel nyerik ki, és tisztítják.

A világ aranytermelésének több mint 90%-át adó alacsony (0,5–10 ppm) aranytartalmú nem szulfidos ércekből az aranyat ma mindenhol a világon ciános oldással nyerik ki.

Ma már meg kell említeni a különböző elektronikai hulladékokból (televíziók, számítógépek, mobiltelefonok, telefonközpontok) származó aranyvisszanyerést is, amely szintén a ciános technológiára épül.

Cianid – a hírhedt vegyület

A cián nagyon egyszerű, szén- és nitrogén-atomból álló, egy vegyértékű, negatív össze-

tett gyök. A természetben egyes élettani folyamatok, mezőgazdasági termelés eredményeként is képződik (például a kaszavatermesztés során). Gáz formában – HCN, hidrogén-cianid – erősen mérgező, oldott ionos vagy só formában – nátriumcianid (NaCN) és káliumcianid (KCN) – kevésbé mérgező, veszélyes kémiai anyag. A világon évente kb. 1,5 millió tonna ciánt állítanak elő, melynek több mint 80%-át különböző vegyületek formájában a vegyipar (izocianátok, műanyagok, nylon, akril, növényvédőszer gyártása stb.) használja fel. A bányászat az előállított ciántermékek kb. 18%-át használja fel, döntően nátriumcianid formájában.

A cián talán az egyik legrosszabb hírű vegyület a világon, elsősorban a II. világháborúban a gázkamrákban is használt Zyklon-B (HCN) gáz és egyéb, a vegyi hadviselés során történt alkalmazások miatt.

A sokféle cianidvegyület közül a legkevésbé oldható, stabil vegyületek a ferricianidok. Kevésbé stabilak, gyenge savakban disszociálódnak az alkáli és színesfémcianidok (például NaCN , KCN , $\text{Au}(\text{CN})_2$, ún. WAD-cianidok) s a legagresszívebb, gyorsan ható, mérgező hatásúak (szabad cianidok, pl. HCN).

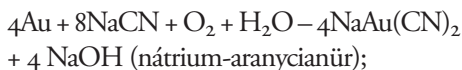
Cianidot alkalmazó aranyérc-feldolgozási technológiák

A bányászatban két területen használnak ciant: kis mennyiségben szulfidos (réz-, cink-, ólom- stb.) ércek flotációs dúsítása során, jelentősebb mennyiségben az aranybányászatban, az arany kioldására.

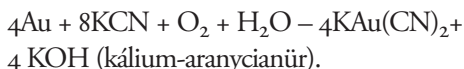
A cián fémekre gyakorolt hatását (fémek oldása) *Johann Konrad Dippel* és *Heinrich Diesbach* fedezte fel 1704-ben „berlini kék” (vas-ferrocianid) előállításával. Az arany ciános oldásáról a legkorábbi írásos dokumentum *Carl Wilhelm Scheele* svéd kémikus 1783-ban közzétett tanulmányában található. Első ipari alkalmazására 1889-ben Új-Zélandon került sor. Ezt követően gyorsan terjedt az egész világon. A világ jelenleg működő 875 aranyérc-feldolgozó üzeme közül 460-ban használnak cianidos technológiát (Mudder – Botz, 2001). Ez nem az egyetlen kioldós eljárás fémek ércből történő kinyerésére. Ismeretesebbek más oldatkohászati módszerek is, amikor a vízben nem oldódó fémeket a hasznos ásványból, ércből különböző vizes „oldóközeg” (például hígított kénsav, salétromsav stb.) alkalmazásával kioldják, és a hasznosítandó fémeket (szelektíven egy-egy fémeket vagy több alkotót egyszerre) a vizes fázisba „átviszik”. Ezt követően a vizes fázisból a hasznos komponenseket szelektíven, egymást követően, különböző eljárásokkal (kicsapás, ioncserélő gyanták és folyadékok, folyadék-folyadék extrakció, aktív szén stb.) kivonják.

A cianidos aranyérc-kilúgzási technológiák során az arany az alábbiak szerint cianidkomplex (AuCN , aranycianür) formájában oldódik, más komponensek szilárd fázisban maradnak:

nátrium-cianid alkalmazásával



kálium-cianid alkalmazásával

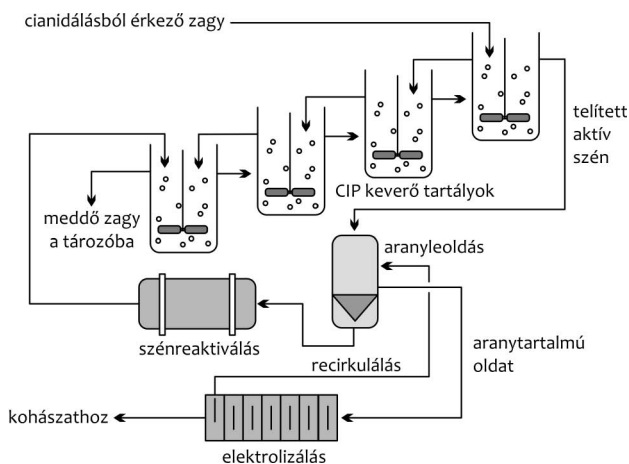


Hasonlóan oldódik néhány más fém (például Cu , Zn) is, ezek nagy mennyiségű jelenléte esetében a cianidos technológiát nem alkalmazzák, vagy a színesfém-szulfidok leválasztása (flotáció) után kerülhet sor az arany ciános kinyerésére.

A bányászat során kitermelt aranytartalmú érc csak nagyon ritkán kerül közvetlenül ciánozó lúgásra. Az ércet először aprítják, őrlik, esetleg valamilyen fizikai, fizikai-kémiai eljárással elődúsítják. Az így nyert dúsítmányt víztelenítik, és ezt követően kerül sor a ciánozó folyamatra. A leválasztott aranymentes meddő elősűrítés után zagytározóra kerül.

A ciános oldást két egymástól jelentősen eltérő technológia szerint valósítják meg. Az egyik a halmazban történő kioldás (perkoláció), a másik a keverőtartályokban történő, szabályozott és ellenőrzött kioldás. A keverőtartályos technológia diagramja a 3. ábrán látható.

A halmazban történő kioldási technológiánál a néhány centiméter maximális szemcse-méretűre aprított ércet előre kiépített, többszörösen leszigetelt területen felhalmozzák, és a ciános oldószert meghatározott rendszer szerint a halom tetejére permetezik, ami átszivárog a laza közethalmon, folyamatosan oldva ki annak aranytartalmát. Ez a folyamat több hétig, hónapig is eltarthat az érc típusá-



3. ábra • A CIP-eljárás és az arany kinyerése elektrolízissal

tól, aranytartalmától függően. A kioldást általában addig folytatják, amíg a közet (perkolációs halom) aranytartalma 0,3–0,5 ppm küszöbérték alá nem csökken, hatásfoka 60–80%-os. A folyamat befejezését követően a közettestet intenzíven átmossák, átlevégtetik, ciántalanítják, ezt követően kerül az anyag végleges helyére (meddőhányóra).

A *keverőtartályos oldás* során az ércet aprítják, és finomra (általában 0,2 mm méret alá) őrlik. A finom őrleményt 0,05 tömegszázalékos töménységű NaCN-oldattal keveréssel kezelik négy-huszonnégy órán keresztül. A zagy szilárdanyag-tartalma általában 50%. A szulfidos ércet nehezebben tárolnak fel, és az oldás is lassúbb, magasabb, 0,1% NaCN-koncentráció mellett tíz-hetvenkét órán keresztül tart. Az agitációs-tartályos oldás hatásfoka 85–98% között van. Szulfidos ércnél sokszor az oldás előtt termikus előkezelést (pörkölés) alkalmaznak, vagy nagy nyomáson, autoklávokban történik a kezelés.

A folyamat 10–11 pH értékű környezetben zajlik, amit mészs adagolásával állítanak be. A pH ellenőrzése és szabályozása nagyon fontos,

mivel savas közegben halálosan mérgező HCN szabadulhat fel.

A ciános kioldást követően az arany kinyerésére a gyakorlatban két eljárás terjedt el: így az arany kiválasztása cinkpor felhasználásával, valamint az aktív szénre történő leválasztás. Az első Merrill–Crowe-eljárásként vált ismertté, és ezt alkalmazták hosszú időn keresztül az arany oldatból történő kinyerésére. Az aktív szén felhasználása a gyakorlatban 1970-től terjedt el, és napjainkra szinte minden üzemben ezt az eljárást használják. A leválasztás hatásfoka igen jó, 99,5%-os.

Az aktív szénrel történő kinyerésre két megoldás ismert és alkalmazott. Az ún. *CIL*-módszer (Carbon in Leach) esetében a kioldás a keverőtartályokban, az aktív szenes leválasztás külön tartállyal való oldat áramoltatásával történik. Az ún. *CIP*- (Carbon in Pulp) módszernél az arany kioldása, majd az aktív szénre történő leválasztás a kb. 75 µm szemcseméretű ércőrleményt és ciános aranytartalmú lúgzóoldatot, valamint az aktív szén is tartalmazó zagyból ugyanabban a tartályban történik. A 0,5 mm-nél nagyobb

méretű aktív szenet az ércőrleménnyel ellentétes irányba áramoltatják az oldótartályokban. A folyamat végén az aranyat tartalmazó aktív szén és az aranytartalmától megszabadított, meddő őrlemény méret szerint szétválasztható. Ezt az eljárást mutatja a 3. ábra.

A két (CIL és CIP) eljárást a ciános oldási technológiában egyszerre is alkalmazhatják, gyakran alkalmazzák is.

Az adszorpciót követően az aktív szenet a ciános oldóközegtől és a szilárd közetanyag-tól elválasztják, majd a megkötött aranyat egy másik folyadékkörben leoldják a szén felületéről, azaz ismét oldatba viszik (deszorbeálják), majd erről elektrolízissel állítják elő a 99,9–99,99%-os „színaranyat”, amit egy másik üzemben tovább finomítanak nagy tisztaságú fémmé.

Cianid a meddőben: környezeti hatások és veszélyek

A lúgást követően a maradvány oldószert tartalmazó meddőt még az üzemen belül besűrítik, ciánmentesítik és külső zagytározókba vezetik. A ciános lúgzófolyadék visszakerül az oldási folyamatba. A sűrítés és a ciánmentesítés elmaradása esetén (például a nagybányai korábbi feldolgozás során) a külső tározóba vezetett meddő zagy még jelentős mennyiségű ciános folyadékot is tartalmaz. Ilyen esetekben a zagytározóból a ciántartalmú közeget visszavezetik a technológiai folyamatba. Az egész technológia akkor válik alapvetően veszélyessé, amikor a ciános oldat kikerül a zárt technológiai rendszerből. Alapvető kérdés, hogy mekkora mennyiségű ciános oldat van a zagytározón, és mennyi kerülhet ebből ki a környezetbe az élővilág veszélyeztetése nélkül. A zagytározók geotechnikai és vegyi biztonsága alapvető kérdés. Erre vonatkozóan ma már szigorú EU-ajánlások, előírások

vannak (2006/21/EK irányelv az ásványi nyersanyag-kitermelő iparban keletkező hulladék kezeléséről), amelyek kidolgozását és bevezetését döntően az aznallari (1998) és a nagybányai (2000) balesetek kényszerítették ki.

Cianidhoz kapcsolódó személyi és környezeti balesetek

A cián rossz híre és veszélyessége ellenére bányászati felhasználása során viszonylag kevés súlyos baleset történt. A személyi sérülésekkel járó balesetek mellett viszont több súlyos környezetszennyezéssel járó baleset kapcsolható a ciános technológiához (2. táblázat).

A baleseti okok között a meddőtározó gátjához, illetve a cianid szállításához kapcsolódó balesetek a leggyakoribbak. Az élővíz-szennyezés és az ennek hatására bekövetkezett halpusztulás az emberre veszélyes cianidkoncentráció egytizedénél jelentkezik.

A ciánt nagy mennyiségben használó vegyiparban számos súlyos balesetről tudunk, amelyet cián okozott. A legismertebb 1984-ben történt az indiai Bhopalban: a Union Carbide egyik rovarirtószereket gyártó üzeméből 40 tonna metil-izocianát (MIC) gáz került ki a környezetbe, közel 3000 ember azonnali, további 15 ezer ember későbbi halálát okozva.

Környezeti szabályozás és határértékek

A nagybányai cianidbaleset nyomán kétirányú szabályozásváltoztatás indult el: az egyik út az iparvállalatok önkéntes együttműködésében létrehozott Nemzetközi Cianid Kódex volt, amelyben a cián szállítására, kezelésére, tárolására, felhasználására vonatkozó szigorú előírásokat vezettek be (URL₅). A kódex az 50 mg/l WAD (Weak Acids Dissociable) cianidkibocsátási határérték betartását kövelte meg a csatlakozóktól.

Az EU-ban ez a baleset váltotta ki a bányászati hulladékok kezelésének részletes szabályozását. A bányászati hulladékokra vonatkozó EU-irányelv a WAD-cianidokra állapít meg kibocsátási határértéket, ami 10 mg/l. Ennek alkalmazása minden 2008 után épülő létesítményre kötelező, míg meglévő létesítményeknél az elérését 2018-ig kell megoldani (URL6). Mindkét új szabályrendszer a biztonság jelentős javulását, a technológia hatékonyságának növelését, a környezetvédelem új módszereit kényszerítette ki. A technológusok ezzel párhuzamosan erőfeszítéseket tesznek az alkalmazott cianidszint további csökkentésére; a technológia helyettesítésére.

Cianidlebontó technológiai megoldások

A technológia során a ciánmentesítés, az ártalmatlanítás szükségessége döntően a WAD-cianidok ártalmatlanítására szorítkozik. Az ártalmatlanítási eljárásokat három csoportba lehet foglalni:

- kizárólagosan természetes lebontás,
- elősegített természetes lebontás.
- kémiai, fizikai vagy biológiai roncsolás.

A *kizárólagosan természetes lebontás* domináló alapjelensége a fém-cianid komplex disszociációja és a ciánhidrogén volatilizációja, amelyek mértékét elsősorban a pH, a hőmérséklet, az UV sugárzás valamint a szellőztetés (levegőztetés) határozza meg. Járulékos jelenségek: a talaj-mikroflóra segítségével végmenő enzimkatalitikus aerob és anaerob lebontás, a hidrolízis és a komplexképződés.

A *kémiai oxidációs eljárások* közül legelterjedtebb *INCO* kén-dioxidos eljárást a 80-as években fejlesztették ki. A reakció pH = 8-9 között megy végbe. A folyamathoz Cu^{2+} -katalizátor szükséges 10–50 mg/l koncentrációban. Az eljárás sikeresen roncsolja a WAD- és a szabad cianidokat. A megtisztított oldatok maradvány cianidkoncentrációja 1–5 mg/l.

A *kicsapattós* eljárásnál vas-szulfátot alkalmaznak a kezelésre. A kezelés eredményeként

év	lelőhely	baleset oka és következménye
1982	Zortman-Landusky (Montana, USA)	Technológiai cianid elszökése, ivóvízszennyezés
1992	Summitville (Colorado, USA)	Halmazlúgzásból technológiai oldat elszökése, tartós nehézfém-szennyezés az Alamosa-folyón
1995	Omai (Guyana)	Meddőtározó gátjának tönkremenetele, az Esequibo-folyó szennyeződése
1998	Kumtor (Kirgizisztán)	NaCN-szállító teherautó balesete, élővízszennyezés, 4 halott, 2600 mérgezéses eset
2000	Nagybánya (Románia)	Meddőtározó gátján technológiai víz átömlése, jelentős élővízszennyezés
2003	Tajcsung (Tajvan)	NaCN-szállító teherautó balesete, 100 mérgezéses eset
2004	Bonanza (Nicaragua)	Csővezetéktrörés, technológiai oldat elszökése, 12 haláleset
2010	Afaho (Ghana)	Technológiai csővezeték hibája, élővízszennyezés
2011	Djibo (Burkina Faso)	NaCN-szállító teherautó balesete, élővízszennyezés

2. táblázat • Cianid okozta jelentősebb balesetek főbb adatai (forrás: URL4)

a cianid koncentrációja 1–5 mg/l alá csökkenthető. Az eljárás viszonylag drága, ezért ritkán alkalmazzák.

A *biológiai* kezelések között ismeretes ún. aktív és passzív eljárás. Az aktív eljárás során a biodegradációt forgótárcsás bioreaktorokban végzik, foszforsav, a mikroorganizmusok tápanyagának adagolása mellett. Az eljárás hátránya, hogy viszonylag drága a beruházás és a folyamat hőmérséklet-érzékeny. A cianid tartalmú hulladékok biodegradációjának kutatása sok országban kiemelt feladat, mivel ezek nem igényelnek vegyszerfelhasználást.

A cianmentesítő eljárások fejlesztése mellett kutatások folynak a cianid hatékonyabb visszanyerésére az oldási folyamatban történő ismételt felhasználás céljából. Az eljárások lényege, hogy a ciant a folyadékból, meddőzagyból sávvá történő kezelést követően cianhidrogén gáz formájában felszabadítják, majd alkáli közegben nátriumhidroxiddal adszorbeálják. Alkalmazásával jelentősen csökken a „friss” cianid igénye.

Cianidmentes és csökkentett cianidigényű aranyérc-kilúgzási eljárások

Korábban említettük, hogy bizonyos ércfajták eleve alkalmatlanok cianidtechnológiával való feldolgozásra. Számos kutatást folytatnak a *cianid helyettesítésére*, kiváltására az aranyérc lúgzásánál. Jelenleg egyedül az ammónium-tiosulfátos $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$ lúgzási technológia helyettesítheti ipari méretekben hosszú távon a cianidot. Ausztrál vizsgálatok szerint tiosulfátos kilúgzás alkalmazásával a cianidhoz ha-

sonló kitermelési arányok érhetők el. Kedvező gazdaságossági adatok azonban még nem állnak rendelkezésre.

Összefoglalás

Arra igyekeztünk rámutatni, hogy egy technológia megítélésekor számos – műszaki, gazdasági, biztonsági – körülményre kell egyidejűleg figyelemmel lenni. A jelenleg az ércelőkészítésben alkalmazott cianidálási eljárások nem elmaradtak, csak gyarmatokra száműzött technológiai változatok, hanem világszerte, a fejlettebb országokban is általánosan engedélyezett és biztonságosan üzemelő kitermelési módok. A cianidálási technológia általános betiltása a hazai aranyérc-kitermelési kilátásokat anélkül teszi lehetetlenné, hogy ezen lelőhelyek potenciális gazdasági értékét, feldolgozhatóságát szintén mérlegelnék.

A technológia helyettesítésére, illetve az alkalmazási kockázat jelentős csökkentésére világszerte komoly kutatás-fejlesztési munkák folynak. Ezek nyomán már megvalósult, vagy a közeljövőben elérhető az az alacsony kockázati szint, amely mellett a technológia hazai újraértékelése reális közelségbe kerülhet.

A tanulmány a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt keretében készült. A projektet az Európai Unió az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával támogatta.

Kulcsszavak: arany ércesedése, cianidos lúgzási technológia, cianidlebontás, kockázat, cianid helyettesítése

IRODALOM

- Mudder, T. J. – Botz, M. M. (2001): A Global Perspective of Cyanide. SME 01-76. Littleton CO-SME
 URL1: <http://www.kitco.com> (2011. szept. 20.)
 URL2: <http://www.bet.hu> (2011. szept. 20.)
 URL3: <http://www.euromines.org/> (2012. március 25.)

- URL4: <http://www.rainforestinfo.org.au/gold/spills.htm>
 URL5: <http://www.cyanidecode.org/>
 URL6: http://europa.eu/legislation_summaries/environment/waste_management/-128134_en.htm

RITKAFÖLDFÉMEK GEOKÉMIKUS SZEMMEL

Dobosi Gábor Török Kálmán

az MTA doktora, tudományos tanácsadó,
MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont
Földtani és Geokémiai Intézet
dobosi@geochem.hu

a földtudomány kandidátusa, tud. főmunkatárs,
Eötvös Loránd Geofizikai Intézet
torokklm@elgi.hu

Bevezetés

Az elmúlt években a híradásokban gyakran szerepeltek a ritkaföldfémek. A hírek egy része egyenesen ritkaföldfém-krízisről beszél, a szenzációhajhász címek gyakran az olajfegyver bevetéséhez hasonlítják a jelenlegi ritkaföldfém-helyzetet. Erre csak néhány kiragadott példa, közelebbi forrás megjelölése nélkül: *Ami az olaj Kuwaitnak, az a ritkaföldfém Kínának, Élesedik Kína „olajfegyvere”: csökken-tik a ritkaföldfémek exportját, Rare Earths Are Vital, and China Owns Them All*, vagy *Global Supply of Rare Earth Elements Could Be Wiped out by 2012*. Mi is áll a címek mögött valójában? Valóban elfognak-e a ritkaföldfémek a közeljövőben? Tényleg csak Kínában vannak hasznosítható ritkaföldfémtelepek?

Túlzás nélkül állítható, hogy a ritkaföldfémek meghatározó szerepet játszanak számos iparágban, többek között az energetikában, távközlésben, hadiiparban, számítástechnikában, illetve a csúcstechnológiákban. Mivel az esetek jelentős részében helyettesítésük nem lehetséges, kiesésük valóban komoly problémát okozna. Az igények pedig – különösen a környezetbarát alkalmazásokban – egyre

növekednek. A keresleti oldalról tehát mindenképpen növekedés, egyes ritkaföldfémek, például a neodímium (Nd) esetében jelentős növekedés várható.

A termelés ma még fedezi a szükségletet, de a ritkaföldfém-ellátás rendkívül egyoldalú, a világtermelés 97%-a Kína kezében van. Ráadásul Kína az utóbbi években exportkorlátozásokat vezetett be, a saját igényeinek biztonságos és hosszú távú ellátása miatt, ami komoly aggodalmat váltott ki számos országban, és természetesen áremelkedéshez is vezetett. Meg is vádolták, hogy a ritkaföldfémek exportjának korlátozását nyomásgyakorlásra is használja, bár Kína ezt tagadja. A mára kialakult egyoldalú függő helyzet és az árak növekedése ráirányította a figyelmet a ritkaföldfémkészletek kutatására, feltárására és a termelés mielőbbi megindítására.

E tanulmányban röviden áttekintjük a ritkaföldfémek hasznosítható dúsulásának geológiai körülményeit, a ritkaföldfémtelepek legfontosabb típusait, a jelenlegi ritkaföldfém-termelést és érckutatást, a ritkaföldfém-tartalékokat és azok regionális eloszlását, illetve a ritkaföldfémek rendkívül sokrétű felhasználási lehetőségeit.

A ritkaföldfémek általános jellemzése

Ritkaföldfémeknek a lantanida csoport 15 elemét, valamint az ittriumot (Y) nevezik, bár egyes szerzők a szkandiumot (Sc) is ide sorolják. Az 57-es rendszámú lantántól a 71-es lutéciumig terjedő lantanidák a periódusos rendszer külön csoportját képezik, és általában a többi elemtől elkülönítve ábrázolják. Az Y kémiai sajátosságait tekintve nagyon hasonló a lantanidákhoz, a Sc azonban már sok vonatkozásban eltér, ezért a geokémikusok zöme nem is sorolja a ritkaföldfémek közé.

A lantanidákat hagyományosan két csoportra, a *könnyűlantanidákra* (a lantántól az európiumig) és *nehézlantanidákra* (a gadolíniumtól a lutéciumig) osztják. Bár az ittrium „könnyebb” még a könnyűlantanidáknál is, kémiai és geokémiai sajátosságai a nehézlantanidákéhoz hasonlóak. A ritkaföldfémek felsorolása az 1. táblázatban látható. A ritkaföldfémek, ill. a lantanidák a periódusos rendszer legkoherensebb elemcsoportját képezik, kémiai és geokémiai sajátosságaik nagyon hasonlóak, egymást könnyen helyettesíthetik, így nehéz őket egymástól elválasztani, és valame-

vegyjel	név	rendszám	kondritos gyakoriság (ppm)	földkéregbeli gyakoriság (ppm)
Y	ittrium	39	2,25	27
La	lantán	57	0,367	38
Ce	cérium	58	0,957	80
Pr	prazeodímium	59	0,137	8,9
Nd	neodímium	60	0,711	32
Pm	promécium	61	-	-
Sm	szamárium	62	0,231	5,6
Eu	európium	63	0,087	1,1
Gd	gadolínium	64	0,306	4,7
Tb	terbium	65	0,058	0,77
Dy	diszprózium	66	0,381	4,4
Ho	holmium	67	0,0851	1,0
Er	erbium	68	0,249	2,9
Tm	tullium	69	0,0356	0,41
Yb	itterbium	70	0,248	2,8
Lu	lutécium	71	0,0381	0,43

1. táblázat • A ritkaföldfémek vegyjele, rendszáma és előfordulási gyakorisága ppm-ben megadva (ppm – főleg a nyomelemek esetében használt koncentrációegység, szó szerint milliimod részt jelent. Egy százalék tízezer ppm). A kondritos és a földkéregbeli gyakoriságértékek Stuart Ross Taylor és Scott McLennan (1988) összefoglaló tanulmányából származnak. A 61-es rendszámú promécium nem fordul elő a természetben.

lyiküket tisztán előállítani. Elemi állapotban fémek, vegyületeikben általában három értékű kationok. Ettől természetes körülmények között csak az eurórium tér el, amely az Eu^{3+} mellett gyakran Eu^{2+} oxidációs állapotban fordul elő, illetve a cérium, amely könnyen oxidálódik Ce^{4+} kationná, különösen tengeri üledékes körülmények között. A ritkaföldfémek ionrádiusza a rendszám növekedésével csökken – ezt a jelenséget *lantanidakontrakciónak* nevezik. Sajátos elektron szerkezetüknek köszönhetően különleges optikai és mágneses tulajdonságaik vannak.

A ritkaföldfémek előfordulása a természetben

A ritkaföldfémek – nevükkel ellentétben – nem olyan ritkák; ezt az elnevezést azért kapták, mert ritka, illetve ritkának tartott ásványokból izolálták őket először. A kontinentális kéregben valamennyi ritkaföldfém gyakoribb, mint az ezüst, és egyes ritkaföldfémek, például a La, vagy a Ce gyakoribbak a réznél.

A ritkaföldfémek kozmikus (helyesebben naprendszerbeli vagy kondritos¹) és kontinentális kéregbeli gyakoriságát ugyancsak az 1. táblázat mutatja. Az adatokból jól látszik, hogy páros rendszámú lantanidák kb. egy nagyságrenddel gyakoribbak a páratlan rendszámúaknál (Oddo–Harkins-szabály), illetve, hogy mind a páros, mind a páratlan rendszámú ritkaföldfémek „ kozmikus ” gyakorisága csökken a rendszám növekedésével. A kondritos gyakoriság értéke különösen fontos a geokémiában, mert a szakirodalomban ritkaföldfém-adatokat gyakran a kondritos (pontosabban a szenes kondritos) összetételre, azaz a Naprendszer „ősanyagának”

megfelelő gyakoriságértékekre normálva adják meg. A kontinentális kéregben (pontosabban annak felső részén) a ritkaföldfémek jelentősen – a nehézlantanidák kb. egy, míg a könnyűlantanidák két nagyságrenddel – dúsulnak a kondritos értékekhez képest.

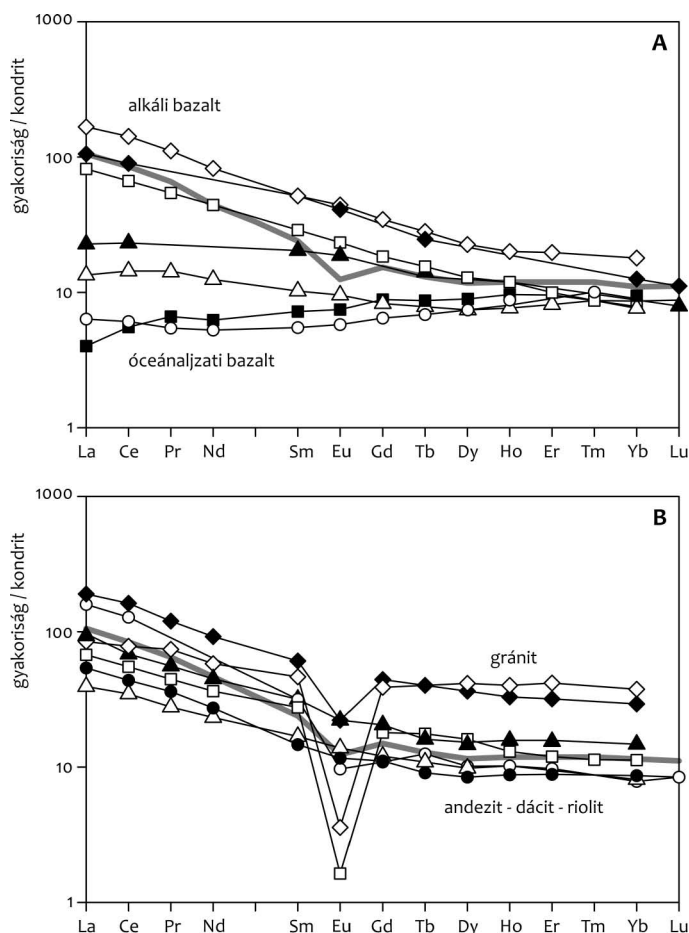
A hasonló ionrádiusz és töltés miatt a ritkaföldfémek könnyen helyettesítik egymást a kristályrácsban, ezért mindig együtt fordulnak elő. A legtöbb kőzetben a ritkaföldfémek nem képeznek önálló ásványokat, hanem a közetalkotó ásványok rácsába lépnek be, ahol a hasonló ionrádiuszú kalciumot vagy nátriumot helyettesítik. A geológiai rendszerekben a ritkaföldfémek ún. *inkompatibilis* nyomelemként viselkednek, ami azt jelenti, hogy az olvadás és a kristályosodás során az olvadékból dúsulnak és nem a kristályos fázisban. A ritkaföldfémek relatív gyakoriságának változását a geokémiában az ún. kondritnormált diagramokon ábrázolják (bár használnak primitív köpenyre vagy kontinentális kéregre normált diagramokat is). A kondritos összetételre történő normálás egyrészt kiküszöböli a páros-páratlan gyakoriság hatását, másrészt szemléletesen mutatja a változást egy kiinduló „ősanyaghoz” képest. A normált diagramokon látható ritkaföldfém-lefutás tanulmányozása sokat segít a különböző kőzetképződési folyamatok megértésében és azonosításában, ezért a kőzettani és geokémiai kutatásban a ritkaföldfémek (és a ritkaföldfémekhez kapcsolódó radiogén izotóprendszerek) vizsgálata felbecsülhetetlen jelentőségű.

Néhány óceáni és kontinentális kőzet ritkaföldfém-eloszlása a földkéreg átlagos összetételével együtt az 1. ábrán látható. A magmás kőzetek ritkaföldfém-diagramjai igen változatos képet mutatnak, a ritkaföldfémek koncentrációja azonban ritkán haladja meg a földkéregbeli átlagot. Különösen

¹ A kondritok, közülük is a szenes kondritok a legprimitívabb meteoritok, amelyek összetétele, az illó komponensek kivételével, a Naprendszer őanyagának összetételéhez hasonló.

kevés ritkaföldfém van az óceánok aljzatát alkotó bazaltokban (1a. ábra), de a kontinentális kéreg fontos magmás kőzeteinek (andezitek vagy gránitok) ritkaföldfém-tartalma is a földkéregbeli átlagos értékek közelében van (1b. ábra). Jelentősebb dúsulás csak az ún. alkáli magmás kőzetekben mutatható ki. Az

üledékes kőzetek közül az agyagpala vagy lösz ritkaföldfém-tartalma a kontinentális kéregéhez hasonló (a kontinentális kéreg ritkaföldfém-tartalmát éppen az ilyen üledékek alapján számították), míg a homokkővek vagy karbonátos üledékek (mészkö, dolomit) ritkaföldfém-tartalma még ennél is kisebb.



1. ábra • A leggyakoribb magmás kőzetek kondritra normált ritkaföldfém-tartalma Taylor és McLennan (1988) tanulmánya alapján. A – Bázisos óceáni és kontinentális vulkáni kőzetek (bazaltok). B – Kontinentális intermedier és savanyú magmás kőzetek (andezit, dácit, riolit és különböző gránitok). A negatív Eu-anomáliák oka, hogy magmás körülmények között az Eu kétértékű is lehet, így megoszlási viszonyai eltérnek a többi, három értékű ritkaföldfémtől (földpátok hatása). A vastag szürke vonal a földkéreg átlagos ritkaföldfém-tartalmát mutatja.

A ritkaföldfémtelepek

Az előzőekben felsorolt néhány példa is mutatja, hogy a ritkaföldfémek szórt elemek, viszonylag egyenletesen oszlanak el a különböző kőzettípusokban, számottevő – és gazdasági szempontból is jelentős – dúsulásuk viszonylag ritka. Elsődleges magmás dúsulásuk inkompatibilis viselkedésüknek köszönhető, amelynek eredményeképpen a magmaképződés (parciális olvadás) során a képződött magmában dúsulnak, a magma kristályosodása (frakcionált kristályosodás és differenciáció) folyamán pedig a maradék olvadékban koncentrálnak. Magmás dúsulásuk egyrészt a dúsult köpenyforrás igen kisfokú olvadása révén képződött alkáli kőzetekben és karbonatitokban, illetve a gránitos testek kristályosodása során képződött pegmatitokban várható. További koncentrációjuk hidrotermális, kontakt metamorf vagy mállási folyamatokhoz köthető. Különösen a laterites mállás, illetve az ellenálló nehéz ásványok felhalmozódása révén képződhetnek ritkaföldfémek műrevaló érctelepei. A különböző ritkaföldfém-dúsulásokról és teleptípusokról számos kiváló átfogó tanulmány jelent meg (például Castor – Hedrick, 2006; Gupta – Krishnamurthy, 2005; Walters – Lusty 2010; Long et al., 2010); a következő összefoglalás ezen munkák alapján készült. A legfontosabb teleptípusokat néhány jellemző példával együtt a 2. táblázatban tekintjük át.

Elsődleges telepek

Elsődleges telepeknek azokat az érctelepeket nevezzük, amelyek magmás folyamatok vagy magmás működéshez kapcsolódó egyéb, például hidrotermális folyamatok során képződnek. A ritkaföldfémek elsődleges dúsulása szempontjából különösen az alkáli magmás

kőzeteknek és a karbonatitoknak van szerepük. A két kőzettípus nem választható el teljesen egymástól, gyakran együtt fordulnak elő, főleg az ősi, stabil kontinentális területeken, különösen azok riftesedett, árkos törésekkel szabdaltsága miatt. Ilyen, ma is aktív terület például a Kelet-afrikai árok.

Az alkáli magmás kőzetek, mint a nevük is mutatja, a többi magmás kőzethez képest megnövekedett Na_2O - és K_2O -tartalommal jellemezhetők. Az alkáli magmák kristályosodása és differenciációja során a szilíciumban szegény ultrabázisostól a szilíciumban gazdagabb felzikusig rendkívül változatos összetételű kőzetek képződhetnek, amelyek jelentős, bár nem műrevaló mértékben tartalmazhatnak inkompatibilis nyomelemeket, köztük ritkaföldfémeket. A ritkaföldfémek további dúsulása egyrészt az önálló ritkaföldfémásványok kumulatív felszaporodása vagy hidrotermális tevékenység révén történhet. Az ilyen típusú, nagy ritkaföldfém-tartalmú alkáli kőzetekből álló komplexumok közül a Kola-félszigeten található előfordulások a legismertebbek (Khibina- és Lovozero-komplexumok). Ezekhez az alkáli komplexumokhoz igen nagy tömegű foszfor-, Nb-, Zr-, Ti- és ritkaföldfém-dús telepek kapcsolódnak. Nagyobb mértékű rendszeres termelés azonban nincs a Kola-félszigeten. Ugyancsak ide tartozik a jövő egyik jelentős ritkaföldfémforrása, a grönlandi Ílímaussaq-komplexum. A ritkaföldfémeket egy eudalit nevű ásvány tartalmazza, amely a magmás kristályosodás során egyes periodikusan képződött kumulatív eredetű rétegekben jelentősen, műrevaló mértékben felszaporodott. Az eudalit a ritkaföldfémek mellett még cirkóniumot és nióbiiumot is tartalmaz. A jelenlegi kutatások szerint a grönlandi ritkaföldfémkészletek (Kvane-fjeld- és Motzfeldt-telepek) a teljes igény

teleptípus	rövid leírás	ismert telepek száma	az érckészlet mérete és minősége	legfontosabb példák
Elsődleges telepek				
Alkáli kőzetek	Ritkaföldfém és Zr-, Ti-, Nb-dús alkáli kőzetek-kel társult telepek	122	Általában < 100 millió tonna érc (Lovozero > 1000 millió tonna), < 5% RFO	Ilímaussaq (Grönland), Khibina és Lovozero (Oroszország), Thor Lake (Kanada), Weishan (Kína)
Karbonatitok	Karbonátdús alkáli kőzetekkel társult telepek	107	Tizezer tonnától több százmillió tonnáig, 0,1-10% RFO	Mountain Pass (USA), Bayan Obo, Weishan (Kína), Okorusu (Namíbia)
Vasoxid - ritkaföldfém-telepek	Réz-arany érctelepek, vasoxiddal, változatos megjele- néssel	4	például Olympic Dam, 2 milliárd tonna 0,33%-os érc	Olympic Dam (Ausztrália), Pea Ridge (USA)
Egyéb telepek	Különböző eredetű kvarc, fluorit, polimetallikus telérek és pegmatitok	63	Általában < 1 millió tonna, de 50 millió tonna is lehet, változó minőség, az RFO tartalom akár 12% is lehet	Steenkampskraal (Dél-Afrika), Hoidas Lake (Kanada)
Másodlagos telepek				
Torlatok	Tengerparti vagy folyóvízi nehézsá- vány-torlatok, és idősebb cementált torlatok (paleotorlatok)	355	10 milliótól több száz millió tonnáig, általában < 0,1% monacittartalom	Eneabba (Ausztrália), Bald Mountain (USA), Richards Bay (Dél-Afri- ka), Perak (Malajzia)
Laterites telepek	Ritkaföldfémű kőzetek laterites mállása során képződött reziduális telepek	42	10 ezer tonnától több 100 millió tonnáig, 0,1-10% RFO-tartalom	Mount Weld (Ausztrá- lia), Araxá (Brazília), Kangankunde (Malawi)
Ionadszorp- ciós telepek	Ritkaföldfémű gránitok mállása során képződött agyagos telepek	> 100	Kis telepek (< 10 ezer tonna) érc, 0,03- 0,35% RFO- tartalommal	Longnan, Xunwu - (Kína)

2. táblázat • A ritkaföldfémek fő ércteleptípusainak összefoglalása Abigail Walters és Paul Lusty (2010), valamint Keith R. Long és munkatársai (2010) nyomán. (RFO – ritkaföldfém-oxid)

mintegy 25%-át volnának képesek fedezni. A legújabb kutatási eredmények a Greenland Minerals and Energy Ltd. honlapján olvashatók (URL1).

Közismert, hogy a földkéreg alkotó kőzetek túlnyomó része szilikátkőzet, kivételt a karbonátos üledékes kőzetek, a mészkő és a dolomit képeznek. Kevéssé ismert azonban, hogy vannak túlnyomóan karbonátból álló magmás kőzetek is, az ún. karbonatitok, amelyek karbonátolvadékokból kristályosodtak. Az ilyen kőzetek különösen sok inkompatibilis elemet, köztük ritkaföldfémeket (főleg könnyűlantánidákat) és nióbiumot tartalmazhatnak. Bár gazdaságilag jelentős mértékű dúsulás az elsődleges magmás kristályosodás során is létrejöhet, gyakoribb, hogy a ritkaföldfémek a karbonatithoz kapcsolódó későbbi hidrotermális folyamatok révén koncentrálnak. Ilyenkor a ritkaföldfémásványok a késői erek vagy kizorítások formájában fordulnak elő magában a karbonatitban vagy a karbonatitot körülvevő mellékkőzetben.

Az egyik legfontosabb, karbonatithoz kapcsolódó ritkaföldfém-ércesedés a kaliforniai Mountain Pass-telep. Hosszú ideig ez a telep adta a világtermelés jelentős részét. Bár az ezredforduló körül felhagytak a bányászattal, a megváltozott körülmények miatt a termelést hamarosan újraindítják. Ugyancsak jelentős karbonatitlepeket találunk Kínában, Nyugat-Szecsuanban egy 270 km hosszú és 14 km széles zóna mentén. Közülük a legnagyobb ércesedés a Maoniuping-telep, amely Kína második legnagyobb ritkaföldfémkészletét tartalmazza. Az említett két példa mellett számos karbonatit, vagy karbonatit-eredetű ritkaföldfém-ércesedés ismert, és részletes kutatásuk folyamatban van.

Szintén karbonatit eredetű a Bayan Obo vasoxid-ritkaföldfém-nióbiium-telep Kíná-

ban. Bár a ritkaföldfémek a vasércben találhatók, dúsulásuk karbonatitmagmából származó fluidumok által okozott metasomatózishoz (átítatás) kötődik. Az érctelepelt elsősorban vasércre bányásszák, a ritkaföldfémeket a vasoxidtartalmú ércből nyerik ki. A Bayan Obo-érctelep a Föld legnagyobb ismert ritkaföldfém-telepe, amely még hosszú ideig meghatározó szerepet tölt be a ritkaföldfém-termelésben.

Ismertek azonban vasérckekhez kapcsolódó olyan ritkaföldfém-dúsulások, amelyeknél nem mutatható ki alkáli magmás vagy karbonatitos kapcsolat. Ilyenek az ún. vasoxid-réz-arany-ritkaföldfém-telepek, amelyek legjellemzőbb képviselője az Olympic Dam-telep Ausztráliában. Bár az érc szokatlanul sok ritkaföldfémeket és uránt tartalmaz, ezek még nem nyerhetők ki gazdaságosan. A vasoxid-ritkaföldfém-telepek képződése, a ritkaföldfémek eredete, dúsulásának oka még nem tisztázott. Számos hasonló vasoxid-réz-arany-ércesedés ismert ritkaföldfém-dúsulás nélkül, és számos jól ismert vasérc is tartalmaz ritkaföldfémeket (például a Kiruna-érctelep), bár ezeket nem nyerik ki az ércből.

Másodlagos telepek

A másodlagos ritkaföldfém-dúsulások és -telepek mállási és üledékes folyamatok során képződnek. Számos kőzet tartalmaz jelentősebb mennyiségben ritkaföldfém-tartalmú ásványokat, például monacitot, xenotimot vagy cirkont. Ezek az ásványok nagy fajsúlyuknak, kémiai és fizikai ellenállóképességüknek köszönhetően a kőzetek mállása, aprózódása során épen maradnak, és a szállítás során osztályozódva koncentrált torlatok formájában lerakódhatnak. Az ilyen torlatokban a ritkaföldfémásványok mellett titánt (ilmenit) vagy ónt (kassziterit) tartalmazó

nehézasványok is vannak. Torlattelepek különböző környezetben, például tengerpartokon vagy folyódeltákban alakulhatnak ki. Torlattelepeket jelenleg csak Ausztráliában, Indiában, Malajziában, Sri Lankán, Thaiföldön és Braziliában művelnek, bár termelésük alárendelt, a ritkaföldfémeket melléktermékként nyerik ki, azonban igen jelentős telepek ismertek más országokban, például az Egyesült Államokban is.

Trópusi környezetben a kőzetek mállása során egyedülálló talajtípus, ún. *laterit* képződik, amely akár több tíz méter vastag is lehet. A trópusi mállás során a kőzetalkotó ásványok jelentős része szétesik, ennek során bizonyos elemek (például Ca és Mg) kioldódnak, míg más, kevésbé mobilis elemek (pl. Fe és Al) a reziduumban maradnak. Ha az anyakőzet eleve dús ritkaföldfémekben, pl. karbonátban, akkor a mállás során ezek gazdaságilag jelentős mértékben dúsulhatnak. Ilyen telepeket jelenleg csak Kínában művelnek, de a nyugat-auztráliai Mount Weld-telep, vagy a brazíliai Araxá-telep jelentős tartalékot képvisel. Mindkét telep esetében a ritkaföldfémek a karbonátokon kialakult vastag laterites zónában dúsulnak. A ritkaföldfémek másodlagos foszfátokban vannak. A ritkaföldfém-oxid-tartalom egyes helyeken a 40%-ot is elérheti. Az ilyen mértékű dúsulás erőteljes kilúgódás és újra kicsapódás eredménye.

A ritkaföldfémtelepek különleges típusát képviselik az ionadszorpciós telepek (Wu et al., 1996). Ez a viszonylag újonnan felismert teleptípus a magmás kőzetek, elsősorban gránitok mállása során képződik. A ritkaföldfémek a gránit elsődleges ásványainak mállása és lebomlása során felszabadulnak, majd a talaj agyagásványain, főleg kaoliniten és halloysiton adszorbeálódnak. Ezeket a ritkaföldfémek reziduális dúsulása révén képződő

ritkaföldfémű agyagokat ionadszorpciós agyagoknak nevezik. Ilyen telepeket jelenleg kizárólag Kína területéről ismerünk. Az ionadszorpciós telepek főleg a nehézlantanidákat és az ittriumot dúsítják, és egyes becslések szerint a Föld nehézlantanida-készletének 80%-át tartalmazzák.

A jelenleg ismert készletek

A globális ritkaföldfém-tartalékok becslése nehéz, mert a szükséges adatok nagy része nem áll rendelkezésre, vagy kétséges a megbízhatósága. A USGS (Amerikai Geológiai Szolgálat) felmérése szerint a Föld teljes ritkaföldfémkészlete (oxidban megadva) 99 millió tonnára tehető (Hedrick, 2010). A becslésben a jelenleg művelt telepek készletei mellett a kutatás vagy feltárás alatt álló érce-sedések reménybeli készlete is beletartozik, így ez az érték az új területek megkutatásával még növekedhet. A legnagyobb készlettel Kína rendelkezik, a teljes becsült készlet 37%-a van Kínában. Ezt a volt Szovjetunió utód-államai (főleg Oroszország) követik (19%), majd az Amerikai Egyesült Államok (13%), Ausztrália (6%) és India (3%) következik. A fennmaradó 22% Kanada, Malajzia, Brazília, Grönland, Dél-Afrika, Namíbia, Mauritánia, Burundi, Malawi és Vietnam között oszlik meg. A legfontosabb ritkaföldfémtelepek regionális eloszlását mutató 2. ábrán látható, hogy az ismert készletek túlnyomóan Észak-Amerika, Délkelet-Ázsia, Afrika és Ausztrália területén találhatók, szórványos előfordulások vannak még Dél-Amerikában, a Kola-félszigeten és Grönlandon. Ennek részben geológiai oka van, de közrejátszik az is, hogy az egyes területek megkutatottságának mértéke korántsem azonos.

Jóval egyoldalúbb képet mutat a ritkaföldfémek bányászata, hiszen jelenleg a világ-

termelés 97%-át Kína adja. Ez azonban nem volt mindig így, néhány évtizede még Amerika és Ausztrália termelte a legtöbb ritkaföldfémeket. Kínában a ritkaföldfémek termelése az 1980-as években kezdődött, és 1988-ra Kína átvette az Egyesült Államoktól a vezető szerepet (Gupta – Krishnamurthy, 2005). A kínai árakkal a többi ország nem tudott versenyezni, ezért csaknem mindenütt felhagytak a ritkaföldfémek bányászatával. Kivételt a kaliforniai Mountain Pass jelentett, ahol a termelés egészen 2002-ig folyt, és végül is környezeti okok miatt zárták be a bányát (bár a már kibányászott készlet feldolgozása még ma is folyik). A ritkaföldfémárak 2009-ig viszonylag alacsonyak voltak, emiatt Kínán kívül nem volt kutatás vagy fejlesztés ezen a területen. Ez a helyzet eredményezte, hogy jelenleg Kínán kívül gyakorlatilag nincs ritkaföldfém-termelés.

A rendkívüli kínai dominancia érthetően aggodalmat váltott ki az ellátás biztonságával kapcsolatban (mint később látni fogjuk, a ritkaföldfémek alapvető szerepet játszanak a csúcstechnológiában, ezért a ritkaföldfém-ellátás kérdése stratégiai kérdés is). A folyamatosan növekvő igény és a kínai túlsúly miatti aggodalom jelentős mértékű ércutatáshoz vezetett. Száznál több ércesedést vizsgálnak Kanadában, Ausztráliában és az Egyesült Államokban, közülük többnek a kutatása már a végső szakaszban van (O’Driscoll, 2009). Újra megindult a termelés a kaliforniai Mountain Pass-bányában, ahol az üzemeltető Molycorp Rt. nemcsak ritkaföldfém-oxidokat, hanem feldolgozott ritkaföldfémtermékeket, ötvözeteket és mágneseket is gyárt. A tervek szerint még az idén, 2012-ben megindul a termelés az ausztráliai Mount Weld- és Dubbo Zirconia-telepeken, a grönlandi bá-



2. ábra • A Föld legfontosabb ritkaföldfémtelepeinek regionális eloszlása

1. Mountain Pass, USA (karbonatit), 2. Bald Mountains, USA (paleo torlat), 3. Pea Ridge, USA (vas-oxid), 4. Hoidas Lake, Kanada (hidrotermális), 5. Thor Lake, Kanada (alkáli), 6. Kvanefeld, Ilímaussaq, Grönland (alkáli), 7. Araxá, Brazília (laterites), 8. Khibina és Lovozero, Kola-félsziget, Oroszország (alkáli), 9. Okorusu, Namíbia (karbonatit), 10. Kangankunde, Malawi (laterites), 11. Steenkampskraal, Dél-Afrika (hidrotermális), 12. Richards Bay, Dél-Afrika (tengeri torlat), 13. Perak, Malajzia (torlat), 14. Maoninping, Kína (karbonatit), 15. Bayan Obo, Kína (karbonatit/vasoxid), 16. Weishan, Kína (alkáli), 17. Xunwu és Longnan, Kína (ionadszorpció), 18. Eneabba, Ausztrália (tengeri torlat), 19. Mount Weld, Ausztrália (laterites), 20. Olympic Dam, Ausztrália (vasoxid), 21. Dubbo Zirconia, Ausztrália (alkáli)

nyászat megindulását 2013-ra tervezik, a megkutatott kanadai területeken (Thor Lake, Hoidas Lake) pedig már a megvalósíthatósági tanulmányok készülnek (Walters - Lusty, 2010). Több helyen hátráltathatja a termelés megindítását a ritkaföldfémek mellett gyakran előforduló radioaktív elemekkel (U, Th) szembeni növekvő ellenérzés.

Magyarország területén számottevő ritkaföldfém-dúsulás nem ismeretes. A legigéretesebb képződmény a bauxit, illetve a timföldgyártás melléktermékeként keletkező vörösiszap. Az előzetes vizsgálatok szerint (Dobosi et al., 2011) a vörösiszapban a ritkaföldfémek a kontinentális kéreghez viszonyítva kb. hatszoros dúsulást mutatnak. Önmagában ez nem nevezhető jelentős mértékű dúsulásnak, azonban a Bayer-eljárás során a bauxitban található ritkaföldfémásványok jelentős részben feltáródnak, ritkaföldfém-tartalmuk pedig főleg rétegszilikátokon adszorbeálódik, ahonnan gyenge ásványi savakkal kioldhatók. Az előzetes kísérletek szerint (Dobosi et al. 2011) a ritkaföldfémek 60%-a mobilizálható a vörösiszaptól.

A ritkaföldfémek felhasználása

A periódusos rendszer egyetlen elemének vagy elemcsoportjának sincs olyan sokrétű felhasználása, mint a ritkaföldfémeknek. Túlzás nélkül állítható, hogy kulcsszerepet töltenek be számos iparágban, és jelenlegi ismereteink szerint más anyagokkal nem helyettesíthetők. A ritkaföldfémek legfontosabb felhasználási területeit a következőkben tekintjük át.

Katalizátorok • A gépkocsigyártásban a kipufogók katalizátorában (szénhidrogén és szén-monoxid oxidációja) használnak jelentős mennyiségben Ce-karbonátot és Ce(IV)-oxidot hordozóanyagként és oxidálószerként. A kőolaj finomítása során a folyékony szén-

hidrogének katalitikus krakkolásához használják a lantánt és a cériumot, elsősorban a nagy fajlagos felületű zeolitok szerkezeti és kémiai stabilizálására.

Fémötvözetek • Elsősorban a magas hőmérsékletnek és oxidációnak ellenálló ötvözetek gyártásában használnak ritkaföldfémeket ötvözőként. Ilyen ötvözetekből készülnek a gyújtóberendezések, égőfejek (Ce, La, Nd) vagy a gázturbinák. Ritkaföldfém- és vas-, kobalt-, illetve nikkel-tartalmú ötvözetek szobahőmérsékleten is képesek jelentős mennyiségű hidrogént abszorbeálni. Ilyen ötvözet például az 1970-ben felfedezett LaNi_3 , amely könnyen képez hidrideket, ezért „hidrogén-szivacsként” működik. Egy térfogatnyi ilyen kristályrácsban – teljes feltöltés esetén – több hidrogén van, mint ugyanolyan térfogatú cseppfolyós hidrogénben.

Akkumulátorok • Jelentős mennyiségű lantánt használnak fel a NiMH- (nikkel-fém-hidrid-) akkumulátorokhoz, amelyekben az anód egy lantántartalmú ötvözet. A NiMH-akkumulátorok – amellet, hogy nem mérgezőek – élettartama és kapacitása is nagyobb, mint az ólom- vagy a NiCd-akkumulátoroké. Az ilyen akkumulátorok az ún. hibrid járművek fontos részei. Egy Toyota Primus akkumulátorához 10–15 kg lantán szükséges.

Foszforszálló anyagok • Mind a katód-sugárcsőves, mind a plazma- vagy LCD-kijelzőkön, TV-képernyőkön, monitorokon a különböző színű világító képpontokhoz ritkaföldfém-vegyületeket használnak. A vörös képponthoz Eu szükséges, és helyettesítő lehetőség nincs. Az 1960-as évek közepén, a színes televíziók gyártásával nőtt meg az igény az európiumra, és az Egyesült Államokban a Mountain Pass-bánya fő terméke ekkor az Eu volt – a bányát tulajdonképpen az Eu termelése miatt nyitották. A zöld, illetve a

kék képpontokhoz terbiumot és cériumot használnak. Fluoreszcens tulajdonságaiknak köszönhetően a ritkaföldfémeknek nagy szerepük van az energiatakarékos lámpák, a minifénycsövek gyártásában. A fehér színű LED szintén ritkaföldfémeket tartalmaz. A világítástechnikában a ritkaföldfémeknek történelmi jelentőségük is van – a gázlámpák erős fényű Auer-harisnyája a Th-oxid mellett kb. 1% Ce-oxidot tartalmazott.

Lézerek és fényerősítők • A ritkaföldfémek fontos alkalmazási területét képezik a lézerek és az optikai kábelek. A lézerekben főleg a neodímiumot és a terbiumot használják aktív médiumként (például a Nd:YAG-lézer vagy a fogászatban és a kozmetikában használt erbiumlézerek). A száloptikás telekommunikációs kábelek igen nagy sáv szélességet biztosítanak, és az üveghez adalékul hozzáadott erbium lézerefény-erősítőként működik, így lehetővé teszi a fényt eljuttatását nagy távolságokra, külön közbeiktatott erősítők nélkül.

Üveggyártás és kerámiáipar • Az üveggyártásban a ritkaföldfémeket adalékanyagként használják, így módosítják az optikai tulajdonságokat (szín, törésmutató, UV-elnyelés stb.). A Ce-oxidot az üvegiparban polírozószerként használják. Szinte minden üvegterméket, például tükröket, szemüveglencsét, precíziós lencsét Ce-oxiddal políroznak. A kerámiákban a ritkaföldfémeket főként az égési hőmérséklet csökkentésére vagy színezésre használják, de ritkaföldfém-oxidokat használnak a kerámia kondenzátorokban is.

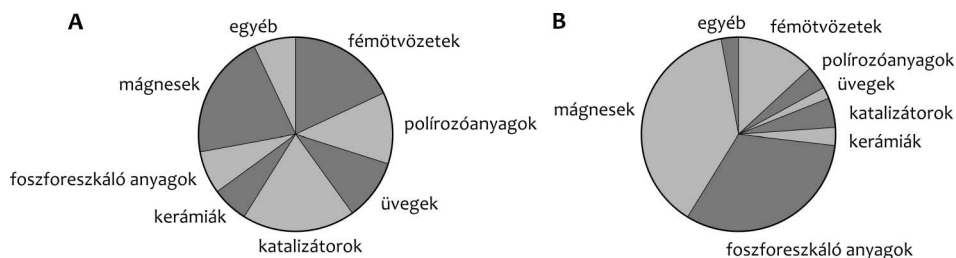
Permanens mágnesek • A ritkaföldfémek egyik legfontosabb alkalmazása különleges mágneses tulajdonságaiknak köszönhető. A legerősebb permanens mágneseket ritkaföldfém-ötvözetekből készítik. Az első ilyen mágnes a Sm-Co-mágnes volt a 60-as években, és ezt váltotta fel a 80-as évektől a jóval

erősebb Nd-Fe-B-mágnes. A Sm-Co-mágnes magas hőmérsékleten is alkalmazható, de a Dy vagy Tb szintén növeli a Curie-pont hőmérsékletét. A Nd-mágneseknek – az intenzív kutatások ellenére – nincs alternatívája, nem helyettesíthetők más anyaggal.

Az erős permanens mágneseknek számos felhasználási területük van. Jelentős szerepük van a miniaturizálásban: merevlemezek, fejhallgatók, DVD-lejátszók, mp3-lejátszók és hifi hangfalak gyártásában használják. Szintén komoly szerepük van az orvosi diagnosztikában, például az MRI-tomográfiában.

Neodímium-mágneseket használnak a villanymotorokban és generátorokban is. Legnagyobb mennyiségben a szélturbinák és a hibridautók gyártásában használják a neodímiumot. A szélturbinák generátoraiban több száz kilogramm Nd-mágneset használnak fel – úgy tartják, hogy 0,6–1,0 tonna Nd-mágnes szükséges megawattként, és ennek kb. 30%-a Nd. A szélturbinák új generációját képviseli a Kínában kifejlesztett mágneses szélturbina, amely a mágneses lebegtetés elvén működik, ezért nincs súrlódás, hatásfoka jobb, élettartama hosszabb, mint a hagyományos szélturbináké, és kis szélességek esetén is képes az áramtermelésre.

Vannak anyagok, amelyek mágneses térbe helyezve felmelegsznek, illetve a mágneses tér megszűnéskor lehűlnek. Megfelelő körfolyamat esetén ez az effektus hűtésre használható. Valójában ezt az ún. magnetokalorikus effektust használták fel az abszolút nulla fokhoz közeli hőmérsékletek elérésére. Az utóbbi évtizedekben derült ki, hogy bizonyos Gd-ötvözetek szobahőmérséklet közelében is jelentős magnetokalorikus effektust mutatnak. Ez az alkalmazás jelenleg még fejlesztési stádiumban van, de elképzelhető, hogy a következő évtizedekben már mágne-



3. ábra • A ritkaföldfémek felhasználásának megoszlása mennyiség szerint (A) és érték szerint (B). Forrás: Dudley J. Kingsnorth (2009)

ses hűtőszekrényeket és légkondicionálókat használunk, amelyekhez a Gd-ötvözetek mellett Nd-mágnesekre is szükség van.

A felsoroltakon kívül a ritkaföldfémeknek még számos egyéb alkalmazása és alkalmazási lehetősége van, de növekvő fontosságukat ez a rövid áttekintés is jól érzékelteti. A ritkaföldfémek felhasználásának százalékos megoszlását – mind mennyiség, mind érték szerint – a 3. ábra mutatja.

Összefoglalás

A ritkaföldfémeknek alapvető szerepük van számos meghatározó iparágban. Az irántuk való igény az előrejelzések szerint növekedni fog, ami az árakban is érezteti a hatását. A világ jelenleg ismert ritkaföldfémkészletei még hosszú ideig képesek biztosítani az ellátást, az új területek megkutatása, illetve a ritka-

földfémek újrahásznosítása pedig további tartalékokat jelent. A különböző területeken folyó intenzív geológiai kutatások és bányányítások ellenére a kínai túlsúly valószínűleg még hosszú ideig megmarad. A ritkaföldfémek felértékelődése miatt mindenképpen szükség van a magyarországi lehetőségek felmérésére, a potenciális ritkaföldfém-tartalmú képződmények, különösen a bauxit feldolgozása során keletkező vörösiszap vizsgálatára.

Jelen tanulmány a Magyar Bányászati és Földtani Hivatal (MBFH) megbízásából készített, *A hazai ritkaföldfém-potenciál felderítő meghatározása* című kutatási jelentés alapján készült.

Kulcsszavak: ritkaföldfém, geokémia, természetes előfordulás, érctelepek, készletek, bányászat, felhasználás

IRODALOM

- Castor, Stephen B. – Hedrick, James B. (2006): Rare Earth Elements. In: Kogel Jessica E. – Trivedi N. C. – Barker J. M. – Krukowsky S. T. (eds.): *Industrial Minerals and Rocks: Commodities, Markets, and Uses*. 7th ed. SME, 769–792.
- Dobosi Gábor – Polgári M. – Jordán Gy. – Fügedi U. – Bartha A. – Horváth P. – Sipos P. (2011): *Ellőzetes felmérés Magyarország ritkaföldfém-potenciál kutatásához*. Kutatási jelentés, kézirat. MBFH Adattár, Ad. 2439.
- Gupta, C. K. – Krishnamurthy, Nagaiyar (2005): *Extractive Metallurgy of Rare Earths*. CRC Press
- Hedrick, James B. (2010): *Rare Earths. USGS Minerals Commodity Summary* • www.usgs.gov
- Kingsnorth, Dudley J. (2009): *Meeting Demand in 2014: The Critical Issues*. 5th International Rare Earths Conference, Hong Kong, November 2009 • <http://www.reitaglobal.org/storage/The%20Road%20to%20Commercial%20Rare%20Earths%20Production%20IMCOA.pdf>

- Long, Keith R. - Van Gosen, B. S. - Foley, N. K. - Cordier, D. (2010): *The Principal Rare Earth Elements Deposits of the United States—A Summary of Domestic Deposits and a Global Perspective. Scientific Investigations Report 2010–5220*, U. S. Geological Survey, Reston, Virginia • <http://pubs.usgs.gov/sir/2010/5220/downloads/SIR10-5220.pdf>
- O'Driscoll, Mike (2009): Rare Earth Supply Tight in 2014. *Industrial Minerals*. 3 March 2009. • <http://www.indmin.com/Article/2117867/Rare-earth-supply-tight-in-2014.html>
- Taylor, Stuart Ross – McLennan, Scott (1988): The Significance of the Rare Earths in Geochemistry and Cosmochemistry. In: Gschneidner Jr, Karl A. – Eyring, LeRoy: *Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths*. Vol. II. 485–578. [tp://dx.doi.org/10.1016/S0168-1273\(88\)11011-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1273(88)11011-8)
- Walters, Abigail – Lusty, Paul (2010): *Rare Earth Elements*. British Geological Survey, Natural Environmental Research Council, Commodity Profiles, Keyworth, Nottingham www.mineralsuk.com
- Wu, C. – Yuan, Z. – Bai, G. (1996): Rare Earth Deposits in China. In: Jones, Adrian P. – Wall, F. – Williams, C. T. (eds.): *Rare Earth Minerals: Chemistry, Origin and Ore Deposits. Mineralogical Society Series 7*. Chapman and Hall, London, 281–310. • [http://www.google.hu/books?hl=en&lr=&id=Ncy4DBk2EzIC&oi=fnd&pg=PA281&dq=Wu,+C.+%EF%80%AD+Yuan,+Z.+%EF%80%AD+Bai,+G.+\(1996\):+Rare+Earth+Deposits+in+China.+In:+Jones+A.&ots=gGCycui6x3&sig=xheyQCOHGAr-tAFLmbI2uBfPvgw&redir_esc=y#v=onepage&q=Wu%2C%20C.%20%EF%80%AD%20Yuan%2C%20Z.%20%EF%80%AD%20Bai%2C%20G.%20\(1996\)%3A%20Rare%20Earth%20Deposits%20in%20China.%20In%3A%20Jones%20A.&f=false](http://www.google.hu/books?hl=en&lr=&id=Ncy4DBk2EzIC&oi=fnd&pg=PA281&dq=Wu,+C.+%EF%80%AD+Yuan,+Z.+%EF%80%AD+Bai,+G.+(1996):+Rare+Earth+Deposits+in+China.+In:+Jones+A.&ots=gGCycui6x3&sig=xheyQCOHGAr-tAFLmbI2uBfPvgw&redir_esc=y#v=onepage&q=Wu%2C%20C.%20%EF%80%AD%20Yuan%2C%20Z.%20%EF%80%AD%20Bai%2C%20G.%20(1996)%3A%20Rare%20Earth%20Deposits%20in%20China.%20In%3A%20Jones%20A.&f=false)
- URL: <http://www.ggg.gl>



HIDROGEOLÓGIA A KÁRPÁT-MEDENCÉBEN – HOGYAN TOVÁBB?

Szűcs Péter

az MTA doktora, tanszékvezető egyetemi tanár,
Miskolci Egyetem Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék
hgszucs@uni-miskolc.hu

Bevezetés

Magyarország vezetékes vízellátásában igen nagy szerepe van a felszín alatti vízkészleteknek. Az ivóvízellátás több mint 95%-a felszín alatti vizeinkből származik. Híresek vagyunk ásványvíz-, gyógyvíz- és hévízkészleteinkről, geotermikus adottságainkról. Sok kiváló szakmai munka mellett a legátfogóbbnak tekinthető két hazai kiadású szakkönyvből (Juhász, 2002; Marton, 2009) megismerhetjük a múlt és a jelen legkiemelkedőbb magyarországi vonatkozású kutatási eredményeit a felszín alatti vizekkel kapcsolatban. A hidrogeológusok szakmai felelőssége igen nagy a tekintetben, hogy felszín alatti vizeinket mennyiségi és minőségi szempontokat is figyelembe véve fenntartható módon hasznosítsuk, illetve hosszú távon megőrizzük. Az utóbbi időkben azonban számos új globális és lokális természeti és társadalmi problémával is szembesülnünk kellett, amelyek káros hatásai sajnos igen jelentősek a környezeti elemekre, így a felszín alatti vizekre is. A jelen és a jövő hazai hidrogeológusainak új típusú szakmai kihívásokra kell hatékony választ adniuk innovatív megoldások segítségével. A

válasz megtalálásában segítségünkre lehetnek azok a magas színvonalú szakmai anyagok is, amelyek a Köztisztületi Stratégiai Programok keretében születtek. 2008 őszén fogadták el az MTA Köztisztületének stratégiai programjait nyolc, az ország jövőjét meghatározó témakörben. A hidrogeológusoknak jelentős szerep juthat három meghatározó területen is, amelyekben már elkészültek a stratégiai programok: Magyarország vízgazdálkodása (Somlyódy, 2011), környezet- és klímabiztonság (Bozó, 2010), valamint a megújuló energiák hasznosítása (Büki – Lovas, 2010).

Hidrogeológiai viszonyok a Kárpát-medence belsejében

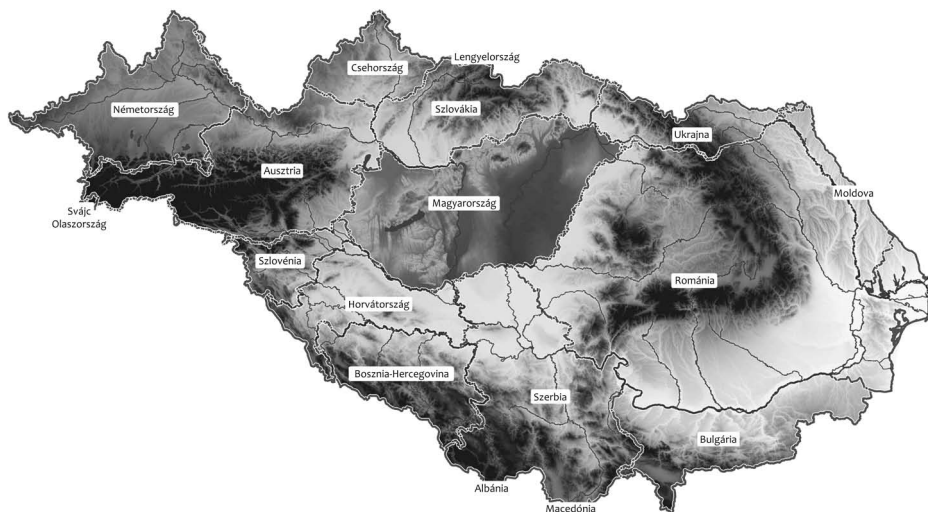
Magyarország a Duna vízgyűjtő területén belül a Kárpát-medencében, a föld egyik legzártabb medencéjében helyezkedik el (*í. ábra*). Ennek a természetföldrajzi vonatkozásnak igen fontos kihatásai vannak a felszíni és felszín alatti vízkészleteinkre. Viszonylag kis területű hazánk hét országgal szomszédos, amely tény speciális viszonyokat alakít a felszín alatti vizek esetében is. Európában Magyarországnak van fajlagosan a legtöbb határral osztott felszín alatti vízbázisa. A or-

szág vízgyűjtő-gazdálkodási tervében (URL) megadott 185 felszín alatti víztestből jelenleg negyven hivatalosan is elismert határral osztott víztest. A tényleges helyzet ennél is nagyobb kiszolgáltatottságot jelent. Felszín alatti víztesteink fele határral osztottnak tekinthető, azaz országon kívüli hatások is jelentős mértékben befolyásolhatják felszín alatti vizeink mennyiségét és minőségét. E tény sokkal kevésbé közismert vagy látható, mint az, hogy a felszíni vizeink mintegy 96%-a nyugati, északi és keleti határainkon keresztül érkezik hazánk földjére. A határszéleken Magyarország a felszín alatti vízkészleteket illetően is alvízi helyzetben van, sajátos, részben kiszolgáltatott helyzetet teremtve. Az ilyen területeken a környezet- és klímaváltozás hatásai még intenzívebben jelentkezhetnek. E változásokra hidrogeológusainknak fel kell készülniük. Szomszédaink közül Ausztria (1995), Szlovákia, Szlovénia (2004) és Románia (2007) az Európai Unió tagja.

Velük a szakmai együttműködés a jogharmozás és az európai közös értékek mentén általában ma már egyszerűbb, mint a Duna-programokhoz csatlakozott, de nem EU-tag Horvátország, Szerbia és Ukrajna esetében.

Hazánk vízföldtani adottságai egyrészt igen jók, ugyanakkor a hidrogeológus szakembereknek speciális, az alábbiakban részletezett földtani, hidrogeológiai, meteorológiai és geotermikus viszonyokra kell számítaniuk a Pannon-medencében. Hazánk viszonylag nagy területein ugyanabban a naptári évben előfordulhat a felszín alatti vizekre is hatással levő árvíz, belvíz és akár aszály. A vízkészletekkel foglalkozó szakembereknek a vizek hasznosítása mellett a vizek kártétele elleni védelemre is fel kell készülniük Magyarországon.

Hazánk változatos földtani és hidrogeológiai képet mutat, ahol szinte minden, szakmai szempontból izgalmas jelenség megtalálható egymás közelében. A vízellátás szempontjából komoly jelentőséggel bíró karszt-



1. ábra • Magyarország elhelyezkedése a Duna vízgyűjtő területén belül a Kárpát-medencében (forrás: VKKI)

hegységeink hidrogeológiai viszonyai mellett tanulmányozhatóak a hasadékos vulkáni, magmás és metamorfit kőzetek igen érdekes vízraktározási viszonyai is. A nemzetközi érdeklődés övezte Alföld és a Kisalföld számos megoldásra váró problémát kínál a hidrogeológusok számára. A szakmai érdekességek sokaságának természeti okai között szerepel az, hogy a Föld kérge viszonylag vékonyabb a Kárpát-medence alatt, másrészt az egész Kárpát-medence jelenleg is megfigyelhető tektonikai kompresszió révén térrövidülés alatt áll, ami tovább fokozza a mélyebben elhelyezkedő vízádó és egyéb fluidumtároló összletek pórusnyomását.

Az Alföld egészét tekintve a rekonstruált felszín alatti vízáramtér értelmezése alapján két folyadékfajta energiáját jelenlétével kell számolnunk. Felül egy gravitációs folyadékrendszer, míg alatta a tektonikai kompresszió által is generált túlnyomásos folyadékáramtér található. Az üledékképződésből, fluidumhőmérséklet-emelkedésből és tektonikai kompresszióból eredő erős túlnyomások forrás-helyei uralkodóan a pre-neogén aljzat kimagasló rögei. Ebben a mély, fojtott hidraulikus áramlási rendszerben a folyadékok függőleges mozgáskomponense egyértelműen felfelé irányul. Az említett két nagy áramlási rendszer határfelülete igen komplex: mélysége az Alföld különböző területein még meghatározásra vár. A csatlakozási zóna alakja és dinamikai jellege nagyon változó, és függ a helyi domborzati, meteorológiai és geológiai viszonyoktól. Az Alföld kőzetvázát egy komplex szerkezetű pre-neogén aljzatú medence 7000 m vastagságot is elérő, fluidummal kitöltött neogén törmeléken üledékösszlete alkotja. Magyarországon a felszín alatti kőzetek pórusaiban és repedéseiben egy időben kb. 5000 km³ víz helyezkedik el. Ez a mennyiség te-

kinthető az ún. statikus felszín alatti készletnek. A fenntartható vízhasznosítás szempontjából sokkal nagyobb jelentőségű a dinamikus készletek meghatározása. Országos szinten a felszín alatti, fenntartható módon kitermelhető vízkészlet 2–3 km³/év körüli.

Felszín alatti vizek a vízellátásban

A világ vízellátásában a felszín alatti víz átveti a vezető szerepet a felszíni vízkészletektől (Szűcs et al., 2009). Európában ma már a vízellátás 75%-a, míg Magyarországon több mint 95%-a származik a felszín alatti vizekből. Bár az ivóvízellátó közművek napi kapacitása Magyarországon 4,5 millió m³, az éves termelt ivóvíz mennyisége csak kb. 600 millió m³. Az ivóvíz mellett az ásvány- és gyógyvizeinket, valamint a hévizeket is magában foglaló felszín alatti vízkészleteink még inkább felértékelődnek a közeljövőben, hiszen egyre szaporodnak a Föld lakosainak már jelenleg is mintegy felét érintő vízellátási problémák. Sajnos a változó természeti feltételek és adottságok mellett felszín alatti vízkészleteinket is veszélyeztetik azok az emberi hatások, amelyek egyrészt a környezeti elemek szennyeződésében vagy például az éghajlatváltozásban fejtik ki hatásukat. Érdekes hidrológiai különbség, hogy a szomszédos Romániában a vezetékes vízellátás ma is döntően felszíni vízkészletekre támaszkodik.

Magyarországon a felszín alatti vizek esetében a gyakorlati osztályozás alapján többfajta víztípust is elkülönítünk. A parti szűrűsű – a folyók kavicssteraszához közvetlenül is kapcsolható – vízkészleteket is ide soroljuk a hazai nevezéktan szerint. E vízkészletek – amelyek a vízellátás közel 40%-át teszi ki – bizonyítékai a felszín alatti és felszíni vizek közötti kölcsönhatásnak. A termelés fontos feltétele a mederfenéken a termelés

hatására kialakuló, mikrobiológiailag aktív szűrőréteg. E vízkészlet megőrzése stratégiai fontosságú, Budapest szinte teljes egészében parti szűrészű vizet használ majd kétmillió lakosa ellátására. E vízkészletet leginkább a folyó felől érkező szennyezők veszélyeztethetik. A parti szűrészű vízkészletek mellett első sorban síkvidéki területeinken a rétegvizek jelentik még ivóvizeink legjelentősebb forrását. A Dunántúli-középhegység és a Bükk környezetében a sérülékeny karsztvíz is számottevő a víztermelésben. Sajnos a felszínhez legközelebb eső talajvizeink többsége ma már olyan rossz minőségű, hogy nem alkalmas ivóvízellátásra.

A biztonságos hazai vízellátás fenntartása érdekében tovább kell folytatni az országos vízbázisvédelmi programot az üzemelő és a távlati vízbázisok tekintetében. A mintegy 1700 hazai vízbázis több mint fele sérülékenynek tekinthető, így csak ezek megfelelő diagnosztikája, biztonságba helyezése és tartása garantálhatja létfontosságú nemzeti érdekünket az ivóvízellátás területén. Az ivóvízminőség-javító program keretében törekedni kell olyan lehetséges hidrogeológiai és vízgazdálkodási megoldásokra, amelyek nem csak az igen költséges víztisztítási technológiák alkalmazására támaszkodnak. Szakmai szempontból elkerülhetetlenné vált a víziközmű-szolgáltatás teljes reformja, amelyben a hidrogeológusoknak is jelentős szerepet kell kapniuk. Közös érdekünk, hogy a víziközmű-szolgáltatással kapcsolatos szakmai elvárások jelentős mértékben emelkedjenek a jövőben. Ez szolgálhatja a vízszolgáltatás minőségének és megbízhatóságának további jövőbeli javulását, illetve a vízi közmű előregedett infrastruktúrájának megújulását. Ma az igen jelentős, sokszor 20–30%-ot is meghaladó hálózati veszteségek jelentős mértékben – károsan –

befolyásolják egy-egy adott helyen a természetes felszín alatti vízkészleteink mennyiségi és minőségi állapotát. Távlati vízbázisokat tekintve ugyanakkor jó helyzetben van az ország. A napi kb. 2–2,5 millió köbméteres felszín alatti víztermelés mellett kb. 1 millió m³/nap összesített kapacitású távlati vízbázissal rendelkezünk, amelynek nagyobb része a Duna és a Tisza mentén parti szűrészű rendszerként van kijelölve és védve.

*Ásvány- és gyógyvíz,
valamint hévízkészleteink hasznosítása*

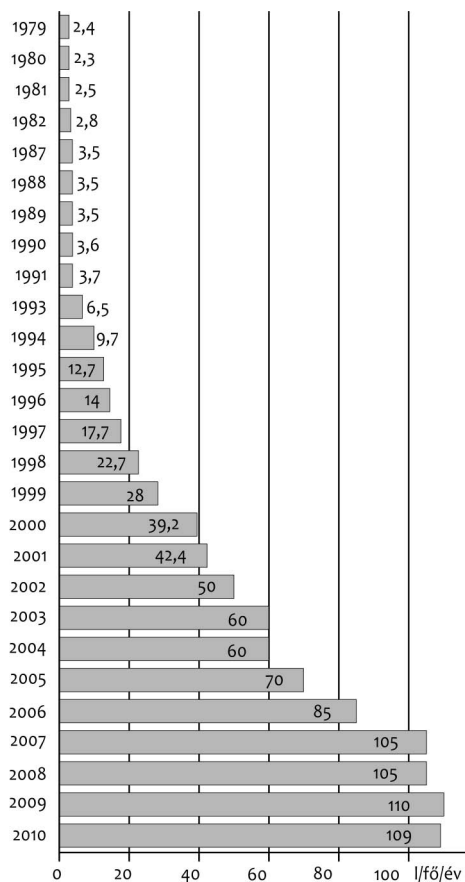
Magyarország ásvány-, gyógy- és termálvízkincse világviszonylatban is kiemelkedő, a nemzetgazdaság számára is jól hasznosítható, számos település és térség számára további felemelkedést és munkahelyteremtést ígérő természeti érték. Az is világossá vált viszont, hogy az ásvány-, gyógy- és hévizek mennyiségi és minőségi védelme, valamint fenntartható hasznosítása területén új tudományos eredményekre, innovatív szakmai megoldásokra, interdiszciplináris együttműködésre, széles körű szakmai konzultációkra és új vízgazdálkodási stratégia kidolgozására van szükség. A Kárpát-medence összetett vízrendszerébe tartozó értékes, felszín alatti vízkészleteink hasznosítása és védelme komplex, a határokon túlnyúló szemléletet, kutatást és vízgazdálkodási gyakorlatot is igényel. A környezetvédelmi szempontokat is figyelembe vevő ásvány- és gyógyvízellátás minőségi bővítését, a gyógyászati, rekreációs és wellness-igények kielégítését, valamint a geotermikus energia fokozott hasznosítását a nemzetközi szervezetekkel és tudományos trendekkel összehangoltan kell tervezni.

A hazai és az európai uniós szabályozás szerint a természetes *ásványvíz* védett vízadó rétegből származik, eredendően tiszta, szenny-

nyeződésmentes, összetétele ismert és a természetes ingadozás keretein belül állandó, a szigorú mikrobiológiai követelményeknek megfelel. Az ásványvizet a víznyerő helyen palackozzák, kezelésben nem részesül, és szén-dioxidon kívül nem tartalmaz idegen anyagot. Az ásványvizek hivatalos elismerésben részesülnek. A *gyógyvíz* olyan ásványvíz, amely oldott ásványianyag- vagy gáztartalma következtében gyógyhatású, az egyes betegségekre vonatkozó gyógyhatását szigorú előírásokhoz kötött orvosi vizsgálatokkal kimutatták. Az Országos Gyógyhelyi és Gyógyfürdőügyi Főigazgatóság nyilvántartása szerint Magyarországon 195 elismert ásványvíz és 220 elismert gyógyvíz található. Az Új Széchenyi Terv Gyógyító Magyarország – Egészségipari Programja is magában foglalja hazánk kivételesen gazdag termál-, ásvány- és gyógyvízkészletének, geotermikus adottságainak hatékony, sokrétű kiaknázását és hasznosítását.

Az utóbbi húsz évben az ásványvízfogyasztás jelentősen nőtt nemcsak Magyarországon, de a világon mindenütt. Az ásványvízfogyasztás ma már szervesen hozzátartozik az egészséges életmódról kialakított képzetünkhöz. 2009-ben és 2010-ben hazánkban az egy főre jutó ásványvízfogyasztás 110 liter/fő/év körül alakult (2. ábra). A kiváló természeti adottságokat jól jellemzi, hogy szinte minden ásványvíztípus megtalálható Magyarországon (Borszéki, 1998). Igényeink és egészségi állapotunk szerint választhatunk a kénes, a radontartalmú, a savanyú, az alkalikus, a földesmeszes, a konyhasós, a keserűsós, a vasas és a jódos, valamint a brómos ásványvizek közül. Jelenleg több mint ötven különböző hazai palackozott ásványvíz kerül kereskedelmi forgalomba. Az ásványvíz nemcsak az emberi szervezetre gyakorolt kedvező hatása miatt

fontos, hanem a szépségiparnak is kitűnő alapanyaga (például természetes ásványvíz alapú kozmetikumok). Az is említést érdemel, hogy hazánkban a vezetékes ivóvizek nagyon sok helyen ásványvíz minőségűek. Igaz, közegészségügyi szempontok miatt klórozottak, illetve egyes vidékeken enyhén mellékízűek. Ezért fordulhat elő az is, hogy az olcsó és a mindig rendelkezésre álló csapvizek helyett sokszor a szubjektív igényeinknek jobban megfelelő, de a fajlagosan drága ásványvizetket részesítjük előnyben.



2. ábra • Az egy főre jutó évi ásványvízfogyasztás alakulása Magyarországon (forrás: Magyar Ásványvíz Szövetség és Terméktanács)

Az ásvány- és gyógyvizek igazi értékét elsősorban a vízben oldott kémiai elemek, ásványi anyagok és gázok minősége és mennyisége határozza meg. E tekintetben a hazai és az egész Kárpát-medencében előforduló ásványvizek sokkal gazdagabbak és értékesebbek az Európai Unió egyéb területein feltárt és jóval hígabb összetételű ásványvizeknél. A Kárpát-medencében a Hargita vidéke tekinthető az egyik legjobb ásványvízlelőhelynek, ahol alig több mint 6000 km²-es területen fantasztikus változatosságban fordulnak elő a „borvizek”. A komplex vízföldtani viszonyok mellett a székelyföldi terület aktív utóvulkáni folyamatai szintén hozzájárulnak az itt található felszín alatti vizek igen értékes ásványianyag-tartalmához. Az 1806-tól palackozott Borszéki ásványvíz nem véletlenül nyerte el az *Ásványvizek királynője* címet 1873-ban. A hazai gyógyturizmus számára nagy jelentőségű, hogy kormányzati támogatással igen jelentős fejlesztések történtek az elmúlt évtizedben. Több mint száz termálfürdő-fejlesztési projekt kapott támogatást. Az Országos Gyógyhelyi és Gyógyfürdőügyi Főigazgatóság nyilvántartása szerint Magyarországon mintegy ezerkétszáz hévízkút, hetven gyógyfürdő, öt gyógybarlang, öt helyszíni kitermelésű iszaptelep, egy mofetta és tizenhárom gyógyhely található. Nemzetközi összefüggésben hazánk a termálvízben leggazdagabb első öt ország közé tartozik. A fejlesztések eredményeként ma már kb. negyven nagy, nemzetközileg is elismert gyógy- és termálvízre épülő központ van Magyarországon. Gyógyvízkészleteink a gyógyhatások sokféleségét tekintve világszinten is egyedülálló értéket képviselnek. A balneológia (gyógyfürdőtan) tudománya a gyógyforrások és gyógyvizek gyógyfürdői alkalmazásával foglalkozik. A fürdőkúrák során egyrészt víz

fizikai tényezői (hőmérséklete, nyomása, felhajtóereje) hatnak az emberi szervezetre. Ezeket a hatásokat használja fel a hidroterápia. A hidroterápiás hatásokat kiegészítik a gyógyvízben oldott állapotban található ásványi anyagok és elemek hatásai. A hazai gyógyvizek orvosi hatásainak vizsgálata és mindennapi orvosi gyakorlatba való bevezetése a célja azoknak a hazai kutatóknak is, akik a közel-múltban megalapították a Nemzetközi Balneológiai Kutató Központot. Fontos lenne, hogy az egyetemi oktatáson belül legyen önálló balneológusképzés is.

A jövőben a hidrogeológiának jelentős szerepet kell játszania a geotermikus energia felhasználásának növelésében is. A 30 °C-nál melegebb hévizeknek igen jelentős szerepük van a hő, illetve az energia felszínre hozatalában és hasznosításában. Bonyolítja a helyzetet, hogy a termálvizek a Kárpát-medencében sok helyen hidraulikailag összefüggenek az ivóvíztermelésre használt rétegekkel. Speciális vízgazdálkodási stratégia kialakítására van szükség annak érdekében, hogy fenntartható módon elégíthessük ki egy adott területen a felszín alatti vízre alapozó ivóvíz-, gyógyászati célú és az energetikai célú igényeket. Hazánk, valamint a Kárpát-medence kimagaslóan jó geotermikus potenciálját, hidrogeotermikus rendszereit, hévízfelhasználási lehetőségeit az utóbbi időben több kiváló tanulmány is bemutatta (Mádlné Szőnyi, 2006; Szanyi–Kovács, 2010; Székely, 2010). Magyarországon a felszín alatt a föld belseje felől az átlagos földi hőáram értéke kb. 90 mW/m², míg a geotermikus gradiens 30–50 °C/km értéktartományban változik. Ezen adatok birtokában meghatározható az ország elméletileg rendelkezésre álló teljes dinamikus hőkészlete, amely több mint 8000 MW. Ehhez képest a geotermikus energia tényleges

hasznosításának mértéke jelenleg sokkal kisebb. Az igen változatos geológiai és vízföldtani kép biztosíthatja a különböző jellegű és típusú geotermikus energia hasznosítása alapjainak kiszélesítését Magyarországon (Bobok–Tóth, 2010). A hidrogeológusoknak a pórusnyomások területén is specialitásokra kell számítaniuk. A hévíztároló neogén képződmények általában túlnyomásosak. Több helyen a pre-neogén képződményekben és az aljzatban még az 50%-ot is meghaladó túlnyomások várhatóak, megnehezítve és drágítva a hasznosítás lehetőségeit.

Alacsony entalpiájú, 30 °C vízhőmérséklet alatti rendszerek, azaz elsősorban nyitott (víztermeléses és visszanyeletéses) és zárt rendszerű (szondás és talajkollektoros) hőszivattyús rendszerek telepítésére a karsztos térségek kivételével szinte mindenütt kedvezőek a hazai földtani adottságok. A hidrogeológiai szempontból is érdekes nyitott rendszerek telepítésére hazánk folyóinak hordalékkúp-területei kiemelten alkalmasak, ahol a kiváló hidraulikai jellemzőkkel bíró, sekély mélységű vízádókból komoly hőkészletek nyerhetők ki, amelyek mind lakossági, mind középület-együttesek ellátására alkalmasak lehetnek. Szondás és talajkollektoros rendszerek telepítésére – a karsztos térségek kivételével – a felszín közeli, felső 80–100 m (max. 250 m) vastagságú, negyedidőszaki, panóniai és a miocén összletek tárolt és utánpót-lódó hőkészletének kiaknázására nyílik lehetőség számos hazai területen. A hőszondák alkalmazásának legkedvezőbb területei lehetnek a már említett hazai kavicsteraszok, ahol a homokos kavicsrétegekben az átlagos 60–70 W/m fajlagos hőteljesítmény helyett akár 80–90 W/m fűtő- és hűtőteljesítmény elérésére is képesek a hőszondák 100 m/év körüli felszín alatti vízáramlási sebességek esetén.

Meg kell jegyezni, hogy ugyanezek a területrészek megvalósítható a szondásnál nagyobb hőteljesítmények kivétele nyitott rendszerekkel. A kisebb teljesítményű hőszondás rendszerek létesítéséhez a bányahatóság hozzájárulása vagy egy egyszerűsített építési engedélyezési eljárás, a nyitott rendszerek létesítéséhez viszont hosszabb, költségesebb és bonyolultabb vízügyi engedélyezési eljárás társul, ami a potenciális felhasználási kereteket meghatározhatja. A vertikális szondás rendszerek terjedésének akadálya a közetminőség lehet, laza és finomszemű üledékes képződményekben (homok, homokliszt, iszap és agyag) a jelenlegi fűrási költségek mellett még gazdaságosan, nyolc-tizenkét év megtérülési idő mellett kivitelezhetők lennének az ilyen rendszerek. Reális támogatás mellett a megtérülési idő öt-hét évre csökkenthető. Keményebb görgeteges, vulkáni és üledékes kőzetek esetében a fűrási költségek növekedése miatt még megfelelő geológiai adottságok esetén sem létesíthetők megtérülő hőszondás rendszerek. A hőszivattyús rendszerek terjedésének jelenlegi legnagyobb akadálya a rendszerek beruházásigénye. Kedvező szabályozási és támogatási rendszer mellett a hőszivattyús rendszerek tömeges elterjedése várható.

A közepes entalpiájú rendszerek 30–100 °C hőmérsékletű vizeit elsősorban kaszkád-rendszerű kommunális rendszerekben fűtésre és lakossági és ipari használati melegvízszolgáltatásra, valamint wellness- és gyógyfürdőkben, mezőgazdasági létesítményekben (üvegházak, fóliasátrak, istállók fűtése, szárítás stb.) hasznosítják. A hévíztároló rendszerek hazai regionális eloszlása alapján megállapítható, hogy Magyarország geotermikus adottságai a közepes entalpiájú rendszerek tekintetében kimagaslóak. A legkedvezőbb adott-

ságú térségben, a Dél-Alföldön gyakorlatilag minden település esetén földtanilag lehetséges a közepes entalpiájú rendszerekkel történő hőhasznosítás. Világosan látszik azonban, hogy hévízkészleteink termelése sok helyen meghaladja a fenntartható mértéket. E helyeken folyamatos vízszintsüllyedéseket regisztrálhatunk. Ezért nagyon fontos az energetikai célú hévízkivételek esetében a ma már jogszabályilag is előírt visszasajtolás. Ez természetesen több helyen érdeksérlemeket eredményezhet, ahol e műveletre korábban nem volt szükség, s így igen komoly gazdasági előnyre lehetett szert tenni. A nagyobb hévízfelhasználók (például városi közműrendszerek) esetén a gazdasági előny megmarad a visszasajtolás kivitelezése esetén is. Az egy-két vagy a technológiailag elavult néhány hévízkutas vízkivitel esetén akár a gázfűtésnél is drágább fajlagos költségeket eredményezhet a visszasajtoló rendszer kialakítása, különösen porózus vízadó rétegekbe. Felszín alatti vízkészleteink védelmének azonban magasabb prioritást kell kapnia, mint a lokális gazdasági érdekeknek. A fentebb említett hidrogeológiai okok miatt ugyanis a hévízes rendszereink túltermelése egyrészt kedvezőtlenül alakíthatja ásvány- és gyógyvízkészleteink vízminőségét, másrészt az ivóvízellátás céljára szolgáló felsőbb rétegekben is kedvezőtlen vízszintváltozások történhetnek. A vízvisszasajtolás technológiáját tehát a költségek csökkentése érdekében fejleszteni kell. Vízgazdálkodási szempontból az azonban elfogadhatatlan, hogy az évi kb. 50 millió m³-nyi energetikai célú hévíztermelés mellett jelenleg csak kb. 1 millió m³-t sajtolnak vissza a felszín alá. A lehűlt, sokszor igen magas sótartalmú vizek eddig felszíni befogadókba kerülve okoztak jelentős környezetterhelést, illetve a felszíni vízfolyásokon keresztül elhagyták az

országot. A jövőben emellett nagyobb hangsúlyt kell helyezni a meglévő vízkivételek hőenergiájának optimalizálására, a többlépcsős hasznosítás terveinek kidolgozására és megvalósítására, a hasznosítás hatásfokának növelésére.

A nagy entalpiájú, 100 °C vízhőmérséklet feletti rendszerek létesítésének alapvető célja az elektromos energia termelése, illetve az egységnyi elektromos energia előállítása során keletkező hat-nyolc egységnyi hulladék hőenergia együttes hasznosítása. Bár az országban több helyen is találhatunk olyan területeket (például Fábiansebestyén, Makói-árok, Békési-süllyedék, Derecskei-árok), ahol akár 180–200 °C hőmérsékletű felszín alatti vizek állnának rendelkezésre áramfejlesztésre, sajnos ilyen beruházások eddig nem valósultak meg a Kárpát-medencében. Jelenleg folynak előzetes hazai kutatások az EGS- (HDR) típusú erőművek kifejlesztésére, amelynek prototípusa a németországi Soultzban üzemel. Bár az üzembiztos működés során számos műszaki problémával kell megküzdeni, ugyanakkor a nagy mélységű EGS-rendszerek elvileg több helyen is telepíthetőek lennének a medencealjzatban Magyarországon. Igazi szakmai kihívás, hogy nagy mélységben, közel 250 °C hőmérsékletű térségben, igen jelentős térfogatú kőzetben kell szabályozott repedésrendszert létrehozni, amelynek kialakítása a káros repesztésekre érzékeny térségben nem vállalható környezeti kockázatot jelenthet.

Jövőbeli kihívások a hidrogeológusok számára a Kárpát-medencében

A hidrogeológusokra számos szakmai kihívás és megoldandó feladat vár nemcsak a Kárpát-medencében, hanem a világon mindenütt (Galloway, 2010). A felszín alatti vizekkel

kapcsolatos megoldandó problémák jelentős részének újszerűsége miatt a korábbiakhoz viszonyítva más típusú oktatási programokat és szakmai felkészültséget kell nyújtanunk a következő hidrogeológus generációknak. Vízkészleteink fentebb ismertetett, határon átnyúló jellege miatt a hazai hidrogeológusoknak még inkább együtt kell működniük a környező országok szakembereivel. A jövőbeli feladatok egy része a Víz-keretirányelv alapján készült hazai vízgyűjtő-gazdálkodási terv célkitűzéseinek a megvalósításához fog kötődni. Felszín alatti vizeink esetében is 2015-re és az utána következő időszakokban el kell érni a jó mennyiségi és minőségi állapotot. Jelenleg felszín alatti víztesteink 59%-a jó állapotú. Az ökológiai szemléletmód erősödése új típusú szakmai gondolkodást kíván hidrogeológusainktól. A nemzetközi együttműködés további színtere lehet a megfelelő szerepvállalás a felszín alatti vizek tekintetében is az EU Duna-régió stratégiájában.

Az éghajlatváltozás napjainkban egyre szélsőséesebb időjárási viszonyokat okoz, ami erőteljesen hat a természetes vízkörforgalomra. E hatások természetesen befolyásolják a felszín alatti vizek természetes utánpótlódási, mennyiségi és minőségi viszonyait, különösen a medence jellegű térségekben. A biztonságos ivóvízellátás miatt kiemelkedő jelentőségű, hogy a szakemberek tisztában legyenek azzal, hogy milyen változások érhetik az ivóvízbázisokat akár már a közeljövőben is. A hazai és határainkon túli vízgyűjtőkben a várható éghajlatváltozás következtében csökken a felszíni lefolyás, a felszín alatti vizek utánpótlódását biztosító beszivárgás, összességében várható a hasznosítható vízkészleteink fogyatkozása. Indikátor és monitoring rendszer fejlesztése, illetve kialakítása szükséges, amelyel nyomon követhetők az éghajlatváltozás

vízjárasi és vízgazdálkodási következményei. A különböző lehetséges forgatókönyvek figyelembevételével modellezni, szimulálni és számszerűsíteni lehet a várható hatásokat. A megfelelő vízkészlet-gazdálkodási stratégia kialakítása mellett olyan metodikák is kialakíthatók, melyek a felszíni lefolyási, beszivárgási viszonyok módosításával ezen várható negatív változások hatásait mérsékelik, esetleg ki is küszöbölik. A talajvíz szintje határozza meg a felszín alatti víztől függő ökoszisztémáink állapotát is, amely rendszerek közül számos nemzetközi védelem alatt áll. Az aszály–belvíz–öntözővíz–vizes élőhely problémakör Magyarországon tartósan nem oldható meg a felszín alatti vízrendszerek figyelembevétele nélkül.

A hidrogeológiai modellezésnek a jövőben még erőteljesebb szerepet kell kapnia a szakmai döntéshozókészítésekben. A felszín alatti vízkészleteket érintő várható hatások hidrogeológiai modellezéssel ma már igen magas szakmai színvonalon, pontosan és megbízhatóan szimulálhatók. További fejlesztések várhatóak a speciális, felszín alatti vizekbe is jutó szennyező anyagok (például: DNAPL, klórozott szénhidrogének, radioaktív izotópok) transzportfolyamatainak pontosabb leírása és szimulációja érdekében. A hidrogeológiai modellezésnek továbbra is igen jelentős szerepe lesz a felszín alatti környezetszennyeződések felszámolását megcélzó kármentesítési eljárások tervezésében, méretezésében és működésük nyomon követésében (Simonffy, 1998). A hidrogeotermikus rendszerek hatékony vizsgálatánál pedig a hőtranszport modellezése jelent nélkülözhetetlen segítséget. A hidrogeológusoknak ma már nem elég csak a felszín alatti vizekkel foglalkozniuk. A vízkörforgalom révén minden mindennel összefügg. A természeti vál-

tozások, valamint az emberi beavatkozások eredményeként egy-egy adott helyen a felszín alatti vizek új egyensúlyi helyzet kialakítására törekednek. E dinamikus rendszerben a vízkészletekkel való foglalatosság interdiszciplináris és holisztikus megközelítést követel, amelynek keretében a Kárpát-medence vízgazdálkodásával kapcsolatos műszaki, természettudományi, gazdasági, jogi és társadalmi kérdéseket tárgyalják.

Számos új, nagy léptékű beruházás várható a jövőben, ahol a hidrogeológusokra speciális és fontos feladatok várnak. Bár a pénzhány miatt folyamatosan húzódozott, lassan véglegesen állást kell foglalni a paksi, nagy aktivitású radioaktív hulladék végleges elhelyezése ügyében. Elindult ugyan korábban egy ún. BAF- (Bodai Aleurolit Formáció) projekt, amely most már évek óta takaréklángon üzemel. A 2011. tavaszi földrengéssel kapcsolatos japán események is rávilágítottak azonban arra, hogy a nagy aktivitású radioaktív hulladékok elhelyezésével kapcsolatos szakmai követelményeket nem szabad felpuhítani. A kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok számára Bátaapátiban épült hulladéktároló sok tekintetben nem nyújthat megfelelő biztonságot a nagy aktivitású hulladékok esetében. Nagy mélységben elhelyezkedő, megfelelő műszaki és földtani védelmű helyszínt kell kijelölni és engedélyeztetni a megnyugtató megoldás érdekében. Ebben a komoly kihívást jelentő szakmai feladatban a hidrogeológusoknak is kulcsszerepet kell játszaniuk. A növekvő energia- és ásványi nyersanyag-igények miatt újbóli megerősödése körvonalazódott a bányászati tevékenységeknek a Kárpát-medencében a globális trendeknek megfelelően. A szénhidrogén-kihozatalt növelő speciális eljárások üzemi alkalmazása mellett a szénhidrogén-hidrogeo-

lógia szélesebb körű bevezetése a Kárpát-medencében új sikereket hozhat a hazai és térségi olajipar számára. Innovatív bányászati technológiák (például szuperkritikus széndioxid alkalmazása ércek kinyerésére) elterjedése is új és speciális feladatok ellátását várja a jövő hidrogeológusaitól. Remélhető, hogy kedvező természeti adottságai révén a Kárpát-medence helyszíne lehet akár több EGS-projektnek is, illetve hamarosan megszületik az első geotermikus villamos erőmű hazánkban.

A felszín alatti áramlási rendszerek törvényszerűségeinek megértésében, a mélységi anyag- és hőtranszportfolyamatok leírásában mind nagyobb szerepet kap az utóbbi időben a hidrogeokémia, illetve a környezeti izotópok részletes vizsgálata (Berecz et al., 2001). A jövő hidrogeológusainak oktatásában sokkal hangsúlyosabban kell szerepelnie a környezeti kémiának. Emellett nagyon fontos a legújabb matematikai, valószínűségelméleti és geostatistikai módszerek megismertetése is a szakemberekkel. A determinisztikus eljárások mellett a ritkán alkalmazott sztochasztikus módszereknek a hidrogeológiában igen nagy a jelentőségük, hiszen a legtöbb esetben nem teljesen feltárt inhomogén és anizotrop közegből származó mérési adatokkal dolgozunk. A származtatott eredményeink minden esetben némi bizonytalansággal terhelték, amelyek korrekt megnevezése és számszerűsítése még inkább erősítheti szakmai eredményeink elfogadottságát és hitelességét (Szűcs et al., 2006).

Az új víziközmű-törvény egyebek mellett remélhetőleg magasabb színvonalú szakmai munkát fog előírni az üzemeltetők számára, ami a hidrogeológusok pozíciójának tovább erősödését eredményezheti a közműszolgáltatás ágazatán belül. A jelenlegi igen magas országos hálózati veszteség, illetve a túlságo-

san sok, szennyvíztisztító nélküli kistelepülés miatt ún. szennyvíz-hidrogeológiai kérdésekkel is egyre többet kell foglalkozniuk a szakembereknek. A már korábban említett vízbázisvédelmi és ivóvízminőség-javító program keretében továbbra is jócskán lesz feladatuk a hidrogeológusoknak.

Összefoglalás

Az ivóvízellátásban jelentős szerepet betöltő, a jövőben is védendő, felszín alatti vízkészleteink kiemelkedő természeti értéket képviselnek. Ásvány-, gyógy- és hévízkészleteink is számottevőek, amelyek szélesebb körű hasznosítása nemzetgazdasági érdek. A Kárpát-medence szintű fellépés az ásványvizek és gyógyvizek marketingje érdekében sokat javíthat a jelenleg elfoglalt európai piaci pozíciókon és a hasznosítási lehetőségeken. Tisztában kell lenni azzal, hogy felszín alatti vizeink nem kimeríthetetlenek, sőt az Alföld egyes területein a kihasználtság már jelenleg is közel 100%-os. A jövőben még fontosabbá válik, hogy a hidrogeológusok az eddigieknél megbízhatóbban adják meg lokális vagy regionális léptékben a felszín alatti hasznosítható vízkészleteket. Az energetikai célú hévizek visszasajtolásával részben fenntarthatók az ásvány- és gyógyvizeket is magukban foglaló mélyebb rétegvizes rendszerek hidraulikai és vízminőségi viszonyai. Bár a prognosztizált éghajlatváltozási forgatókönyvek alapján a felszín alatti vízkészletek némi csökkenése várható, a biztonságos és fenntartható ivóvízellátás generációkon keresztül biztosítható hazánkban regionális vízellátó rendszerek üzemeltetésével, valamint a mindenkorai kormányok által támogatott megfelelő nemzeti vízgazdálkodási stratégia alkalmazásával. Erre garanciát nyújt az a tény is, hogy a jelenleg is üzemelő vízbázisainkon kívül igen jelentős

tartalékaink, távlati vízbázisaink vannak. Az ivóvízellátásban hosszú távon is a felszín alatti vizek mellett szól a kiszámíthatóbb és stabilabb vízminőség, illetve a nagyobb védetség a felszíni szennyeződésekkel szemben.

Bár a földi vízkörforgalom révén a felszíni és felszín alatti vízkészletek nagyon szoros kapcsolatban állnak egymással, igen különböző jellegű szakmai felkészültségre van szükség felszíni és a felszín alatti problémák vizsgálatára és megválaszolására. Ma már politikai, szakmai és tudományos körökben is mindenki elismeri, hogy Magyarország felszín alatti vízkészletei stratégiai jelentőségűek. Nekünk, hidrogeológusoknak a jelenleginél is erőteljesebb összefogást kell demonstrálnunk annak érdekében, hogy a felszín alatti vizeket érintő jelentős szakmai kérdésekben elsősorban a mi véleményünk és javaslatunk alapján foglaljanak állást, illetve történjen meg a döntéshozatal Magyarországon. Így biztosítható, hogy a hidrogeológusok aktívan és érdemben tudjanak részt venni hazánk vízgazdálkodási problémáinak (Somlyódy, 2011) megoldásában, illetve a felszín alatti vízkészleteket érintő stratégiai kérdések részletes kidolgozásában.

A jól képzett hidrogeológusokra tehát a jövőben még nagyobb szükség lesz hazánkban és a Kárpát-medencében. Számos tradicionális és új típusú feladat vár a felszín alatti vizekkel foglalkozó generációkra. A szakma interdiszciplináris jellege miatt fontos, hogy a felszín alatti vizekkel kapcsolatos képzési programjaink figyelembe vegyék a nemzetközi trendeket (Voss, 2005) és a Kárpát-medence speciális hidrológiai és hidrogeológiai sajátosságait. Kedvező, hogy mind több kollégánk vesz részt nemzetközi szakmai szervezetek munkájában és irányításában, erősítve a szakmai kapcsolatokat, amelyek feltétlenül

szükségesek határon átnyúló szakmai kérdések még hatékonyabb megoldásában a Kárpát-medencében. A szakma nemzetközi kapcsolatainak további erősítésében jelentős szerepet játszik az IAH (*International Association of Hydrogeologists*) Magyar Nemzeti Bizottsága, amely összehangolja tevékenységét az IUGS (*International Union of Geological Sciences*) Magyar Nemzeti Bizottsággal. A címben felvetett kérdés együttes továbbgondolásában segítséget jelenthet a 2013-ban hazánkban rendezendő nemzetközi IAH hidrogeológiai konferencia, amely elsősorban

a Kárpát-medence és Közép-Európa hidrogeológiai specialitásaira és megoldandó regionális és lokális feladataira fog fókuszálni.

A tanulmány, illetve az ismertetett kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Új-Magyarország Fejlesztési Terv keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Kulcsszavak: *hidrogeológia, felszín alatti vízkészletek, ivóvíz, ásványvíz, gyógyvíz, hévíz*

IRODALOM

- Berecz Tamás – Fórizs I. – Deák J. (2001): Felszín alatti vizek környezeti izotópos és kémiai vizsgálata a Duna-Tisza köze déli részén. *Hidrologiai Közöny.* 81, 2, 118–124.
- Bobok Elemér – Tóth Anikó (2010): A geotermikus energia helyzete és perspektívái. *Magyar Tudomány.* 8, 926–936. • <http://www.matud.iif.hu/2010/08/04.htm>
- Borszéki Béla György (1998): *Ásványvizek, gyógyvizek.* MÉTE, Budapest
- Bozó László (szerk.) (2010): *Köztisztítási Stratégiai Programok. Környezeti jövőkép – Környezet- és klímabiztonság.* MTA, Budapest
- Büki Gergely – Lovas Rezső (szerk.) (2010): *Köztisztítási Stratégiai Programok. Megújuló energiák hasznosítása.* Magyar Tudományos Akadémia, Budapest • <http://mta.hu/data/HIREK/energia/energia.pdf>
- Galloway, Devin L. (2010): The Complex Future of Hydrogeology. *Hydrogeology Journal.* 18, 807–810. • <http://www.springerlink.com/content/358156147665747/fulltext.pdf>
- Juhász József (2002): *Hidrogeológia.* Akadémiai, Bp.
- Marton Lajos (2009): *Alkalmazott hidrogeológia.* Kézikönyv, ELTE Eötvös, Budapest
- Mádliné Szőnyi Judit (2006): *A geotermikus energia.* Grafon, Nagykovácsi
- Simonffy Zoltán (1998): *Szennyeződés-terjedési modellek alkalmazása. Kármentesítési Kézikönyv 1,* Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium, Budapest
- <http://www.kvvm.hu/szakmai/karmentes/kiadvanyok/karmkezikk/index.htm>
- Somlyódy László (szerk.) (2011): *Köztisztítási Stratégiai Programok. Magyarország vízgazdálkodása: helyzetkép és stratégiai feladatok.* Magyar Tudományos Akadémia, Budapest • http://mta.hu/data/Strategiai_konyvek/viz/viz_net.pdf
- Szanyi János – Kovács Balázs (2010): Utilization of Geothermal Systems in South-East Hungary. *Geothermics.* 39, 357–364.
- Székelly Ferenc (2010): Hévízeink és hasznosításuk. *Magyar Tudomány.* 12, 1473–1485. • <http://www.matud.iif.hu/2010/12/08.htm>
- Szűcs Péter – Civan, F. – Virág M. (2006): Applicability of the Most Frequent Value Method in Groundwater Modeling. *Hydrogeology Journal* (Springer). 14, 31–43. • <http://www.environmental-expert.com/Files%5C6063%5Carticles%5C8775%5C1.pdf>
- Szűcs Péter – Sallai F. – Zákányi B. – Madarász T. (szerk.) (2009): *Vízkezelésvédelem. A vízminőségvédelem aktuális kérdései.* Bíbor, Miskolc • http://www.hidrotanszek.hu/Hirek/Vizkezelésvédelem/vizkezelésvédelem_tartalomjegyzek.pdf
- Voss, Clifford I. (2005): The Future of Hydrogeology. *Hydrogeology Journal.* 13, 1–6. • <http://www.mendeley.com/research/the-future-of-hydrogeology/#page-1>
- URL: <http://www.vkiki.hu> [Vízügyi és Környezetvédelmi Központi Igazgatóság (2010): *A Duna vízgyűjtő magyarországi része. Vízgyűjtő-gazdálkodási terv.* 2010. április]

Tanulmány

A D-VITAMIN ÚJONNAN FELISMERT FUNKCIÓI

Barna Mária

az orvostudomány kandidátusa
barna.maria@gmail.com

Bíró György

az orvostudomány doktora

Semmelweis Egyetem Egészségtudományi Kar Alkalmazott Egészségtudományi Intézet
Dietetikai és Táplálkozástudományi Tanszék

A D-vitamin zsírban oldódó, hővel szemben ellenálló, a szteroid hormonok családjába tartozó vitamin és aktív hormon.

Háromféle úton kerül a szervezetbe:

- a.) UV sugarak hatására 7-dehidrokoleszterinből a bőrben képződik: D₃-vitamin, kolekalciferol
- b.) táplálékokból: a növényekben D₂, (ergokalciferol), halakban, tejben D₃-vitamin
- c.) D-vitamint tartalmazó készítmények útján.

A növények kizárólag ergoszterint, az állati zsíradékok ergoszterint és 7-dehidrokoleszterint egyaránt tartalmaznak. Mindkettő provitamin, mely 290–315 nm frekvenciájú UV-sugárzás hatására alakul át D₃-vitaminná (továbbiakban D-vitamin).

D-vitamin-képződés a bőrben

A D-vitamin-szükséglet 90–100%-ban fedezhető a bőrben lezajló fotoszintézis útján. Az optimális D-vitamin-szérumszint kialakulásához elegendő, ha direkt napfény naponta

(de legalább hetente kétszer) tíz-tizenöt percig az arcot, a végtagokat vagy a hátat éri. Sötét bőrszínűeknél ötször-tízszer hosszabb expozíciós időre van szükség. Idős korban csökken a bőrben a D-vitamin-szintézis; hetvenéves korban csak negyedannyi képződik, mint azonos bőrszínű húszéves egyénben. Fényvédő krémek vagy árnyékolás 97–99%-kal csökkenti a bőrben a D-vitamin képződését. A kor és a bőrpigmentáció mellett befolyásolja ezt a folyamatot a földrajzi szélességi fok, az évszak és a napszak, a felhőzet, a légköri szennyeződés, a szabadban töltött idő, a ruházat stb. A 35. szélességi fok fölött november-február között nem képződik D-vitamin a bőrben. Ebben az időszakban Magyarországon sem lehet erre számítani. Arra is fény derült, hogy – az elégtelen napozás és a táplálékkal történő hiányos bevitel következtében – a világon közel egymilliárd embernek, köztük a hazai lakosság egy részének is elégtelen a D-vitamin-ellátottsága. A kutatók D-vitamin-hiány epidémiáról beszélnek.

D-vitamin-felvétel a táplálékokból

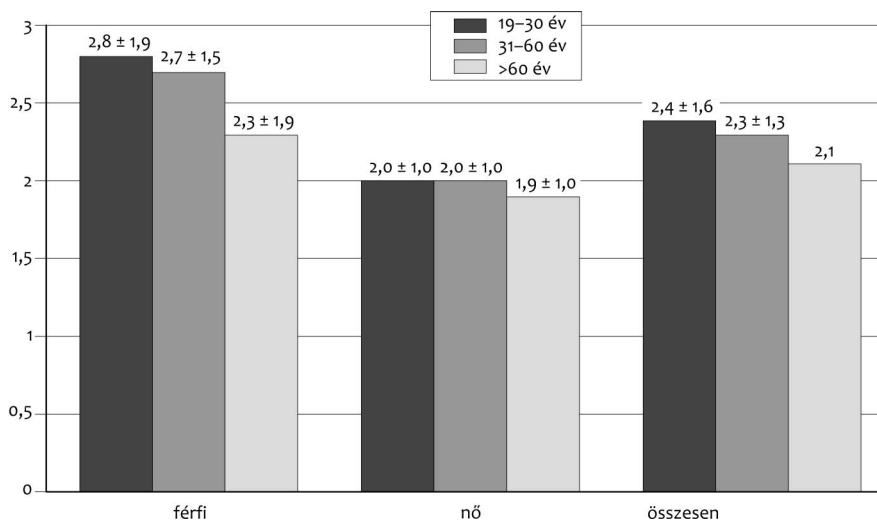
Természetes összetevőként csak elenyészően kevés táplálék tartalmaz D-vitamint. D-vitaminban gazdagok a zsíros halak, a lazac, a tonhal és a tőkehal mája. Amerikai mérések szerint a tenyésztett lazac D-vitamin-tartalma csak 10–25%-a a vadon élőknek; Norvégiában nem találtak ilyen különbséget. A hazai D-vitamin-beviteli ajánlás 5, illetve 10 µg/nap (10 µg=400 NE [nemzetközi egység]).

Étrendi forrásból szinte lehetetlen a D-vitamin-szükségletet fedezni, hacsak nem fogyasztanak heti három-öt alkalommal nagy D-vitamin-tartalmú halat. Hazánkban a 11–14 éves gyermekek közül a lányok 99,2%-ának, a fiúk 100%-ának a D-vitamin-bevitel nem érte el a beviteli ajánlás 70%-át. Négy hazai országos reprezentatív vizsgálat azt mutatta, hogy a D-vitamin-bevitel átlaga a referenciaérték mintegy felét vagy annyit sem ér el. Az 1. ábra a felnőttek D-vitamin-bevitelét mutatja 2009-ben, 4992 személyre kiterje-

dő vizsgálatban. Ennek oka az alacsony hal-fogyasztás (kb 2,7 kg/év) mellett az, hogy nincsenek D-vitaminnal dúsított tejtermékek, margarinok, cereáliák, a D-vitamin-szupplementáció pedig a csecsemőkoron túl esetleges.

D-vitamin-pótlás

Magyarországon az 1970-es évek végétől kezdődően a csecsemők naponta 400 NE (10 µg) D-vitamint kapnak szájon át, a három év alatti gyermekek pedig csak a téli hónapokban részesülnek ugyanilyen adagban D-vitamin-profilaxisban. D-vitamin-ellátottság szempontjából rizikócsoporthoz tartoznak a koraszülöttek, az idősek, a vese- és a májbetegségben szenvedők, az antiepileptikus és szteroid terápiában részesülő egyének. Külön figyelemben részesülnek a várandós anyák, mivel elégtelen D-vitamin-ellátottságuk esetén az újszülött csontmineralizációja sem megfelelő. Felmerül a pubertás korú gyermekek D-vitamin- (és kalcium-) ellátottságának javítását célzó szupplementáció szükségessége



1. ábra • Átlagos napi D-vitamin-bevitel felnőttekben (forrás: Bíró et al., 2011, 301–312.)

is az optimális csúcs-csonttömeg kialakítása, a csontritkulás megelőzése céljából.

A D-vitamin-ellátottság megítélése

A táplálékkal felvett D-vitamin a vékonybél alsó szakaszán epesavak jelenlétében szívódik fel. A felvett vagy a bőrben képződött D-vitamint specifikus D-vitamin-kötő fehérje szállítja a májba, ahol hidroxiláz enzim hatására kalcidiollá alakul. A kalcidiol a D-vitaminnak a keringésben található formája, és ennek a mennyiségét méri a D-vitamin status megítélésekor. Mennyiségét nmol/l (2,5-szer ng/ml)-ben adják meg. A kalcidiolszintet a D-vitamin-bevitel, a bőrben képződő D-vitamin és a test zsírtartalma is befolyásolja (a testzsír százaléka fordítottan arányos a szérum D-vitamin-szinttel). A D-vitamin a zsírszövetekben raktározódik (régiesen feltételezték, hogy emberben is a májban raktározódik, épp úgy, mint például a tőkehalban), illetve innen szabadul fel, és jut vissza a keringésbe. A vesében, és az utóbbi időben bebizonyosodott, hogy más szervekben is, kalcitriollá alakul; ez a D-vitamin biológiailag legaktívabb, hormonhatásának tekintett formája.

A szervezet D-vitamin-ellátottságának megítélése a szérum D-vitamin- (kalcidiol) szint alapján:

D-vitamin-hiány (*deficiency*): <25 nmol/l; elégtelen ellátottság (*insufficiency*): 25–40 nmol/l; megfelelő (*sufficiency*): 40–120 nmol/l; túlzott (*excess*): >120 nmol/l

A kutatók nagy része úgy gondolja, hogy át kell értékelnünk, hogy mit értünk D-vitaminhiánynak, illetve optimális D-vitamin-ellátottságon. Az optimális szérumszint 75–100 nmol/l között van, és a 12,5 nmol/l alatti értéket súlyos D-vitamin-hiánynak minősítik (Mosekilde, 2008; Bischoff-Ferrari et al. 2006).

Miért került a D-vitamin ismét az érdeklődés középpontjába?

Az utóbbi évtizedekben kiderült, hogy a D-vitamin biológiai hatása szerteágazó, nemcsak a csontanyagcserében érvényesül, de az egyik legfontosabb génregulátor. A kalcitriol (amely a D-vitamin szervezeten belül, főként a vesében kialakuló aktív, hormonhatást kifejtő formája) a D-vitamin-receptorhoz kötődve bejut a sejtmagba, és itt különböző génekhez kapcsolódva regulálja a megfelelő hírvivő ribonukleinsav- (mRNS) szintézist, szabályozza a sejtek növekedését és differenciálódását, befolyásolja az immunfunkciókat, az endokrin működést, az inzulin és a renin (a vérnyomás szabályozásában közreműködő enzim) produkciót. Hiánya esetén megnövekszik számos krónikus megbetegedés kialakulásának a kockázata (Holick, 2008). Ilyen kórképek: a szívizom vérrellátási zavarával járó (isémiás) szívbetegség, a magas vérnyomás, a cukorbetegség, az elhízás, a rosszindulatú daganatok, a fehérvérsejtek egyik típusa, a T-sejtek közvetítette autoimmun és allergiás megbetegedések, reumatoid arthritis, szklerózis multiplex, tuberkulózis stb. (Tuohimaa, 2008). Több duplavak, placebokontrollált vizsgálatban mutatták ki a D-vitamin optimális szérumkoncentrációjának preventív szerepét. A D-vitamin szérumszintjének 54 nmol/l-ről 110 nmol/l-re való emelésével 20%-kal lehetne csökkenteni a D-vitamin „szenzitív” krónikus megbetegedések okozta halálozást, és a várható élettartam (life expectancy) két évvel növekedne (Grant, 2011). Bár kétségtelenül megállapítható, hogy a D-vitamin-szint szoros korrelációt mutat számos krónikus megbetegedés fokozott előfordulási gyakoriságával, jelenleg nem áll rendelkezésünkre A-típusú evidencia, a D-vitamin-ke-

zelés hatékonyságának megerősítésére további multicentrikus, kettősvak tanulmányok szükségesek.

A világon egymilliárd embernek elégtelen a D-vitamin-ellátottsága

A D-vitamin megítélése a 20. század elején kedvező volt, hiszen az angolkór (rachitis) problémájának megoldását jelentette. Reputációja az 50-es évektől érdemtelenül romlott, mert kiderült, hogy nagy dózisban toxikus: magas vércalciumszint, aortameszesedés, vesemeszesedés kialakulásáért tették felelőssé. A túlzott napozás, ismételt légzés megnöveli a melanóma, a hámsejtes és a bazálsejtes karcinóma kialakulásának kockázatát. A napozás elleni, harminc éve tartó kampány ellenére nem csökkent a melanóma előfordulása, viszont a napozástól való félelem D-vitaminhiány kialakulásához vezetett. A napfényes órákban gazdag Spanyolországban is a lakosság egyharmadának D-vitamin-hiánya van. Populációs nagyságrendben Magyarországon eddig nem végeztek D-vitamin-szérumszint-méréseket. Ennek ellenére erősen valószínűsíthető, hogy a lakosság jelentős része, főleg télen-tavasszal D-vitamin szempontjából insufficiens vagy deficiens.

Napozástól D-vitamin-intoxikáció nem következik be. Egy kutatócsoport fiatal egyéneket minimális bőrpír eléréséig (fürdőruhában) napoztatott, majd a 12 és 24 óra múlva mért szérumszintet összehasonlították a D-vitamin egyszeri, szájon át bevett (orális) 10 000 és 25 000 nemzetközi egység (NE) bevitelével. Az UV-behatás után mért szint a két orális dózis után mért szint közé esett. Megválaszolandó kérdések: mely napszakban, milyen időtartamú UVB sugárzástól várható maximális kedvező hatás, minimális kockázat mellett (Holick, 2008).

A D-vitamin felfedezésének története

Ókori emberi csontleletek arról tanúskodnak, hogy már időszámításunk előtt az első, illetve második században ismerték a D-vitaminhiány tüneteit. A kórkép szerte a világon előfordult. A betegség pontos leírása azonban csak a 17. században született meg, amikor egyre gyakrabban észlelték, és Anglia délnyugati megyéiben endémiássá vált (angolkór). A 20. században bővültek a diagnosztikus lehetőségek, lehetővé vált az angolkór kórszövettani és radiológiai vizsgálata, és ekkor már egyértelművé vált, hogy az ipari városokban, elsősorban a hátrányos helyzetű gyermekek között alakul ki. 1918-ben May Mellanby öt-nyolchetes kiskutyákat ún. „rachitogén” étrenden tartott. Ekkor már ismerték az A-, a B-, és a C-vitamin hatását. Sem az élesztő (B-vitamin-csoport), sem a narancsdzúsíz (C-vitamin) nem akadályozta meg a csontdeformitások létrejöttét, az A-vitaminban gazdag tökeahalmájolaj, tej, vaj viszont igen. Elmer Verner McCollum és munkatársai mutatták ki, hogy a tökeahalmájolajban két különböző szubsztanciáról van szó: az oxidáció tönkretette a tökeahalmájolaj anti-xerophthalmiás hatását, de az antirachitises hatás megmaradt. Ezt a hőálló, zsíroldékony faktort D-vitaminnak nevezték el. Adolf Windausnak sikerült izolálnia az ergoszterint, ami ilyen formában hatástalan volt az angolkórban, de UV-besugárzást követően terápiásan megfelelővé vált. Az ergoszterin tehát provitamin, aminek UV-besugárzás hatására több származéka keletkezik: ergoszterin → lumiszterin → tachiszterin → szupraszterin I., II. és toxiszterin. Más anyagok vizsgálata során jutottak el a 7-dehidrokoleszterinhez, amelynek besugárzása után értek el a D₃-vitaminhoz. A tökeahalmájolajat a manchesteri Darbey

doktor már korábban alkalmazta reuma kezelésében. 1861-ben Armand Trousseau mondta ki, hogy az angolkórt a napfény hiánya és a helytelen táplálkozás idézi elő, és a tőkehalmájolaj meg tudja gyógyítani. A betegség földrajzi megoszlását Theobald A. Palm tanulmányozta elsőként, és kialakulásának okát napfény hiányával magyarázta. 1919-ben Kurt Huldchinsky – miután értesült arról, hogy Niels Ryberg Finsen TBC-s betegeket napfénnel és mesterséges ultrabolya sugárral (UV) gyógyított – kipróbálta angolkóros gyermekeknél is ezt a terápiát. Az eredmény minden várakozást felülmúlt. Henriette Chick és munkatársai bizonyították, hogy az UV-fény és a tőkehalmájolaj egyaránt hatékony. Megfigyelték a tünetek szezonális előfordulását, és téli hónapokban történő kiújulását. 1930-ra a tej D-vitaminnal történő dúsításával elérték az angolkór eradikációját az USA-ban.

A D-vitamin és a krónikus megbetegedések

A krónikus nem fertőző megbetegedések előidézésében számos kóroki tényezővel kell számolni. Az utóbbi tíz-tizenöt évben megnőtt azoknak a közleményeknek a száma, melyek a D-vitamin lehetséges preventív és terápiás hatását tárgyalják.

Tíz ország huszonhét centrumában történő vizsgálatok (EPIC-study) azt mutatják, hogy nagyok az eltérések a D-vitamin- (retinol, β -carotin, valamint az E-vitamin) bevitel és vele párhuzamosan a krónikus megbetegedések előfordulásában. Tisztázni kell a potenciális etiológiai összefüggést a tápanyagok bevitel és a krónikus megbetegedések között. Az 1. táblázat mutatja a D-vitaminhiánnyal kapcsolatba hozott megbetegedéseket (Tuohimaa, 2008; Grant, 2011).

A D-vitamin klasszikus, kalcium-anyagcserét szabályozó hatása

Jól ismert és általánosan elfogadott a kalciumnak és a foszfornak a homeosztázis fenntartásában játszott szerepe. A D-vitamin növeli a kalcium és a foszfát felszívódását és a csontokba való beépülését. A szérumban kalciumszint csökkenése fokozza a mellékpajzsmirigyben termelődő parathormon (PTH) elválasztását, a PTH kalciumot mobilizál a csontokból, a vesetubulusokban pedig fokozza a kalcium visszaszívódását, serkenti a kalcium felszívódását bélből.

A D-vitamin-hiány és a kardiovaszkuláris megbetegedések

A D-vitamin-hiánnyal összefüggésbe hozható kardiovaszkuláris megbetegedések a következők: magas vérnyomás, metabolikus szindróma, diabetes mellitus, isémiás szívbetegség, szívinfarktus, szívelégtelenség, stroke.

Elégtelen D-vitamin-ellátottság következtében nő a szív és érrendszeri megbetegedések gyakorisága és halálozása. A D-vitamin-hiányos területen előbb gyakrabban a koszorúér-betegség és magas vérnyomás. D-vitaminhiányban a szívizominfarktus kockázata kétszer akkora, mint megfelelő D-vitamin-ellátottság mellett. 2,5 nmol/l D-vitamin-szérumszintváltozással 2,1% szívinfarktus-előfordulási gyakoriság változás érhető el. A hatásmechanizmus feltehetően a simaizomsejtek proliferációja, gyulladás, érfal-kalcifikáció, a renin-angiotenzin rendszer és a vérnyomás közvetítésével valósul meg. Az Egyesült Államokban a Third National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES III) tanulmány során több mint 15 ezer egyénben fordított összefüggést mutattak ki a kardiovaszkuláris rizikófaktorok és a szérumban D-vita-

csont	rachitis, csonttritkulás, csontlágyulás, csonttörés
izomzat	izomelfajulás
hasnyálmirigy	1-es típusú diabetes mellitus, 2-es típusú diabetes mellitus
rosszindulatú daganatok	prosztata, emlő, vastagbél, gyomor, nyelőcső, vese, méh, petefészkek, tüdő, máj, epehólyag
leukémia	myeloid leukémia
autoimmun megbetegedések	reumatikus arthritis, sclerosis multiplex gyulladásos bélbetegségek
szív- és érrendszeri megbetegedések	magas vérnyomás, érelmeszesedés, coronaria betegség, stroke
fertőzések	tuberkulózis, légúti fertőzések
központi idegrendszer	szorongás, szezonális hangulatzavar, skizofrénia, Parkinson-szindróma, Alzheimer-kór
érzékszervek	progresszív hallásvesztés

1. táblázat • D-vitamin-hiánnyal kapcsolatba hozott megbetegedések
(Tuohimaa, 2008; Grant, 2011)

min-szint között. D-vitamin-pótlás jelentős mértékben csökkenti a kockázatot. Az 57 ezer emberre kiterjedő, tizennyolc randomizált kontrollált tanulmány metaanalízise során azt találták, hogy napi 500 NE-t meghaladó D-vitamin-bevitel csökkentette a halálozást, ami elsősorban a kardiovaszkuláris halálozás csökkenésével magyarázható (Martins et al., 2007). Hazánkban a kardiovaszkuláris megbetegedések vezető halálóki tényezőként szerepelnek, ezért ha felmerül a D-vitamin-hiány lehetősége, a megbetegedés kockázatának csökkentése céljából növelni kell a D-vitamin-bevitelt. Csaknem százezer főre kiterjedő (99 745 résztvevő) huszonnyolc vizsgálat alapján készült 6130 közlemény metaanalízise azt mutatta, hogy optimális szérumszintű D-vitamin-szintnél 33–85%-kal kisebb volt a kardiovaszkuláris megbetegedések, a metabolikus szindróma és a 2-es típusú diabetes mellitus kockázata mind férfiakban, mind nőkben (Parker et al., 2009). A D-vitamin-

hiányban kialakuló magasabb PTH-szérumszint ugyancsak kockáztnövelő tényező. A D-vitamin-hiány fokozhatja a lipidcsökkentő kezelés mellékhatásaként fellépő izompanaszokat. A D-vitamin-pótlás javítja a kardiovaszkuláris betegségek kimenetelét, de a terápiás hatást még további multicentrikus kettősvak vizsgálatokkal kell alátámasztani.

D-vitamin és diabetes mellitus

Az utóbbi évtizedekben a cukorbetegség arányú növekedése észlelhető világszerte. 2004–2030-ig 171 millióról 355 millióra való növekedésével számolnak.

Sokan felvetették, hogy a D-vitamin-hiánynak is szerepe lehet a cukorbetegség kialakulásában. A NHANES III. tanulmányban fordított összefüggést mutattak ki a D-vitamin-hiány és a cukorbetegség között. Megfigyelték, hogy D-vitamin-hiányos területeken a cukorbetegség gyakrabban fordul elő, és téli hónapokban, amikor a D-vitamin-

hiány gyakoribb, romlik a 2-es típusú cukorbetegség állapota. A D-vitamin preventív hatására finnországi vizsgálatok hívták fel a figyelmet. 1960-tól 10 600 gyermeknek adtak naponta 2000 NE (50 µg) D-vitamint és harmincegy évig követték őket. Nem volt kalcium-intoxikáció, viszont 78%-kal csökkent az 1-es típusú diabetes mellitus előfordulása (Hyppönen et al., 2001). Nyolc obszervációs vizsgálat metaanalízise megerősítette, hogy a hatás dóziszfüggő, >500 NE D-vitamin bevitelle 13%-kal nagyobb mértékben csökkentette a cukorbetegség kialakulásának a kockázatát, mint <200 NE. Magasabb, >25 ng/ml (52,5 nmol/l) D-vitamin-szérumszintnél 43%-kal kisebb volt a 2-es típusú cukorbetegség kockázata, mint <14 ng/ml (35 nmol/l) szérumszintnél. Tizenegy randomizált kontrollált tanulmány metaanalízise azonban nem bizonyította egyértelműen, hogy a D-vitamin adása javítja az inzulinrezisztenciát. A D-vitamin szerepe kétségtelen, és elegendő adat áll rendelkezésre ahhoz, hogy ki lehessen mondani: a cukorbetegség D-vitamin-szérumszintjét egész éven át 30 ng/ml (75 nmol/l) szinten kell tartani. A terápiás hatás megítéléséhez még további bizonyítékokra van szükség.

A D-vitamin és az elhízás

A D-vitamin-hiány és az elhízás kapcsolata több mint 30 éve ismert, de az oki összefüggés csak az utóbbi években tisztázódott. A D-vitamin- (és a kalcium-) bevitel befolyásolja az energia- és tápanyagbevitelt, az energia felhasználást, és szerepet játszik a testtömeg szabályozásában. A D-vitamin befolyásolja a zsírsejtek képződését és érését, hiánya megnöveli az elhízás kockázatát. Az elhízás megelőzésében a D-vitamin gyulladásgátló hatása is érvényesülhet. Az utóbbi években a zsírszövet, különösen a hasi zsírszövet megnövekedésé-

ben enyhe fokú szisztémás gyulladást mutatnak ki, és úgy tartják, hogy az elhízást alacsony fokú szisztémás gyulladás jellemzi. A D-vitamin pedig befolyásolja számos, a gyulladással kapcsolatos folyamatokban szerepet játszó, bioaktív metabolit termelését. A gyulladással kapcsolatos folyamatok szabályozása – a lokális és szisztémás immunválasz regulációja – csökkentheti az elhízás kockázatát.

Kaliforniában (napfényben gazdag területen) kilencven, tizenhat-huszonkét éves nőben alacsony D-vitamin-szérumszint esetén nagyobb testzsírmennyiséget találtak, mind a bőr alatti, mind a hasi zsírmennyiség megnövekedését észlelték; a testzsír százaléka fordítottan arányos a szérumszinttel. Az NHANES III vizsgálatban: <48,4 nmol/l szérumszintnél szignifikánsan, csaknem kétszer nagyobb volt a metabolikus szindróma kockázata, mint >96,4 nmol/l szintnél (Ford et al., 2004). Nemcsak kórosan elhízottakban, hanem egészséges gyermekekben, serdülőkben és felnőttekben egyaránt, ugyancsak fordított összefüggést találtak szérumszint és a TTI (testtömeg-index) között.

Elhízottakban nagyobb D-vitamin-bevitellel lehet csak optimális D-vitamin-szintet elérni, mert a D-vitamin a zsírszövetben raktározódik, és mind az itt raktározott, mind a bőrben képződött D-vitamin nehezebben jut a keringésbe. Oki összefüggést feltételeznek a D-vitamin-hiány, az emelkedett PTH-szint, az inzulinrezisztencia és a metabolikus szindróma között. A terápiás hatás igazolása azonban még várat magára, mert tizenöt randomizált kontrollált tanulmány metaanalízise nem bizonyította egyértelműen, hogy a D-vitamin nagyobb súlycsökkenést eredményez a fogyókúrában, ha energiamegkorlátozástól kívül D-vitamint is adnak.

A D-vitamin befolyásolja az immunrendszer működését

Az 1800-as évektől a tőkehalhajolajat, majd a napfényterápiát eredményesen alkalmazták a tuberkulózis kezelésében. Azt is feltételezik, hogy a téli hónapokban jelentkező influenza és más légúti fertőzések kialakulása részben a D-vitamin-hiánnyal is összefüggésbe hozható. Napi 2000 NE D-vitamint szedő afro-amerikai nők körében 93%-kal kisebb volt az alsó légúti fertőzések előfordulása (Aloia – Li Ng, 2007). Mind a veleszületett, mind a szerzett immunitás megfelelő működésének feltétele az optimális D-vitamin-ellátottság (Schwalfenberg, 2011), ami mind a vírusok, mind a baktériumok és a gombák okozta fertőzések megelőzésében, illetve társterápiájában eredményes. A D-vitamin immunregulációs hatásának magyarázata az, hogy a D-vitamin-receptor megtalálható a különböző szövetekben, így immunrendszer sejteiben is, és a hidroxiláz enzim jelenléte lehetővé teszi, hogy ezekben a sejtekben aktív D-vitamin képződjön. Hatására megnő az immunválaszt erősítő katelicidin-elválasztás, és befolyásolja a T- és B-limfocitákon keresztül a citokinek és az immunglobulinok termelődését. A katelicidin olyan antibakteriális tulajdonságú fehérje, amely erősíti a makrofágoknak a kórokozókkal szembeni destruktív hatását (Holick, 2008).

Az autoimmun kórképek kialakulásában genetikai és környezeti faktorok egyaránt szerepet játszanak. A D-vitamin-hiány az egyik lehetséges környezeti kockázati tényező. Összefüggést mutattak ki autoimmun betegségek, pl. a sclerosis multiplex (SM), a reumátoid artritisz (RA), a gyulladásos bélbetegségek előfordulása és a földrajzi szélesség, a napfényexpozíció és a D-vitamin-szérumszin-

tek között. Az egyenlítőnél az SM előfordulása 1–2/10⁵ lakos, az 50. szélességi fokon több mint 200/10⁵ lakos. Az SM kialakulásának kockázata (több mint 95 ezer nő vizsgálata szerint) 40%-kal volt kisebb azoknál, akik 400 NE D-vitamin-kezelést kaptak, mint azoknál, akik nem kaptak D-vitamin-pótlást. RA-ban szenvedő betegek 60%-ában a D-vitamin szérumszintje <50 nmol/l alatt volt. D-vitamin immunregulációban játszott szerepe miatt autoimmun betegségekben is szóba jön mint lehetséges terápiás tényező. D-vitamin-hiányos Crohn-betegek életminősége – egyéb rizikótényezőktől függetlenül – rosszabb, mint a megfelelő D-vitamin-státusúaké. Ha megfelelő a terhes anya D-vitamin-szérumszintje, az utódoknál kisebb a légúti allergia kialakulásának kockázata. Úgy tűnik, hogy a D-vitamin méhen belül beprogramozza a T-sejt mediált autoimmun megbetegedésekkel szembeni védelmének kialakulását. Az eredmények azt mutatják, hogy a D-vitamin optimális szérumszintje szükséges a normális immunfunkciók és az immuntolerancia kialakulásában és fenntartásában.

D-vitamin-hiány és daganatos megbetegedések

Hazánkban csaknem minden negyedik embert malignus daganatos megbetegedés miatt veszítjük el. Számos vizsgálatban kimutatták, hogy a D-vitamin gátolja mind a normál, mind a rákos sejtek (mell-, prosztata-, vastagbél-, nyelőcső-, bőr-, agy-tumorsejtek stb.) proliferációját. Szabályozza a sejtek növekedését, osztódását, differenciálódását, az immunvédelmet (*immune defense system*) és a sejtek érési folyamatát. Epidemiológiai vizsgálatok fordított összefüggést mutattak ki kb. húsz tumorfélése (ráksejt-típus) kockázata és a D-vitamin-ellátottság között.

Helsinkiben (Helsinki Heart Study) 19 ezer egyénre kiterjedő vizsgálatban azt találták, hogy <40 nmol/l szérumban D-vitamin-szintnél 1,7-szer, fiataloknál 3,5-ször nagyobb volt a prosztaták kialakulásának kockázata, mint >40 nmol/l szérumszintnél. 622 prosztatatos és 1451 kontrollszemély vizsgálata alapján megállapították, hogy mind a D-vitamin-hiány, mind a magas D-vitamin-szérumszint koncentráció megnöveli a rák kialakulásának kockázatát (Tuohimaa, 2008). A D-vitamin-hiány jelentősen megnöveli a vastagbélrák (a kolorektális karcinóma) kockázatát. A Women's Health Initiative nyolc évig tartó vizsgálata szerint a <30 nmol/l szérumszintnél 253%-kal nagyobb volt a kockázat, mint megfelelő ellátottság esetén (Lenz, 2009). Az 1950-es évektől napjainkig tartó kutatások regisztráltak (*Atlas of Cancer Mortality in the United States*), hogy Amerika délkeleti, napfényes vidékein kevesebb a vastagbél-, az emlő-, a petefészek- és a prosztaták, amit azzal magyaráznak, hogy a napfény hatására képződő D-vitamin csökkenti a rák kialakulásának kockázatát (Grant, 2011).

A kutatók álláspontja egységes abban, hogy további randomizált, kontrollált vizsgálatokkal kell a D-vitamin preventív szerepét bizonyítani, de az eddigi eredmények alapján indokolt D-vitamin-pótlást alkalmazni, mert adásának minimális kockázata az elérhető kedvező hatáshoz képest. A túlzott napozás, ismételt leégés megnöveli a melanóma, a hámsejtes és a bazálsejtes karcinóma kialakulásának kockázatát. Az évtizedek óta tartó napozás elleni kampány ellenére – ahogyan már említettük – nem csökkent a melanóma előfordulása, viszont a napozástól való félelem D-vitamin-hiány kialakulásához vezetett. Igaz, hogy délen több a melanóma, de jobb indulatú, ráadásul a gyerekek, fiatalok és sza-

badban dolgozók között – a nagyobb expozíció ellenére – kevesebb (Holick, 2008).

D-vitamin-beviteli ajánlások

Az utóbbi kb. tíz-tizenöt év tapasztalatai meggyőzően bizonyítják, hogy a D-vitamin-hiány megnöveli számos krónikus megbetegedés kialakulásának kockázatát. Huszonkét centrumban történt, 99 745 egyénre kiterjedő vizsgálat (férfi-nő, különböző etnikumok) metaanalízise azt mutatta, hogy optimális D-vitamin-szérumszint mellett 33%-kal kisebb a kardiovaszkuláris megbetegedések, 55%-kal a 2-es típusú diabetes mellitus, 51%-kal a metabolikus szindróma kockázata, mint hiány esetén (Parker et al., 2010).

Van-e elegendő, evidencián alapuló információ?

A kutatók véleménye ebben a kérdésben nem egységes, végleges eldöntéséhez további multicentrikus, duplajak placebokontrollált vizsgálatok végzését tartják szükségesnek. Abban azonban nincs véleménykülönbség, hogy a D-vitamin szupplementáció valószínűleg nem jelentene akkora veszélyt, mint amekkora haszna lenne.

A D-vitamin-ellátottsággal kapcsolatban több kérdés vetődik fel:

- milyen az optimális D-vitamin-szérumszint koncentráció?
- milyen a megfelelő bevitel (dózis), hogy optimális legyen a szérumban D-vitamin-szint? (Jelenleg 10 µg/nap illetve 5 µg/nap a magyar ajánlás.)
- milyen a biztonságos D-vitamin-bevitel? <20 nmol/l D-vitamin-szérumszintnél gyakori volt a rachitis. Ennek kivédésére napi 200–400 NE elegendőnek bizonyult, ezért feltételezték, hogy ez adekvát. A krónikus betegségek megelőzése céljából azonban nagyobb bevi-

telre van szükség. 400 NE/nap még a csontanyagcsere-hatás szempontjából is kevés, ugyanis bebizonyosodott, hogy 75–80 nmol/l D-vitamin-szérumszintnél felére csökken a csonttörések száma, és javul az izomerő. Ilyen szint elérésére 800–1000 NE (20–25 µg) /nap bevitelére van szükség.

Az optimális sérumszint, melyet megelőzőnek tartanak a krónikus megbetegedések megelőzésére: 75–100 nmol/l. Ennek elérésére a minimális bevitel 17,5–25 µg/nap; a kétféle forrás nehezíti a meghatározást (Holick, 2008; Mosekilde, 2008).

Az amerikai Institute of Medicine of the National Academies (IOM) tizenöt főből álló szakértői testülete több mint ezer közlemény alapján (két különvélemény mellett) arra a következtetésre jutott, hogy csak a csontanyagcsere-hatás alapszik teljes értékű, azaz „A” szintű bizonyítékokon. Az egyéb szervek és élettani folyamatokra való hatás további bizonyításra szorul. Ennek ellenére növelték a beviteli ajánlást. Az ajánlott napi D-vitamin beviteli értéket a korábbi 10 µg-ról (400 NE), 15 µg-ra (600 NE) emelték, hetvenegy év felett 20 µg-ra (800 NE). A biztonságos bevített 25 µg-ban (1000 NE) állapították meg. A tolerálható érték felső határát 25–100 µg-ban

(1000–4000 NE) maximálták, egy-három éves korban 62,5 µg (2500 NE), négy-nyolc év között 75 µg (3000 NE), kilencéves kor fölött egységesen 100 µg-ban (4000 NE). (Ross et al., 2011) Számos szerző kritizálja az IOM álláspontját (Grant, 2011) amely élesen eltér a huszonöt főből álló nemzetközi D-vitamin-szakértői testület 2009-ben, illetve egy évvel később megfogalmazott álláspontjától, mely szerint 75–100 nmol/l D-vitamin-szérumszint elérése a cél (Souberbielle et al., 2010).

Epidemiológiai vizsgálatok bizonyítják, hogy az adekvát D-vitamin-ellátottság védelmet jelent a mellrák, a prosztatarák, a vastagbélrák, a kardiovaszkuláris megbetegedések és a metabolikus szindróma kifejlődésével szemben, jobb fizikai erőnlétet biztosít. Egészséges életmóddal és egészséges (D-vitamint bőségesen tartalmazó) táplálkozással, a dél-előtti vagy a délutáni órákban történő észszerű napozással, a téli hónapokban D-vitamin-szupplementációval kivédhetők a D-vitamin-hiány hosszú távú káros következményei.

Kulcsszavak: *napfény, táplálkozás, D-vitamin-szenzitív krónikus betegségek, D-vitamin-szükséglet, D-vitamin-hiány*

IRODALOM

(Az összes hivatkozással kiegészített cikk és a teljes irodalomjegyzék megtalálható a szerzőknél [barna.mariar@gmail.com] és a folyóirat honlapján)

Aloia, John F. – Li-Ng, Melissa (2007): Re: Epidemic Influenza and Vitamin D. *Epidemiology and Infection*. 12, 1–4. (*Epub ahead of print*) • <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2870688/?tool=pubmed>

Bíró Lajos – Szeitz-Szabó M. – Bíró Gy. et al. (2011): Dietary Survey in Hungary. *Acta Alimentaria*. 40, 301–312.

Bischoff-Ferrari, Heike A. – Giovannucci, E. – Willett, W. C. et al. (2006): Estimation of Optimal Serum

Concentrations of 25-Hydroxyvitamin D for Multiple Health Outcomes. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 84, 18–28. • <http://www.ajcn.org/content/84/1/18.full>

Ford, Earl S. – Giles, W. H. – Mokdad, A. H. (2004): Increasing Prevalence of the Metabolic Syndrome among U.S. Adults. *Diabetes Care*. 27, 2444–2449. • <http://care.diabetesjournals.org/content/27/10/2444.long>

Grant, William B. (2011): An Estimate of the Global Reduction in Mortality Rates through Doubling Vitamin D Level. *European Journal of Clinical Nutrition*. 65, 1016–1026. DOI:10.1038/ejcn.2011.68

- Holick, Michael F. (2008): Vitamin D: Lightful Health Perspective. *Nutr. Rev.* 66, S1 82–194. DOI: 10.1111/j.1753-4887.2008.00104.x
- Hyppönen, Elina – Läärä, E. – Reunanen, A. et al. (2001): Intake Vitamin D and Risk of Type 1 Diabetes: Birth-Cohort Study. *The Lancet*. 358, 9292, 1500–1503. • <http://intraspac.ca/VitDType1Diabetes.pdf>
- Lenz, Thomas L. (2009): Vitamin D Supplementation and Cancer Prevention. *American Journal of Lifestyle Medicine*. 3, 365–368. • <http://www.medscape.com/viewarticle/712529>
- Martins, David – Wolf, M. – Pan, D. et al. (2007): Prevalence of Cardiovascular Risk Factors and the Serum Levels of 25-Hydroxyvitamin D in the United States: Data from the Third National Health and Nutritional Survey. *Acta Intern Med.* 167, 1159–1165. • <http://archinte.ama-assn.org/cgi/repint/167/11/1159>
- Mosekilde, Leif (2008): Vitamin D Requirement and Setting Recommendation Levels: Long-Term Perspectives. *Nutrition Reviews*. 66, S2, S170–177. • <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1753-4887.2008.00103.x/full>
- Parker, Johanna – Hashimi, O. – Dutton, D. et al. (2010): Levels of Vitamin D and Cardiometabolic Disorders: Systematic Review and Meta-Analysis. *Maturitas*. 65, 225–236. DOI:10.1016/j.maturitas.2009.12.013
- Ross, A. Catharine – Manson, J. E. – Abrams, S. A. et al. (2011): The 2011 Report on Dietary Reference Intakes for Calcium and Vitamin D from the Institute of Medicine: What Clinicians Need to Know. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*. 96, 53–58. DOI:10.1210/jc.2010-2704 • <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3046611/?tool=pubmed>
- Souberbielle, Jean-Claude – Body, J. J. – Lappe, J. M. et al. (2010): Vitamin D and Musculoskeletal Health, Cardiovascular Disease, Autoimmunity and Cancer: Recommendations for Clinical Practice. *Autoimmun Reviews*. 9, 709–715. DOI:10.1016/j.autrev.2010.06.009,
- Schwalfenberg, Gerry K. (2011): A Review of the Critical Role of Vitamin D in the Functioning of the Immune System and Clinical Implications Vitamin D Deficiency. *Molecular Nutrition & Food Research*. 55, 96–108. DOI:10.1002/mnfr.201000174 • <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mnfr.201000174/full>
- Szeitz-Szabó Mária – Bíró L. – Bíró Gy. et al. (2011): Dietary Survey in Hungary, 2009. Part I. Macronutrients, Alcohol, Caffeine, Fibre. *Acta Alimentaria*. 40, 1, 142–152.
- Tuohimaa, Pentti (2008): Vitamin D, Aging, and Cancer. *Nutrition Reviews*. 66, S147–S152. DOI: 10.1111/j.1753-4887.2008.00095.x • <http://www.encycognitive.com/files/Vitamin%20D,%20aging,%20and%20cancer.pdf>



ZEOLITOK ÉS ZEOLITSZERŰ MEZOPÓRUSOS ANYAGOK

Hannus István

az MTA doktora, egyetemi tanár,
Szegedi Tudományegyetem Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszék
hannus@chem.u-szeged.hu

In memoriam Kiricsi Imre

A zeolitok mikropórusos anyagok néhány tized nm-es pórusátmérővel, ami az egyszerű molekulák átmérőjének felel meg. Kis csúsztatással azt mondhatjuk, hogy a zeolittal foglalkozók már akkor is nanotechnológiát csináltak, amikor az még nem volt ilyen népszerű hívószó, mint napjainkban. A csúsztatás abban áll, hogy a mai nanotudományok 1–100 nm tartományra vonatkoznak és nem az 1 nm alattira. Ezért is folyik komoly kutatómunka olyan mezopórusos anyagok szintézisére, amelyekbe nagyobb szerves molekulák, például gyógyszerek is beférnek. Az 1. táblázat a pórusos anyagok méret szerinti csoportosítását mutatja.

Történet

A „zeolit-sztori” 1756-ban kezdődött, amikor Axel Frederik Cronstedt svéd geológus szépen formált kristályokat gyűjtött Svédország északi részének egy rézbányájában. Az új ásványcsaládot *zeolitnak*, magyarul *forró kőnek* nevezte el a szavak görög megfelelője alapján. Azt tapasztalta ugyanis, hogy ezek a kővek lángba téve megduzzadtak, megolvadás előtt pedig felhabzottak.

A zeolitok kezdetben mint a bazaltképződmények üregeiben, réseiben előforduló ásványi ritkaságok keltették fel a geológusok figyelmét. A tetszetős kristályok az ásványgyűjtők és a múzeumok becses darabjai lettek. Mindössze ennyiből állt a szerepük közel kétszáz évig. A 20. század első harmadában vegyészek kezdték tulajdonságaikat tanulmányozni. Észrevették ugyanis a dehidratált kristályok szelektív adszorpciós képességét, ekkor született a *molekulaszűrő* elnevezés is.

Az úttörő tudományos munka Richard M. Barrer nevéhez fűződik, aki az 1940-es években, Angliában dehidratált ásványi kabazitral igazolta a korábbi feltevéseket, bizonyítva ioncserélő és molekulaszűrő tulajdonságukat. A bazaltüregekből azonban igen kevés zeolit került elő, ipari felhasználásra gondolni sem lehetett. Mesterséges előállításukkal viszont egyre több vegyész kísérletezett.

1949-ben, az USA-ban, a Union Carbide Co. (azóta is a legnagyobb zeolitgyártó cég) Linde Osztálya valósította meg az első zeolit-szintézist. Korábban valamelyik ismert tulajdonságú zeolitásványt (pl. a kabazitot) próbálták előállítani, sikertelenül. Kaptak viszont egy új típusú zeolitot, amelyről kiderült, hogy adszorpciós és molekulaszűrő tulajdonságai jobbak, mint a kabazité. Linde A típusnévvel

pórusméret (nm)	anyagok	tipikus képviselő	gyűrű tagszám	pórusátmérő (nm)
50 <	makropórusos			
2–50	mezopórusos	MCM-41		$1,5 \times 10$
2>	mikropórusos			
	ultranagy pórusú	kloverit	20	$0,6 \times 1,32$
		VPI-5	18	1,21
		AIPO ₄ -8	14	$0,79 \times 0,87$
	nagy pórusú	faujasit	12	0,74
		AIPO ₄ -5	12	0,73
		ZSM-12	12	$0,55 \times 0,59$
	közepes pórusú	ZSM-48	10	$0,53 \times 0,56$
		ZSM-5	10	$0,53 \times 0,56$
				$0,51 \times 0,55$
	kis pórusú	CaA	8	0,42
		SAPO-34	8	0,43

1. táblázat • Zeolitok és zeolitszerű anyagok csoportosítása pórusméretük alapján

1954-ben került forgalomba, s ma is az egyik legfontosabb szintetikus molekulaszűrő. (A különféle zeolitok az A, X, Y stb. típusjeleket kapták, amit ma is használunk annak ellenére, hogy az International Zeolite Association által kidolgozott egységes nevezéktanban minden zeolitot három betűvel jelölnek. Az A zeolit LTA, az X,Y zeolit jele pedig FAU.)

Az 1950-es évek vége különös fordulatot hozott: új típusú zeolit-előfordulásokat fedeztek fel a világ különböző pontjain, főleg a tavi és tengeri környezetben levő tufás kőzetekben. Ugyanebben az időben kezdtek amerikai geológusok tufás üledékeket és átalakult vulkáni hamukat röntgendiffrakciós technikával vizsgálni. Az eredmény meglepő volt. A finomszemcsés, átalakult üvegnek tetsző anyagról kiderült, hogy 90%-a zeolit. Így az eddig ritka ásványként ismert zeolitnak több millió tonnás mennyiségét fedezték fel 1957-ben.

Ekkor érdekes helyzet alakult ki: a vegyészek szorgalmasan szintetizálták a zeolitokat és keresték ipari hasznosításuk lehetőségeit, a geológusok pedig rájöttek arra, hogy sokféle, bányászható mennyiségű zeolit található a természetben is. Mindkét csoport figyelemmel kísérte a másik működését, és a kölcsönhatás eredményeként a zeolitkutatás nagyobb sebességre kapcsolt. A geológusok tapasztalták, hogy a zeolitok nemcsak a tufás, üledékes kőzetek eredetének megfejtéséhez nyújtanak segítséget, hanem önmagukban is hasznosak. A kémikusok meg olyan, aránylag olcsó természetes anyagot találtak, amelyekből ipari feladatok megoldására alkalmas zeolitok állíthatók elő.

Ma mesterséges zeolitot gyártani jövedelmező üzlet, de emellett természetes zeolitokból is évi több százezer tonnát bányásznak a világon. Nem helyettesítik, inkább kiegészítik

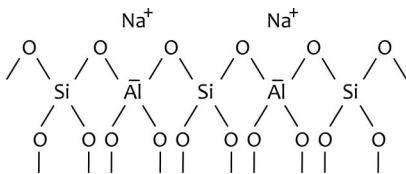
egymást. A természetes zeolitok olcsóbbak, de nem tisztán fordulnak elő, mindig található mellettük kísérő kőzetként több-kevesebb kvarc, földpát és különböző agyagásványok. Ezért például katalizátorként kevésbé jönnek szóba, de kiválóan megfelelnek adszorbensként különböző környezetvédelmi célokra. Széles körű a mezőgazdasági hasznosításuk is, például takarmányadalékként vagy talajjavítóként.

A szintetikus zeolitok viszont katalizátorként tettek szert nagy jelentőségre a petrokkémiai iparban szokatlanul nagy katalitikus aktivitásuk és szelektivitásuk révén. Egyes vélemények szerint a vegyipar fejlődésére gyakorolt hatásuk vetekszik a Haber–Bosch-ammoniaszintézis hatásával.

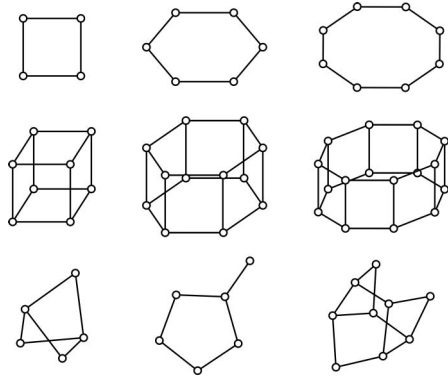
Összetétel, szerkezet

A zeolitok kristályos alkáli- és/vagy alkáliföldfém-alumínium-hidroszilikátok. Háromdimenziós vázuk alapjai szilícium központú SiO_4 tetraéderek, amelyeket izomorf módon AlO_4 tetraéderek helyettesíthetnek a rácsban. A tetraéderek egymáshoz közös oxigénatomokon keresztül kapcsolódnak. A három vegyértékű Al-ot tartalmazó tetraédereknek egy negatív töltése van, és ezt semlegesítik a pozitív töltésű fémionok, amint az 1. ábra síkbeli rajzán látható.

A zeolitok szerkezete a rácsot felépítő legkisebb ismétlődő egység, az elemi cella összetételével fejezhető ki: $M_{x/n}[(\text{AlO}_2)_y]$



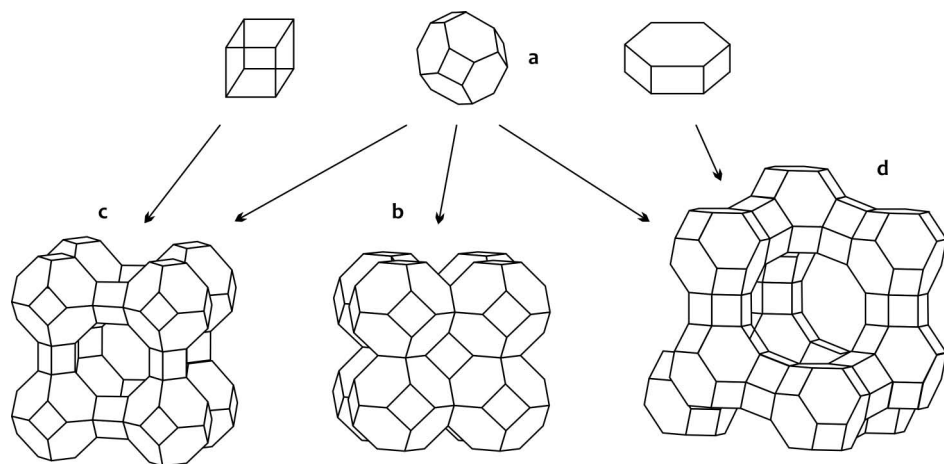
1. ábra • A zeolitok síkbeli szerkezete



2. ábra • A zeolitok másodlagos építőelemei

$x(\text{SiO}_2)_y] w\text{H}_2\text{O}$, ahol az M kation n vegyértékű, w a vízmolekulák száma, $(y+x)$ a tetraéderek száma az elemi cellában. Az y/x , azaz a Si/Al arány a zeolitok fontos jellemzője, amely 1-től gyakorlatilag végtelenig változhat, például a zeolitszerkezetű szilakalitok gyakorlatilag nem tartalmaznak Al-ot. Az 1:1 arány elvi alsó határ, mivel a zeolitokban az AlO_4 tetraéderek közvetlenül nem kapcsolódhatnak egymáshoz, csak SiO_4 tetraéderen keresztül. A tetraéderek összekapcsolódásával jönnek létre a zeolitok ún. másodlagos építőelemei (2. ábra).

A térbeli kapcsolódás úgy jön létre, hogy a zeolitok kristályrácsa csatornákat és üregeket tartalmaz, és ezekben található a hidrátált töltéskompenzáló kationok és a vízmolekulák. Több zeolit építőeleme a 3. ábrán látható köbokaéder, amelyet 6 négyzetlap és 8 hatszöglap határol. (Ebben az ábrázolásban a csúcsok jelentik a Si, illetve Al-ionokat, míg az élek közepén vannak az oxigének.) A köbokaéderek közvetlenül is összekapcsolódhatnak négyzetlapjaikon keresztül, ekkor kapjuk a hidroxiszodalitot (3.b. ábra), amelynek nincs nagy gyakorlati jelentősége, mivel a szerkezet szűk pórusaiba (bejáratuk négytagú gyűrűkből áll) a víznél nagyobb molekulák nem



3. ábra • Több zeolit közös építőeleme a köboktaéder (a), és összekapcsolódásuk hidroxiszodalittá (b), valamint A típusú (c), illetve faujazit típusú (X,Y) zeolittá (d).

férnek be. Az A típusú zeolitokban a kapcsolódás egy kocka közbeiktatásával történik, ugyancsak a négyzetlapokon keresztül (3.c. ábra). Ezáltal a pórusméret is nagyobb (a nyolctagú gyűrűk átmérője 0,4 nm), az ioncserhelyzetben lévő kationok minőségétől függően. A faujazit típusok még nagyobb pórusméretűek, mivel bennük a kapcsolódás a hatszöglapok mentén történik (3.d. ábra), ezáltal 12 tagú gyűrűkből álló pórusbejárat jön létre, amelyen keresztül a 0,8 nm kinetikus átmérőjű molekulák is beférnek a pórusokba. A közrezárt belső üreg átmérője 1,3 nm.

A kationok mozgékonyak és más kationra cserélhetők. Ez az alapja a zeolitok *ioncserélőként* való hasznosításának.

A kristályközi víz sok zeolitból melegítéssel folyamatosan és reverzibilisen eltávolítható, miáltal szabaddá válnak a molekuláris méretű üregek és pórusok, lehetővé téve idegen molekulák befogadását. Ez az alapja a szelektív *adszorbenként* való alkalmazásnak.

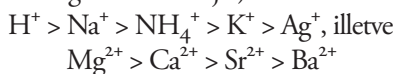
Az előző két tulajdonság kombinálásával pedig változatos összetételű és tulajdonságú,

a petrokémiában, gyógyszeriparban, finomvegyszergyártásban és környezetvédelemben alkalmazható *katalizátorok* állíthatók elő (B. Nagy et al., 1998).

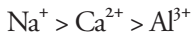
Ioncsere

Ha az ioncserélő anyag olyan elektrolittal érintkezik, amely az ioncserélő saját ionjaitól eltérő ionokat is tartalmaz, akkor az illető ionok közötti versengés eredményeképpen a rendszerben *ioncsere*-reakció játszódik le.

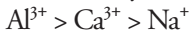
Az, hogy az egyensúly milyen irányban és mértékben tolódik el, az azonos értékű ionok esetén elsősorban az illető ionok minőségétől függ. Az ionok megkötődésének erőssége a *liotrop sort* (a kationcsere adszorpcióerősségének sorrendjét) követi:



Ha az egymással versengő ionok különböző értékűek, akkor döntő szerepe van az oldat koncentrációjának. Tömény oldatokban az egyértékű ionok kötődési hajlama a legnagyobb:



Híg oldatokban a helyzet fordított:



A vízlágyításnál például az előbbi két szabályszerűség igen nagy jelentőségű. A természetes vizek ugyanis meglehetősen híg elektrolitok, ezért a Ca^{2+} - és Mg^{2+} -ionok megkötődése a rendszerint Na-formájú ioncserélőn kedvezményezett. A regenerálást viszont tömény NaCl oldattal lehet elvégezni.

A zeolitok mint ioncserélők

Radioaktív vizek kezelése • Az atomreaktorok működtetése során a hűtővizekben a ^{137}Cs és a ^{90}Sr mennyisége szaporodhat fel, megkötésük és eltávolításuk ioncserélőkkel történik. Az így koncentrált radioaktív hulladékot betonba ágyazva tárolják. Ha zeolitokkal végzik az ioncserét, akkor később a betonból való kioldódás veszélye sokkal kisebb egy alumínium-szilikát (zeolit) esetén, mint szerves ioncserélő műgyantát használva (Dyer, 1988).

A Csernobilban történt katasztrófa után nagy mennyiségben használták fel a Kárpát-alján bányászott természetes zeolitot hasonló mentesítésre.

Vízlágyítás • Ismeretes a vizek keménységét okozó Ca^{2+} - és Mg^{2+} -ionok káros hatása. Az ilyen vizet forralva oldhatatlan karbonátok válnak ki, és az edény falán vízkő formájában lerakódnak. Ez káros azért, mert a vízkő rosszul vezeti a hőt, tehát az ilyen edényben a víz felmelegítéséhez több energia kell, ami manapság egyáltalán nem közömbös. De ennél nagyobb baj is keletkezhet. A karbonátok hőtágulása más, mint az edény (például gőzkazán) falát alkotó fémé, ezért a vízkőréteg időnként megreped, és a víz a túlhevült fallal érintkezve hirtelen gőzzé alakul. Ha ez nagyobb területen következik be egyszerre, akkor kázánrobbanáshoz is vezethet.

A mosószerek használata a másik terület, ahol a vizek keménysége káros. A mosószerek aktív komponensei hosszú alkalláncú savak alkálisói, így vízben oldódnak. A hagyományos szappan, melyet dédanyáink még állati zsíradékok lúgos főzésével készítettek, 16 vagy 18 szénatomos karbonsavak nátriumsói. A szintetikus mosószereket általában szénhidrogének szulfonálásával állítják elő, majd ennek képezik a nátriumsóját.

A vízben lévő Ca^{2+} - és Mg^{2+} -ionok a mosószerek aktív komponensével oldhatatlan sót képeznek, így azok nem tudják kifejteni tisztító (emulgeáló) hatásukat. Ez a folyamat addig tart, amíg az összes Ca^{2+} - és Mg^{2+} -ion el nem fogy, tehát a kemény víz többlet-mosószert fogyasztást eredményez. (A mosóporos dobozon lévő használati utasítás szerint is figyelembe kell vennünk a víz keménységét az adagolásnál.)

Hogyan távolíthatók el a vízből a keménységet okozó Ca^{2+} - és Mg^{2+} -ionok, azaz hogyan történik a *vízlágyítás*?

Az ipari vizek lágyításának legolcsóbb módja a kicsapásos eljárás. Meszet ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) és szódát (Na_2CO_3) adva a lágyítandó vízhez a keménységet okozó ionok rosszul oldódó karbonátok alakjában kicsapódnak, és szűrővel eltávolíthatók. A módszer előnye, hogy nagy mennyiségű vizet lehet olcsón lágyítani, hátránya, hogy a karbonátok oldhatóságának megfelelő Ca^{2+} - és Mg^{2+} -ion marad a vízben.

Tökéletes lágyítás, akár ionmentes víz is ioncserével érhető el. A vízlágyításra használt első ioncserélők a permutitok voltak. Ezek amorf Na-Al-szilikátok, amelyek Na^+ -tartalmukat cserélik ki Ca^{2+} - és Mg^{2+} -ionokra. Ezeket a hatékonyabb műgyanták váltották fel, amelyek szerves polimerek, szénláncukon kation-, illetve anioncserélő aktív csoportokkal. Lágyításhoz általában elég a nátriumfor-

ma alkalmazása, de ivóvíznél szükséges lehet az anionok eltávolítása is például nagy nitrát-szennyezettségű vizeknél. Teljesen ionmentes víz pedig úgy állítható elő, ha hidrogénformájú és hidroxidformájú gyantán egyaránt átengedjük a vizet, amikor is a kationok helyett H^+ -ion, az anionok helyett OH^- -ion kerül a vízbe, és a kettő közömbösítve egymást ugyancsak vizet eredményez.

Az ioncserélő műgyanták használata vízlágyítás céljára hatásos, de drága módszer, ezért általában úgy járnak el, hogy a meszesződés eljárással előlágyított vizet vizsik ioncserélő oszlopokra.

A harmadik, széles körben használatos vízlágyítási módszer nem távolítja el a vízből a keménységet okozó ionokat, hanem komplexbe viszi, és így a vízben maradnak ugyan, de nem tudják káros hatásukat kifejteni. A II. világháború után terjedt el a nátrium-tripolifoszfát ($Na_5P_3O_{10}$) mint komplexképző használata. Ilyen foszfátadalék volt a Szolnokon gyártott TOMI mosóporokban is.

A 80-as évekre egyértelművé vált, hogy a természetes állóvizek, így a Balaton algásodásáért (eutrofizáció) is elsősorban a foszforszennyezés a felelős, ami műtrágyákból és nem utolsósorban a mosószerkekből kerül a vízbe. Az az ellentmondásos helyzet alakult ki, hogy az egyébként hatékony tisztítószerkeket komoly környezetszennyezők.

Mivel lehet helyettesíteni a foszfátokat? Nem komplexképző, hanem ioncserélő adalékanyagokat kell tenni a mosóporokba a keménységet okozó ionok eltávolítására. Az Egyesült Államokban és Nyugat-Európában ma már több százezer tonna zeolitot használnak mosóporadalékként. Néhány éve a nyugati mosóporok hazai áradatának egyik oka volt, hogy a szigorúbb előírások szerint Nyugat-Európában már csak foszfátmentes árut

forgalmazhattak, a magyar piac pedig még nyitva állt a környezetszennyező, de egyébként kiváló minőségű termékek előtt. A nagy cégek ezt agresszív reklámhadjáratokkal is használták. Ma már a Henkel által megvásárolt szolnoki gyár is zeolitos mosóport gyárt.

Fenti célra a már említett A típusú zeolit Na-formájának használata terjedt el, mivel tömegegységre vonatkoztatva ennek a legnagyobb az ioncsere-kapacitása. A zeolit a mosópor részeként a vízbe szórva gyorsan kicseréli a keménységet okozó ionokat Na^+ -ionokra, és így biztosítja a mosószer hatékonyságát.

Alapos vizsgálatok bizonyítják, hogy sem használatkor, sem utána a környezetre nem fejt ki káros hatást. A természetes vizekbe jutva alumínium-szilikátként fokozatosan a talaj részévé válik, mivel alkotórészei a földkéregben legnagyobb mennyiségben előforduló elemek.

Az eddig ismertetett előnyös tulajdonságai ellenére a NaA zeolit nem tudja tökéletesen helyettesíteni a foszfátadalékokat. A Ca^{2+} ionmegkötő képessége kiváló, de a Mg^{2+} -ionokat kinetikai okok miatt egy mosás ideje alatt nem tudja tökéletesen eltávolítani. Ennek döntően az az oka, hogy a Mg^{2+} -ion kisebb ugyan, mint a Ca^{2+} -ion, de hidrátburka nagyobb és erősebben kötött, ezért diffúziója az A zeolit pórusaiban lassúbb. Ezen a problémán más típusú, például NaX zeolit hozzáadásával lehet segíteni.

A mosás utáni öblítés során jelentkezik egy másik gond. Az ugyanis, hogy az A zeolit köbös, kocka alakú, szabályos kristályai a határozott élek és csúcsok miatt könnyen megtapadnak a textíliák szálain, nehezen távolíthatók el, és mechanikailag is ronszolják az elemi szálakat. Ezt azonban sikerült a szintézis során bevezetett módosításokkal úgy megoldani, hogy levágott élű és csúcsú kris-

tályok keletkezzenek, amelyek már nehézség nélkül kiöblíthetők a ruhából.

Mezőgazdasági hasznosítás • A természetes zeolitok keletkezésük során sokféle fémiont kötöttek meg ioncsere-pozícióban, azaz nagy a nyomelemtartalmuk. Ezen tulajdonságuk az alapja annak, hogy a nagy bányászható készletekkel rendelkező országokban (USA, Japán, Kuba stb.) talajjavítóként, illetve állati takarmányok adalékanyagaként is széles körben használják (Dyer, 1988). Magyarországon is folytak néhány éve biztató, nagyüzemi kísérletek ezen a téren (Hlavay, 1987). A mezőgazdaság átalakulásával ezek abbamaradtak, és ma csak a kisállattenyésztők találkoznak zeolit alapú termékekkel.

Módosítás ioncserével • A zeolitok katalitikus tulajdonságait, illetve pórusméretét és ezzel adszorpciós sajátosságait is nagymértékben lehet változtatni különböző tulajdonságú és méretű ionok becserélésével. Ez azonban már a következő fejezet témája.

Szárítás, adszorpciós tisztítás és elválasztás

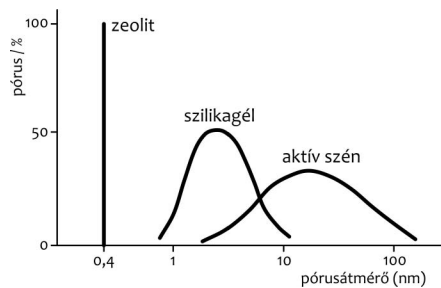
A zeolitok egyik legfontosabb tulajdonsága, hogy a vázukat alkotó AlO_4 és SiO_4 tetraéderek térbeli kapcsolódása úgy jön létre, hogy a zeolitok kristályrácsa csatornákat és üregeket tartalmaz, amelyeket a természetbeni keletkezés és a mesterséges előállítás során egyaránt vízmolekulák töltene ki. Ha a zeolitokat 300–400 °C-ra melegítve a vizet eltávolítjuk (aktiválás), több száz m^2/g felületű szelektív adszorbenshez jutunk. Az egyedülálló szelektivitás annak köszönhető, hogy egy típusú zeolitra csak egyfajta pórusméret jellemző, ellentétben más, klasszikus adszorbensekkel (például szilikagél, aktív szén), amelyekre széles pórusméret-eloszlás jellemző.

4. ábra a NaA zeolit pórusméret-eloszlását mutatja a szilikagéllal és aktív szénnel

történő összehasonlításban, logaritmikus skálán (Dyer, 1988). Az ábra azt illusztrálja, hogy ebben a zeolitban minden pórus azonos, 4 Å-höz közeli (0,4 nm) méretű (ezért nevezik 4A zeolitnak), míg a más típusú adszorbensekben a pórusok mérete széles határok között változik.

Ebből adódik a zeolitok szelektív adszorpciósi képessége, az ún. *molekulaszűrés*, ugyanis az a molekula, amelyik befér az adott zeolit pórusába, ott adszorbeálódik, amelyik nem, az pedig áthalad az adszorbens szemcsék között az oszlopon.

A molekulák mérete alapján egy adott elválasztási feladathoz kiválasztható a megfelelő zeolit. Például a kálium-A zeolit, (3A molekulaszűrő) segítségével szinte minden gáz vízteleníthető, szárítható, mert molekuláik nem férnek be a zeolit pórusaiba, így csak a víz kötődik meg. Különböző, zeolitartalmú patronokat használnak a hűtőszekrények hűtőfolyadékának, a járművek fékrendszerének, légkondicionáló berendezések zárt cirkulációs körében és transzformátorolajoknál az esetleg bekerülő víz megkötésére. Zeolitokat használnak szárító anyagként dupla falú ablakoknál is, ahol a két légmentesen összeragasztott üveg közé különböző gázokat, például argont tesznek a hő- és hangszigetelés javítására. A növekvő energiaárak mellett az



4. ábra • A pórusok méreteloszlása különböző adszorbensek esetében

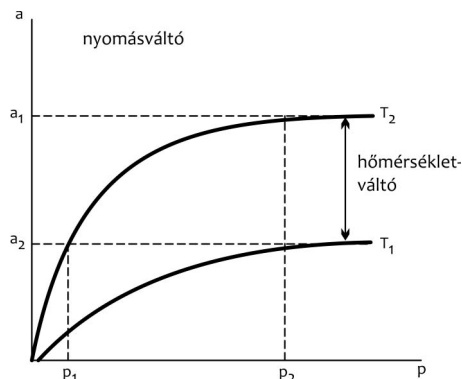
ablakok hőszigetelése egyre fontosabb, így az itt használt zeolitok iránti igény is nő.

Nagyobb léptékű szárításnál, például hidrogén- vagy oxigéngázáramok esetében golyókká vagy kis hengerekké formázott zeolitot használnak. Ezek a dinamikus műveletek folyamatos regenerálást is feltételeznek. Az 5. ábrán két jellegzetes adszorpciós izoterma látható, amelyeken az egyensúlyi nyomás függvényében az adszorbens tömegegysége által megkötött anyagmennyiséget tüntettük fel. Látszik, hogy az adszorpciós-deszorpciós ciklus végbemenetelének egyik lehetősége az, hogy alacsonyabb T_2 hőmérsékleten történik az adszorpció, míg magasabb T_1 hőmérsékleten a deszorpció. A másik lehetőség azonos hőmérsékleten, de különböző nyomáson végezni az ad-, illetve deszorpciót. A fűtő-hűtő ciklus neve hőmérsékletváltó (*thermal swing*), míg a nyomás csökkentésével regeneráló nyomásváltó (*pressure swing*) eljárás.

Van egy harmadik lehetőség is: inert leszorító gáz alkalmazása. Ezt a módszert általában a hőmérsékletváltó eljárással kombinálva alkalmazzák.

Mind a 3A, mind a 4A zeolitot világszerte használják csepfolyósított propán, halogénezett szénhidrogének és földgáz szárítására. A 3A alkalmasabb olefineket (etilén, propilén) tartalmazó krakkgázok és más olajfinomítói gázáramok szárítására, mint a 4A, mert utóbbi pórusaiba ezek a kis szénatomszámú olefinnek beférnek és megkötődnek. A 4A nagyobb szénatomszámú szénhidrogének, benzol, alkoholok szárítására használatos, és akkor, ha a vízzel együtt szén-dioxidot is el kell távolítani, például a földgázból.

Legismertebb a földgáz tisztítása 4A zeolittal, amely magában foglalja a H_2S eltávolítását is. Ez nagyon fontos környezetvédelmi szempontból. Amikor a megszokottnál na-



5. ábra • Adszorpciós izotermák a regenerálási lehetőségek bemutatásával

gyobb kén- vagy nitrogéntartalmú molekulát kell adszorpcióval eltávolítani, akkor a nagyobb pórusméretű 13X zeolitot használják.

A szárítás mellett a kén-dioxid és a nitrogén-oxidok megkötésére a magyar természetes zeolitok, a mordenit és klinoptilolit is alkalmas.

Zeolitokkal megvalósítható klasszikus feladat a normál és izoparaffinok szétválasztása. Bizonyos célokra, például benzinek oktánszámának javítására az elágazó, más célokra, pl. mosószergyártásra az egyenes láncú szénhidrogének a kívánatosak, ezek könnyebben elbonthatók (miután évszázadokon át az állati zsíradékok lúgos hidrolízisével főzött szappanokban lévő palmitin- és sztearinsav fogyasztásához szoktak hozzá a természetes vizekben található mikroorganizmusok.)

A hosszabb normál szénhidrogének kinetikus átmérője a propánéhoz (0,43 nm) hasonló, míg a legegyszerűbb elágazó szénhidrogén, az izobután is jelentősen nagyobb méretű (0,50 nm). A CaA zeolit pórusmérete a kettő közé esik, így elválasztásukra kitűnően felhasználható.

A kerozinból mosószertipari célokra a normál szénhidrogéneket 350 °C-on kinyerő el-

járás első, adszorpciós lépésében a normál paraffinok megkötődnek, míg az elágazóak, mivel nem férnek be a zeolit pórusaiba, áthaladnak az oszlopon. A 2. periódusban a nyomást csökkentve a szemcsék közötti térből is távoznak az izoparaffinok, míg a 3. periódusban leszorító gázok (NH_3 , H_2) alkalmazásával érik el a normál paraffinok deszorpcióját.

Egy másik nagyléptékű művelet a levegő szétválasztása alkotórészeire (oxigén, nitrogén, nemesgázok). Ez zeolitokkal általában alacsony hőmérsékleten történik, de egyre nő a szobahőmérséklet körül működő, nyomásváltó berendezések száma is ipari célú oxigén és nitrogén előállítására. Angliában A és X zeolitot használnak oxigén előállítására kórházi, egészségügyi célokra.

Katalizátorok

A zeolitok első katalitikus alkalmazására 1959-ben került sor, amikor a Union Carbide Co. kutatói izomerizációs reakciókban tesztelték az Y zeolitot. 1960-ban javasolták az alakszelektív katalízis elnevezést annak a váratlan katalitikus aktivitásnak a megjelölésére, amelyet kalciumion-cserélt A zeolit (5A) esetében tapasztaltak. A 4–5 Å pórusátmérőjű zeoliton szelektíven krakkolódtak az egyenes szénláncú n-paraffinok, ugyancsak egyenes láncú termékeket adva.

Az X zeolit krakk katalizátorként való alkalmazására 1962-ben került először sor, amikor kis mennyiségű zeolitot téve a klasszikus amorf alumínium-szilikáthoz azt tapasztalták, hogy jelentősen nőtt a katalitikus aktivitás.

A hatvanas évek végén és a hetvenes években jelentős előrelépést jelentett a zeolitok szintézise területén új, nagy szilíciumtartalmú, közepes pórusméretű anyagok (főleg a Mobil cég ZSM sorozata) előállítása. Ezek az anyagok addig nem ismert, alakszelektív átalaku-

lásokra kifejlesztett technológiák megvalósításához vezettek.

Ezzel párhuzamosan a zeolitok módosításában is történt előrehaladás. Fémek és fém-oxidok beépítésével, új dealuminálási technikák kidolgozásával, ioncserével mint a szintézist követő legfontosabb módosításokkal sikerült jelentősen befolyásolni a zeolitok aktivitását és szelektivitását.

Az 1980-as években kifejlesztett új szintézismódszerekkel sikerült a Si és az Al helyettesítése más elemekkel a zeolitrácsban. Ez és a szerkezetvizsgáló módszerek fejlődése lehetővé tette számos új szerkezetű és összetételű zeolit felfedezését és a konkrét alkalmazásoknak jobban megfelelő anyagok előállítását.

Végül, a katalitikusan aktív helyek kialakítási technikájának fejlődése révén, például fémek bevitelével és a fémkomplexeknek a zeolitok csatornáiban, üregeiben való létrehozásával a kémiai tulajdonságok olyan finoman változtathatók, hogy reálissá vált a lehetőség az enzimkatalízis utánzására.

Zeolitok mint alakszelektív katalizátorok • Amint már szerepelt, a zeolitok egyedi jellegzetessége az, hogy egységes méretűek a pórusaik. A jelenleg rendelkezésre álló zeolitok pórusainak mérete 4–13 Å közötti, ami meg egyezik a petrokkémiai fontos szénhidrogének méretével. Ilyen esetben nagyon kis változás a molekula méretében nagyon megváltoztathatja a diffúzió jellemzőit. Például az orto-xilol diffúziója ZSM-5 zeolitban három nagyságrenddel lassúbb, mint a paraxilolé.

Reaktáns- és termékszelektivitás • A jelentőséget meghatározó paraméterek a molekulák és a zeolitcsatornák mérete. Ha a betáplált anyagban különböző molekulák vannak, csak a zeolit pórusainál kisebb méretű és megfelelő alakú molekulák képesek bejutni a póru-

sokba, és ott reakcióba lépni. Ez a reaktáns-szelektivitás.

A másik eset az, amikor a reakciónak több terméke is van, de csak azt érzékeljük, tudjuk detektálni, amelyik ki tud diffundálni a zeolitkristályból. Ezért a termékösszetételt nagymértékben befolyásolja a zeolit pórusainak és a termékmolekuláknak a mérete. Ez a termékszelektivitás.

Átmenetiállapot-szelektivitás • Vannak esetek, amikor a reaktáns és a termékmolekulák is képesek be- és kidiffundálni a zeolit kristályokba(-ból). Ilyen esetekben is megfigyelhető valamiféle szelektivitás. Ha egy bizonyos molekula olyan átmeneti állapoton keresztül keletkezik, amelynek kialakulásához nincs elegendő tér a zeolitcsatornában, a katalitikus centrum közelében, akkor ezt a molekulát nem találjuk meg a termékek között. Ezt a jelenséget átmenetiállapot-szelektivitásnak nevezik.

Zeolitok mint enzimszerű katalizátorok • az enzimekhez hasonlóan a zeolitok tulajdonságai is nagyon egyediek, amelyek a hatásos katalitikus működés alapját jelentik. Mindkét katalizátortípus esetében a következő lépések a meghatározók:

- a reaktáns(ok) és a szubsztrát összekapcsolódása nem kémiai kölcsönhatás révén,
- ezen kölcsönhatás jellegének befolyása a kémiai reakcióra, beleértve a meglévő kémiai kötések felhasadását és újak kialakulását, olyan átmeneti állapot(ok)on keresztül, amelyek természetét a szubsztrát tulajdonságai határozzák meg.

A reaktáns kölcsönhatását a zeolittal (szubsztrát) az előzőekben leírt alakszelektív hatások szabályozzák. Ráadásul a zeolitrács üregei és csatornái mikroreaktorként, illetve az előre eltervezett szimmetriájú, katalitikusan aktív helyek hordozóiként is szerepelnek.

A reaktáns(ok) és a szubsztrát (enzim) összekapcsolódása egy szupermolekulává emlékeztet a zeolitokban kialakuló átmeneti állapot konfigurációjára. A zeolit a kívánt, reaktáns- vagy termékszelektivitásnak megfelelő átmeneti állapot stabilizálásával csökkenti a reakció aktiválási energiáját.

Ipari folyamatok zeolit alapú katalizátorokkal

Katalitikus krakkolás • Ez volt az első ipari eljárás, amelyben zeolitokat katalizátorként alkalmaztak, és az elkövetkező években is még ez marad a zeolit katalizátorok fő hasznosítási területe. Jelenleg a kevésbé értékes nyersolaj frakciók krakkolása, a nagyobb szénhidrogének C_7 – C_6 molekulákká alakítása az egyik legfontosabb gazolinforrás. Napjainkban a katalitikus krakkolást fluidágyas technológiával végzik.

Ebben az előmelegített nyersolaj a regenerált katalizátorporral találkozik, és együtt kerülnek a 450–500 °C hőmérsékletű reakciónába. Rövid érintkezés után (néhány másodperces kontaktidő) a használt katalizátort és a termékeket egy következő zónában elválasztják egymástól. Itt gőzzel távolítják el a katalizátor felületéről az adszorbeált szénhidrogéneket, majd a regenerátorban 600–800 °C-on levegővel leégetik az erősebben kötődött ún. szénlerakódást. Ezután a regenerált katalizátort újra visszavezetik krakkolásra. A szeparátorban kapott termékszénhidrogéneket különböző frakciókra választják szét: C_1 – C_3 -gázok, C_4 gazolin, krakkbenzin, könnyűolaj, nehézolaj és recirkulációs olaj. A nehezebb frakciókat visszavezetik krakkolásra. Az előzőekben leírt folyamatot a 6. ábra mutatja (Venuto – Habib, 1979).

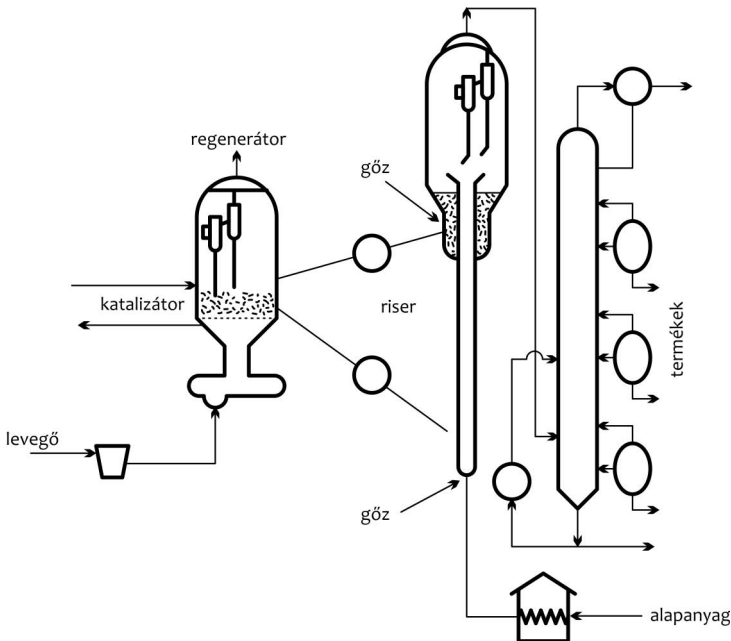
A jelenleg használatos katalizátor a faujazit (zeolit) komponens (HY, ultrastabil Y, ritka-

földfém Y) és a mátrixanyag keveréke. A különböző komponensek jól beállított arányával lehet megfelelő termikus/hidrotermális stabilitást, mérgeződéssel szembeni ellenállást (például fém Ni- vagy V-adalékkal), a zeolit és a mátrix mennyiségének kiegyensúlyozásával pedig megfelelő mechanikai tulajdonságokat (jó fluidizáló képesség, kopásállóság, kismértékű porlódás) elérni. Hazánkban Százhalombattán működik ilyen technológia.

Zeolit katalizátorok a finomvegyszerek gyártásában • Bár a zeolitok katalizátorként és katalizátorhordozóként való hasznosításának fő területe a petrokémia marad, egyre több területen alkalmaznak zeolitokat az intermedierek és finomvegyszerek gyártásában is. A homogén katalizátorok heterogénnel való helyettesítésének igénye indította a kutatás fejlődését ezen a területen. A fő alkalmazási

terület a proton, illetve Lewis-sav katalizálta reakciók, mivel a savas zeolitok alakszelektív tulajdonságuk miatt előnyösen használhatók. Természetesen más funkciók is beépíthetők a zeolitokba, és a sav-bázis tulajdonságok is módosíthatók a szintézis során, például a Si és Al mellett más elemek beépítésével a zeolitrácsba, vagy a szintézis után alkalmazott dealuminálás, ioncsere, impregnálás révén. Ily módon a kívánt irányba alakíthatók a zeolit katalizátorok tulajdonságai vagy kombinálhatók más katalitikusan aktív centrumokkal a legjobb aktivitás és szelektivitás elérése érdekében.

A zeolit katalizátorokkal végrehajtható reakciók a kettős kötés izomerizáció, vázizomerizáció, dehidratálás, dehidrogénezés, szubsztitúció aromás gyűrűben (halogénezés, acilezés, alkilezés), aromások izomerizációja, szelektív hidrogénezés, szelektív oxidáció.



6. ábra • Katalitikus krakkolás

Zeolitok a környezetvédelmi katalízisben •

A zeolitalapú katalizátorok a petrokémiai eljárások kulcsfontosságú anyagai. Jelenleg azonban az olajipar újabb kihívások előtt áll. Ilyenek a légszennyezés csökkentése vagy a nehezebb olajpárlatok minőségi javítása. A légszennyezés csökkentése a kipufogógázok, ipari véggázok SO_x - és NO_x -tartalmának csökkentését jelenti.

Aromatizálással nagy oktánszámú elegyek kaphatók például C_3 – C_4 frakciókból, vagy gyenge minőségű benzinekből. Azonban az új szabályok a C_4 -tartalom (az erős párolgás elkerülésére) és a benzoltartalom csökkentését írják elő. Különböző új eljárásokat fejlesztettek ki az előírásoknak megfelelő benzinek előállítására. Ezek egyenes szénláncú olefinek izomerizálása izoolefinekké, amelyek metanollal éterezhetők, C_3 – C_4 olefinek oligomerizációja, vagy benzol alkilezése alkil-aromásokká. A n-paraffinokat izomerizáló eljárások is továbbfejlődtek.

A zeolitok szóba jöhetnek az izoolefinek és a metanol reakciójának katalizátoraként is, mivel róluk a szénlerakódás regenerálással eltávolítható, és így újra használható, míg a jelenleg használatos ioncserélő műgyanták nem. Az így kapott éterek fontos oktánszámjavító komponensek. A másik fontos oktánszámnövelő eljárás, amelyikben zeolitok is szóba jöhetnek, az i-bután alkilezése olefinekkel. Néhány szabadalom H-zeolitok alkalmazásáról szól. A zeolitok előnyösen helyettesíthetnék a jelenleg használatos, de nagyon korrozív tömény kénsavat, illetve HF-ot.

Jelenleg az olajfeldolgozó ipar olyan új eljárásokat és katalizátorokat igényel, amelyekkel a különböző viszkózus nehézőlaj frakciók az eddigieknél hatékonyabban feldolgozhatók. Ebből a szempontból ígéretes lehet új, mezopórusos szilikátok felfedezése,

mivel ezek pórusmérete a jelenleg használatos Y zeolitokénál nagyobb, így nagyobb méretű szénhidrogén molekulák tudnak adszorbeálódni és krakkolódni.

A rézioncserélt zeolitok, különösen a ZSM-5 változat nemcsak a mozgó, de az álló szennyező források esetén is ígéretes katalizátorok a nitrogén-oxidok eltávolítására.

Hazai zeolitok és zeolitkutatás

Magyarországon a Zempléni-hegységben és Tokaj környékén vannak bányászható mennyiségű és minőségű, mordenitet és klinoptilolitot tartalmazó ásványok. Korábban az Országos Érc- és Ásványbányák Hegyaljai Üzeme Mádon, ma pedig a belőle kivált gazdasági társulás foglalkozik a természetes zeolit bányászatával és értékesítésével (Hannus – Kiricsi, 2003).

Hazánk vegyipari fejlettségének és kapacitásának megfelelően nálunk nincs katalizátorgyártó ipar. Saját technológiához a MOL RT. százhalombattai telepén gyártanak zeolit katalizátort. Adszorpciósi célokra korábban a Reanal Finomvegyszergyár Molfillit néven, a Budapesti Vegyiművek pedig Klinosorb márkanéven forgalmazott zeolitokat.

Ma világszerte, így Magyarországon is az egyre szigorodó környezetvédelmi előírásoknak megfelelően a foszfátmentes mosóporok adalékanyagaként felhasznált zeolitok jelentik a legnagyobb mennyiséget. 1995-ben kezdte meg a termelést Ajkán egy 20 ezer t/év kapacitású, NaA zeolitot gyártó üzem, amely a szintézisben az Al nyersanyagaként a timföldgyár hulladék alumínátlúgját használja, míg a Si-nyersanyag vízüveg.

Magyarország nemcsak természetes zeolit előfordulásokban gazdag, hanem a zeolit szintézise és alkalmazása területén is bővelkedik itthon és külföldön élő szakemberekben.

Rabó Gyula Amerikában él, a Magyar Tudományos Akadémia külső tagja, a UOP (Universal Oil Products) volt kutatási igazgatója, akinek neve összeforrott a zeolitok katalitikus alkalmazásával, elsősorban a petrokémiai iparban. *Csicsery Zsigmond*, aki a zeolit katalizátorok alakszelektív hatásának első rendszerezője, a Chevron Co. volt munkatársa. *B. Nagy János* belgiumi professzor a zeolitok szintézisének és NMR spektroszkópiás tanulmányozásának nemzetközi hírű kutatója. A hazai zeolitkutatás úttörői *Beyer Hermann*, *Fejes Pál* és *Kalló Dénes* voltak. Tanítványaik közül többen napjainkban is a zeolitkutatás területén tevékenykednek.

Hazánkban több egyetemi és akadémiai kutatóhelyen foglalkoznak a zeolitok eredetével, tulajdonságainak vizsgálatával és hasznosításuk lehetőségeivel. Ezek a szakemberek iparban dolgozó kollégáikkal együtt 1991-ben hozták létre és azóta működtetik szakmai szervezetüket, a Magyar Zeolit Társaságot. A társaság a FEZA (Federation of European Zeolite Association) tagjaként *Kiricsi Imre* vezetésével szervezte 1999-ben Egerben az első, hagyományteremtő FEZA konferenciát. 2011-ben a spanyolországi Valenciában tartották az ötödiket.

IRODALOM

- B. Nagy János – Bodart, P. – Hannus I. – Kiricsi I. (1998): *Synthesis, Characterization and Use of Zeolitic Microporous Materials*. DecaGen Ltd., Szeged, Hungary
 Dyer, Alan (1988): *An Introduction to Zeolite Molecular Sieves*. John Wiley, New York
 Hannus István – Kiricsi Imre (2003): *Zeolitok a XXI. század küszöbén. Természet Világa*. 134, 452.

A zeolitok a túlzott algásodást okozó foszfátok helyettesítőiként mosóporadalékként, a savas esőt okozó és más káros gázok megkötésével adszorpciós tulajdonságaik révén, és nem utolsósorban katalizátorként a környezetvédelem fontos anyagai. A zeolitok egyre nagyobb szerepet kapnak az intermedierek és a finomvegyszer-végtermékek előállításában is. A molekulaszűrők új generációjának kifejlesztésével, a zeolitok tulajdonságainak pontosabb kialakításával minden alkalmazásra előállítható a testre szabott katalizátor.

Amikor a különböző környezetszennyezésekért a kémiát okolják, és nem a tudatlan vagy felelőtlen emberi tevékenységet, akkor fontos rámutatni, különösen most, a Kémia Nemzetközi Éve kapcsán, hogy egészséges környezet nem lesz a kémia és a kémikusok hozzájárulása nélkül.

A cikk a TÁMOP 4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0005 azonosító számú, Kutatóegyetemi Kiválósági Központ létrehozása a Szegedi Tudományegyetemen című pályázat anyagi támogatásával készült.

Kulcsszavak: *természetes zeolit, szintézis, adszorpció, ioncsere, katalízis, környezetvédelem*

- Hlavay József – Pataki K. – Kovács Gy. I. (szerk.) (1987): *Hazai természetes zeolitok kutatása és felhasználása*. (2.) MTA VEAB, Veszprém
 Venuto, Paul B. – Habib, E. Thomas (1979): *Fluid Catalytic Cracking with Zeolite Catalysts*. Marcel Dekker, New York

NEMZETKÖZI PROGRAM A FENNTARTHATÓ FEJLŐDÉSÉRT: RIÓTÓL RIÓIG

Faragó Tibor

c. egyetemi tanár
Tibor_Farago@t-online.hu

Láng István

az MTA rendes tagja
ILang@mtak.hu

az 1992., 1997., 2002. évi fenntarthatósági ENSZ-csúcstalálkozókon részt vevő tárgyalódelegáció tagjai

1992-ben, Rio de Janeiróban összegyűltek a földkerekség politikai vezetői, és egyetértettek abban, hogy világunk rossz irányban halad: a társadalmak közötti életszínvonalbeli különbségek továbbra is óriásiak, a világnépesség ötöde gyakorlatilag nyomorog, az életünk alapját is jelentő környezetet mind jobban károsítjuk. E folyamatok, különösen a globalizálódó környezeti problémák tudományos feltárása sokkal régebbi keletű volt, de a nagypolitika figyelmét sokáig egészen más természetű ügyek kötötték le. A II. világháborút, a hidegháborús időszakot, a két nagyhatalom viszonyának lényeges megváltozását, a fejlődő országok hangjának megerősödését követően kerülhetett csak sor a fokozódó kölcsönös függőség kényszerének elismerésére. Ez vezetett el oda, hogy az 1980-as évek végén, az 1990-es évek elején a világ államai elvben elfogadták minden társadalom fenntartható fejlődési jogát, jóváhagyták a főbb teendőkkal foglalkozó 1987. évi ENSZ-jelentést, majd 1992-ben az arra is épülő, a *Feladatok a 21. századra* elnevezésű globális programot. Megállapodások születtek több környezeti probléma közös kezeléséről: az ózonréteget károsító, a biológiai sokféleséget és a földi éghajlatot

veszélyeztető tevékenységek korlátozásáról. A célkitűzések kompromisszumok sorát foglalták magukban, mindenekelőtt azt, hogy minden társadalom továbbléphet az addigi fejlettségi szintjéről. Ez persze a kialakult fejlődési minták szerint egy határon túl lehetetlen, mert a véges földi erőforrások további fel- és elhasználásával jár együtt. A norvég miniszterelnök, *Gro H. Brundtland* által vezetett ENSZ-bizottság szerint már akkor sem egy távoli eshetőségről volt szó: „A természeti források komplexitása és széles skálája iránti igényeink nagymértékben fokozódtak a népesség és a termelés növekedésével. A természet bőkezű, de ugyanakkor törekeny és finoman kiegyensúlyozott is. Vannak küszöbök, amelyek átlépése az egész rendszer épségét veszélyezteti. Ma nagyon sok ilyen küszöbhez közeledünk, ezért nagyon meg kell fontolni minden további lépést, hiszen a földi élet forog kockán”. (WCED, 1987) A minden társadalom számára mégis lehetséges további gazdasági fejlődésre vonatkozó következtetés alapjaiban különbözött a Római Klub 1972. évi értékelésétől (Meadows, Donella et al., 1972), amelynek értelmében – a különböző természeti erőforrások végességé-

nek számításba vételével – nem lehetséges egy ilyen általános növekedés, s csak alapvető kulturális és technológiai változtatásokkal érhető el egy fenntartható állapot.

Az óriási fejlettségi/szegénységi különbségek miatt lényegesen érzékenyebb társadalmi-gazdasági problémák tevőleges kezelése helyett elsőre a globális környezetkárosítás mérséklése látszott a sürgősebbnek és egyszerűbbnek, s a valóban konkrét néhány cél és megállapodás is ezt tükrözte. Ezekre vonatkozóan pedig, sokkal nagyobb történelmi felelősségük okán is, a fejlett államok átmenetileg élenjáró szerepet vállaltak, azaz azt, hogy mindenekelőtt ők mérsékelik a környezetpusztító tevékenységüket, visszafogják a káros környezeti kibocsátásokat, változtatnak valamelyest a fenntarthatatlan termelési eljárásokon és fogyasztási szokásokon. Vállalták azt is: az addigiaknál jobban segítik majd a fejlődő államokat abban, hogy felszámolhassák a szegénységet, illetve társadalmi-gazdasági fejlettségeiket – elkerülve az iparosodott országok múltbeli hibáit – már környezetbarát módon oldhassák meg. Részben hasonló megoldások születtek a nemzetközi együttműködés számos más területén is (nemzetközi kereskedelmi rendszer, technológiai együttműködés, élelmiszer-biztonság, fertőző betegségek terjedésének megállítása stb.).

Az elfogadott megállapodások tényét történelmi jelentőségűnek lehet tekinteni, de világos volt, hogy a különböző kompromisszumok nem sokáig tarthatók, a konkrétabb célokról, eszközökről pedig már akkor lehetett tudni, hogy nem lesznek elégségesek a fenntarthatatlan folyamatok megállításához. Ráadásul, a vállalatok jelentős részének teljesítése nem, vagy csak nagyon vontatottan haladt. A fenntarthatóság iránti elkötelezettség megerősítésére 1997-ben New Yorkban, 2002-

ben Johannesburgban újabb csúcstalálkozót tartottak. A problémák lényegére utalt *Kofi Annan* ENSZ-főtitkár 2002-ben (Annan, 2002): „szembesülünk a kényelmetlen igazsággal: a fejlődési modell, amihez hozzászoktunk, gyümölcsöző néhányak számára, de alapvetően hibás sokak számára. A prosperitásról, mely elpusztítja a környezetet, és az emberiség nagy részét nyomorban hagyja, hamar ki fog derülni, hogy zsákutca mindenki számára.” A korábban megkötött nemzetközi egyezményeket is időközben pontosították, egyértelműbb célokat, teljesítési határidőket szabtak meg. Már számszerű, 2012-ig szóló kibocsátáscsökkentést írt elő a *Kiotói Jegyzőkönyv*, a biológiai sokféleségről megfogadták, hogy 2010-re jelentősen mérséklük csökkenése ütemét. Szigorították az ózonkárosító anyagokra vonatkozó szabályokat. Megegyezték a szegénység felszámolásához legfontosabb *Millenniumi Fejlesztési Célokról*, és a fejlett államok többsége megígérte, hogy a bruttó nemzeti jövedelem 0,7%-át fordítja a fejlődők – s ezen belül különösen a legkevésbé fejlettek – hivatalos megsegítésére.

A jelen és jövő nemzedékek számára méltányos létfeltételek biztosítása miatt is kulcsfontosságú, bár messze nem elégséges vállalások döntő többsége nem teljesült. 2010 végén újabb évtizedre kellett kitolni a korábbi célkitűzés elérését a biológiai sokféleség megőrzése érdekében. Nem fog megvalósulni a földi éghajlatot veszélyeztető kibocsátásoknak a *Kiotói Jegyzőkönyvben* 2012-re előírt mértékű csökkentése sem. A fejlődő államok támogatása messze elmarad az ígérttől. A kevés kivétel egyike az ózonkárosító anyagok helyettesítése, aminek eredményeképpen kezd begyógyulni a földi életet védő ózonréteg.

Mindezek alapján nem lehet csodálkozni a brazil elnök kezdeményezésén, mely szerint

2012-ben újra csúcstalálkozót kellene tartani, és kritikusán áttekinteni a világ helyzetét, a korábban elfogadott célok elérését akadályozó tényezőket és a feladatokat. Az indokok között szerepelt, hogy: a kialakult élelmelési, energia- és pénzügyi válságra is tekintettel ismét világossá kell tenni, hogy a fenntartható fejlődés programja jelenti a kilábalás megfelelő keretét; a korábban elfogadott egyes célok határideje lejár, de kétséges az elérésük. A kezdeti bizonytalanság után a fejlődők csoportját hamar meggyőzte a brazil javaslat, hiszen az újabb alkalmat jelenthetett arra is, hogy szembesítsék a fejletteket a nem teljesített korábbi fejlesztési támogatási, technológia-átadási, biodiverzitás- és klímavédelmi ígérekkel. Az újabb csúcstalálkozó szükségességével, átfogó céljával, de még inkább annak időzítésével viszont a fejlett államok több képviselője nem értett egyet. Végül sajátos alkuk születtek, egyebek közt a leendő ENSZ Fenntartható Fejlődési Konferencia napirendjéről. A korábbi széles körű megközelítés helyett csak két kiemelt témáról lesz szó: a zöld gazdaságról és a fenntartható fejlődéssel foglalkozó nemzetközi intézményrendszeréről. Az előkészületek során viszont hamar kitűnt, hogy a fenntarthatóság ügyét nem lehet a zöld gazdaságra – azzal összefüggésben például a természeti erőforrások takarékosabb használatára, a zöld technológiákhoz kapcsolódó munkahelyteremtésre – szűkíteni. Emellett e koncepció kibontása során konfliktusok alakultak ki a fejlett és a fejlődő országok között. A fejettek kiálltak a zöld gazdaság jelentősége mellett, a fejlődő államok egy része is támogatná ezt, ha segítene a szegénység leküzdésében, mások szerint viszont nem ez szolgálja a fejlődők érdekeit. Hogy mennyire nem új keletű a fejlődők ilyen irányú aggodalma, annak érzékeltetésére hadd

álljon itt az 1972. évi stockholmi ENSZ Konferencián az akkori indiai miniszterelnök, *Indira Gandhi* által elmondott beszédből egy idézet (Gandhi, 1972): „Ironikus lenne, ha a szennyezés elleni küzdelem átalakulna egy üzletaggá, amiből néhány vállalat, társaság vagy nemzet profitot érne el sokak kárára.”

2011 második felében folytatódtak az előkészületek elsősorban az egyes ENSZ-régiókban megtartott tanácskozások formájában. E régiók által elfogadott javaslatok, valamint az egyes országok által beküldött ajánlások figyelembevételével 2012 januárjára elkészült annak a dokumentumnak az első tervezete, amelyet majd elfogadásra fognak előterjesztetni a júniusi világkonferencián. E tervet a legfontosabb kérdésekben egyrészt gyakorlatilag az addig kinyilvánított eltérő álláspontokat tükrözi, másrészt – konszenzus hiányában – általában kerül a konkrétabb célkitűzések meghatározását. A fejlődő országok civil hálózata képviseletében napvilágot látott első értékelésében *Chee Yoke Ling* világosan fogalmaz (TWN, 2012): a tervet ugyan megerősíti az ENSZ égisze alatt kidolgozott nemzetközi fenntartható fejlődési program célkitűzéseit, de valójában kiábrándítóan gyenge azok végrehajtása, illetve ennek értékelése. E záródokumentum vitája most márciusban, és feltehetően akár egészen a világtalálkozó utolsó napjáig folytatódhat elsősorban a két tábor képviselői között: egyfelől, akik ezúttal a fenntartható fejlődés és a korábbi programok melletti elkötelezettség általános nemzetközi megerősítését elégségesnek tartanák, másfelől akik a helyzet újbóli kritikus értékelését és ennek megfelelően konkrétabb célkitűzések meghatározását és azok hatékonyabb végrehajtását tartanák elengedhetetlennek.

A korábbi álláspontok a fenntartható fejlődés nemzetközi kormányzásának megerős-

sítéséről is változatlanak látszanak. Abban elvi egyetértés van, hogy jobb koordinációra lenne szükség a nemzetközi szervezetek célkitűzései, programjai között, de továbbra is jelentősek az ellentétek abban, hogy milyen új szervezeti, intézményi megközelítéssel lehetne javítani ezen a helyzeten, beleértve azt, hogy legalább a környezeti ügyekben előre lehessen lépni az ENSZ Környezeti Programjának erősebb mandátumú szakosított szervezetté való átalakításával. Eközben a fejlesztési, kereskedelmi és finanszírozási célok elérése érdekében jóval nagyobb figyelem fordul a nemzetközi gazdasági kormányzás hatékonyságának javítása felé.

A fenntartható fejlődés átfogó programja mellett számtalan más multilaterális program létezik. A legnyilvánvalóbb párhuzamosságot a fejlődő országok felzárkózása, a szegénység leküzdése érdekében folyó – a szükséges pénzügyi támogatási, beruházásösztönzési, kedvező kereskedelmi rendszer biztosítását célzó – együttműködés jelenti a *Fejlesztés Finanszírozása Program* keretében. Ez az ENSZ-program is halad a maga útján. Visszatérően az egyik fő téma a 2015-ig szóló *Millenniumi Fejlesztési Célok* teljesítésének helyzete. A fejlesztési együttműködés iránti politikai figyelem háttérében a nemzetközi hatalmi rend és gazdasági viszonyok átalakulása, a fejlődő világon belüli tagolódás (mindenekelőtt a néhány gyors gazdasági növekedésű fejlődő ország és a nagyszámú, legkevésbé fejlettnek számító ország közötti életszínvonalbeli „szakadék” mélyülése), a véges természeti erőforrásokhoz való hozzáférés miatti növekvő feszültség áll.

A problémák felismerése és az azokkal való törődésre irányuló politikai szándék ki nyilvánítása tulajdonképpen nem húsz éve, hanem már az 1960-as évek végén, az 1970-es

évek elején megkezdődött. 1968-ban jött létre a Római Klub, és felhívta a figyelmet 1972-ben megjelent értékelésében a „növekedés hatáira”. Az akkori ENSZ-főtitkár, *U Thant* elkötelezettségének is köszönhetően 1968-ban megszülethetett az az ENSZ közgyűlési határozat, amelynek nyomán 1972-ben megtartották a stockholmi ENSZ-konferenciát az Emberi Környezetről. Negyven év telt el azóta, és az újabb világtalálkozó célja a fenntartható fejlődéssel kapcsolatos problémák és feladatok egyeztetése lenne. A Római Klub képviselőiben *Dennis Meadows* egy konferencián (Washington, 2012. február) viszont már azt állította, hogy valójában lekéstük a fenntartható fejlődés lehetőségét, és ennek indoklására többek között felhossa (Meadows, 2012): „a növekedés képviselői e paradigmájuk igazolását változtatják ahelyett, hogy a paradigmát változtatnák meg; a globális rendszer eltartóképességét már messze túlléptük; mégis úgy cselekszünk, mintha a technológiai váltás helyettesíthetné a társadalmi változást”. Azaz, mintha csupán újabb és újabb technológiai megoldásokkal túlélhető, kezelhető lenne a fenntarthatatlan folyamatok által előidézett súlyosbodó szociális és környezeti helyzet, s ezáltal elkerülhető lenne, hogy a társadalmak fogyasztással, életvitellel kapcsolatos szemlélete változzon meg.

Az elmúlt évtizedek jelentős eredményének tekinthető, hogy elismerést nyert a globálissá vált fenntarthatatlan folyamatok kezelésének szükségessége, és a legmagasabb politikai szinten elfogadták a fenntartható fejlődés alapelveit és programját. Néhány területen van előrehaladás, számos szociális és környezeti mutató szerint viszont lényegesen romlott a helyzet, miközben újabb problémákkal is szembesül a nemzetközi közösség. A fenntarthatóság követelményrendszere

nem vált a különböző szakterületeken tevékenykedő szervezetek számára az átfogó, irányadó keretté. Ez is oka, hogy a szakpolitikai programjaik közötti összhang korlátozott. Ez persze annak is a következménye, hogy ugyanilyen ellentmondások vannak a legtöbb ország esetében a nemzeti szakpolitikák között; s ugyanez érvényes az Európai Unióra is. Végre valóban hosszú távú, a mind feszítőbb szociális különbségek kezelésének szükségességét, illetve a jelen és a jövő nemzedékek jóléti céljait szem előtt tartó társadalmi-gazdasági fejlődési megközelítésre lenne

szükség a természeti környezet által megszabott lehetőségek és szigorú korlátok tudomásul vételével. E követelmények felismerése és elfogadása lenne a legfontosabb kérdés mind nemzetközi szinten – így az ez évi júniusi világkonferencia keretében is –, mind nemzeti szinten, s ebből kiindulva a konkrét célok és teendők meghatározása.

Kulcsszavak: *fenntartható fejlődés, a fenntarthatóság követelményrendszere, nemzetközi együttműködés, környezeti korlátok, szociális különbségek, növekedés határjai, fejlett és fejlődő országok*

IRODALOM

- Annan, Kofi (2002): ENSZ-főtitkári megnyitó beszéd a Fenntartható Fejlődési Világtalálkozón. In: *Világtalálkozó a fenntartható fejlődésről*. Fenntartható Fejlődés Bizottság, Budapest, 5–6.
- Gandhi, Indira (1972): Address by the Prime Minister of India. In: Tolba, Mostafa Kamal (ed.) (1988): *Evolving Environmental Perceptions: From Stockholm to Nairobi*. Butterworths, Boston, 97.
- Meadows, Donella H. et al. (1972): *The Limits to Growth*. Universe Books, New York
- Meadows, Dennis (2012): *It Is Too Late for Sustainable Development*. http://si.edu/Content/consortia/Dennis_Meadows.pptx
- TWN (2012): *Preliminary Comments by Third World Network on the Zero Draft of the Rio+20 Outcome Document*. <http://www.twinside.org.sg/title2/sdc2012/sdc2012.120101.htm>
- WCED (1987): *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. Oxford University Press



Tudós fórum

A SZÉP: IGAZ, S AZ IGAZ: SZÉP!

Az idei esztendő a nagy iskolateremtő anatómus, agykutató születésének 100. évfordulója alkalmából az UNESCO Szentágothai-émlékvé nyilvánította. Gimes Júlia Hámori József akadémiával készített interjúja első része annak a sorozatnak, amelynek keretében Szentágothai János egykori tanítványait arra kérjük, meséljenek a közös évekről.

SZENTÁGOTHAI JÁNOS

1912–1994

Szentágothai János anatómus, agykutató 1912-ben született. A Pázmány Péter Tudományegyetem Orvosi Karán végzett 1936-ban, majd az Anatómiai Intézetben dolgozott tanársegédként, illetve adjunktusként. 1944-től 46-ig hadifogoly volt.

1946 és 1963 között a Pécsi Orvostudományi Egyetem Anatómia Tanszékének igazgató professzoraként dolgozott. 1963-ban visszakérült Budapestre, ahol a Budapesti Orvostudományi Egyetem (később Semmelweis Orvostudományi Egyetem) 1. számú Anatómiai Intézetének igazgatója lett. 1977-től 1985-ben történő nyugdíjba vonulásáig az intézet kutató professzora, kutatási csoportvezetője volt.

1948-ban lett az Akadémia levelező, 1967-ben rendes tagja. 1973-tól 1976-ig az MTA alelnöke, 1976–77-ben megbízott elnöke, majd 1977-től 1985-ig választott elnöke. Tagja volt számos külföldi akadémiaának is.

Számos könyvet, illetve tankönyvet írt, *Az ember anatómiájának atlasza* című 1946-ban Kiss Ferencsel közösen publikált munkáját például harminc nyelven nyolcvanhat alkalommal adták ki.

Pályája során számos díjban és kitüntetésben részesült, például Kossuth-díj (1950); Állami Díj (1970); Lashley-díj (USA, 1973); F. O. Schmitt-díj (USA, 1984); Akadémiai Aranyérem (1985); az Oxfordi Egyetem díszdoktorátusa.

Ön évtizedeken át dolgozott együtt Szent-ágothai Jánossal. Nem volt nyomasztó olyan sokáig egy ilyen nagy ember mellett élni?

Abban igaza van, hogy a tanítványok közül talán én dolgoztam vele a leghosszabb ideig. Pályakezddőként kerültem 1955-ben pécsi intézetébe, és egészen 1994-ben bekövetkezett haláláig végeztünk közös kutatásokat.

De hogy ez nyomasztó lett volna? De-hogy volt az! Szentágothai igazi polihisztor volt, még idősebb korában is újabb és újabb dolgokat tanultunk tőle. Például akár olyasmit is, hogy hogyan kell megkülönböztetni a mérges gombát az ehetőtől. Gyakran mondogattuk: *Na, ma mit fogunk tanulni az öregtől?* Mert így hívtuk: az Öreg. Pedig csak negyvenhárom éves volt, amikor lekerültem Pécsre, de hát professzor volt, intézetigazgató, oktatott, nevelt minket; jól tudta, hogy a háta mögött így hívjuk, de nem zavarta.

A költészet, a zene, a festészet területén éppúgy otthon volt, mint az agykutatásban. Nagyon szeretett festeni, és szerintem elég jól is csinálta. Külföldi kongresszusokon gyakran előfordult, hogy már hajnali ötkor felkelt, kiment a szabadba festeni, és tíz-tizenöt agykutató nézte, ahogy dolgozik. Elsősorban akvarelleket festett, különösen a természetet szerette megörökíteni. A mai napig őrzök tőle néhány képet, amelyeket annak idején nekem ajándékozott.

Egyszer a születésnapomra – merthogy a születésnapokat közösen ünnepeltük meg – kaptam tőle egy Rippl-Rónai-albumot. Akkor jelent meg a művész első albuma, Szentágothai jól ismerte őt személyesen is. *Na most már egy kicsit a művészetekkel is foglalkozhatnál* – mondta, és habár én mindig is foglalkoztam a művészetekkel, nem vettem zokon ezt a mondatot, sőt nagyon jól esett a törődés.

A költészet is nagyon foglalkoztatta, és hát azzal kapcsolatban is részesültünk oktatásban. Emlékszem például, hogy amikor Juhász Ferenc *József Attila sírjára* című verse megjelent, akkor az öreg behozta az intézetbe, magához rendelte az egész társaságot – voltunk vagy húszan –, felolvasta, majd elemezte. Mondjon nekem egy olyan mai tanárt, aki ilyen szinten foglalkozik a tanítványaival!

Előadásai is legendásak voltak. Olyan orvosok is szoktak mesélni egy-egy érdekes történetet ezzel kapcsolatban, akiket csak az anatómia tantárgy előadójaként tanított.

Az ő előadásai rendkívül népszerűek voltak, hiszen nem azt csinálta, hogy szárazon leadta az anyagot, hanem nagyon sok sztorit, humoros elemet szőtt bele. A táblára mindig két kézzel rajzolt, még hozzá nagyon szép, áttekinthető ábrákat. Nagyon jó volt a nyelvi készsége is, igen szórakoztatóan beszélt. Megjegyzem, nagyon jól tudott németül – egyik anyanyelve volt, és angolul is. Funkcionális anatómiai tankönyve is, amelyből a mai napig tanulják az orvostanhallgatók az anatómiát, számos olyan magyarázatot, megjegyzést tartalmaz, amelyek bizonyítják, hogy milyen magas szinten bánt a nyelvvel.

Hogyan teltek az intézetében a mindennapok? Nála is volt például kötelező teázás, mint annak idején Szent-Györgyinéél Szegeden?

Volt, de nem úgy. Egyrészt nem ittunk teát, másrészt nem volt ennek kötelező időpontja.

Gyakorlatilag az intézetben éltünk, reggel 9-től este 9-ig bent voltunk; családjunk olyan sokat nem látott bennünket. Ő a szobájában dolgozott, és késő délután, 6– $\frac{1}{2}$ 7 felé kijött. Akkor körülveztük, és elkezdődött a nagy-nagy eszmecsere, amelynek éppúgy része volt

a csillagászat, a politika vagy a már említett festészet és irodalom, mint az agy kutatás.

Mindig megkérdezte: *na mi fán teremsz?* vagy *mit csináltál mostanában*, és akkor mi beszámoltunk arról, hogy milyen vizsgálatokat vagy kísérleteket végeztünk, mit láttunk stb. Szóval inspiráló, tanulságos, szórakoztató, fontos beszélgetések voltak ezek. Az Öreg mestere volt a közösségépítésnek, és annak, hogy egy társaságot hogyan lehet összetartani.

Sokat magyarázott nekünk, és nem csak akkor, amikor kérdésre válaszolva számot adtunk arról, hogy mivel hová jutottunk. Gyakran behívott bennünket a szobájába, megmutatta, hogy éppen mit vizsgál a mikroszkóppal, de persze először azt kérdezte, hogy *na mit látsz?*, aztán magyarázott nekünk mindenféléről.

Emlékszem, egyszer a folyami rák idegrendszerét vizsgálta. A rákot a Mecsekben egy patakban fogta ki. Akkoriban gyakran kirándultunk, és a patakokban éltek rákok. – Na, – mondta Székely Györgynek – Gyurka, húzd ki azt az állatot. Fogd meg! – Fogja meg a professzor úr! – mondta Székely, és Szentágothai meg is szerezte a rákot. A rák azért volt érdekes az Öreg számára, mert nagyon bonyolult az idegrendszere. Összevissza mennek az axonok, igen nehéz megállapítani, hogy melyik honnan hová tart.

Néhány nappal a rákfogásos eset után behívott a szobájába, és elmesélte, hogy milyen ájulatos dolgokat lát a rák idegrendszerével kapcsolatban a mikroszkóp alatt. Elmondta, hogy megérti a nagy idegtudós Apáthy Istvánt, aki úgy gondolta, hogy az idegsejtek nyúlványai folyamatosan mennek át egymásba. Aztán persze azt is kitalálta, hogy milyen degenerációkat végezzünk el, hogy a rák idegrendszerében is megtaláljuk az axonok közötti kapcsoló struktúrákat. És meg is találtuk.

Az imént idézett „rákos” párbeszéd egyértelművé tette korábbi gyanúmat: Szentágothai tanítványaival csendőrpertut tartott. Ez önöket nem zavarta?

Dehogyan zavart bennünket! Vele még csendőrpertuban lenni is megtiszteltetés volt. De amikor komoly dolgokat értünk el, elnyertük a visszategzés jogát. És szerintem mester és tanítványa között ez jó és elfogadható dolog.

Esetemben ez úgy történt, hogy miután megvédtem a nagydoktorimat – én negyvenéves voltam – behívott, és azt mondta: pertu van, mostantól magunk között hívjál Pityunak. Pityu volt ugyanis a családi neve.

És jól ment a „pityuzás”?

Egyáltalán nem ment, ezért közbülső megoldásként Pityu bácsinak szólítottam az Öregt.

Hogyan ismerkedtek meg?

Hogyan került sor arra, hogy ön Pécsre menjen Szentágothaihoz?

1955-ben ötödéves voltam, és a Puskin utcában, az Élettani Intézetben a kiváló élettanásznál, Kovách Arisztidnál készítettem a szakdolgozatomat. Kovách jó barátságban volt Szentágothaival, és minden olyan szombaton, amikor az Öreg Pesten volt, együtt ebédeltek. Kovách egy ilyen alkalommal bemutatott Szentágothainak, aki elbeszélgetett velem, majd közölte, hogy szerez nekem egy akadémiai állást Pécsen. Menjek mihamarabb, és jelentkezsek helyettesénél, Flerkó Bélánál, aki akkor harminc év körüli lehetett.

Elmentem Pécsre, néhány nappal később visszatért Budapestről Szentágothai is, és akkor elkezdődött az a csoda, amelyben évtizedeken át részem lehetett. Az Öreg azonnal munkát adott nekem: – Látom biokémiai szemléletű vagy, nézd meg a szinapszisokat a

ganglion ciliare-ban. Óriási szinapszisokat fogsz ott találni, nézd meg, hogyan alakulnak ott a különböző enzimek.

Szentágothait nagyon érdekelte, hogy a szinapszisokban milyen enzimek vesznek részt az idegingerület egyik sejtről másikra történő áttevődésében, és nekem óriási szerencsém volt, mert volt két olyan enzim, amelyet ki lehetett mutatni, sőt színreakcióval láttatni is lehetett.

1960-ban kaptunk egy elektronmikroszkópot. Ez akkoriban még új technika volt, és az Öreg nagyon fogékony volt az új dolgok iránt. Én az első pillanattól kezdve elektronmikroszkopizáltam, és talán ennek is köszönhető, hogy amikor 1963-ban a pesti Anatómiai Intézet igazgatója lett, engem is felhozott magával. És szerzett egy új elektronmikroszkópot, a pécsinél jobbat, nagyobbat.

Szentágothai egyik kedvenc kutatási témája a kisagy volt, amelyről a Nobel-díjas Sir John Eccleszel és Ito Masaóval nagy sikerű, a mai napig népszerű könyvet is írt. A mű 1967-ben jelent meg, és az Öreg írta a kisagy szerkezetéről szóló részeket. A mai napig büszke vagyok arra, hogy jó néhány általam készített elektronmikroszkópos felvétel került be ebbe a könyvbe.

Nem érezték úgy, hogy mindig Szentágothai árnyékában kell élniük? Hogyan léphettek ebből ki?

Ő nem akarta, hogy mi az árnyékában legyünk, sőt, megkövetelte, hogy kilépjünk onnan. Emlékszem, 1980-ban sikerült olyan felfedezést tennem, amely az Öreget megdöbentette. A lényeg, hogy a szinapszisokban a dendrit nevű idegsejtnyúlványok fogadják az idegimpulzusokat, az axonok pedig átadják. Nos, én akkor azt találtam, hogy a látórendszer talamikus központjában bizonyos körül-

mények között a dendritek egyidejűleg axonként is viselkednek. Ezt elektronmikroszkóppal nagyon szépen ki tudtam mutatni. Szentágothai akkor éppen kórházban volt, bevittem hozzá a felvételeket, elmondtam, hogy mit találtam. Erre ő azt mondta: „Nahát, hogy micsoda új dolgokat tudsz te felfedezni!” És nagyon örült. Az árnyékából tehát úgy lehetett kijönni, ha az ember újat, eredetit alkotott. És mi kellett mindehhez? Hát az, amit ő mindig mindnyájunknak javasolt. *Csak akkor lehetsz jó kutató, ha kíváncsi vagy. Mert akkor mindig fel tudsz tenni újabb és újabb kérdéseket. Ha nem tudsz kérdezni, sosem leszel belőled igazi kutató.*

Csak annyit kért, hogy amikor találunk valamit, mutassuk meg neki. Kritizálta vagy elfogadta, vagy kritikával fogadta el, de mindig megbeszélte velünk. Tehát kölcsönös kapcsolat volt mester és tanítványai között, és ma is igen szerencsésnek tartom magam, hogy vele dolgozhattam.

Szentágothai híres volt arról, hogy mindig elméleteket gyártott...

Ez igaz, de ezek nem légből kapott hipotézisek voltak, hanem mindig voltak alapbizonyítékok, amelyekből ezek kiindultak. Aztán a későbbi vizsgálatok, kísérletek vagy alátámasztották, vagy megcáfolták ezeket.

De most elmesélek egy történetet, amely teljesen jellemző az Öregre.

Egyszer felkérték, hogy az *Enciclopedia Italiana* számára írjon egy fejezetet az agykéregről. Kisagykéregről, nagyagykéregről. A kisagykéreg magzati fejlődésének tanulmányozását különösen élvezte, mert ott lehetett látni, hogy az idegsejtek a külső részből lejutnak a belső részbe, ahol egy újabb réteget alakítanak ki. Igen ám, de hogyan jönnek le? Miért jönnek le?

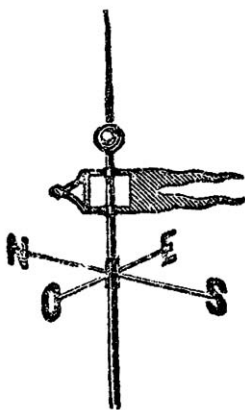
Egy Pasko Rakic nevű kutatónak – ma a Yale-en dolgozik, akkor a Harvardon – volt egy elmélete, amely szerint az idegsejtek fejlődésének menetét az ott lévő támasztósejtek, ún. gliasejtek irányítják, tehát az idegsejtek ezek mentén tudnak lemenni. Még dolgozott az Öreg a fejezetén, amikor mondom neki: Pityu bácsi, egy francia szerint nem igaz ez a teória, és állítólag bizonyítékokat szolgáltatott arra, hogy Rakic téved. Szentágothai ekkor azt válaszolta, hogy a fejezet úgy marad, Rakic elméletét benthagyja, mert olyan szép. És később ki is derült, hogy Rakic nem tévedett.

Sokat beszélgettünk Leonardóról, akit a múlt évezred legnagyobb polihisztoraként tiszteltünk. Leonardo repülőalkalmatosságokat is készített, ahogy akkoriban sokan, hiszen a reneszánsz embert nagyon izgatta a repülés. Egyszer megnézte egy kollégája gépét, és azt mondta: ez soha nem fog repülni. Kérdezték – miért? Leonardo így felelt: *mert nem szép*.

Szentágothai szerkezetben és működésben egyaránt gondolkodott – nem véletlen, hogy anatómia tankönyvének a *Funkcionális anatómia* címet adta. Mindig igyekezett magyarázatot szolgáltatni arra, hogy egy adott szerkezet egy adott funkciót hogyan szolgál, illetve fordítva: milyen lehet az a szerkezet, amely legtökéletesebben képes elvégezni egy adott feladatot. Ennek megfelelően alkotta meg a rendelkezésre álló tudás alapján a hipotéziseit is, amelyeket gond nélkül elvetett, ha az újabb bizonyítékok nem támasztották őket alá. Akkor aztán sokszor viharos sebességgel megfogalmazott egy a legutolsó eredményekkel is harmonizáló újabb elméletet.

De mindezt Szentágothai mindig úgy tette, hogy, tudta és hitte: ami szép, az igaz, ami igaz, az szép.

Kulcsszavak: *Szentágothai János, agykutatás, polihisztor, mester, tanítvány*



KITÜNTETÉSEK

Áprilisi lapzártánk után tudtuk meg a hírt, hogy Magyarország köztársasági elnöke – a miniszterelnök előterjesztésére – nemzeti ünnepünk, március 15., az 1848–1849-es forradalom és szabadságharc kezdetének, a modern parlamentáris Magyarország megszületésének napja alkalmából a Magyar Érdemrend polgári tagozata kitüntetőket adományozott.

A MAGYAR ÉRDEMREND KÖZÉPKERESZT A CSILLAGGAL polgári tagozata kitüntetést kapta

Keszthelyi Lajos Széchenyi-díjas biofizikus, a Magyar Tudományos Akadémia rendes tagja, professor emeritus;

† **Kopp Mária**, a Magyar Tudományos Akadémia doktora, orvos, pszichológus, a Semmelweis Egyetem Magatartástudományi Intézetének kutatási igazgatóhelyettese;

Kovács Ferenc Állami díjas állatorvos, a Magyar Tudományos Akadémia rendes tagja, professor emeritus.

A MAGYAR ÉRDEMREND KÖZÉPKERESZT polgári tagozata kitüntetést kapta

Ádám József, a Magyar Tudományos Akadémia rendes tagja, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Kara Általános és Felsőgeodézia Tanszékének tanszékvezető egyetemi tanára;

Botos Katalin, a Magyar Tudományos Akadémia doktora, a Pázmány Péter Katolikus Egyetem Heller Farkas Közgazdaságtudományi Intézetének egyetemi tanára;

Géher István, az irodalomtudomány kandidátusa, József Attila-díjas irodalomtörténész, az Eötvös Loránd Tudományegyetem Bölcsészettudományi Karának professor emeritusa;

Kósa László, a Magyar Tudományos Akadémia rendes tagja, etnográfus, történész, az Eötvös Loránd Tudományegyetem Bölcsészettudományi Kara Művelődéstörténeti Tanszékének egyetemi tanára.

Minden kitüntetettnek gratulál a *Szerkesztőség*

Interjú

SEJTEK KÖZÖTT

Fél életét sejtek között tölti; szenvedélyesen érdekli a növények mikrovilága. Kíváncsisága hajtja, az, hogy megismerje az ismeretlen rendszereket. Közben nemcsak gyakorolja, hanem szervezi is a tudományt. Laboratóriumot vezet, utazik, előadásokat tart, és két évtizedig egy párizsi kutatóintézet vezetője is volt. A mikrobiológiai kutatásokban elért eredményeiért Széchenyi-díjjal tüntették ki Kondorosi Éva mikrobiológust. A kitüntetéssel Várkonyi Benedek beszélget.

•

Nem gyakori az az út, hogy valaki az irodalom levegőjéből laboratóriumba megy dolgozni. Az édesapja, Tarnai Andor irodalomtörténész volt. Ennyi irodalmi könyv között hogyan lesz valaki kutató biológus?

Gyerekkoromban az irodalmárok között mindig volt hetente egy összejövetel, Keresztury Dezsőék rendeztek irodalmi délelőtti vagy délutáni, ahová tizenegy éves koromtól engem is elcipeltek. Én voltam az egyetlen gyerek a társaságban, a „Macsek”. Így aztán nagyon jól ismertem a magyarországi irodalmárokat. Ezért azt gondoltam, hogy majd én is irodalmár leszek, latint tanultam, de úgy éreztem, nem ez az igazi út. Hogy ehhez nincs elég tehetségem, és talán valami mást kellene csinálni. Az Eötvös Gimnáziumban is humán beállítottságú osztályba jártam, de a fölöttem

lévő évfolyamokból azt kérdezték, hogy miért nem megyek át az Orvos Vegytani Intézetbe, ott molekuláris biológiáról tartanak előadást, és az milyen érdekes. Az egyetemi felvételi lapok kitöltése előtt három héttel meghallgattam egy-két előadást, és ez eldöntötte a sorsomat.

Titokban érdekelte a biológia?

Rendkívül érdekes, szinte forradalmi volt mindez, hiszen akkoriban a genetika, a molekuláris biológia még nem tört be az oktatásba. Az Orvos Vegytani Intézetben Csányi Vilmos, Venetianer Pál, Duda Ernő és Vida Gábor előadásait hallgattam. Fiatalok és rendkívül lelkesek voltak, jópofák, közvetlenek, és remek előadásokat tartottak. Akkor rájöttem, hogy ez az, ami valóban érdekel. Mindenki nagy megdöbbenésére szakbiológus szakra adtam be a felvételi jelentkezésem, és nem bántam meg. Ez olyan tudományterület, amely állandó kihívások elé állít, amit nem lehet megunni, és ez teszi ki az életem nagy részét.

Ezen a véletlenen múlt akkor a természettudósi pálya?

Igen, ezen a véletlenen, különben soha nem mentem volna biológusnak. Még arra is emlékszem, hogy első éves gimnazistaként, amikor biológia bemutató órán engem hívtak ki

felelni, a tanárok odajöttek hozzám, és megkérdezték: ugye maga biztos biológus akar lenni, mert nagyon jól felelt. Én pedig végig voltam sértve, hogy képzelik, hogy én, biológus? Soha. Így alakult. Nem vagyok „dögész”, ahogy apám bölcsész barátai a biológusokat hívták, az állatokat nem szeretem gyilkolni, de a mikrobiológia, a biokémia, genetika vagy a molekuláris és fejlődésbiológia nagyon jól fekszik nekem.

Van valamilyen különleges kapcsolata a növényekkel, vagy ez már olyan viszony, amelyben nem is számítanak növényeknek?

Nem számítanak növénynek. Ez olyan rendszer, amelyet használ az ember, de a növények nem sírnak, ezért sokkal könnyebb velük dolgozni. A fő kutatási területem a növények és baktériumok együttélése, szimbiózisa. Ez első pillantásra talán egészen egyedinek látszik, de valójában általános érvényű információkat ad különböző szervezetek együttélésére. Ha meggondoljuk, talán egyetlen olyan élő szervezet sincs, amely képes lenne egymagában, mikroorganizmusok nélkül élni. Valójában az egész világ egy szimbiózis.

Mi hajtja előre a kutatásaiban: a kíváncsiság vagy a lehetséges tudományos haszon?

Én elsősorban alapkutatással foglalkozom, és a kíváncsiság hajt. Szűkebb szakterületemen az érdekel, hogy két szervezet – a baktérium és a növény – hogyan beszélget egymással, és ez hogyan vezet egy új növényi szerv kialakulásához, és ezen belül hogyan tudják a növényi sejtek tolerálni több tízezernyi baktérium jelenlétét.

Vagyis ezt a beszélgetést kell kihallgatni?

Igen, vagyis azonosítani lehet, hogy mik azok a jelek, amelyekkel a szervezetek egymással

tudnak beszélni, és hogy ezek a jelek milyen folyamatokat indítanak el a másikkban, és erre mi a viszontválasz. Amikor az ember elkezd dolgozni valamin, akkor olyan témát választ, amely izgalmas, új és fontos biológiai kérdésre ad választ. A mi esetünkben ez a biológiai nitrogénkötés volt. A levegőben lévő nitrogén semmilyen élőlény számára nem hasznosítható, kivéve néhány mikroorganizmust, amely képes a nitrogéngázt úgy átalakítani, hogy az a növények számára is hasznosítható legyen. A biológiai nitrogénkötés leghatékonyabb formája a Rhizobium baktériumok és a pillangós virágú növények szimbiózisával, gyökérgümőkben jön létre, ahol a baktériumok által megkötött nitrogén fedezni tudja a növény teljes nitrogénszükségletét. A mezőgazdaságban nitrogénműtrágyázással biztosítják a nitrogénforrást a növények növekedéséhez. Ez azonban környezetszennyező, és előállítására nagyon sok energiát igényel. Ezért több évtizedes terv, álom a biológiai nitrogénkötés képességének átvitele más növényekre is. Ma már tudjuk, hogyan, milyen molekulákkal beszélget a két partner a talajban, amely beindítja a szimbiózist és a gyökérgümő kialakulását. Kevésbé ismert, mi történik később. Meddig szaporodhatnak a baktériumok a növényi sejtekben, hogyan alakulnak át nitrogénkötő bakteroidokká, és hogyan kerül ki a növény védekezőrendszerét. Az utóbbi három-négy év munkájával mutattuk ki, hogy a növény az immunrendszer antimikrobiális (mikrobaölő) peptid molekuláit felhasználva és továbbfejlesztve irányítja a baktérium fejlődését és sorsát, hogy a baci csak azt tegye, ami a növény számára előnyös. Hogy a szükségesnél ne osztódjon tovább, hogy utána ne is térjen vissza a szabad életformába, és gyakorlatilag csak a nitrogénkötést végezze a növény számára. Eredményeink

publikálása után kiderült, hogy más, például rovarbaktérium szimbiotikus rendszerek is hasonlóképpen, mikrobaölő peptidek felhasználásával működnek. A gyökérgümőkben több száz természetes baktérium- és gombaölő fehérje termelődik. Ezek mindaddig nem voltak ismertek. Kimutattuk, hogy ezek a növényi peptidek laboratóriumi körülmények között nagyobb hatékonysággal tudnak működni, mint a meglévő antibiotikumok. Sajnos személyesen is láttam, átéltem, hogy bizonyos kórházi fertőzésekre mennyire nincsenek hatékony antibiotikumok, és hány ember hal meg ezért.

Akkor ebből akár forradalmi felfedezés is lehet? Vagyis egy olyan szer, amely föl váltja, vagy legalábbis kiegészíti az antibiotikumokat?

Igen. A növényi peptidmolekulákat kémiai szintézissel elő lehet állítani, és utána feltehetően a gyógyászatban használni. Ez azonban hosszú út, és még csak a kezdetén vagyunk.

Ezek alapján mennyire érik meglepetések a kutatás során?

Sok meglepetés ért, és ezek közül az utolsó ez az eddig teljesen ismeretlen mikrobaölő fehérjecsald volt. A baktériumok differenciálódása, amely ráadásul a növényi gazdasejtekhez hasonló mechanizmusok felhasználásával történik, szintén egy váratlan felfedezés volt.

Körülbelül húsz évig Párizsban is kutatott, a CNRS, a Francia Tudományos Kutatóközpont intézetében. Hogy került oda? Ott akart dolgozni, vagy a véletlen vitte oda?

Ez a nyolcvanas évek végén váratlanul és véletlenül jött. A férjemmel, Kondorosi Ádámmal jó együttműködési kapcsolataink voltak a kölni Max Planck Intézetrel, ahol éveken

át fenntartottak számunkra egy laboratóriumot. Ez a program nagyon rugalmasan működött, föl sem merült, hogy Párizsba menjünk. Gif-sur-Yvette-ben van egy nagy CNRS kampusz, ahol bezártak egy intézetet, és a helyére egy modern növénytudományi intézetet akartak létrehozni. Ide kerestek igazgatót, és végül a jelöltjeik közül Ádámot választották. A CNRS vezetősége jött el az MTA-ba, hogy meggyőzzön bennünket, hogy fogadjuk el az ajánlatukat. Nem lehetett visszautasítani. Négy évre mentünk ki, amiből újabb és újabb négy évek lettek.

Ott be kellett vezetni azt a kutatást, amit Szegeden elkezdtek?

Igen, de ennél sokkal többet is. Szó szerint a semmiből kellett létrehoznunk az intézetet. Még az épületet is meg kellett terveznünk, amelynek csak három fala állt. Emellett kerestük a legtehetségesebb munkatársakat az egész világból. Szerettünk volna új embereket, új témákat behozni, világszínvonalúakat. Így kezdődött; Ádám irányította az intézetet, ő felelt az intézet tudományos programjáért, ami mellett bele kellett szoknia a nem túl könnyű francia adminisztrációba is, én pedig a saját szakterületünkön folyó munkát irányítottam. Az intézet valóban világhírű lett.

És közben Szegeden is végezték tovább a munkájukat? Ezt hogyan lehetett csinálni?

Szegeden megmaradt Ádám régi csoportja, amely a CNRS–MTA-egyezmény keretében ikerlaboratóriumi formában működött tovább. Gyakorlatilag mindennapos maradt a kapcsolat.

A kutatás meglehetősen kreatív szellemet igényel. Mennyire engedte szabadon azokat, akik az ön vezetése alatt dolgoztak?

Szabadon engedtem, mert az volt a célom, hogy minden fiatal a lehető legjobb eséllyel induljon az életbe. Erős, magas színvonalú PhD-vel, amely alkalmassá teszi őket arra, hogy a nemzetközi életben, akár pályázatoknál vagy ösztöndíjaknál nagyon jó helyezést kapjanak. Több tanítványomból lett egyetemi professzor, intézet- vagy cégvezető. Az egyik PhD-hallgatóm például két évvel a doktori fokozat megszerzése után egyetemi professzori állást kapott a párizsi Jussieu Egyetemen.

A franciaországi laboratóriumban a vezetése alatt dolgozott lengyel, fehérorosz, francia, belga, spanyol kutató is. Mennyire volt fontos, hogy ez nemzetközi kutatócsoport legyen? Úgy gondolta, hogy így jobb az együttműködés?

Azt hiszem, nagyon jó, ha egy labor nemzetközi összetételű. Mert több benne a kultúra, több a szemlélet, több az életforma. Ez érdekes, és serkenti is az embereket. Nagyon jó hangulat volt; egy időben például a spanyol volt a fő nyelv. Magyarországon túl nagy a bezárt-ság, elvértve akad egy-egy külföldi postdoc, pedig nagyon jó lenne a nyitottság, a különböző felkészültségek, szemléletek, munka- és életstílusok keveredése is.

Mindebből a szellemből sikerült átvinni valamit a szegedi intézetbe?

Szegeden létrehoztunk egy kis intézetet, a Baygent, ami a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közalapítvány keretében az NKTH magyar-francia pályázatával jött létre 2007 márciusában. Hazatérítettem néhány rendkívül tehetséges kutatót az USA-ból, Ausztráliából és Franciaországból, és igyekeztem a nemzetközi szemlélet hazahozni, továbbá egy nemzetközi tudományos testület véleményét is kikérni a programokkal kapcsolatban. Sze-

rintem a Baygen egy gyöngyszem lett a magyar kutatóhálózatban, de sajnos tisztavirág-életű. 2010. december 27-én egy kormányhatározat a közalapítványok megszűnéséről döntött, és a Baygen mint önálló intézet így már nem létezik 2012. március 31-től, de április elsejétől az MTA Szegedi Biológiai Központon belül fogunk tovább működni.

Akkor az elmúlt időben az energiáját inkább az intézet életben tartása emésztette föl, mintsem azt a kutatásra tudta volna fordítani?

Ez a helyzet demoralizálta a kutatókat. Én külföldről hoztam be nagyon fiatal kutatókat, remekül ment minden. Nincs Magyarországon még egy olyan alapkutatással foglalkozó kutatóintézet, amely állami támogatás nélkül kigazdálkodott volna mindent. Mostanáig ezek a fiatalok nem tudták, miért is jöttek Magyarországra, mert kéthónapos munkaszerződéseik voltak. A franciák fölajánlották, hogy menjek ki, minden támogatást megadnak. Természetesen szívesebben dolgozom itthon, azért is jöttem haza. Ez az intézet kiemelkedő lehetett volna, nemzetközi híre volt. Most talán rendeződik a helyzetünk.

De azért úgy érzi még, hogy a kutatásaiban vannak tartalékok?

Persze, hiszen ez teljesen új terület, amelynek feltárása, megértése egy évtizedre is munkát ad. A kutatási területem újdonsága miatt annyi meghívásom van konferenciákra, hogy ha mindegyikre elmennék, akkor nem is tudnék dolgozni. És e kutatással kapcsolatban választottak meg az amerikai tudományos akadémia külföldi tagjának. Ezt az elismerést is erre a munkára kaptam; és ezt jutalmazta a Széchenyi-díjam is.

*Akkor végül is nem nagyon bánta meg,
hogy most nem irodalomtörténetet tanít
egy egyetemen, ugye?*

Egyáltalán nem. Számomra ez a tudomány-
terület sokkal dinamikusabb, és nekem sok-
kal több kihívás van benne, mint egy irodal-
mi munkában. Persze lehet, hogy fordítva
gondolnám, ha azon a területen dolgoznék.

A biológiai kutatások minden nap annyi új
érdekes kérdést vetnek fel, hogy az ember
csak egy töredékét tudja megválaszolni.

Kulcsszavak: *Kondorosi Éva, nitrogénkötés,
Rhizobium, gyökérgümő, peptid, CNRS, Fran-
cia Tudományos Kutatóközpont, Max Planck
Intézet, Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Köz-
alapítvány, Baygen, Szegedi Biológiai Központ*



TÁVOLI MÚLTAKBAN

Róna-Tas András a régmúlt időkbe jár dolgozni. Nyersanyaga a nyelv, olyan szavak, amelyek ma már talán csak a kutatók számára léteznek. A keleti világok érdeklik, Mongólia, Tibet és az egykori török birodalom – és mindez persze azért, hogy a magyar nyelvben és történelemben találjon fontos kapcsolatok. Évtizedek óta kutat és tanít, és közben a rektori hivatás is megkísértette: másfél évig vezette a Szegedi Egyetemet. Róna-Tas András sok-sok évtizedes nyelvészeti-történeti munkájáért Széchenyi-díjat kapott, ennek alkalmából Várkonyi Benedek beszélget vele.

•

Ön keleti világokkal foglalkozik: mongolisztikával, turkológiával, tibetisztikával. Egyetemista korában Ligeti Lajos is a tanára volt, aki elsősorban a kínai kultúra kutatásáról ismert, és ön is érdeklődött ez iránt. Hogyan kanyarodott el a magyar nyelv és történelem távoli múltjának kutatása felé?

Ligeti elképzelése a magyar nyelv és kultúra keleti hátterének felderítése volt. De az ő nagy műve, az 1986-ban megjelent nagy munkája a régi magyar-török kapcsolatokról szól, és ennek a hátterét is vizsgálta. A török kultúrának van mongol háttere, a mongolnak van kínai kapcsolata. Az egész tehát kitágult Ligeti kutatásai során, amit az biztosított, hogy megfelelő háttérrel dolgozott. Én ebbe csöppentem bele. Amikor bekerültem az egyetemre, és Ligeti tanítványaként kötöttem ki, akkor Ligeti rám szólt, hogy tibetit tanuljak,

ugyanis ő akkor indított egy tibeti kurzust, és ahhoz legalább öt hallgató kellett. Így engem is beszípkázott.

De érdekelte ez a világ?

Eredetileg nem nagyon érdekelt, de Ligeti nagy hatással volt rám, és rájöttem, hogy az egyetemen nem azt kell okvetlenül tanulni, amit az ember csinálni szeretne, hanem jó tanárokhoz kell menni, akiktől a módszert tanuljuk meg. Ligeti ilyen volt. 1950-ben kezdtem járni az egyetemre, és akkor a régi nagy professzorok többsége már nem tanított. Nagyrészüket nyugdíjazták, kidobták, már nyomokban sem találtam Horváth Jánost, a nagy tudósokat. Olyan helyre igyekeztem menni, ahol még kiváló professzorok maradtak. Két ember volt, aki a nagy tudós generációkból ott maradt: Ligeti Lajos és Németh Gyula. És Ligeti azt mondta: most leül tibetit tanulni.

Azt mondja, jó tanárok kellene, akiktől a módszert meg lehet tanulni. A magyar keletkutatásnak vannak nagyjai, akik nem okvetlenül azzal foglalkoztak, amivel most ön, de nagy elődök: Vámbéry Ármin, Stein Aurél, Hopp Ferenc – Körösi Csomáig nem akarok visszamenni. Ők jelentettek valami útmutatást, vagy egészen más úton kellett elindulnia?

Három teljesen különböző emberről van szó, épp ezért nagyon érdekesek. Egyikük Vámbéry, a zseni, aki soha nem vett részt felsőoktatásban. A nyelvek zseniális tudósa volt, hihetetlen, hogy mi volt a fejében, nagyon sok

munkáját már egyetemista koromban elolvastam. Módszertelen zseni volt. Stein Aurél egészen más. Kiváló rendszeres kutató, akinek az érdeme a mai napig szinte leírhatatlan. A középkori nagy irodalmak megtalálója, több nyelv, rengeteg írás és forrás felfedezője.

Lehetett tőlük tanulni valamit?

Elolvastam a munkáit, remekül írt. A kutatásairól szóló beszámolók – Sven Hedinnel együtt – izgalmasak voltak már gimnazista koromban. Stein Auréltól mint kutatótól lehetett tanulni. Hopp Ferencnek a gyűjtőszennvedélye volt fantasztikus, a múzeum meg a keleti tárgyak érdekesekek voltak. Nekem muzeológus diplomám van, érdekelt, hogy mit lehet egy keleti tárggyal csinálni. A legelső cikkem éppen egy keleti tárgy leírása volt. Ilyen értelemben van közöm hozzá, de én filológus-nyelvész vagyok.

De amikor az ön munkásságáról beszélünk, akkor nem csak filológiáról és nyelvészetről van szó, a történelemhez is köze van. Minek tarja magát igazán: filológusnak, nyelvésznek vagy történésznek?

Olyan történész vagyok, aki nyelvi forrásokkal foglalkozik.

Am köze van a földrajzhoz is. Abba mennyire kell „beleártania” magát?

Alapvető, hogy tudjuk, valami mikor és hol történt. A „hol történt”-re mindenképpen földrajzi választ kell adni. Írtam olyan cikket, ami valójában földrajzi témájú. Bebizonyítottam, hogy valami nem ott volt, ahol addig gondolták. Ez a híres Kuvrát Nagy Bulgáriája, amelyet a tudósok korábban máshová helyeztek, én pedig úgy látom – és ezt elfogadta tőlem a tudomány –, hogy nem pontosan ott volt. Mindez a magyarokkal is kapcsolat-

ban van, mert az egész Bolgár Birodalom kapcsolatba került a magyarokkal. És jártam a világot: Mongóliát, a Volga-vidéket, a magyar őshazák lehetséges helyeit. De nem földrajzos szemmel.

Itt most sok-sok évszázaddal, évezreddel megyünk vissza az időben. Mondta, hogy egy tudósnek nem okvetlenül kell szeretnie azt, amit tanul. De talán nem árt, ha szereti. Lelkileg jól érzi magát ebben a száz-ezer évre visszamenő világban?

Persze. Ha valaki megkérdezi, hogy mit szeretek ebben, akkor ez a rekonstrukció. Rekonstruálni azt, ami az ötödik században volt, vagy azt, hogyan beszéltek a magyarok a nyolcadik században, hogy milyen török mondatszerkezet volt a hatodik században, hogyan hangzott a tibeti nyelv a hetedik században. Ezek izgalmas kérdések: hogyan lehet ezeket rekonstruálni. Hogyan tudom bizonyítani, hogy amit állítok, az igaz.

Hogyan lehet ilyen messzi múltban egzaktnak lenni? Egy tizenkilencedik századdal foglalkozó történész számára ez „nem nagy kunszt”, mert sok írott forrása van, de minél inkább visszamegyünk a múltba, annál nagyobb homályba érkezünk. Nem érzi ezt?

Homály mindenütt van, a jelenben is és a múltban is, ezek a módszer kérdései. Módszer kérdése, hogyan tudom meghatározni, hogy a magyarság hol tartózkodott például az ötödik században. Nyilván más módszereket kell használni, amikor írott források állnak rendelkezésre, és másokat, amikor csak nyelvi forrásaink vannak. Nagyra becülöm a régészetet, de az teljesen más módszertannal dolgozik. Amikor azt rekonstruálok, hogy hol jártak magyarok, akkor azt elsősorban nyelvészeti-filológiai eszközökkel teszem.

Az előbb módszertanról beszéltünk, az ember módszereket sajátít el a tanáraitól. Úgy érzi, hogy sikerült kidolgoznia valamilyen módszertant, vagy valamilyen iskolát teremtenie ebben a tudományban, amit át tud adni a tanítványainak?

Az utókor mondja meg, hogy ez iskola vagy nem iskola. Én műhelyt szoktam mondani, mert szerintem az is nagy dolog. Tizennégy hallgatónak van tudományos fokozata. Köztük van néhány professzor, Magyarországon és külföldön. Van egy réteg, amely ezt a metodikát elsajátította, és továbbfejlesztette, hozzáadta a saját tudását. Mindig is azt gondoltam, hogy a módszertant kell megtanulni, persze példákon, mert nincs levegőben lógó módszertan. Azután azt lehet használni.

A pályáján melyik fontosabb: a kutatás vagy az oktatás?

Számomra a kutatás a döntő. De igyekeztem egyetemi szinten is úgy tanítani, hogy a legújabb dolgokat mondjam el. 1968 óta tanítok a Szegedi Egyetemen, és persze az órarendben sokszor ugyanaz a cím szerepel, de soha nem mondtam el ugyanazt kétszer. Egyrészt mert azt én unom, másrészt az ember közben olvas, mindig újabb eredmények vannak. Ugyanakkor a hallgatókat rá kell venni arra, hogy kérdezzenek. Ez nagyon nehéz, mert nem szeretnek kérdezni. Állandóan bombázom őket, hogy kérdezzenek, és néha nagyon jó kérdéseket tesznek fel.

Ezek a kérdések visszahatnak a kutatói munkára is? Előfordul, hogy valaki kérdez valamit, és az megindít valamit a kutatásban?

Persze. Általában heti háromfélét adtam elő az egyetemen. Egyre nagyon készültem, ez

mindig egy teljes hétig tartott. A többit a meglévő ismereteimből tartottam meg, kiegészítve azokat. Ez az állandó gördülő készülés ugyanakkor kutatás is. Minden évben volt olyan órám, amire nagyon sokat kellett készülni. Ez rendszeres olvasást jelent, és nagyon fontos a véletlen.

Mi a szerepe ebben a véletlennek?

A tudomány rendszerességből és véletlenből áll. A véletlent lehet szerencsének is nevezni. Az első cikkeimben a véletlen is segített. A legelső tibetisztikai témájú volt; az egyetemen Ligetivel olvastam egy régi ótibeti szöveget, ahol problémák adódtak egy nehezen meghatározható terminus körül. Kimentem a Néprajzi Múzeumba, ahol láttam egy buddhista szentképet. Ez segített a megoldáshoz. De ha a Néprajzi Múzeumban nem azt a munkát kapom, akkor a kettő nem jön össze. A módszertan mellett így van szerepe a véletlennek is.

Ha az oktatásról beszélünk, akkor szólnunk kell arról, hogy majdnem két évig a Szegedi Egyetem rektora is volt. Ez a pozíció miért volt fontos, és miért csak ennyi ideig tartott?

Nem akartam rektor lenni. 1990-et írtunk, forrongtak az egyetemek, nagygyűlések, fórumok voltak. Megkértek, hogy vezessek le egy fórumot. Levezettem, és meglepte őket, hogy demokratikus szabályok szerint csinálom, nem úgy, ahogy kilencven előtt megszokták. Valakinek eszébe jutott, hogy engem kellene megválasztani rektornak. Azt mondtam, nem fogadhatom el, mert ez nem az a közösség, amelyik rektort választ. De ha az egyetem szenátusa – amely erre jogilag illetékes – megválaszt, akkor elfogadom. Így lettem rektor, de rögtön meg is mondtam, hogy csak egy évre vállalom, hogy végigcsináljam az átme-

netet, roppant izgalmas feladatnak tartottam. Átalakul a világ, ez a „halászléből a hal visszaalakítása”. Korábban nem volt vezető funkcióm. Nem tudtam, hogyan kell ezt csinálni, és ambícióm sem volt hozzá. Azt nem mondom, hogy nem örültem, amikor a szenátus megválasztott. Végül másfél év lett belőle, amíg eljutottunk az újabb választásig. Akkor mindenki azt hitte, hogy csak dumálok, és majd én is pályázom. Nem pályáztam. Ez huszonnégy órás munka; el kellett döntenem, hogy tudományt vagy egyetemet csinálok.

Kellemetlenebb kérdésekről is kell beszélnünk. Mostanában divatba jött a magyar őstörténet, és annak kultusza, ha nem is okvetlenül tudományos körökben. Többször is kifejtette a véleményét erről, amiért támadásokat is kapott. Hogy éli át ezeket a támadásokat?

Mindez nem új, több száz éves, csak a kommunista rezsim alatt elnyomták ezt az egyébként tudománytalan és téves nézeteket valló világot. Elzárták előle a levegőt. Megnyílt a szelep, oxigént kapott, a tűz újra ég, de nem csodálkozom ezen. Semmi új sincs ezekben. Egymást idézik, századszorra hozzák föl ugyanazt. De odafigyelek, mert hátha van itt valami új. Nem zárkozom el eleve előlük, mert azt gondolom, a többségük jóindulatú ember, és el tudom képzelni, hogy valaki rájön valamire, ami előreviszi a tudományt.

Volt már olyan, amit ebből a világból át tudott venni?

Olyan, amit átvettem, nem volt, de olyan igen, amiről az elején azt hittem, hogy át tudom venni. Aztán persze később kiderült, hogy nincsenek tudományos bizonyítékok.

Elég durva támadásokat is kapott. Ezeket hogyan fogadja?

Ez vele jár, de nem érdekel. Akkor érdekelne, ha a támadások tárgyszerűek lennének. Ha kimutatnák, hogy tévedtem – ami lehetséges –, akkor örülnék neki, és kijavítanám azt, amit helytelenül csináltam. De ha minősítenek, azt nem fogadom el. Ha azt mondják, hogy ilyen, meg olyan finnugrista vagyok, aki a magyarság kártevője, akkor ezzel nem tudok mit tenni, mert nincsenek tények és érvek.

Végül is úgy érzi, hogy ebben a tudományban sikerült valami gyökeresen újat hoznia vagy valamit megváltoztatnia benne? Jól esik visszanéznie mindarra, amit eddig tett?

Sok olyan van, ami tudományosan igazolódott, és megoldottam problémákat, mert a tudomány végül is abból áll, hogy van egy probléma, és van egy megoldás. És közte ott a nehéz út. Azt hiszem, hogy még a tibetisztikában, mongolisztikában, turkológiában is vannak olyan eredmények, amelyek az én fejemben álltak össze. Nem nagyon hiszek abban, hogy ezen a területen kollektív fejek vannak, teammunka, ahogy a biológiában vagy a fizikában. Ezen a csapáson, amelyen én megyek, sok ember segít, segített, nemcsak a tanárain, hanem a munkatársaim és tanítványaim is. De a végeredménynek egy fejben kell összeállnia. Más fejben más végeredmény állhat elő, ami különben ugyanolyan jó lehet. Nagyon jól érzem magam. Össze tudom állítani, hogy melyek azok a nagy eredmények, amelyeket a tudományban és az intézményszervezetben létrehoztam, és nyugodt vagyok, megtettem, ami tőlem tellett.

Kulcsszavak: Róna-Tas András, mongolisztika, turkológia, tibetisztika, Ligeti Lajos, Horváth János, Németh Gyula, Vámbéry Armin, Stein Aurél, Hopp Ferenc, Sven Hedin, török birodalom, filológus-nyelvész

LEROY P. STEELE, ROLF SCHOCK, ABEL

Bán László beszélgetése Szemerédi Endrével

A fenti nevekkal fémjelzett díjakat már mind magáénak tudhatja Szemerédi Endre magyar matematikus, és ez kivételes teljesítmény. Nem mellékesen 2010-ben tagjainak sorába választotta az Egyesült Államok Tudományos Akadémiája, itthon nemrégiben átvehette a Széchenyi-díjat, azután szinte rögtön jött a hír: a matematika Nobel-díjaként is emlegetett Abel-díjat ő kapta az idén!

Az amerikai Rutgers Egyetem Számítás-tudományi Tanszékén oktató professzorral legutóbb éppen négy évvel ezelőtt beszélgettünk ezeken a hasábokon, a Leroy P. Steele-díj elnyerése alkalmából.

Önt ismerve arra gondolok, hogy bár nyilván örül minden egyes elismerésnek, azért szeretne már megint inkább visszatérni az ünneplésből a matematikához...

Ez bizony így van, azonban igyekszem nyilatkozóként is helytállni, miközben egyfolytában zavarban vagyok, mert igazából ez nem nekem való terep. Néha, hogy saját zavaromat oldjam, próbálok viccelni – na, azt sokszor komolyan veszik, amikor viszont tényleg komolyan mondok valami esetleg meglepőt, azt inkább viccnek gondolják, szóval, ebben valószínűleg nagyon tehetségtelen vagyok. Félreértés ne essék, megtisztelt minden egyes megkeresés, de azért már titokban arra gondolok, hogy egy-két hét, és visszatérhetek a megszokott munkámhoz.

Mindig hangsúlyozza, hogy csak néhány kicsiny téglával járult hozzá a diszkrét matematika csodálatos épületéhez, bár azt elismeri, hogy ezek az alapba kerültek. Nem viszi túlzásba a szerénységet?

Nem hiszem, mert tényleg komolyan gondolom, hogy sokan vannak, akik legalább ennyire megérdemelték volna ezt a díjat is. Persze lehet, hogy tényleg fontos dolog elindítani valamit, amire aztán az igazán nagy matematikusok ráépítik a maguk munkáját. Amikor például a *Regulitási Lemmát* megcsináltam, egy konkrét probléma foglalkoztatott, az vezetett el odáig. Akkor még eszembe sem jutott, hogy mások mire fogják használni. Tény, hogy úgy fél év múlva azért már elkezdtem sejteni, hogy ennek a tételnek a filozófiája még fontos lehet a későbbiekben, ha mások is felismerik. Azért olyan szép dolog a matematika, mert inspiráljuk egymást, fantasztikusan sok irányban el tudnak indulni munkák egyetlen felismerésből! Sokan már olyan messzire járnak tőlem, hogy nem is tudom követni őket, s mindazt, amire a saját területükön jutnak. Elsősorban például a valószínűség-számításhoz tartozó *ergod-elméletben*, ami az Abel-díj indoklásában is szerepel.

Tényleg, azt miért kérdőjelezi meg, hogy ez az elismerés valójában a matematikai Nobel-díjat hivatott helyettesíteni?

Amikor korábban, a *Rolf Schock*-díj átvételekor, 2008-ban, megkérdezték, hogy szerintem mi a legnagyobb elismerés a matematikában, akkor azt válaszoltam, hogy a *Fields*-érem, a *Wolf*-díj és az *Abel*-díj. Most pedig módosítottam a véleményem, és már csak a *Fields*-érmet, meg a *Wolf*-díjat jelöltem meg fontosnak. Persze ez csak vicc, nagyon nagy megtiszteltetésnek tartom, hogy megkaptam az *Abel*-díjat. Az tény, hogy a norvégok valóban a matematikai Nobel-díj pótlására törekedtek, és ezért meg is tettek mindent.

Az elismerések sorában viszont feltétlenül meg kell említeni azt a talán kevésbé közismert tényt, hogy önt 2010-ben tagjai közé választotta a National Academy of Sciences of the USA. Ez azért kivételes elismerése a munkájának, nem?

Ez így van, hiszen valóban nem könnyű ebbe a testületbe bekerülni. Végtelen sok kitűnő matematikusa van az Egyesült Államoknak, azokból válogatnak a relatíve meglehetősen kis létszámú akadémiai osztályba. Én kettős állampolgár vagyok, ily módon szóba jöhettem ott is. Óriási megtiszteltetés több mint kétszáz Nobel-díjas közé bekerülni! Egy rendkívül hosszú és bonyolult jelölési procedúra, többlépcsős szűrési folyamat végén születik meg minden évben az eredmény. Ráadásul ki sem szivárgott előre semmi, úgyhogy majdnem az utolsó pillanatig tökéletes volt a meglepetés, hogy beválasztottak. Akkoriban az *Institute for Advanced Study*-n voltam, és úgy három héttel a kihirdetés előtt, amikor már gyakorlatilag biztos lehetett a tagságom, odajött hozzám a világhírű matematikus, *Peter Sarnak*. Ő az egyik legszelebb látókörű matematikus, akit még Stanfordinból, diákkorából ismerek, és akit a barátomnak is mondhatok – na, nem pusztán a matemati-

ka miatt, inkább azért, mert ő is fanatikus sportdrukker, és elkápráztattam olyasmivel, hogy Joe Montana ötvenyardos passza hogyan döntött el egy fontos meccset az amerikai fociban... Szóval, ő megtudta, hogy nekem komoly egészségi problémám volt akkoriban, és ezzel a jó hírrel akart egy kicsit vigasztalni, erőt önteni belém. Később aztán egyébként sikeresen kezeltek, szerencsésen meggyógyultam...

És ha jól tudom, mostanában már az év nagyobbik részét viszont itthon töltik a feleségével?

Igen, már csak évente három hónapot vagyunk kinn, azt is igyekszünk úgy intézni, hogy az őszi félévben legyen. Feleségem, Panni is tanít ott ilyenkor spanyolt, a *New York University*-n, ahol egyébként négy *Abel*-díjas is van, köztük Lax Péter. Pannit nagyon jó tanárnak tartják, a diákok is mindig fanatiztikusan jól minősítik. Amikor Amerikában vagyunk, New Yorkban lakunk, Greenwich Village-ben, és ez hihetetlenül izgalmas. Az a nyüzsgő élet, ami ott, a Washington Square környékén zajlik, elképesztő élmény. De persze nagyon szeretek kimenni a Rutgers Egyetemre, tanítani a hallgatóimat...

Akik, gondolom, azért már PhD-aspiránsok?

Van egy-két ilyen is, de én legjobban az *undergraduate*-ket szeretem tanítani! Persze, az elején mindig meg kell egy kicsit őket nevelni, mert például nem engedem, hogy egynek-igyanak az órán, meg számológépet használjanak. Aki meg nagyon prüszköl, azt figyelmeztetem, hogy aztán nagyon morcos tudok lenni az osztályzásnál, ami természetesen marhaság, mert a tanszék szerint túlságosan is lágy szívűen adom a jegyeket... Hiszen én úgyszólván inkább csak szemléletet akarok

adni nekik némi elemi diszkrét matematika, valószínűségelmélet révén, mert aztán végül úgyis számítógépesek lesznek.

Tudjuk, hogy a számítás tudománya önt csak elméleti szinten érdekli; hogy nem is használ számítógépet, legfeljebb elektronikus levelei elolvasására. Ám úgy tudom, a munkássága erősen hat erre a területre: például a Regularitási Lemmának jelentősége lehet az internet mint hálózat kutatásában is...

Köznapi értelemben ez a tétel azt fogalmazza meg, hogy a látszólagos legnagyobb káoszban is mindig találhatók kisebb „rendes” részek, amelyek segítségével jobban átlátható, kezelhető az egész rendszer. A világháló is felfogható egy óriási gráfként, amelyben az egyes felhasználók, site-ok képezik a pontokat. Természetesen mint ilyen, az internet is izgatja a kutatók fantáziáját, köztük sok kitűnő matematikust, de például a fantasztikus Barabási Albert-Lászlót is, és megpróbálják ennek a világméretű hálónak a jövőjét megjósolni. Modellezik a rendszert, komoly matematikát használva, és megnézik, hogy hova vezethetnek a mai trendek. Én ehhez már nem értek különösebben, de valami olyasmi derül ki ezekből a kutatásokból, hogy ennek a világ-gráfnak azok a pontjai, amelyeknek sok kapcsolódásuk van másokkal, azok tovább erősödnek, ún. nagyfokú pontot képeznek. Olyan ez, mint amikor egy színész már sok filmben szerepelt, akkor nagyobb valószínűséggel hívják egy következő filmbe, még akkor is, ha esetleg nem feltétlenül ő a legalkalmasabb arra a szerepre – valami ilyesmi történik a site-okkal, portálokkal is.

A lényeg, hogy amikor Rényi Alfréd és Erdős Pál sok-sok évtizeddel ezelőtt elkezdték vizsgálni a véletlen gráfok elméletét, és később, amikor én és mások is foglalkoztunk ilyesmi-

vel, akkor még senki sem gondolhatta, hogy ennek milyen gyakorlati haszna lehet ma! Az elméleti matematikusok önmagáért, a probléma szépségéért vizsgálnak bizonyos dolgokat, azután egyszer csak az ebből születő eredmények forradalmasíthatnak bizonyos alkalmazásokat. A matematikusokat nem szabad egyenként megítélni, mert akkor csak azt látjuk, hogy valami furcsa dologgal bíbelődnek: ha azonban együttesen, egészében vesszük a munkájukat, akkor kiderül, hogy az alap kutatásoknak is előbb-utóbb óriási gyakorlati haszna van.

Jól tudom, hogy – amint ezt egyébként korábban ígérte – elkezdett új területeket „tanulni”, megismerni az elméleti matematikában?

Igen, igen, részben „szakmát” váltottam: elkezdtem analitikus számelmélettel is foglalkozni Turán Pál, Pintz János, Halász Gábor és mások nyomán. Én ezt soha nem tanultam, most barátkozom vele, mert nagyon érdekelt mindig is. Vannak barátaim itthon, akik számelmélettel foglalkoznak, összejövünk, és akkor tanítgatnak ilyesmire. Remélem, hogy előbb-utóbb eljutok olyan szintre, hogy önállóan oldjak meg problémákat, de azt egyáltalán nem hiszem, hogy akár csak esélyem is lenne arra, hogy komoly eredményeket érjek el, hiszen ahhoz még valószínűleg évtizedekre lenne szükség. Márpedig az idő telik...

De azért még teniszezik, ugye?

Igen, de a csípőízület-problémám miatt már csak edzővel. Ő szépen a kezemre üti a labdát, tehát nem kell érte ugrálnom, ellenben így fantasztikusan javult az ütéstechnikám: a legújabb pörgetést ütöm, próbálom Nadalt utánozni! Kiegészítésként elkezdtem pingpongozni is, persze ezt is kontra-technikával,

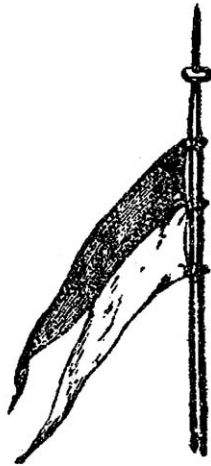
vagyis lepattanás után rögtön megütöm a labdát, tehát ott sem kell sokat ugrálnom...

Ugyanakkor mintha lényegesen elegánsabb lenne, mint korábban – pedig az Abel-díjjal járó összeget még fel sem vette...

Magam sem tudom, miért, az utóbbi egy-két évben elkezdtem „öltözködni”, Panni ebben

persze sokat segít. Valahogy fontos lett, hogy néha elegánsabban jelenjek meg – lehet, hogy öregszem?

Kulcsszavak: Szemerédi Endre, Abel-díj, Regularitási Lemma, Rutgers Egyetem, ergod-elmélet, National Academy of Sciences of the USA, diszkrét matematika, gráf



SZENVEDÉLY ÉS KÍVÁNCISISÁG

A március végén Szegeden, Szent-Györgyi Albert orvosi Nobel-díjának 75. évfordulója alkalmából rendezett orvosbiológiai világkonferencia kilenc Nobel-díjas vendégének egyike a hetvenhárom éves izraeli Ada Jonat (Yonath) volt, aki 2009-ben kapott kémiai Nobel-díjat. Marie Curie óta ő a negyedik kémiai Nobel-díjas nő. Az izraeli Weizman Intézet professzora a szegedi kongresszust megelőzően az Akadémia dísztermében is teltházas, nagysikerű előadást tartott. Gimes Júlia először gyermekkoráról kérdezte, és arról, hogy annak milyen szerepe volt abban, hogy a kutatói pályát választotta.

•

Szegény családban nőttem fel, egy szigorúan vallásos környéken. A tudomány nem tartozott a beszédtemák közé. Én viszont igen kíváncsi természet voltam, és ilyen szempontból talán igaza van abban, hogy gyermekkoromban kezdődött a dolog. Öt-hat évesen már magamtól, magamnak végeztem kísérleteket, hogy jobban megértssem a világot. Például egyszer asztalokat és székeket pakoltam egymásra, mert meg akartam mérni, hogy milyen magasan van a plafon. Az akció úgy végződött, hogy az egész építmény ledőlt, én pedig eltörttem a karomat.

Apám nagyon sokat betegeskedett, sokat volt kórházban, és azt hiszem, ez is hozzájárult ahhoz, hogy meg akarjam érteni a körülöttem lévő dolgokat. Csak tizenegy éves voltam, amikor apám meghalt. Nagyon szegények voltunk, édesanyám sem volt túl jól, és egy

csecsemő is volt otthon. Ennek ellenére anyám támogatta, hogy tanuljak. Akkortájt az iskolák, különösen a gimnáziumok nem voltak ingyenesek Izraelben. Így hát meg kellett dolgoznom az ösztöndíjamért. Ez egy hosszú történet, de végül egy remek és nagy ösztöndíjnak hála egy egészen kiváló intézményben találtam magam. A támogatás egy részét olyan formán kellett visszatérítenem a közösségnek, hogy az iskolában évfolyamtársaim egy részét tanítom. Tantárgyam a matematika volt, emellett a kémia laboratóriumokat nekem kellett takarítanom, és a könyvtárra is én ügyeltem. Tehát rengeteg lehetőségem volt, hogy a tanulás mellett mással is foglalkozzam. Ennek ellenére nem éreztem úgy, hogy kutató szeretnék lenni, talán mert foglalmam sem volt arról, hogy létezik ilyesmi. Tudtam, hogy léteznek egyetemek, ahová továbbtanulni mennek emberek, és hogy vannak ott tanárok, akik oktatnak, de azt hittem, ez minden, amit csinálnak. Nem gondoltam volna, hogy valaki feltehet kérdéseket, és aztán az lesz a munkája, hogy megválaszolja őket. Ez számomra nem volt világos, egészen addig, amíg el nem kezdtem tanulni. De ez nem azért történt, mert éppen ezt akartam csinálni, hanem mert gondoskodnom kellett édesanyámról és testvéremről, és elhatároztam, hogy amíg a húgom elég nagy nem lesz, az otthonomhoz közel maradok, és tanulni fogok. És csak amikor a jeruzsálemi Héber Egyetemen hallgató lettem, akkor döbbsentem rá, hogy létezik olyan hivatás, hogy „tudós”.

Emlékszem, elsőben az egyik előadás után kérdeztem valamit az egyik tanártól, hogy mi volt az, arra már nem is emlékszem. De arra igen, hogy azt válaszolta: ez egy igen jó kérdés, gyere a laborunkba, éppen most dolgozunk rajta. Akkor realizáltam, hogy az oktatóknak van saját laboratóriumuk, ahol választ kereshetnek a számukra érdekes kérdésekre. Valószínűleg ekkor éreztem rá, hogy a kutatói munka számomra testhezálló lenne.

Ön évtizedek óta a riboszóma nevű sejt-szervecskével foglalkozik. A világon először sikerült a riboszómákat kristályosítania, majd röntgenkristallográfiás technikával megfejtenie háromdimenziós térszerkezetüket. Miért éppen a riboszómákat választotta kutatásai tárgyául?

Ez egy hosszú történet, és sok benne a véletlen, de azért ragaszkodtam hozzájuk, mert nélkülik nincs élet. A riboszómák parányi üzemek a sejtben – egy emlősejt több milliót tartalmaz belőlük –, amelyek a genetikai kód utasításainak megfelelően „legyártják” az aminosavakból felépülő fehérjéket. Egy csodálatos gépezetről van szó, amely másodpercenként kb. negyven aminosav összekapcsolását végzi el, még hozzá meglepően kevés hibával. Kb. egymillió peptidkötés elvégzésére jut egyetlen hiba.

Szóval a riboszómák működésének megértése alapvető az életfolyamatok megértésében, viszont nyilvánvaló volt az is, hogy térszerkezetük ismerete nélkül nem lehet igazán megérteni, hogy hogyan hajtják végre a fehérjeszintézist. A riboszómák bonyolult szerkezetű sejt-szervecskék, fehérjék és RNS-ek bonyolult együttese alkotja őket, nincs belső szimmetriájuk, ráadásul egyáltalán nem stabilak, szóval kristályosításuk igen-igen nagy kihívás volt.

A sors fintora, hogy céljaim elérésében igen fontos szerep jutott egy biciklibalesetnek, melynek során súlyos agyrázkódást kaptam, és hónapokig nem tudtam laboratóriumi munkát végezni. Tudtam viszont olvasni, és találtam egy cikket arról, hogy mielőtt az Északi-sarkon a jegesmedvék hibernálják magukat, sejtjeikben szép szabályosan elcsomagolják a riboszómákat, hónapokra biztosítva ezzel a sejtszervecskéik épségét és működőképességük fenntartását. Aha – gondoltam. – Ez tehát egy természetes stratégia arra, hogy a riboszómák hosszú időn át megőrizzék magukat.

Innen jött az ötlet, hogy extrém körülmények között élő baktériumokat keressünk, és végül a Holt-tengerből izoláltuk azt a törzset, amelyből az első riboszómakristályokat nyertük. De még az első röntgendiffrakciós felvételek után is sok elismert tudós gúnyolódott és nevetett rajtam. Fantasztának tartottak, mert hittem abban, hogy a riboszómák háromdimenziós térszerkezete előállítható. De sok-sok éven át tartó állhatatos munkánkat végül siker koronázta. Mindez azonban nem csak arra jó, hogy megértsük a fehérjeszintézis pontos történéseit, és ezzel az élet alapvető folyamatait.

Régóta tudjuk, hogy nagyon sok antibiotikum – kb. 40 százalékuk – a riboszómákon hat, mert megakadályozza a fehérjeszintézist, és fehérjék nélkül a baktériumok számára sincs élet. Kutatásaink tehát azért is fontosak, mert a riboszómák térszerkezetének megismerése révén meg tudjuk mondani, hogy egyes antibiotikumok szerkezetét hogyan kell a nagyobb hatékonyság érdekében módosítani, és új antibiotikumok fejlesztése is lehetséges. A jelenlegi gyógyszerekkel szemben egyre több baktérium vált és válik rezisztenssé, a bakteriális fertőző betegségek korunkban

egyre nagyobb kihívást jelentenek, tehát új baktériumellenes szerekre lenne szükség. Hát ilyen célok érdekében is dolgozunk.

Melyik eredményét tartja a legjelentősebbnek?

Nem tudom. Tényleg nem tudom. Szerintem nincs a tudományos munkámban egy kiemelkedő valami. A dolgok lépésről lépésre történtek. Ha arra gondolok, hogy mi tett leginkább boldoggá és elégedetté, akkor is számos alkalmat tudnék felsorolni. Az egyik, amikor megláttuk az első struktúrákat. Ez egy igen-igen nagy álom volt, és elképesztő volt látni a szerkezetet. Az odáig vezető úton azonban számos lépcsőfokot megjártunk, és a maga nemében mindegyik igen fontos volt, például a kristályosítás. Összetett biológiai anyagok kristályosítása azelőtt nem volt lehetséges. Szóval erre a kérdésre nem tudok válaszolni. A tudomány folyamat, és nem eredmények összessége.

Hogyan tudta a kutatást és a családi életet összehangolni?

Bizonyára napi tizenkét órát dolgozott!

Először is nem tudom, honnan veszi a tizenkét órát. Húsz órát töltök vele. A színész is összehozza a családi életét a szakmájával vagy egy kórházi ápolónő. Számos szakma van, amelyben nők dolgoznak, és amelyek embert próbálóak. A dolog titka, hogy mindkettőt szeretni kell. A munkát és a családot egyaránt. Hogy ezt percre, napra lebontva hogyan lehet megoldani, az a konkrét családon múlik.

Pályája során jelentett-e akadályt, hátrányt, hogy nő? Hiszen sokkal több férfi, mint nő kapott Nobel-díjat. A kémiában például Ön csupán a negyedik Nobel-díjas asszony.

Nem tudom, hogy akadály volt-e, avagy sem, ugyanis sohasem voltam férfi. Erre tehát nem tudok felelni. Sohasem éreztem semmiféle megkülönböztetést. A nőknek vannak bizonyos, a férfiakétól eltérő kötelezettségeik, de kutatónak lenni mindig embert próbáló. De maga a tudomány sokkal fontosabb, mint a díj. Díjat csak igen kevés ember kap. Hogy mégis miért van több Nobel-díjas férfi, mint nő? Az anyukák miatt, akik arra intik a lányukat, hogy ne menjenek tudósna, mert nem találnak maguknak férjet, vagy rossz anya lesz belőlük. Így a lányok nagy része nem tanul tovább, de ez megváltozhat, ha a nők módot találnak arra, hogy a két dolgot együtt csinálják.

Milyen személyes tulajdonságok kellenek ahhoz, hogy valakiből Önhöz hasonlóan sikeres kutató váljék?

Én nem értem a tudományos siker fogalmát. Véleményem szerint a siker az, ha az ember elégedett a munkájával. Ha boldog. Legfontosabb a tudomány iránti szenvedély, és ha az megvan, az maga a siker. Ezt az elégedettséget azonban sem díjakkal, sem egybekkel nem lehet mérni. A siker nem a díjak számát jelenti. Csak néhányféle díj van, tudós pedig több százezer. Sokkal fontosabb, hogy az ember kíváncsi maradjon, és a munkájával elégedett legyen. Ezt pedig akkor lehet elérni, ha szeretjük, amit csinálunk, és igyekszünk a maximumot nyújtani.

Kíváncsiság, kíváncsiság, még több kíváncsiság és szenvedély. Ez szükséges a kutatáshoz.

Kulcsszavak: gyermekkor, kíváncsiság, szenvedély, fehérjeszintézis, riboszóma, baktérium, antibiotikum

Vélemény, vita

AZ ÜRES TRÓN VÁLASZ BRENDEL MÁTYÁSNAK

Török Csaba

PhD, főiskolai oktató,
Esztergomi Hittudományi Főiskola
cstorok@gmx.net

Brendel Mátyás értékes írásában beszámol „a Nagy Trónfosztásról” (Brendel, 2012), amelyben Stephen Hawking és Leonard Mlodinow kötetének megállapításaiból kiindulva (Hawking – Mlodinow, 2011) bemutatja, hogy a természettudományos kutatás eredményei nyomán miként dőltek meg sorra az „istenérvek”, amelyek évszázadokon át lázban tartották a hívőket és a nem hívőket, megannyi vitának és akár eszmei küzdelemnek is táptalajt adva. Elgondolkodtató, egységes, következetes írás Brendelé – ám úgy éreztük, mégis érdemes pár szót szólni, egyfajta „gyenge” választ megfogalmazni, mégpedig azért, mert alapfogalmi és -kijelentései nem feltétlenül tükrözik azt az álláspontot, amelyet (hogy csak a magunk nevében szóljunk) a katolikus teológia képviselt és képvisel. A Trón ugyanis, amelyen végbement a „Nagy Trónfosztás”, véleményünk szerint üres, sőt akár azt is megkockáztatjuk, hogy léte pusztán emberi kivetésnek, fogalmi játékoknak volt köszönhető. Hiszen ha Isten ezen a Trónon ült volna, nem is lett volna – *per definitionem* – Isten. Tehát – és ezt lentebb meg kívánjuk világíta-

ni – ha valakit *ettől* a Tróntól meg lehet fosztani, az lehet valamiféle emberileg kiokoskodott, vágyott, megálmodott istenség, de nem az az Isten, akire véleményünk szerint a *Biblia* és a katolikus egyház hite vonatkozik.

A *katolikus* jelző azért kerül elő már másodszor, mert Brendel egyedül e közösséget nevesíti írásában, jóllehet az a hittani látásmód és gondolkodás, amelynek ellenében sor kerül a Hawking és Mlodinow (és Dawkins) által bejelentett trónfosztásra, tipikusan nem katolikus; nevezzük nevén: a protestáns (anglikán) teológiával (lásd az idézett John Polkinghorne-t vagy éppen Paul Daviest [Brendel, 2012]) vitatkozik számos angolszász (kötődésű) természettudós. Ennek szellemtörténeti háttere az, hogy az angol empirizmus sajátos hatást váltott ki a filozófiában, s ennek folyományaként a teológiában is, minek eredményeképpen a középkorból örökölt metafizikai megalapozottságú istenértv-rendszerek a XVII–XVIII. századtól fizikai (kozmológiai) megszövegezést nyertek, s mind a mai napig erősen tartják magukat mind Angliában, mind Észak-Amerikában. Az ugyanezen közegben

élő természettudósok jó ideje bombázzák az ekként született teológiai felépítményt, miközben reflexiójukban nem nyer visszhangot a kontinentális teológia, amely jó ideje más fényben vizsgálja Isten létének és e hitbeli állítás cáfolatának kérdését. Angolszász nyelvterületen e másfajta, „európai” *teo-lógiá*-nak, Istenről való beszédnek kiemelkedő alakja volt John Henry Newman, aki anglikánból lett katolikussá, s aki az istenkérdést – szakítva az uralkodó angliai teológiai hagyománnyal – az emberi személy, lélek, megismerés és cselekvés felé fordította (Török, 2011a).

Miért tartjuk fontosnak e határ megvonását az eltérő kultúrkörök hittanai között? Azért, mert a fent idézett kortárs természettudósok tulajdonképpen saját világuk teológiájával szálltak vitába, s ott tűnnek győzedelmeskedni. Emögött természetesen meghúzódik egyfajta filozófiai látásmód, amely meghatározza az adott területek teológiáit. Farkas Zsolt írja: „... a kontinentális filozófia meghatározó vonulata a lelke legmélyén: életfilozófia illetve egzisztenciálfilozófia; az angolszász-analitikusé pedig: módszerelvű tudományelmélet [...] a kontinentális filozófia alapvetően nyilvános töprengés egzisztenciális kérdésekről” (Farkas, 1994). Ezek a megfontolások állnak magára a keresztény hittudományra, művelésének módjára is.

Épp ezért a Hawking–Mlodinow-féle trónfosztás nem a kereszténység istenképének a bukása, hanem egy sajátos ágazat, iskola (valószínűsíthető) alkalmatlanságának bebizonyosodása. Tehát az általános, mindenre kiterjedő érvényű kijelentés, miszerint „a trónfosztás [...] tökéletes, bevégeztetett” (Brendel, 2012, 353.), kissé elhamarkodottnak tűnik. Mindazonáltal visszaigazolja azt a meglátást, amelyre jóval korábban már Blaise Pascal is eljutott azok kapcsán, akik a kozmosz rendjé-

ből farigcsáltak istenérveket: „értelmem és tapasztalatom alapján elmondhatom, nincsen ennél alkalmasabb módszer arra, hogy megvetést ébresszünk bennük [ti. a nem hívőkben – T. Cs.] vallásunk iránt” (Pascal, 1978, nr. 242).

Lássuk sorjában az egyes szempontokat. Először magukról az „istenérvekről” kell szólnunk. *A Zsidókhoz írt levélben* ezt olvassuk: „A hit a remélt dolgok biztosítéka, a nem látható dolgok bizonyítéka” (11,1). A „bizonyíték” helyén a görögben az *elenkhosz* kifejezés áll, amelynek számos jelentése lehet (érv, bizonyíték, meggyőződés), ám semmi esetre sem a mai természettudományos értelemben. A hivatkozott bibliai rész nem egy olyan Istenre utal, aki láthatatlanul megbújik a fizikai világmindenség repedéseiben, lyukaiban, azokon a helyeken, ahová az ember nem ér el megismerésével, hanem egy olyanra, aki az ember számára reményt ad, méghozzá olyan reményt, amely nem hiszékenységből vagy önszugesztíoból, hanem valamiféle tapasztalati-gyakorlati megalapozottságból forrásozik. Az érv itt tehát elválaszthatatlan a biztosítéktól, és alapvetően nem a nem hívők meggyőzésére vonatkozó értelmi konstrukciót jelöl, hanem olyasvalamit, ami által a már hívők képesek reflektálni a meglévő hitükre, és megérthetik, az milyen alapokon nyugszik. Ebből a látásmódból ered a *Szentírás* következtetése egy verssel később: „A hitből ismerjük meg, hogy a világot az Isten szava alkotta, vagyis a látható a láthatatlanból lett” (Zsid 11,3). Vagyis a bibliai szerző álláspontja szerint előbb hiszek, s utána a hitemben nyerek biztosítékot, érvet, meggyőződést például afelől, hogy a fennálló univerzum Isten alkotása – nem pedig fordítva, ahogyan ezt a kozmológiai istenérvek célozzák (a világ teremtett rendjéből vezetem le Isten létének bizonyítását).

Az I. vatikáni zsinat (1869–1870) felkarolja a kozmológiai istenérvet, s kijelenti: „... Isten [...] a teremtet dolgokból az emberi ész természetes világosságával biztosan megismerhető (*certo cognosci posse*)” (DH, nr. 3004). A szöveg támaszkodik Szent Pálra: „Mert ami benne láthatatlan: örök ereje és isteni mivolta, arra a világ teremtése óta műveiből következtethetünk” (Róm 1,20). Ugyanakkor tévednénk, ha úgy vélnénk, hogy itt a hit értelmi szükségszerűségének kijelentéséről van szó. Sokkal inkább arra utal a szöveg, amit a középkori teológia *vestigia Dei*-nek, Isten „nyomainak” nevezett: a világ megismerhető rendjében, tapasztalati bázisunkban vannak elemek, amelyek felvethetik az istenkérdést, amelyek rávilágíthatnak az emberi transzcendenciára, amelyek elvezethetnek arra a belátásra, hogy adott esetben a hit nem ellentétes mindazzal, amit megélek, megtapasztalok, felfogok e fizikai világban. Ez azonban nem a hit racionális értelemben vett bizonyítéka – hanem az értelmes, megalapozott hit lehetősége. Fenti erős megfogalmazása, és a hit „hitelessége külső jeleinek” (*signa extrena credibilitatis*) leírása után az I. vatikáni zsinat eljut a kijelentésre: „[n]oha pedig a hívő hódolat egyáltalán nem vak működése a léleknek [vagyis valóban vannak *elenkhoszai* – T. Cs.], mindazonáltal senki sem fogadhatja el az evangélium hirdetését [...], »hacsak meg nem világosítja és nem indítja erre a Szentlélek...«” (DH, nr. 3010). Egy szóval: nincs istenérv, amely tudományos-logikai értelemben bizonyítaná Isten létét; ám vannak olyan szempontok, amelyek felvetik ennek kérdését, s a kérdés felvetésében elvezethetnek az istenkérdés azon pontjáiig, ahol már hívő–világnézeti választ kell adnia az embernek (igen–nem), jöllehet válasza soha nem pusztán az értelmi megfontolásokból levont végkövetkeztetés.

Ez már csak azért is fontos, mert ha bárki azt hinné, hogy az istenérvek természettudományos-logikai bizonyítékok Isten létre, akkor ez az ember eleve azt is feltételezné, hogy aki hisz (vagyis értelmi levezetés után belátja Isten létét), az okos, aki pedig nem, az buta. Már pedig a leghétköznapibb tapasztalat is mutatja, hogy ez egyáltalán nincs így.

Hadd tegyünk két rövid megfontolást. Az első Aquinói Szent Tamásra vonatkozik. Bár sokan említik az őt „istenérvét”, a forrás-szövegből egyértelmű, hogy a középkori tudós nem érvekről szól, amelyek bebizonyítják Isten létét, hanem *utakról* beszél („Deum esse quinque viis probari potest” – *Summa Theologiae*. I, q. 2, a. 3), amelyek az istenkérdéshez vezetnek el (természetesen kora filozófiájában, kultúrájában). Ezzel megerősíti azt, amit az ezt megelőző cikkben nyíltan kimond: „mindaz, amit természetes ésszel megismerhetünk Istenről [vagyis az „érvek”, maga az istenkérdés – T. Cs.], nem a hit artikulusa, hanem bevezetés ezen artikulusokhoz” (*Summa Theologiae*. I, q. 2, a. 2). Szükségszerű, hogy aki hisz, számot tudjon vetni ezzel a *praeambulummal*, mert hitének (az ember méltóságából fakadóan) értelmes Isten előtti hódoltnak kell lennie, amely képes számot vetni a természettudományos világértelmezéssel is – ám ebből nem következik, hogy aki látja ezt a bevezetést, ebből pozitív végkövetkeztetést von le az istenkérdésre vonatkozólag.

Hol van akkor hát az Isten helye, „Trónja”, ha a kozmológiai vagy éppenséggel az oksági istenérv tulajdonképpen ennyire gyenge lábakon áll? Sokan rámutattak, hogy a fent nevezett *vestigia Dei*, Isten nyomai bár megsejthetők a kozmoszban, sokkal inkább az emberben keresendőek (vö. Ross, 1977). Szent Ágoston írja: „ne kifelé menj, önmagadba térj vissza, az ember bensőjében lakik az

igazság” (*De vera Religione*. Cap. 39, nr. 72). Persze mindig kérdés, hogy mit talál az ember önmagában. Hippó püspöke azonban tovább buzdít: „ha változandó természetedre lelsz, akkor haladd meg önmagadat is” (*De vera Religione*. Cap. 39, nr. 72). Úgy is fogalmazhatnánk, hogy ez a jól ismert delphoi bölcsesség – „Ismerd meg önmagadat!” – hívó változata (Török, 2011b), amelynek fontosságát mutatja, hogy a hit és ész viszonyát vizsgáló körlevele kiindulópontjául II. János Pál ezt az idézetet választotta (II. János Pál, 1998). Ez az Istenről való beszédnek egy egészen sajátos kategóriája, amelynek jelentőségére az újkorban Blaise Pascal különös módon is ráébredt. Nem pusztán arra az „apokrifre” utalunk, amely szerint „minden ember lelkében van egy Isten-alakú úr” (a hiteles írásos hagyatékban ilyen megfogalmazással nem találkozunk), de sokkal inkább arra a megállapításra, miszerint a „szívnek vannak érvei, miket nem ismer érvelő eszünk” (Pascal, 1978, nr. 277). Az *érv* és az *ész* (a franciában mindkettő: *raison*) ezáltal furcsamód egyszerre egy és kettő: „Le coeur a ses raisons que la raison ne connaît point”. Az istenkérdés érvei a francia gondolkodó szerint nem külső (kozmológiai-logikai, természettudományos, racionális), hanem mélységesen belső (meta-racionális, de semmi esetre sem irracionális) természetűek.

Ezen a ponton egyébként Brendel írásának sajátos szöveggörnyezetet teremtett a *Magyar Tudomány* hasábjain az azt követő két írás, amelyek egy már régebb óta folyó, a filozófia műveléséről, céljáról folytatott vitába kapcsolódtak bele (Boros, 2012 és Nemes, 2012). Boros kifejti, hogy a filozófia halálát meghirdető álláspontok (amelyek olykor szinte teljes analógiában állnak az Isten halálát bejelentő verdiktekkel) hamisak, hiszen a bölcslet „akkor lehetne halott, ha senki nem

gondolkodna többé átfogóbban, pusztán csak a retortában, a kémcsőben, a reaktorban történő eseményekre összpontosítana, és arról beszélné”. A filozófusok azért munkálkodnak, gondolkodnak, elemeznek, „mert a kérdések felmerülnek, és az emberi gondolkodás nem teheti, hogy megválaszolatlanul elhessegesse őket”. Nemes pedig a filozófiának életmódként, cselekvésként, terápiaként való felfogásáról ír, a gyakorlati filozofálásról, amely a jó életre való segítség útja, egyfajta „lélekgondozás” a szónak a klasszikus és napjainkban is égető szükségű értelmében.

Milyen következtetést vonhatunk le a fenti filozófusi megfontolásokból mi, akik hívóként és tudományművelőként igyekszünk a mindennapjainkat élni és hivatásunkat betölteni? Azt, hogy a teológiának vissza kell térnie a saját gyökereihez, amelyek ugyanonnan erednek, mint a filozófiái. Az Istenről való beszéd „életmód”, „terápia” volt, és kell, hogy legyen ma is; gondoljunk csak arra, hogy az evangéliumokban Jézus tanítása alapvetően nem elvont-elméleti, hanem teljességgel gyakorlati jellegű, elválaszthatatlan a cselekvéstől, életmódtól és a gyógyítástól. Egy ilyen Isten-beszédnek ma is értelme és haszna van (Martini, 2011). Amennyiben a hittudomány kimerül a fizikai kozmosz feltételezett repedéseinek betöltésében, a hiánypótlásban, s az ily módon faragott „érvek” finomítgatásában, akkor könnyen értelmetlenné és fölöslegessé válik. Ezzel együtt – parafrázálva Boros János megállapítását – ki kell jelentenünk, hogy az istenkérdés addig létezik, ameddig azt egyetlen ember is felteszi. Az „érvek” megbukhatnak, de attól a kérdés lehetősége még fennáll, lehet, hogy nem kifelé, hanem befelé indulva, de az ember eljuthat a felvetéséig. S ameddig ez így van, addig beszélni kell róla. Azt sem feledhetjük, hogy az istenkérdés mint olyan

szintetikus, átfogó természetű, ebben is hasonlít a filozófiához (szemben a természettudományok analitikus megközelítéseivel).

Immár visszatérhetünk ahhoz a megállapításhoz, amelyet írásunk elején tettünk: ha lett volna egy Trón, amely a kozmoszról alkotott emberi fogalmaink és tudásunk hiányából építkezett, azon nem Isten ült volna, hanem Tudatlanság Úrnő. Isten a „teljesen Más”, „der ganz Andere” (Karl Barth), vagy, ahogy a *Biblia* mondja: „a Szent” (*hakkadós*), azaz az elkülönített, a másmilyen. „Kihez tudtok hasonlítani? És ki lehetne hozzám hasonló?» – mondja a Szent” (Iz 40,25). Az erőltetett, győzelmi zászlóként lobogtatott istenérvek világa az emberi tudás arcára formált istenséget tárja elénk, neki épít trónt. Azonban a tudás gyarapodása szükségszerűen le is dönti ezt, s ez így van rendjén, így helyes.

Csak hogy ez a Trón üres. E tényt a hívó emberek gyakran elfelejtik, hiszen örömmel látnák hitük diadalát, megerősítését valami féle külső módon igazolható isteni Léttben. Ezért hát a természettudomány, annak eredményei, gondolkodásmódja, meglátásai mondhatni elengedhetetlenek a mai hívó számára ahhoz, hogy ne hamis istenekben, antropomorfizmusokban, kivetítésekben, hiánypótló abszolútumokban higgyen, hanem mintegy kényszerítve legyen arra, hogy visszaforduljon „a teljesen Másmilyen” felé. Helytálló Emil Brunner meglátása, amelyet Alister McGrath is átvesz: az istenérvek tulajdonképpen kapcsolódási pontok (*Anknüpfungspunkte*) kívánnak lenni az ész és a hit között (McGrath, 2002, 157.), ám belső természetüknél fogva előfeltételezik a befogadójukban a már meglévő (*a priori*) hitet, az elfogadásukra való pozitív nyitottságot. Alkalmatlanok és képtelenek arra, hogy bizonyosságot adjanak Istenről a nem hívők előtt. Szá-

mukra ezek csak üres és jelentéssel nem bíró szóhévelyek (Coreth, 2001, 281), *flatus vocis*. Brendel világos érveléssel képes ezt bebizonyítani, s ezért köszönet illeti őt.

Ám ezzel nem értünk a dolgok végére. Legalább az elméleti lehetőség szintjén fennállhat egy másik Trón. Ha a rajta ülő a teljesen Másmilyen, a Szent, vagyis az, aki nem levelezhető a világból, akkor értelemszerűen cáfolni sem lehet a létét a kozmoszból kiindulva, legfeljebb a megkérdőjelezéséig, vagy léte valószínűtlenségének kijelentéséig juthatunk el. Persze itt Brendel ellenünk fordíthatja, amit már cikkében is ír, vagyis hogy Isten állítása-kor a vallások olyasmint tételeznek fel, „amelynek megmutatható »párja nincs«, és meg se tudják pontosan mondani, hogy miről van szó” (Brendel, 2012, 353.). Mit mondhatunk ezen ellenvetés kapcsán? Amennyiben a külső érvrendszerek alapján tételezik fel a vallások Istent, akkor valószínűleg igaza van szerzőnknek. De ha befelé fordítjuk tekintetünket, létezésünk nagy útkeresései, kérdései, a boldog élet, a béke, a lelki egészség és teljesség vágya felé, akkor már más a helyzet. A hívó ember számára a hite bár külső érvrendszerekkel megkérdőjelezhető, belülről mégis hordoz egy alapvető és másra vissza nem vezethető bizonyosságot, miszerint „tudom, kinek hittem, és biztos vagyok benne” (2Tim 2,12). Enélkül csak hiszékenységről lehetne szó. E belső bizonyosság azonban más módon születik, s másként nyer alakot az emberi értelemben, mint egy természettudományos elmélet. Erre ébred rá a fiatal Ludwig Wittgenstein, amikor így ír: „Érezzük, hogy még ha feleletet is adtunk valamennyi lehetséges tudományos kérdésre, életproblémáinkat ezzel még egyáltalán nem érintettük. Akkor persze nem marad egyetlen további kérdés sem, és éppen ez a válasz” (Wittgenstein, 1963, nr. 6.52). Eb-

ből következik, hogy: „Az élet problémájának megoldását e probléma eltűnése jelenti. (Vajon nem ez az oka annak, hogy azok az emberek, akik előtt hosszas kételyek után az élet értelme világossá vált, nem tudják aztán elmondani azt, miben is áll ez az értelem?)” (Wittgenstein, 1963, nr. 6.521). Wittgenstein ily módon mutat rá, hogy létezik a kimondhatatlan, amelynek a megnyilvánulása a misztikum (Wittgenstein, 1963, nr. 6.522).

Aki Istenről beszél, az a kimondhatatlannál dadog, belső meggyőződésből fakadó kijelentései könnyen szétforgácsolódhatnak a külső, objektíváló érvrendszerekben. De hát Istennek, ha van, ha valóban szellem és lélek, akkor nem a csillagokban, a kozmosz fizikai törvényeiben, hanem csakis az emberben jelenlévő „fizikán túliban” állhat fenn a

Trónja. Ha olykor maguk a keresztények, a teológusok elfelejtik ezt a tényt, az csupán annak a jele, hogy az igazi Trón tényleg „szent”, azaz teljesen másfajta. A természettudomány így hát elveszi a teológiától azt, ami nem volt, nem is lehetett soha az övé – ám ezzel mintegy kényszeríti arra, hogy a magáéval foglalkozva töltse be (a hit világának határain is túlmutató) hivatását: paradox módon beszéljen arról, amiről nem lehet beszélni, ezáltal akár vita, akár kihívás elé állítva a tudomány számos területét, és segítse élni az embert ebben a világban. Úgy vélem, hogy ezzel hasznos szolgálatot tehet nemcsak a hívőknek, de az egész emberi közösségnek is.

Kulcsszavak: *Isten, fizika, kozmológia, teremtés, istenérv, filozófia, teológia, ész, hit*

IRODALOM

- Szent Ágoston / Augustinus Hipponensis *De vera religione*. http://www.augustinus.it/latino/vera_religione/index.htm
- Aquinói Szent Tamás / St Thomas Aquinas: *Summa theologiae*. <http://books.google.hu/>
- Boros János (2012): A tudomány és a filozófia esete a természettel, a történelemmel és a demokráciával. *Magyar Tudomány*. 173, 3, 354–361. • <http://www.matud.iif.hu/2012/03/13.htm>
- Brendel Mátyás (2012): A Nagy Trónfosztás. *Magyar Tudomány*. 173, 3, 349–353. • <http://www.matud.iif.hu/2012/03/12.htm>
- Coreth, Emmerich (2001): *Gott im philosophischen Denken*. Kohlhammer, Stuttgart–Berlin–Köln (magyarul: *Isten a filozófiai gondolkodásban*, Kairosz, Budapest, 2004)
- Denzinger, Heinrich – Hünermann, Peter (2004): *Hitvallások és az Egyház Tanítóhivatalának megnyilatkozásai*. Szent István Társulat, Budapest [= DH]
- Farkas Zsolt (1994): Amerikai polgár, európai filozófia. Rorty metafizikájának három alapkategóriájáról. In: Farkas Zsolt: *Mindentől ugyanannyira*, JAK–Pesti Szalon, Budapest • <http://mek.niif.hu/01300/01378/html/rorty.htm>
- Hawking, Stephen – Mlodinow, Leonard (2011): *A Nagy Terv*. Akkord, Budapest
- II. János Pál (1998): *Fides et ratio*. Szent István Társulat, Budapest <http://uj.katolikus.hu/konyvtar.php?h=69>
- Martini, Carlo Maria (2011): *Che cosa dobbiamo fare. Smarrimento e inquietudine dell'uomo contemporaneo*. Piemme, Milano • <http://books.google.hu>
- McGarth, Alister E. (2002): *Bevezetés a keresztény teológiába*. Osiris, Budapest
- Nemes László (2012): Megismerés és praxis: a filozófia céljai. Válasz Nánay Bence vitaindító írására. *Magyar Tudomány*. 173, 3, 362–366. • <http://www.matud.iif.hu/2012/03/14.htm>
- Pascal, Blaise (1978): *Gondolatok*. Gondolat, Budapest <http://www.piar.hu/pazmany/konyvek/pascal01.txt>
- Ross, James F. (1977): An Impass on Competing Descriptions of God. *Journal of Philosophy of Religion*. 8, 4, 233–249.
- Török Csaba (2011a): Boldog John Henry Newman és a fundamentális teológia. *Teológia*. 45, 1–2, 108–129.
- Török Csaba (2011b): »Ismerd meg önmagadat!«: A fundamentális teológia kiindulási pontjának kérdése. *Teológia*. 45, 3–4, 235–248.
- Wittgenstein, Ludwig (1963): *Logikai-filozófiai értekezés*. Akadémiai, Budapest

Kitekintés

A SZOCIÁLIS STRESSZ ÉS A GÉNEK

Amerikai kutatók – legalábbis makákó majmoknál – magyarázatot találtak arra, hogy a szociális stressz miért rontja az egészségi állapotot, és tesz fogékonyabbá a betegségekre.

Vizsgálataikat negyvenkilenc, fogságban élő nőtényen végezték, akik a kísérlet kezdetkor valamennyien közepes helyet foglaltak el az állatok szociális rangsorában. A kutatók a majmokat tíz új csoportba osztották be, ami a rangsor megváltozását hozta magával. Azok az állatok kerültek a rangsor élére, amelyek a megváltozott körülmények között elsőként foglalták el helyüket, a végére pedig azok, akik utolsónak. Ez utóbbiak számára a szociális stressz mértéke jelentősen megnőtt, hiszen a korábbiánál többet kellett harcolniuk erőforrásokért.

Jenny Tung és munkatársai a majmok vérében lévő DNS-ből 6097 gén működését vizsgálták, és azt tapasztalták, hogy 987 gén működése az állatok szociális helyzetének megváltozásával jelentősen módosult. A kutatók csupán DNS-vizsgálat alapján nyolcvan százalékos valószínűséggel meg tudták mondani, hogy melyik állat milyen helyet foglal el a hierarchiában. Az immunrendszert érintő, különösen a gyulladásos folyamatokkal kapcsolatos gének a háttérbe szorult állatoknál igen gyakran fokozott aktivitást mutattak. Az immunrendszer túlzott működése fogékonyá tesz bizonyos betegségekkel szemben

– mondja Tung, bár hozzáteszi: a majmok egészségi állapotát egyelőre nem vizsgálták.

Az immunrendszer génjeinek fokozott működése azonban nem bizonyult állandónak. Ha új állatok kerültek a csoportba, és az addig háttérbe szorult régiek feljebb emelkedtek a ranglétrán, a gének gyorsan válaszoltak az új helyzetre.

Egyes kutatók szerint a majmokkal kapcsolatos eredmények talán megadják a molekuláris magyarázatát annak a jelenségnek, amelyet 1984-ben az ún. *Whitehall Study*-ban közöltek brit kutatók. Ebben arról számoltak be, hogy az angol hivatalnokok körében gyakoribbak voltak a betegségek és a halálesetek, mint főnökeiknél. Természetesen az emberi társadalom és hierarchia bonyolultabb, – mondja Tung – tehát bizonyára nehezebb összefüggéseket találni a szociális státus és a gének működése között.

A kutatók egy több állatot érintő tanulmányban azt szeretnék most megvizsgálni, hogy a makákóknál a szociális rangsor milyen kapcsolatot mutat a fertőzésekkel való fogékonysággal.

Tung, Jenny – Barreiro, Luis B. – Johnson, Zachary P. et al.: Social Environment is Associated with Gene Regulatory Variation in the Rhesus Macaque Immune System. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*.

DOI: 10.1073/pnas.1202734109 • <http://www.pnas.org/content/early/2012/04/03/1202734109.full.pdf+html>

A SIKERESEK ELŐRE TEKINTENEK

Amerikai, brit és svájci kutatók tanulmánya szerint az internetes keresések tükrözik a szörfölk országának gazdasági helyzetét. Azokban az országokban, amelyekben az egy főre jutó GDP magasabb, inkább a jövőre vonatkozó, míg az alacsonyabb GDP-vel rendelkezőkben inkább a múltra vonatkozó keresések a jellemzők.

A vizsgálatban olyan országok szerepeltek, amelyekben legalább ötmillió internet-felhasználó van. Negyvenöt országból regisztrált több mint 45 milliárd, a Google keresőmotorjával végrehajtott keresés adatait dolgozták fel. Összesítették azokat, amelyek dátumot tartalmaztak, majd definiáltak egy paramétert, az ún. „jövőbe tekintési mutatót” (*future orientation index*). Ez a következő évet és az elmúlt évet tartalmazó keresések számának aránya. (Azaz 2010-ben a 2011-et tartalmazó keresések száma osztva a 2009-et tartalmazókéval.)

Az így kapott mutató és az egy főre jutó, vásárlóerő-paritáson alapon számolt bruttó hazai termék között lineáris összefüggést találtak: minél sikerebb egy ország gazdaságilag, lakosai annál inkább előre tekintenek. A szerzők szerint az általuk bevezetett index más felmérésekben is használható lehet, és az eredményeket is érdemes lenne összehasonlítani egyéb szociális és gazdasági mutatók felhasználásával nyerhető eredményekkel.

Preis, Tobias – Moat, Helen Susannah – Stanley, H. Eugene – Bishop, Steven R.: Quantifying the Advantage of Looking Forward. *Scientific Reports* 2, Article number: 350, Published online: 5 April 2012. DOI: 10.1038/srep00350 • <http://www.nature.com/srep/2012/120405/srep00350/full/srep00350.html>

ÁTMENETI TERMÉSZETES HOLDJAINK

A Föld 3500 km átmérőjű, négy milliárd éve állandó kísérijén, a Holdon kívül vannak kisebb égitestek, amelyek ideiglenesen földközeli pályán haladnak. Finn, francia és amerikai kutatók kiszámolták az ilyen ideiglenes holdak megjelenésének, méret és tartózkodási idő szerinti eloszlásának valószínűségét.

Szuperszámítógépen futtatott modelljükben 10 millió, a Föld közelében elhaladó aszteroida pályáját szimulálták, melyek közül 18 ezret ideiglenesen magához kötött a Föld gravitációja.

A szimuláció eredményei szerint minden időpillanatban van legalább egy darab 1 méternél nagyobb átmérőjű, földközeli pályán haladó aszteroida. Legtöbbjük pályája nem szabályos kör alakú; a Föld gravitációs erején kívül a Nap és a Hold is hatnak rájuk. Egy átlagos kishold kilenc hónapot tölt földközeli pályán, de előfordulnak több évtizedig maradó is.

Granvika, Mikael – Vaubaillon, Jérémie – Jedicke, Robert: The Population of Natural Earth Satellites. *Icarus*. 218, 1, March 2012, 262–277.
DOI: 10.1016/j.icarus.2011.12.003

MEGELÖZHETŐ LESZ A DISZLEXIA?

Olasz kutatók felvetik annak lehetőségét, hogy a diszlexiára hajlamos gyermekek kezelése korábban elkezdődhet, mint az olvasás tanulása. Andrea Facoetti és munkatársai követéses vizsgálatukban összefüggést találtak az óvodáskorú gyermekek vizuális figyelme, és a diszlexia későbbi kialakulásának valószínűsége között.

A kutatók a részt vevő gyermekeket óvodás koruktól (ekkor még nem tanultak olvasni) másodikos korukig követték. A három év során vizsgálták a látótérre irányuló figyelmi képességeiket, azaz hogy mennyire képesek a releváns és irreleváns vizuális információk elkülönítésére. Például figyelemelterelés közben kellett bizonyos szimbólumokat felismerniük. Emellett a gyerekek szótagfelismerési, a verbális rövid távú memóriára vonatkozó, illetve színek gyors megnevezését kívánó feladatokat is végeztek.

Az eredmények azt mutatják, hogy az óvodás korban kimutatható vizuális figyelmi hiány a későbbiekben kialakuló olvasási zavarokhoz társul. A kutatók szerint ezáltal a diszlexiára hajlamos gyermekeket egyszerű vizsgálatokkal már korai életkorban ki lehet emelni. Mivel a legújabb eredmények szerint bizonyos korai tréningek javítják a későbbi olvasási képességeket, az így azonosított gyermekek preventív kezelésével megelőzhető, vagy enyhíthető lehet a későbbi diszlexia.

Franceschini, Sandro – Gori, Simone – Ruffino, Milena et al.: A Causal Link between Visual Spatial Attention and Reading Acquisition. *Current Biology*. DOI:10.1016/j.cub.2012.03.013

NANORÉSZECSKÉKKEL A DAGANATOK ELLEN

A rák elleni küzdelem egyik fontos iránya ma, hogy a különböző gyógyszereket célzottan juttassák el a tumorhoz.

Egy bostoni biotechnológiai cég kutatói nanorészecskébe „töltötték” a *docetaxel* nevű kemoterápiás szert, majd tizenhét olyan daganatos beteg vérébe juttatták be, akiknek tumorai már rezisztensek voltak erre a gyógy-

szerre. Negyvenkét nappal később két beteg esetében a daganat méretének jelentős csökkenését figyelték meg, míg a többi páciensnél a tumor növekedése megállt.

A bizonyos daganatok felszínén megjelenő antigént felismerő nanorészecske megtervezése és kidolgozása hosszú kutatómunka eredménye volt, amelynek során molekuláris könyvtárat és számítógépes modellezési folyamatokat használtak. A hatóanyag csak akkor szabadult fel, amikor a nanorészecske szelektíven felismerte a daganatot, és hozzákapcsolódott, ezért a kutatók szerint a sok mellékhatással járó kemoterápiás szerből nyolcvan százalékkal kevesebbre volt szükség, mint abban az esetben, ha a gyógyszert „csomagolás” nélkül adják be a betegeknek.

A kutatók most egy több beteget érintő klinikai vizsgálatot terveznek.

Hrkach, Jeffrey – Von Hoff, Daniel – Ali, Mir Mukkaram et al.: Preclinical Development and Clinical Translation of a PSMA-Targeted Docetaxel Nanoparticle with a Differentiated Pharmacological Profile. *Science Translational Medicine*. 4 April 2012. 4, 128, 128ra39
DOI: 10.1126/scitranslmed.3003651

LÉLEGZET-ELÁLLÍTÓ SÁSKÁK

A sáskák pihenés közben hosszan kikapcsolják légzésüket, sőt feltehetően az agyukat is valamiféle „tartálék üzemmódra” állítják be – állapították meg ausztrál kutatók.

A rovarok légzése az ún. tracheákon keresztül történik. A szervezet oxigénellátásának az igen tág határok között működő anyagcsere-rendszerrel kell összhangban lennie. Egyes fajoknál a nyugalmi állapothoz képest repülés közben akár ötven-százszorosára is nőhet

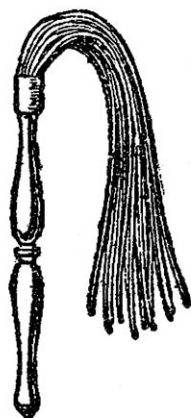
az anyagcsere-folyamatok sebessége. Több rovarnál megfigyelték már, hogy alacsony igénybevétel esetén „visszatartják” a lélegzetüket, szakaszossá válik a gázcsere. Ennek pontos oka ismeretlen, de az egyik elmélet szerint ezzel biztosítják, hogy a tracheákban mindig alacsony legyen az oxigén parciális nyomása (koncentrációja), csökkentve ezzel a káros szabadgyökök képződésének lehetőségét. Ilyet tapasztaltak már korábban molyok bábjaínál, amelyek függetlenül a környező légkör oxigéntartalmától, a tracheáikon belül viszonylag alacsony, stabil értéken tartották az oxigénszintet.

A kutatók apró optikai szálak oxigénérzékelőket ültettek be vándorsáskák tracheáiba, és különböző oxigéntartalmú környezetekben (a normál levegővel megegyező, annál ala-

csonyabb, illetve annál magasabb oxigénszinteknél) mérték az ottani oxigénkoncentrációt. Megállapították, hogy a sáskák tracheáiban az oxigén széles koncentrációtartományban – eltérően a molyok bábjaíaitól – követi a külső környezet oxigéntartalmát. Így, esetükben legalábbis, a szakaszos légzés ellenére nem működik az oxidatív károsodást csökkentő mechanizmus.

Matthews, Philip G. D. – Snelling, Edward P. – Seymour, Roger S. – White, Craig R.: A Test of the Oxidative Damage Hypothesis for Discontinuous Gas Exchange in the Locust *Locusta migratoria*. Royal Society Biology Letters, published online before print 4 April 4 2012. DOI: 10.1098/rsbl.2012.0137

Gimes Júlia



Könyvszemle

A szociologizáló hagyomány

Demeter Tamás új könyve ambiciózus vállalkozásnak mutatkozik. Azzal az általánosan elterjedt meggyőződéssel száll szembe, mely szerint „*a magyar filozófiai kultúra túlnyomórészt receptív, befogadó, kevésbé kreatív: főszereplői többnyire epigonok, s ezért a magyar filozófiai teljesítmény a nyugati filozófiai hagyomány kontextusában jórészt másodlagos.*” (13.) *A szociologizáló hagyomány* abban a tekintetben mindenképp egyedi, hogy a látszólag sporadikus magyar filozófiai hagyománynak igyekszik átfogó esztétörténeti beágyazást adni.

A kötet lényegében történeti monográfia, ám a fejezetek korábban már megjelentek tanulmányként. Ezeket igyekezett a szerző egységes narratívába dolgozni, amely képes annak megmutatására, hogy a hazai filozófia története, látszólagos szétszórtsága ellenére, igenis hordoz egységes jegyeket. A könyv „fő tézise, hogy elbeszéljen egy olyan történetet, amelyben a magyar filozófia elmúlt száz éve koherensnek és nyitottnak ábrázolható. Az ún. szociologizáló hagyomány ugyanis egy mással vitatkozó gondolkodási irányokat is képes együtt tárgyalni. A kötet végső soron azt állítja, hogy a magyar filozófia eredeti, maradandó és valódi hatást kifejtő teljesítményei jellemzően ennek a szemléletmódnak a jegyeit viselik magukon.” (14.)

A kilenc fejezet lényegében tematikusan tekinti át a hazai filozófiatörténet főbb állomásait; Lukács György viszont több fejezet-

ben is visszatér. A 4. fejezet Lukács irodalomról és elsősorban a dráma műfajáról alkotott elképzeléseit tárgyalja, az 5. fejezet a világnézet és ideológia *a priori* lehetőségeit és kapcsolódási pontjait igyekszik boncolgatni Lukács, Hauser Arnold és Mannheim Károly nyomán, a 6.-ban megjelenik a Lukács-iskola tudományfilozófiai aspektusa, a 7.-ben pedig az esztétikum autonómiájával kapcsolatban kapunk Lukács-értelmezést. E tekintetben azt lehet mondani, hogy a korai Lukács-életmű egyfajta elemzése ível át a kötet gerincét alkotó tanulmányokon, hiszen a dráma fogalmától a megismerés ideológiakritikáján és tudományfilozófiai elemzésén keresztül ismét az esztétikai tapasztalathoz jutunk vissza, de már nem egy konkrét műfaj szociológiai elemzéséhez, hanem általános irodalomelméleti megfontolásokhoz. Az első, bevezető tanulmány után a második – Palágyi Menyhért pszichologizmuskritikáját bemutató fejezet – mintegy előkészíti a központi tanulmányokat, az utolsó pedig egy lehetséges útvonalat mutat be a továbbhaladással kapcsolatban – Nyíri Kristóf életművének elemzéséhez igyekszik támpontokat adni.

A bevezető tanulmány Lendvait idézi, aki a hazai filozófiai élet állapotát a magyar nyelv struktúrájára vezeti vissza. A kritika azt igyekszik érinteni, hogy a hazai filozófiai élet korai fejletlen állapota, illetve e történeti-szociológiai beágyazottság magyarázata magában a nyelvben keresendő. Eszerint a magyar nyelv grammatikai felépítését tekintve jelentősen

különbözik a nyugati nyelvektől, és ennek egyfajta következménye, hogy kevésbé alkalmas filozófiai vizsgálódásra. A magyar ugyanis jellegét tekintve több mellérendelő mondatot tartalmaz, mint a nyugatiak, és kevésbé alkalmas igeneves-alárendelő szerkezetek magyarázatára, ami szükséges lenne egy absztrakt gondolkodásmód magyarázatához. (16.). A tézis első látásra *ad hoc*-nak látszik, hiszen köztudott, hogy több hazai filozófus művei emigrációban, németül, illetve angolul láttak napvilágot, és csak később fordítottak őket magyarra. Az eredeti szövegek olvasása közben azonban a kevésbé gördülékeny nyelvtani szerkezetekben fel-felsejlik annak érzete, hogy a szerző nem anyanyelvén írta az adott szöveget. Demeter ezt azzal is igyekszik alátámasztani, hogy a hazai életben a filozófiai eszmék elsősorban az irodalom területén honosodtak meg, és az intézményi, illetve szervezeti kultúra, amely ténylegesen meghatározza a filozófia elterjedését, nem alakult ki. „[n]em meglepő [...], hogy Lukács esszéinek nagy része ebben a szellemi közegben nincs ott, itt ugyanis hiányoznak az életvilágból fakadó problémák hagyományosan filozófiai kezelési módjai.” (16.) Sokat profitálhatott volna a kötet abból, ha a szerző társadalomtörténeti áttekintését adja annak a közegnek, amelyben ezek az esszék nem találtak megfelelő olvasótáborra. Demeter csak érintőlegesen említi azokat a hazai értelmiségieket, akik jelentős szerepet játszottak a filozófiai eszmék – ha nem is feltétlen filozófiai módon kifejtett – továbbadásában.

Részen effajta megfontolásokkal magyarázható, hogy a magyar filozófiai élet inkább a gyakorlatias, „csinálni” nyelvfelfogásra, semmint a külföldi „absztrakt” nyelvre épül, így sokkal inkább társadalmi és történeti beágyazottságú, mint nyugati társai. E nyelvi

beágyazottság alátámasztásaként előnyös lett volna a tárgyalt gondolkodók, illetve munkáik eszmetörténeti elhelyezése. Így a naiv olvasó számára könnyebben elkülönülnének a különböző álláspontok, és elkerülhető lenne, hogy nemcsak az olvasó, de maga a szerző is összemosson hasonló jelentésű fogalmakat. Demeternek különösen nehéz feladata van az ötödik fejezetben a ’világénezt’ és ’ideológia’ fogalmainak elemzése kapcsán. Igyekszik tisztázni a különbségeket a két fogalom közt, de néhol ő is egybecsúszik a használatukban; kvázi felcserélhetően alkalmazza ezeket, még akkor is, ha korábban már felhívta a figyelmet arra, hogy nem feltétlen kölcsönösen felcserélhetőek. Számos esetben a fogalmak alatt nem tudunk mást érteni, mint a világ átélésének egy egyedi élményét; így a mű olvasása folyamán az ideológia fogalma az életvilág átélésének érzésévé redukálódik (107–110.).

A társadalmi és történeti beágyazottság alól kivétel Lakatos tudományfilozófiája, melyről Demeter a 6. fejezetben kimutatja, hogy elsősorban ahistorikus; Lakatos a társadalmi-történeti beágyazottságot másodlagosnak tekinti. A szerző Lakatos tudományfilozófiájának e történetietlenségét elsősorban azzal magyarázza, hogy számára a tudomány kiemelt státussal rendelkezik, ahol elsősorban az episztemé a fontos, illetve a belső történet koherens rekonstrukciója (125.). E tekintetben Lakatos egyfajta kivülállóként tekinthető a hazai filozófiatörténetben, és nem illeszkedik közvetlenül a szociologizáló hagyományba.

A Lakatos-elemzés ahistorikusságát akár analógiájaként is tekinthetnénk Demeter munkájának. A *szociologizáló hagyomány* úgy próbálja magyarázni a magyar filozófia történetét, hogy a társadalmi és történeti keretet háttérbe helyezi, és elsődlegesen a hazai filozófiai művek fogalmi *exegesisét* hajtja végre,

melyek a konkrét társadalmi, illetve történeti ismeretek nélkül kiüresednek. Erre kitűnő példaként szolgálhat az utolsó, Nyíri Kristóf munkásságát elemző fejezet tézise (179.): „*Józan és hasznos módszertani követelmény a szociológiailag inspirált magyarázatokkal és értelmezésekkel szemben, hogy megfelelően komplexek legyenek. A komplexitás követelménye ebben a tekintetben annyit tesz, hogy az értelmezésnek mindazon tényezőket tekintetbe kell vennie, amelyek relevánsnak tekinthetők egy koherens és plauzibilis olvasat számára. Ebben a fejezetben azt mutatom meg, hogy Nyíri Kristóf műve, ha teljességében olvassuk, megfelel ennek az elvárásnak.*”

A naiv olvasó elsőre csak annak komplex magyarázatát veszi észre, hogy egy szociológiailag inspirált filozófiai munkának kellően komplexnek kell lennie, hogy aztán azt újra

rekonstruálva még komplexebb szöveghez mazt kapjunk. Arról, hogy egy fogalmi magyarázattal szemben egyéb elvárásokat is támaszthatunk, nem szól a szöveg.

Ennek ellenére a kötet hasznos a hazai filozófiatörténet megértése kapcsán. Demeter nehéz feladata ellenére igyekszik fogalmi elemzését adni a Lukács-hagyatékának a hazai filozófia történetében. A kötet érdekes lehet azok számára, akik kiemelten foglalkoznak Lukács esztétikaelméletével, illetve azzal, hogy Lukács számára miért az esztétikai az, ami elsődleges szerepet élvez a megismerés többi formájával szemben. (*Demeter Tamás: A szociológizáló hagyomány A 20. századi magyar filozófia főárama. Bp.: Századvég, 2011. 214 p.*)

Forgács Gábor

PhD, BME Filozófia és Tudománytörténet Tanszék

Nőírók és író nők

A *Nyugat* alapításának 100. évfordulója és a nők helyzetének bemutatása iránti intellektuális kíváncsiság és elkötelezettség indokolhatta Borgos Anna és Szilágyi Judit kötetének megírását. A 2011-ben megjelent könyv címe *Nőírók és író nők* egyszerre szűkebb és tágabb értelemben is sokat elárul mindazokról a problémákról, melyekkel a *Nyugat*-ba író nők szembesültek, mind pedig a könyv módszertanáról is. Ez, ahogy azt az alcím külön is kiemeli (*Irodalmi és női szerepek a Nyugatban*), a kötet legfőbb alapelve: a szerepek vizsgálata. Egyrészt és elsősorban a női szerepeké, az írónői és nőírói pozíció között lévő, a hatalom és az autonómia fogalmai által nagyban meghatározott különbség feltérképezése a kötet célja, de ugyanígy vizsgálja az irodalmi szerepeket is, melyek itt szorosan összefonódnak a nemi szerepekkel.

Ám Borgos és Szilágyi nemcsak a nyugatos nők pozícióit vizsgálja, hanem legalább ennyire a férfiak szerepét is, még ha ez sok helyen nem is kerül feltétlenül explicit kimondásra. Ez a vizsgálat elkerülhetetlen, mivel a férfiak szerepeinek megismerése és megértése sok mindenben magyarázza a női szerepek alakulását is.

A fentebb leírtakból minden bizonnyal egyértelműen kiderül, hogy a kötet nagyban használja a különféle genderelméletek problémafelvetéseit és következtetéseit, ám ezeket mindig közvetett és erősen alkalmazott módon teszi, ilyen irányú közvetett hivatkozások a lehető legritkábban találhatók a kötetben. Ám ez önmagában egyáltalán nem problematikus dolog, különösen, hogy ezáltal a szöveg is jóval könnyebben olvasható. Az olvashatóság mellett fontos szempont, hogy így talán a széles szakmai olvasóközönséget is jobban meg lehet nyerni, és ezáltal némi esély adód-

hat arra, hogy a nyugatos női írók az irodalmi kánon részévé váljanak.

A kötet felépítése nagyon tudatos és precíz, a nagy lélegzetvételű, minden, a téma iránt érdeklődő számára ajánlott áttekintő bevezetést tíz fejezet követi, melyek egy-egy író nő életpályáját feldolgozó esettanulmányok, szinte kismonográfiák. Ezek részben kronológiai, részben pedig egy elméleti rendszer szerint vannak elrendezve. Kaffka Margit, a talán legjelentősebb író kezd a sort, de a kötet elején található a vele jó barátságban lévő Lesznai Annáról vagy a Török Sophie-ról szóló fejezet is. Ezek után a kötet közepén-második felében öt, szinte teljesen elfelejtett alkotó (Reichard Piroska, Bohuniczky Szefi, Gyulai Márta, Kovács Mária és Kosáryné Réz Lola) következik, végül pedig a Kádár Erzsébettről szóló fejezet zárja a könyvet, akit mint a legmértatlanabban elfeledett, kis mennyiségű, de nagyon erős művekkel bíró írókat mutatják be. (Kádár életművének felfedezése és megismerése e szöveg szerzőire is komoly hatást gyakorolt.) A mintegy húszoldalas bevezető tanulmány egyszerre ad áttekintést a korról és a nők, a női pozíciók helyzetéről a *Nyugat*-ban és a korban, vázolja a kötet alapkérdéseit, és mutat egy központi irányvonalat, amelyre a konkrét tanulmányok illeszkednek, illetve amihez képest akár új irányokat is nyithatnak. E szerint az itt tárgyalt mintegy harminc év a női írók felfutásának és emancipációjának kora, melyet a kvantitatív statisztikákkal és a szerepmodellek megváltozásával is bizonyítanak a szerzők. (A századfordulón Kaffkák egyik irodalmár rokona még így ír Margit anyjának a lánya verseiről: „*Nem rosszak a lányod versei, hügom, sőt szépek és egész jók. De hát minek írni egy nőnek? [...] kár volna, ha a lánya nem a főzőkanál mellett maradna meg. Még az is kár, hogy tanítónő lesz.*”

A kötet nagyon tudatos felépítése érdekes kontrasztban áll azzal, hogy a kor, a *Nyugat* kritikusai sokszor épp a szerkesztettség hiányát kérik számon, toposz-szerű módon az író nő-kön. „*A belső koncentrálódásra való képesség, amely az író-férfiban, ha igazán tehetséges, mindig megvan, az író-nőkből csaknem teljesen hiányzik. Ezért az író nő munkájában mindig van valami dilettáns-szerűség...*” – írja Schöpplin Aladár 1910-ben. Ez az attitűd a korabeli női képzőművészekkel kapcsolatos attitűdökben is gyakran megjelenik. Jellemző a festőként is alkotó Kádár Erzsébet fontos novellája, a *Csók és festék*, melyben az erősen önéletrajzi ihletettségű, festőként dolgozó főszereplő figuráját, Máriát szeretője csak mint nőt, de nem mint művészt tudja értékelni. Ám hasonló tendencia, a nőknek a *nőiesnek* mondott műfajokba, témákba való szorítása (ahogy ez más művészeti területen is megjelenik, miként erre rövidesen példát is hozunk –, úgy a Nyugatban például azzal, hogy az író nők kritikusként döntő többségben nők által írt könyveket kapnak recenzálásra, és csak a legkritikább esetben nagyobb lélegzetvételű témákat (kivétel Reichard Piroska Babitsról és Janus Pannoniusról írt tanulmánya).

A 20. század elején óriási változások zajlottak a nők társadalmi helyzetében, amelyek az alapvető jogok szintjén az egész női társadalomról szóltak, azonban az előtérben még iscsak a képzett, intellektuális és emberi jogi igényekkel fellépő nők álltak. Erre a változásra a férfiak általában értetlenül reagáltak, sokszor veszélyhelyzetként értelmezve az új helyzetet. A képzőművészet területéről származó század eleji idézettel kívánjuk szemléltetni a nők másodrangú, a patriarchális társadalom által lekezelt helyzetét: Szinyei-Merse Pál 1913-ban egy körkérdésre következő választ adta: „*A nő karaktere alá van rendelve*

a férfinak és legtöbbje sohasem tudhat valami grandiózusat produkálni. [...] Elismerem, hogy ügyesek a nők, megvan az érzékük sokféle finomsághoz, de hiányzik a hím ős karaktere: az alkotó, a teremtő, nagy teljes erő, amivel egyedül lehet csak abszolútbecsű művet alkotni.”

Borgos és Szilágyi könyvének egyik legérdekesebb gondolatmenete a női írók és a nyugatos férfiak viszonyának vizsgálata. Jól látható, hogy az irodalmi és a magánélet elválasztása még a tiszta esztétikát olyan magasra helyező Nyugatnál sem működhetett. Ennek a legnevesebb példája Török Sophie esete, akinek írói megítélésében, ha nem is feltétlenül közvetve, de nagy szerepet játszott, hogy Babits Mihály volt a férje. Az ebből a pozícióból adódó lehetőségeket és hatalmat pedig láthatóan Török Sophie sem habozott kihasználni, miközben folyamatosan reflektált is furcsa, kettős helyzetére. Török Sophie speciális helyzetéről – miként Karinthy Frigyes és Kosztolányi Dezső feleségéről: Harmos Ilonáról és Böhm Arankáról – átfogó képet nyújt Borgos Anna 2007-ben megjelent könyve (*Portrék a másiktól – Alkotónők és alkotótársak a múlt századelőn*, Budapest: Noran). A kötet alapján a legszerteágazóbb kapcsolatú nyugatos férfi mégis a nagyhatalmú szerkesztő, Osvát Ernő volt, akinek az itt tárgyalt tíz író nő nem kis részével volt valamiféle (szerelmi, szoros baráti) kapcsolata. (Jellemző, hogy miközben Reichard Piroska dokumentálja Osvát utolsó hónapjait, az az öngyilkossága előtti utolsó percében Gyulai Mártának ír szerelmes levelet.)

A könyv egyik legnagyobb erénye a gondos kutatómunka, amit a szinte teljesen elfeledett életművek kapcsán visz végbe. Ennek eredményei mélyen beleépülnek a szövegekbe, sok szövegrészletet, képet adnak hozzá. Minden bizonnyal nem egy író nő pályájának

megrajzolása e nélkül lehetetlen is lett volna. Szerencsére ezeknek a nagyszámú hivatkozással az egyes fejezetek végén kerülnek lábjegyzetelésre, így lehetővé teszik a folyamatos olvasást is. (Kár, hogy éppen az utolsó fejezet utolsó lábjegyzete maradt el.) Külön öröm a mélyebben nem tárgyalt, de a *Nyugat*-ban sokat publikáló nők részletes statisztikája és bibliográfiája a kötet végén.

Felvetődik a kérdés, hogy kiknek szól a kötet? A nagy kutatások sok új információt jelentenek az irodalmároknak, ám a precízen megrajzolt korszokok és a ma is aktuális problémák, illetve a kellemes stílus tágabb közönség számára is érdekessé teheti a könyvet. A kötet összességében a „nagy *Nyugat*-történet” speciális szemszögből történő újraolvasása alapvetően irodalmi szempontokból, de erős hangsúlyt fektetve a női (és férfi) pozíciók megnyilvánulására és hatásaira. Emellett olyan író nőket helyez a közbeszédbe, akiknek a kánonból való kiesése nem feltétlenül csak az esztétikai minőségüknek, hanem éppen a nőiségüknek és az erre irányuló közvetett elnyomásnak is köszönhető. Borgos és Szilágyi munkája ennek feltárásához is bőven nyújt muníciót a téma iránt érdeklődőknek. Aki pedig szeretné elolvasni a nyugatos nők bármely munkáját, és eddig nem járt nagy sikerrel, annak ma már egyszerű dolga van, mivel a *Nyugat* összes száma digitalizált formában hozzáférhető az Országos Széchényi Könyvtár Elektronikus Periodika Adatbázis Archívumában: <http://epa.oszk.hu>. (*Borgos Anna – Szilágyi Judit: Nőírók és író nők – Irodalmi és női szerepek a Nyugatban*. Budapest: Noran Kiadó, 2011, 484 p.)

Nagy Beáta

szociológus, Budapesti Corvinus Egyetem

Nagy Kristóf

egyetemi hallgató, ELTE

Lukács átértékelése

A kötetben tizenhárom tekintélyes szerző, szociológusok, politológusok és filozófusok vizsgálják Lukács György szellemi hagyatékát. Michael J. Thompson bevezetésében hangsúlyozza, hogy szükséges Lukács átértékelése, mivel filozófiájában – az ideológiai torzulások ellenére – képes volt a kortárs nyugati gondolkodás egyik fő problémáját, az emberi tudat társadalmi közegtől való eltávolodását érdemben tárgyalni. Radikális gondolkodóként Lukács a politikai és etikai motivációkat gátló szubjektívizmus és irracionalizmus okainak feltárását szorgalmazta, és egyedi vonása, hogy Marx eszméit Kant és Hegel filozófiájának perspektívájában akarta továbbfejleszteni. Lukács hitt abban, hogy a társadalom *ontológiailag* egy magasabb szintre juthat, elméletében az egyén társadalmi viszonyainak objektív dimenzióira összpontosított. Ideológiai orientáltságát a Simmel és Weberrel szembeni kritikája is meghatározta. Lukácsot egyrészt (mint probléma) a társadalmi fragmentáltság és a kiteljesedett emberi életre irányuló vágy, másrészt (mint cél) az objektív-materialista módszertan kidolgozása érdekelte leginkább. E két szempontból Lukács gondolata ma is releváns, amikor – a jelek szerint – szükség lesz a még érvényben levő (neoliberális) társadalmi-gazdasági modellek helyett alternatívák felmutatására (7.). Jelen recenzióban a tematikai átfedések és terjedelmi tényezők miatt öt tanulmány rövid kritikai ismertetésére szorítkozom.

Stephen Eric Bronner *Lukács és a dialektika: kontribúciók a gyakorlat elméletéhez* című tanulmányában emlékeztet, hogy a bipoláris rendszer összeomlását követően a marxizmus – így Lukács életműve – jelentősen leértékelődött, és a Lukács iránt érdeklődők főleg

annak marxista fordulata előtti esztétikai műveivel (*A lélek és a formák*-kal és *A regény elméleté*-vel) foglalkoztak. A *Történelem és osztálytudat* első, 1923-as megjelenése előtt a marxizmus a szociáldemokrata mozgalmak aktivista ideológiája volt, mely szerint (a történelem sokfázisos fejlődésében) a szocializmus alternatívaként akkor jelenhet meg, amikor egy országban a népesség „kritikus tömege” olyan proletariátussá vált, mely *tudatában van* politikai céljainak. Ezen ideológia a monarchiákban volt hatékonyan alkalmazható, ahol a szociáldemokraták megalapozottan követelheték a köztársasági államformához kötődő általános választójogot (13–16.). Lukács elméletében központi kérdés volt a *társadalom-konstituálás* kérdése (*constitution problem*), mivel – Vicót idézve – a történelmet mindig az emberi kreativitás formálta. A társadalom különösen az állampolgárainak nyújtandó *szabadsággal* összefüggésben értékelendő történelmi jelenségeként: ez kiváltképp a kapitalizmusra érvényes, ahol (a lukácsi terminológia szerint) a kizsákmányolt dolgozó osztály objektív érdeke, hogy – szubjektív szinten is – megvalósítsa önállóságát és szabadságát. E szubjektivitás külsődlegessé tétele (*Entäußerung*), kreatív ereje egy olyan elidegenedési folyamatban valósul meg, amely az egyéneket a kapitalizmus *minimax* elvére alapozó, monoton és kreativitás nélküli életre kényszeríti. Kant és Hegel képesek voltak szellemileg megalapozni a polgári forradalmakat, e német filozófusokat pedig (saját felfogása szerint) Lukács volt képes meghaladni, mivel általa a történeti szemlélet – mint elmélet – képes katalizálni a *forradalmi gyakorlatot*. Itt jól látható Lukács ideológiájának messianizmusa: a *Történelem és osztálytudat* alapján a „kapitalista imperializmus utolsó fázisa” olyan kontextus, melyben a szubjektu-

mok objektumokká válnak, s így az osztálytudat objektív elmélete *nélkülözhetetlen* a proletariátus számára – ez az ő *objektív lehetőségek* elmélete (16–17.). Bronner szerint *Az ész trónfosztása* Lukács irodalomelméletének filozófiai kiegészítése, melynek megfelelően a náciizmus a XIX. század politikai romanticizmusában és ellen-felvilágosodásában gyökerzik. Lukács számára a fasizmus alapja az *irracionálisizmus*, s ez kiváltképp a „kispolgárság”, illetve a polgárság „reakciós elemeinek” ideológiája. Lukács – nem véletlenül – a hidegháborús feszültség közepette vezette vissza a náciizmust az alábbi szerzőkre: Schelling, Schopenhauer, Kierkegaard, Nietzsche, Weber, Jaspers, Bergson, Proust, Freud, valamint C. Schmitt és Heidegger. Zárásképp Bronner hangsúlyozza, hogy Lukács idővel a forradalmi eszmét (így az elidegenedés és az objektiváció megszüntetését) utópisztikusként fogta fel, fenntartva azonban az emberi méltóság – szintén utópisztikus – kérdésének érvényességét: az emberi méltóság végeredményben az objektivációval való szembenállás révén őrizhető meg (26–29.).

Stanley Aronowitz *Az ész trónfosztása* elemzésén túl kiemeli, hogy a magyar filozófus Marx árufetisizmus elvéből kiindulva a szubjektívizmus materialista elvét is körvonalazta, vagyis elsőként ismerte fel a fogyasztói társadalomnak az egyén tudatára gyakorolt hatását, mely az osztálytudatot is semlegesítheti (52.). Az irodalomtörténeti vizsgálódásokra utalva Aronowitz kiemeli, hogy (a fiatal Hegelről írt munka mellett) ezekkel Lukács az ötvenes években foglalkozott Balzac, Walter Scott, Thomas Mann és Szolzsenyicin kapcsán, amellet, hogy kritika tárgyává tette Heidegger, Husserl és Sartre műveit (53.; 55.). *Az ész trónfosztása*-ban kifejtett „hegeli–marxi” elmélet lényege, hogy a kritika

három fázisban valósítandó meg: a szerző azon előfeltevéseinek azonosítása, melyekkel az őt foglalkoztató jelenségek értelmezésekor él; annak megítélése, hogy célkitűzését – saját előfeltevéseiből kiindulva – mennyiben érte el a szerző; az irodalmi teljesítménynek az aktuális történeti kontextusban való elhelyezése. Aronowitz is hangsúlyozza, hogy Lukács felfogásában Nietzsche és az „ellenforradalmi” ideológia szempontjából hozzá köthető szerzők azon „fejlődés” „dialektikus történelmi” fogalmának tagadásából kiindulva fogalmazták meg nézeteiket, mely „fejlődés” egy „egalitáriusabb” és a többség számára kulturálisan gazdagabb élet ígérését hordozta magában (56–57.). Lukács Nietzschét antikonformista és antietatista, ugyanakkor reakciós, álforradalmi, demagóg és relativista szerzőként mutatja be, akinek legfőbb gondolata, (Tatár György kifejezésével) az „öröklét gyűrűje” *a fejlődés lehetőségének tagadása*, amiből elkerülhetetlenül következik a hatalom arisztokratikus és autoriter jellegének méltatása (58–61.).

A kötetben két elemzés foglalkozik érdemben Lukács irodalomelméletével, Peter U. Hohendahlé (*A regény elmélete és a realizmus fogalma Lukács és Adorno szerint*) és Kelemen Jánosé (*A művészet mint szabadságharc: Lukács, az irodalomtörténész*). Adorno kritikáját – kiváltképp a „művészet mint a valóság tükröződése” (*Widerspiegelung*) lukácsi elvének elvetését – részleteiben vizsgálja Hohendahl (76–77.), majd szemléletesen veti össze Balzac *Elveszett illúziók* című regényének Lukács-féle „realista” (szociológiai) megközelítését (mely alapján *ellentmondás*, hogy a történetben ábrázolt polgárság képtelen saját etikai és kulturális mércéi szerint élni) Adornoéval, aki szerint Balzac szövegének ereje a *társadalmi determinizmus*, illetve a *társadalmi közeg irracionális jellegének* bemu-

tatásban áll, miáltal Balzac protomodernista: célja nem a „valóság ábrázolása”, hanem a szubjektív és önreflexív mozzanatok megjelenítése (78–81.).

Kelemen szerint Lukács (a görög tragédiák, Dante, Goethe *Faust*-ja, az említett Balzac, Thomas Mann és Madách lukácsi elemzéseit figyelembe véve) jelentősen hozzájárult az irodalomtörténeti gondolkodás fejlődéséhez (IIO–III.). A lukácsi *Esztétika* alapján a *periodizáció* a művészet, a vallás és a hagyomány közti kölcsönhatás függvényében meghatározandó: e koncepció a *művészet mint szabadságharc* elmélet alapja. Ezen elmélet kidolgozásához Lukács szempontjából a XIX. századi művek elemzése volt a legalkalmasabb: ez magyarázza a korszak nagy szerzőihez való kötődést. Ugyanakkor számára Dante életműve is jó példa a *művészet mint szabadságharc*-ra. Míg Croce szerint a filozófia és a tudomány még Dante *Színjáték*-ában sem alakul át költészetté, Lukács szerint (és ez az anti-croceánus Fülep Lajos hatása) ezen átalakítás Dante főművében megvalósul. A dantei allegória újszerű megközelítésének megfelelően bár az allegória kettősséget foglal magában, egyesít is – Lukács kifejezése erre a *transzcendencia immanenciája* (II3–II7.). Lukács figyelemre méltó Madách-elemzésében a vélhetően vicói és miltoni ihletésű *Az ember tragédiája* mint egyfajta „invertált *Isteni Színjáték*” jelenik meg, amennyiben szereplői számára nincs üdvözlés (123–125.).

Végül néhány szó Michael J. Thompson *Ontológia és totalitás: Lukács kritikai elmélet-fogalmának rekonstrukciója* című tanulmányáról. Thompson is hangsúlyozza Lukács gondolatának a klasszikus német filozófiával való kontinuitását, különösen a XIX. századi etikák szubjektívizmusa és az ugyanazon etikák objektív meghatározottságából fakadó

feszültség tekintetében (230.). Lukács szerint alapjában véve a szubjektivistá episztemológia és etika meghaladására van szükség. Ennek kapcsán Thompson hangsúlyozza: bár a „frankfurti iskola” alternatív javaslataiban (így Jürgen Habermas diskurzus-elméletében) vannak értékes elemek, e gondolkodók – akár csak a német idealizmus képviselői – elkülönítik a tudatot az azt meghatározó objektív struktúráktól (233–235.). Lukács ellenben a társadalom (általa objektívként felfogott) ontológiai struktúrájának megértésére akarta alapozni az etikát, a társadalmi totalitás folyamatos feltárása révén szándékozta megérteni az elidegenedést (*Entfremdung*). Lukács tehát az ontológiát favorizálta az episztemológiával szemben. E marxista elmélet kulcsfogalma így a *munka* (*labour*), amely – lukácsi definíciója szerint – olyan célok meghatározása és az ezek teleológiai kontextusban történő elérésére irányuló eszközök autonóm kiválasztása, melyek alapján a munka egyszerre *praxis* és *poiesis*: az így értelmezett munkában valósul meg *objektív* és *szubjektív* szintézise (237–239.). Thompson szerint Lukács célja olyan értékeken alapuló objektivistá etika kidolgozása volt, mely értékek érvényesítése a társadalmi élet és az intézmények átalakítása révén lehetséges.

A kötet nyilvánvalóan nagy érdeklődést válthat ki a társadalomtudományok kutatóinak köréből, ezenkívül mindazokból, akik a jelenkori társadalom politikai, kulturális, etikai és gazdasági válságán való túllépés lehetőségein gondolkodnak. (*Michael J. Thompson ed.: Georg Lukács reconsidered. Critical Essays in Politics, Philosophy and Aesthetics, New York–London: Continuum, 2011, 264 p.*)

Nagy József

tudományos munkatárs,

ELTE Bölcsészettudományi Kar Olasz Tanszék

A disputa visz előre

Molnár Farkas (1897–1945), a modern magyar – és nemzetközi – építészet kiemelkedő alakja nem ismeretlen a művészettörténeti szakirodalomban. Ferkai András, aki tisztelettel adózva a néhai és mai kollégáknak, számba vette az összes eddigi másodlagos irodalmat, mégis joggal állítja, hogy szükség volt egy komplex nagymonográfia megírására. Nemcsak azért, mert több éves kutatómunkával, miközben maga is visszaasott a szakirodalom eredeti forrásaiig, számos új forrást, dokumentumot, feledésbe merült Molnár Farkas-művet és -tervet fedezett fel, hanem mert mindezek kritikus újraolvasásával, minuciózus összevetésével új következtetésekre jut. Ahol ellentmondást tapasztal, kérlelhetetlen következetességgel törekszik a megoldásra. Feladatának tekinti a sokáig átöröklődő hibás adatok, például életrajzi részletek vagy datálások tisztázását, de nem a száraz tudományos pontosság érdekében, hanem mert ennek nemegyszer elvi jelentősége van, erősen befolyásolhatja Molnár cselekedeteinek, választásainak megértését, alkotásainak interpretációját. A szerző fontosnak tartja azt is, hogy a rendkívül sokoldalú Molnár Farkas különböző műfajú alkotásai, a hazai és a nemzetközi szakirodalomban már a kezdetektől méltatott építési tevékenysége és az utóbbi két évtizedben feltárt képzőművészeti munkássága együtt, egymásra vonatkoztatva jelenjen meg. Molnár életeseeményeinek ismertetésekor, műveinek elemzésekor Ferkai esetenként többféle korábbi álláspontot ismertet, mielőtt állást foglalna. Van, ahol változatlanul több értelmezést is megenged, vagy éppen nyitva hagyja a kérdést. Gondolatmenetének feltárása a felfedezés izgalmát, az együttgondolkodás élményét adja az olvasónak.

A szerző igen tudatosan választja meg a formát. Négy nagy fejezetre osztja az életpálya ismertetését, melyek kronologikusan követik egymást a pályakezdéstől, a weimari Bauhausban eltöltött éveken, majd a húszas évek hazai munkáin át a harmincas, negyvenes éveket összefoglaló írásig. A nagy fejezetek azonban nem folyamatos elbeszélésben bomlanak ki, hanem azoknak a kérdéseknek a mentén, amelyeket az egyes életszakaszok alkotó munkássága felvet. Aprólékos forráskutatással tisztázódnak az egyetemi tanulmányok még homályos vagy ellentmondásos részletei, megismerjük Molnárnak a pécsi művészkörben kibontakozó festői, grafikai tevékenységét, majd a Bauhaus-évek részletes krónikáját. Speciális kutatási probléma a műhelyekben, építész stúdiókban végzett közös munkában játszott szerep tisztázása, mind a Bauhauson belül, mind kívül, Weimarban és Budapesten. A hazatérés után az „avantgárd sokszínűsége” pótolja Molnár számára a Bauhaus-időszak művészi kísérletezésekkel, emberi kapcsolatokkal teli eleven életét. Az építészeti diplomáját végre elnyerő Molnár munkakörülményeinek, alkotói hitvallásának és személyes kapcsolatainak hátterén ismerhetjük meg a villa- és bérház-építészet húszas években készült remekeit, és Molnárt, mint a CIAM magyar csoportjának vezetőjét. A *Pro és kontra, avagy hogyan folytatható az „új építés”* fejezet szemléletes példa Ferkai módszerére, aki egy-egy kisebb gondolatkörből – Molnár írott programjából, Breuer Marcellel való, a Bauhaus időket követő kapcsolatából, továbbá épületeik, terveik ismertetéséből kiindulva jut átfogóbb következtetésekre, azaz helyezi el mindkettejüket a modern mozgalom folyamatában mint a második generáció tagjait, s ezen belül mint egyéni invencióval rendelkező tervezőket. A

harmincas évek izgalmas kérdései közül külön fejezetet kap a flexibilis tér elképzelése, mely Molnár számos kiemelkedő művét meghatározta. Úgy bontakozik ki előttünk Molnár munkássága, hogy láthatóvá válik, hogy sem az általa képviselt konstruktivista esztétika, sem a funkcionalizmus elve nem egységes állandó, hanem mindig új kérdéseket feltevő, önmagát folyamatosan korrigáló folyamat.

Még differenciáltabbá válik a monográfia szerkezete azáltal, hogy az átfogóbb fejezetek közé beékelve, egyes, a szerző által kulcsfontosságúnak tartott műveket, alkotói problémákat külön, részletesen elemző szakaszok illeszkednek. Ferkai eredeti elgondolásokkal gazdagítja Molnár festészetének és grafikájának értelmezését, és friss szemmel képes megközelíteni a korábbi kutatások során már látszólag teljesen körüljárt olyan főműveket, mint az 1921-es *Síratás* és az 1923-ban készült *Fiú légijátékszernel*. Továbbgondolásra készíti olvasóját, mikor Molnár Tamkó Sirató Károly *Papírember* című verseskötetéhez 1928-ban készült könyvborítóját elemezve olyan interpretációval próbálkozik, amelyhez hiányoznak az irodalomtudomány és művészettörténet együttműködését igénylő interdiszciplináris kutatások. A jól strukturált okfejtésekben, precíz adatolásban elenyésző az olyan kisebb tévedések száma, mint Derkovits Gyula és a Szőnyi kör közvetlennek tűnő kapcsolata, vagy a Delej utcai villalakás falán látható festmény azonosítása Bortnyik műveként (275. kép), illetve a Bortnyik Sándor által készített fényképen látható szereplők megnevezése mint Bortnyik és felesége (288. kép). Ferkai lényeges árnyalatokkal gazdagítja a KURI-mozgalommal és a képarchitektúrával kapcsolatos eddigi művészettörténeti értelmezéseket, van új mondanivalója az

emblemikus *Vörös Kockaházról* is. A *KURI város* elemzése nyújt betekintést Molnár urbanisztikai elképzeléseibe, melyeket a szerző Le Corbusier és Ludwig Hilbersheimer ez irányú munkásságával vet össze. A villák, a középületek és a parasztház elemzése kapcsán sorra felvillannak a 20. századi építészet nagy problémái, dilemmái. Talán az egyik legszebb fejezet a fiatal házaspár Molnár Farkas saját, a Delej utcai villában kialakított lakásának interpretációja. Ferkai a kiemelt részproblémákat körüljáró elemzésekben a művek és keletkezéstörténetük egzakt leírásából kiindulva széles kulturális horizontot jelöl ki, s így helyezi el Molnár Farkas munkásságát a 20. századi építészet és képzőművészet meghatározó hazai és nemzetközi folyamataiban, vagy jelöli meg azokat a pontokat, amelyekben csupán helyi jelentősége van.

A művek elemzését a legújabb kutatási és elemző módszerek mindig célirányosan megválasztott kombinációja szolgálja. Molnár Farkas igen sok műfajt felölelő munkássága – építészet, belsőépítészet, reklámgrafika, tipográfia, festészet, grafika, színház, szakpublicisztika – megköveteli az interdiszciplináris megközelítést. Ferkai természetesen, világos stílusban, konkrét esetekre adekváтан alkalmazva él azokkal az interpretációs lehetőségekkel, melyeket a stíluskritikán túl a kritikai forráskutatás, a recepcióelmélet, a művészet-szociológia, a hermeneutika és a képtudomány nézőpontja kínál. A Molnár Farkas monográfia szilárd talpköve Ferkai építész képzettsége, ami nemcsak az épületek és tervek technikailag egzakt, szakszerű leírását teszi lehetővé, hanem azt is, hogy maximálisan hiteles interpretációk születhessenek, melyekben az esztétikai elemzés szorosan összefonódik a funkció, az anyaghasználat és a technikai innováció szempontjaival. Ez a

következetesen érvényesített történeti szemponttal párosulva lehetővé teszi, hogy a szerző Molnár eredményeit a maguk korába helyezve, elfogultságok nélkül értékelje, s egyúttal a ma felől is láttassa, rátapintva Molnár Farkas életművének előremutató, máig érvényes elgondolásaira. A szerző birtokában van az ehhez szükséges széles körű áttekintésnek a modern magyar építészet történetéről, s annak mindenkor egyetemes közegéről, ismeri nemcsak a legkiválóbb mestereket, hanem a rejtettebb alkotókat, műveket, tendenciákat is.

Ez a komplexitás, objektivitásra, de egyúttal nyitottságra törekvés elengedhetetlen az eddig ideológiai okokból szőnyeg alá söpört vagy elfogultan kezelt kérdések hiteles kezeléséhez. Ilyen például Molnár Farkas szerepe az 1930-as években, amikor a jobboldali radikális irányultságú folyóiratokban publikált, részben alkalmazkodva azok frazeológiájához, és több munkájában elfordult a pályáját meghatározó modernizmustól. Ferkai árnyaltan elemzi Molnár e kései, falutervezéshez és egyházi megbízáshoz kapcsolódó munkáit is. Könyvből megismerhetjük Molnár Farkast, az embert erényeivel és esendőségével, sikereivel és egyéni drámájával együtt. A szerző elsősorban megértésre törekszik, mentegetés, szépítés és ítélkezés nélkül, mindig szem előtt tartva a teljes történelmi közeget. Itt is jól érvényesül gondosan alkalmazott módszere, hogy forrásként memoárokat, leveleket, is felhasznál, szintúgy szemtanúk beszámolóit

vagy Molnár saját írásait, mindig gondosan ügyelve az alapos értelmezésre, egybevetésre. Így rajzolódik ki részletekben gazdagon, hitelesen egy tehetséges építész pályája, aki bekapcsolódva kora egyik meghatározó irányzatába, a modern mozgalomba, egyéni teljesítménnyel tudta azt gazdagítani. A monográfus azonban nem kerüli meg a pályának azokat a pontjait sem, mikor az építész a körülmények szorításában nem bontakoztathatta ki maximálisan rátermettségét. Ferkai elérte az előszóban pontosan körvonalazott célját, monográfiája rendkívül alapos tudományos mű, és egyben érdekfeszítő olvasmány is.

A könyv szellemesen kialakított szerkezete kezelhetővé, áttekinthetővé teszi a gazdag, összetett, sok fotóval és lábjegyzettel kísért anyagot. A kötet tartalmazza Molnár Farkas munkáinak katalógusát, egy válogatást fontosabb írásaiból, továbbá a függelékben rövid, minden eddiginél pontosabb életrajzát, írásainak teljes jegyzékét. A kiadvány igényes grafikai tervezése Vargha Balázs munkája. A könnyű áttekintést biztosító tagolás, a kép és a szöveg jól követhető tördelése, a jellegzetes vörös-fekete tipográfia élvezetes, de mindig az eligazodást szolgáló ritmusa mintegy hódolat a konstruktivizmus formavilága, a funkcionalizmus ökonómiája előtt. (*Ferkai András: Molnár Farkas. Budapest: Terc, 2011, 463 p., 510 kép*)

Bakos Katalin

PhD, művészettörténész,
Magyar Nemzeti Galéria

Germanisztika Ausztráliában

Miért lehet érdekes ma Magyarországon egy olyan, több mint 800 oldalas, vaskos kötet, amely a melbourne-i Monash Egyetemen folyó germanisztikai oktatás és kutatás létrejöttének ötvenedik évfordulója előtt tiszteleg? Először is azért, mert a Monash Egyetem germanisztikai katedrájának alapító professzora Bodi László, aki 1995 óta az MTA külső tagja. Másodszor: a kötet bepillantást nyújt egy olyan problémakörbe, amely ugyan egy tőlünk távoli közeg sajátosságainak tükrében lép fel, de amelyet – más megvilágításban – minden hazai germanista jól ismer: ez az *Auslandsgermanistik* – vagyis a német nyelvű országokon kívüli germanisztika – bonyolult problémaköre. Harmadszor pedig a kötet átfogó képet fest olyan germanisztikai kutatásokról, amelyeket a sajátos ausztráliai kulturális környezet alakított ki, amelyek azonban analógiát mutatnak azzal, ahogy a magyarországi germanista keresi meg a magyar kultúra és a német nyelvű országokban művelt germanisztika témái közötti kapcsolódási pontokat.

A kötet két részből áll. Az első a szerkesztők rövid bevezetőjével kezdődik, melyet Bodi László önéletrajzi írása követ. Mint az utóbbiból megtudjuk, Bodi László életútja a budapesti zsidó középosztály multikulturális környezetéből indult, és vezetett a Monash Egyetem germanisztikai katedrájáig. Neveltetésének fontos része volt a milánói és a budapesti német nyelvű iskola. A fasizmus időszakában egyetemi tanulmányokra nem volt lehetősége, ezért nyomdásztanoncként, valamint a német klasszikus irodalmon és filozófián nevelkedett, művelt középosztálybeli ifjúként – saját megfogalmazása szerint – „ketős életet” élt. A második világháború alatt

sikerült elkerülnie mind a német, mind a szovjet táborokat. 1945 után német szakon folytatott egyetemi tanulmányokat Budapesten, és már ekkor felfedezte azokat a fő témákat, amelyek későbbi pályája során foglalkoztatták: Christian Friedrich Daniel Schubart és Heinrich Heine költészete, valamint Georg Forster írásai. Az 1956 utáni korai Kádár-korszakból Ausztráliába menekült, ahol akkora már emigráns rokonai biztos egzisztenciát teremtettek. Részesé lehetett a háború után elsőként alapított ausztrál egyetem, a Monash indulásának, melynek germanisztikai katedráját egészen emeritálásáig birtokolta.

A kötet első részének harmadik tanulmánya a Monash Egyetemen folyó germanisztikai oktatás és kutatás történetének összefoglalása Philip Thomson (a Bodit követő második germanisztikaprofesszor) tollából. A történeten végigvonul Bodi László tanszéképítő tevékenysége, tudói karizmája és a fiatal ausztráliai germanista generáció szisztematikus kinevelésére összpontosító, máig ható iskola-teremtő munkássága. A tanszék személyi összetétele 1961-től – az alapítás évétől – kezdve a német nyelv és kultúra köré szervezett multi- és interkulturális értékeket tükrözte: Bodi mellett német, osztrák, svájci, ausztrál oktatókból állt. Ez az összetétel különösen kedvezett a szűk értelemben vett filológiai, irodalomtörténeti és nyelvészeti kutatásokon messze túlmutató, történelmi, szociológiai, filozófiai kontextusba ágyazott, jelentősen vagy részben különböző kultúrák metszéspontján művelt germanisztikai profil kialakításának. Bodi széles látókörére jellemzően az új egyetem germanisztikai könyvtárának létrehozása is ezt a tematikai gazdagságot, kulturális komplexitást tükrözte, és ez határozta meg a német nyelvű országok intézményeivel kialakított termékeny kapcsolatrendszer is.

A kötet második része időrendben közöl újra harminchárom német és angol nyelvű, korábban már megjelent, a tanszék szakmai arculatát jól jellemző tanulmányt. A tanulmányokból kirajzolódnak az ausztráliai *Auslandsgermanistik* specifikumai és témái. Ugyanis – mint azt Thomson is említi – az *Auslandsgermanistik* két világban él egyidejűleg. Az egyik saját országának társadalma, kultúrája, hagyományai. A másik a német nyelv és kultúra világa, amelyet germanistaként meg kíván érteni, amelyet közvetítenie kell saját kultúrája felé, és amelyet kutatni is kíván – nem kevésbé releváns témákat keresve és nem alacsonyabb nívón, mint a német nyelvű országok kutatói. Különösen bonyolult egy olyan tanszék helyzete, amelynek német nyelvű országokból származó munkatársai is vannak: ők is két világban élnek, de e világok tükörképei az imént említetteknek.

A tanulmányok túlnyomó többsége az ausztráliai germanisztika tematikai sajátosságait reprezentálja. Ebbe a csoportba tartoznak többek között a csendes-óceáni felfedezéseknek a német irodalomban való megjelenésével foglalkozó tanulmányok. Tipikus példa Bodi tanulmánya, mely Cook kapitány alakjának a német irodalomban való feldolgozásait elemzi. Központjában Georg Forster munkássága áll, de kitér többek között Goethére, Schillerre és számos egyéb szerző-

re is. E csoportba sorolható még például az ausztráliai Brecht-recepcióval, az ausztrál gyermekek kétnyelvűségével, az ausztrál gyermekirodalom német fordításainak elemzésével vagy a német nyelvű emigráns irodalommal foglalkozó írás. A második csoportot azok a cikkek alkotják, amelyek az európai germanisztika ismert témáival sajátos perspektívából foglalkoznak: többek között olvashatunk a kötetben elemzést Günter Grass életművéről, Goethe *Faust*-járól vagy Wagner *Parszifál*-feldolgozásáról. A tanulmányok harmadik csoportja azon írásokból áll, amelyek témájukban, szemléletükben, módszerekben nem térnek el az európai germanisztikától. Ilyen például a német nyelv szociolingvisztikájának elméleti igényű elemzése vagy az egykori NDK-ban beszélt német ifjúsági nyelv konverzációanalitikai vizsgálata.

Összegezve: a kötet a germanisztika egy távoli földrészen, új közegben való etablálásának érdekesítő és tanulságos bemutatása, egyúttal pedig egy kiemelkedő tudós, Bodi László nagy hatású munkásságának dokumentuma. (*Franz-Josef Deiters – Axel Fliethmann – Christiane Weller Hrsg./Eds.: Passagen: 50 Jahre Germanistik an der Monash Universität / 50 Years of German Studies at Monash University. St. Ingbert: Röhrig, 2010, 830 p.*)

Kertész András
az MTA rendes tagja

CONTENTS

50th Anniversary of the International Union of Geological Sciences

Guest Editor: Attila Demény and László Szabados

Attila Demény: Introduction	514
Károly Brezsnayánszky: Importance of IUGS' 50 Years from National Geology's Point of View	516
György Bárdossy – János Fodor: Risks in Environmental and Earth Sciences— An Outline of Their Evaluation by Up-to-Date Geomathematical Methods.....	525
János Földessy – József Böhm: Gold and Cyanide—Possibilities and Risks	532
Gábor Dobosi – Kálmán Török: Rare Earth Elements from Geochemical Viewpoint	541
Péter Szűcs: Hydrogeology in the Carpathian Basin – What Next?	554

Study

Mária Barna – György Bíró: Recently Recognized Functions of Vitamin D	566
István Hannus: Zeolites and Zeolite-Like Mesoporous Materials.....	577
Tibor Faragó – István Láng: International Programme for Sustainable Development: From Rio to Rio	590

Academy Affairs

„Beauty is truth, truth beauty” • János Szentágothai Was Born 100 Years Ago	595
Awards	600

Interview

Life among Cells (<i>Benedek Várkonyi's interview with Éva Kondorosi</i>)	601
In Distant Pasts (<i>Benedek Várkonyi's interview with András Róna-Tás</i>)	606
Leroy P. Steele, Rolf Schock, Abel (<i>László Bán's interview with Endre Szemerédi</i>)	610
Passion and Curiosity (<i>Júlia Gimes' interview with Ada Jonat</i>)	614

Discussion

Csaba Török: The Vacant Throne—A Response to Mátyás Brendel	617
---	-----

Outlook (Júlia Gimes)

.....	623
-------	-----

Book Review (Júlia Sipos)

.....	627
-------	-----

Ajánlás a szerzőknek

1. A *Magyar Tudomány* elsősorban a tudományterületek közötti kommunikációt szeretné elősegíteni, ezért főleg olyan dolgozatokat közöl, amelyek a tudomány egészét érintik, vagy érthetően mutatják be az egyes tudományterületeket. Közlünk 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 általában ne haladja meg a 30 000 leütést (ez szóközökkel együtt kb. 8 oldalnak felel meg a *Magyar Tudomány* füzetiben); ha a tanulmány ábrákat, táblázatokat is tartalmaz, kérjük, arányosan csökkentsék a szöveg mennyiségét. Beszámoló, recenziók terjedelme ne haladja meg a 7–8000 leütést. A teljes kéziratot MS Word .doc vagy .rtf formátumban interneten vagy CD-n kérjük a szerkesztőségbe beküldeni.

3. Másodközlésre csak indokolt esetben, előzetes egyeztetés után fogadunk el dolgozatokat.

4. Legfeljebb tíz magyar kulcsszót és a közlemények címének angol fordítását külön oldalon kérjük. A cím után a szerző nevét, tudományos fokozatát, munkahelye pontos nevét, s ha közölni kívánja, e-mail címét kell írni. Külön lapon kérjük azt a levelezési és e-mail címet, telefonszámot is, ahol a szerkesztők a szerzőt általában elérhetik.

5. Szövegközi 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.

6. Az ábrák érkezhetnek 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 fizikai méreteket. Általában: az ábrák

és magyarázataik legyenek egyszerűek, áttekinthetők. A 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 szövegben tüntessék fel az ábrák kívánatos helyét.

7. 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 jelekkel kérjük megkülönböztetni mind a szövegben, mind az irodalomjegyzékben. Különösen ügyeljenek a bibliográfiai adatoknak a szövegben és 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.

8. 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

9. Havi folyóirat lévén a *Magyar Tudomány* kefelevonatokat nem küld, de elfogadás előtt minden szerzőnek elküldi egyeztetésre közleménye szerkesztett példányát. A tördelés során szükséges apró változtatásokat a szerző időpontegyeztetés után a szerkesztőségben ellenőrizheti.

ragasz' kitűzése rendeltetett el, mellyen az academia a' pesti népnek a' szabad sajtó' kivívásában tanúsított lelkes elszántságát, a' tudomány' és irodalom' nevében hazafiúilag megköszönje.

— Ezeken kívül most sürgetősbnek tetszván az academiai reform' szüksége mint valaha, a' titoknok', Vállas és Vörösmarty rr. tt. indítványára választmány küldetett ki egy ebbeli javaslat' hovahamarébbi kidolgozása 's az igazgatóság' elébe terjesztése végett. Addig is pedig Zsoldos Ign. rt. ajánlatára a' lev. tagok is szavazattal ruháztattak föl; Henszlmann Imre lt. fölszólalására pedig az üléseknek nyílt ajtók mellett tartása rendeltetett el.

MARTIUS 27. 1848.

Össze gyűlekeztek: Kubinyi Ágoston tt. --- Bugát, Czuczor, Döhrntei, Gebhardt, Luczenbacher, Szemere, Szilasy, Sztrokay, Vállas rr. tt. --- Hanák, Széchy, Szőnyi ll. tt. --- Toldy F. titoknok, Lukács Móríz helyettes segédjegyző

— A' helyettes segédjegyző értesítván a' megjelent tagokat, hogy Pozsonyból és Bécsből a' m. felelős ministerium' alakulása körüli akadályok iránt érkezett bal hírek' folytán ez órában a' museum' terén népgyűlés tartatik, melly a' nemzet által kivívott jogok' megőrzése végett teendők fölött hozandó végzést: ennek hallatára a' jelen voltak úgy hívék, hogy illy fontos pillanathan, midőn a' haza veszélyben forog, hiányozván a' tudományos tárgyalásokra szükséges lelki nyugalom: az ülés egyáltalában meg nem tartható; 's azonnal el is oszlottak.

KIS GYÜLÉS APRIL 1. 1848.

Gebhardt Ferencz legidősb rt. helyettes elnöklete alatt

Jelen Czuczor, Fest, Kiss K., Sztrokay, Vállas, rr. tt., Arenstein lt. --- Helmezy M. szavazatos pénzt. --- Toldy Ferencz titoknok, Lukács M. h. segédjegyző.

ÁRENSTEIN JÓZSEF.

az utolsó nagy gyűlés által választott mathem. osztályi lev. tag, székét elfoglalandó, értekezést kezdett olvasni, mellynek tárgya a' d'Alembert' elve, az ugynevezett virtualis utak' elve' (principe des vitesses virtuelles) olly általános alkalmazhatóságának megmutatása, miszerint abból az összes erőszet' (mechanica) minden tételei mintegy főelvből következnek. Az értekező befogadottnak nyilvánított; előadása pedig a' math. osztály' legközelebbi ülésében folytatatni határoztatott.