

Magyar Tudomány

MAGSUGÁRZÁS ÉS KÉMIA
vendégszerkesztő: †Vértes Attila

Meglesz-e a Higgs-részecske?

Az Alföld ásványi kincse

A készletek általános elmélete

A jövő tudósai

2012•2

Főszerkesztő:

CSÁNYI VILMOS

Szerkesztőbizottság:

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

A lapot készítette:

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

Előfizetési díj egy évre: 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

Magsugárzás és kémia

Vendégszerkesztő: †Vértes Attila

†Vértes Attila: Bevezető.....	130
Tóth Géza – Tömböly Csaba: Radioaktív nyomjelző rendszerek	136
Környei József – Mikecz Pál: Radiokémia a gyógyítás szolgálatában	141
Kovács Tibor – Somlai János – Máté Borbála: Növény- és gombaminták ²¹⁰ Po- és ²¹⁰ Pb-koncentrációjának meghatározása alfa-spektrometriai módszerrel	146
Molnár Mihály – †Hertelendi Ede – Veres Mihály: Radiokarbon: alkalmazások és perspektívák a környezetvédelemben és az iparban	152
Révay Zsolt: Prompt-gamma aktivációs analitika Budapesten. Kémiai elemzés neutronokkal	162
Homonnay Zoltán – Németh Zoltán – Kuzmann Ernő – †Vértes Attila: Ágyúval verébre? Kémiai finomszerkezet vizsgálata gammasugarakkal	168
Pintér Tamás – Elter Enikő: Radioanalitika az atomeróműben	178

Tanulmány

Haszpra László: A magyarországi légköri széndioxid-mérések harminc éve	184
Horváth Dezső: Meglesz-e a Higgs-részecske a a nagy hadronütköztetővel?	192
Reményi Károly: Az oxigén, a szén-dioxid és az energetika	198
Marton Lajos: Az Alföld ásványi kincse: a felszín alatti víz	206
Karcagi-Kovács Andrea – Kuti István: A készletek általános elmélete és a fenntartható fejlődés	216
Naciye Güngörmüs: Evlija Cselebi <i>Szejahatnâme</i> című munkájának magyarországi vonatkozásai	226

Vélemény, vita

Vajda Mihály: A filozófus szemérmertlensége – válaszféle Nánay Bencének	231
---	-----

A jövő tudósai

Bevezető (<i>Csermely Péter</i>)	235
Hat évtized, harminc OTDK – Változatlan célok, növekvő tekintély (<i>Cziráki Szabina – Szendrő Péter</i>)	235

<i>Kitekintés (Gimes Júlia)</i>	245
---------------------------------------	-----

Könyvszemle (Sipos Júlia)

Rendszer, egyensúly, érték: régi-új fogalmak Kornai János új könyvében (<i>Chikán Attila</i>) ...	248
Határtalan tudomány – a tudomány határai (<i>Berényi Dénes</i>).....	253

Magsugárzás és kémia

BEVEZETŐ

†Vértes Attila

az MTA rendes tagja,
ELTE TTK Kémiai Intézet

Az atommaghoz és annak tudományához *Henri Becquerel* felfedezése, a radioaktivitás felismerése vezette el a kutatókat. Ennek a felfedezésnek fontos előzményei voltak, és ezek között a legfontosabb a röntgensugárzás leírása volt 1895 novemberében (Röntgen, 1895). A röntgensugárzás híre, alkalmazása villámgyorsan bejárta a világot, és 1896 első hónapjaiban már Magyarországon is kipróbálták orvosi alkalmazását. (*Eötvös Loránd* kezének röntgenképét január 16-án mutatták be egy előadótúlélen, Budapesten.) Párizsban, az Akadémián 1896. január 20-án *Henry Poincaré* számolt be *Wilhelm Konrad Röntgen* felfedezéséről, és mutatta be a Röntgen által készített fotókat a kéz röntgenképéről.

Becquerel, akinek nagyapja és apja is fizikaprofesszor volt, ezen az előadáson találkozott először a röntgensugárzással. A nagyapa az elektromosság ásványokra gyakorolt hatását, az apa viszont a diamágnés és lumineszcenciás jelenségeket vizsgálta. Így természetes,

hogy a röntgensugárzást megismerve Becquerel arra gondolt: a röntgensugár és a lumineszcencia által létrehozott sugárzás között valamilyen összefüggést lehet feltételezni.

Hála a Becquerel család hagyományainak, kéznél voltak lumineszkáló ásványok az örökölt tanszéken, és Henri Becquerel gyorsan nekikezdhetett elképzelése kipróbálásának. 1896. február 24-én benyújtott egy közleményt az Akadémiának, hogy az uranilszulfát kristályok foszforeszkálása a röntgensugárzashoz hasonló sugárzást hoz létre, amely a fekete papírba csomagolt fotólemezt megfeketíti (Becquerel, 1896). Számos további kísérletet végzett a foszforeszkáló uránsókkal, és 1896-ban hat további dolgozatot nyújtott be a *Comptes Rendus* folyóiratnak. Ezek között a legfontosabb eredményt az szolgáltatta, amikor kálium-uranilszulfát kristállyal kezdett dolgozni, de az előző napokban felhők takarták el a Napot, így betette a külön-külön fekete papírban tárolt kristályt meg a fotóle-

mezt a sötét szekrénybe. A sötétben tárolt, majd előhívott fotólemezen mégis kirajzolódott a kristály formája. Érdemes megjegyezni, hogy egy korszakalkotó felfedezés azon a véletlenül múlt, hogy Becquerel előhívott egy olyan fotólemezt is, amihez kapcsolódó uránvegyületet nem ért napsugár, amitől nem várt expozíciót. Megpróbálta úgy magyarázni a tapasztalt jelenséget, hogy a behatoló sugárzás tovább él egy ideig, az iniciáló sugárzás energiáját tárolja a befogadó anyag, de aztán ezt a magyarázatot is elvetette. Munkája folytatása során megállapította, hogy ionizáló sugárzásról van szó. Becquerel nagy lendülettel és lelkesedéssel vizsgálta az urán sugárzásának tulajdonságait, és például megvizsgálta, hogyan sugároz megolvastott állapotban. További vizsgálatok azt mutatták, hogy nem foszforeszkáló uránásványok is sugárzást bocsátanak ki, aztán azt, hogy a tiszta urán nagyobb fajlagos intenzitású sugárzást bocsát ki, mint az uranilszulfát. A sugárzás tehát az urán elemi tulajdonságaihoz tartozik, az atomból származik, mégpedig az atomok olyan részéből, amelyet a kémiai reakciók nem befolyásolnak. Ez a megállapítás tehát már szükségszerűen feltételezi, hogy az atomnak szerkezete van, amely kémiai úton nem tárható fel teljes részletességével. Egy év elteltével azt is megállapította, hogy az urán aktivitása nem csökkent mérhetően.

A röntgensugárzás sokkal nagyobb érdeklődést váltott ki a kutatók körében, mint az urán sugárzása, így Becquerel meglehetősen egyedül maradt témájával. A helyzetet jól jellemzi, hogy 1896-ban mintegy ezer cikk foglalkozott a Röntgen által felfedezett sugárzással, míg az urán sugárzása mindössze húsz dolgozat témája volt (Glasser, 1934). A világ tehát ekkor még nem ismerte föl a radioaktivitás felfedezésének óriási jelentőségét.

Marie Curie 1898 elején kezdi el doktori munkáját, melynek témájául a Becquerel által felfedezett sugárzást választotta. Még ugyanezen évben, férje társaságában publikál három dolgozatot, s ezekben megállapítja, hogy a tórium és vegyületei is emittálnak ionizáló sugárzást, valamint leírja két új radioaktív elem, a polónium és rádium felfedezését. (Maria Skłodowska [Marie Curie] életéről és kutatásairól részletesebb információk találhatóak például: Curie, 1962; Vértes, 2009).

Ezek az eredmények hatalmas lendületet adtak a kibontakozó nukleáris tudománynak, és a kor számos, természettudományokkal foglalkozó kutatója csatlakozott ehhez a tudományterülethez.

André-Louis Debierne felfedezte az aktíniumot 1899-ben, egy évvel később *Ernest Rutherford* azonosította a tórium bomlási sorában lévő radont ($^{220}_{86}\text{Rn}$), az akkor *tórium-emanáció*nak nevezett radioaktív nuklidot.

1899-ben egy nagyon érdekes kísérlet-sorozatot végezve Rutherford felfedezte az α - és β -sugárzást (Rutherford, 1899): 5 μm vastag alumínium fóliákat rakott a sugárnyaláb útjába, és azt tapasztalta, hogy az első fólia mintegy 60%-kal csökkentette az urán által kibocsátott sugárzás intenzitását, de az újabb fóliák hatása egyre kisebb volt, és például a 10. fólia hatása már csak kevesebb mint 1%-kal csökkentette a sugárintenzitást. Ezek a mérések azt sugallták, hogy az urán sugárzásának van egy kis áthatoló (α) és egy nagyobb áthatólképességű komponense (β). A kétféle sugárzást és azok töltését később az elektromos tér segítségével is bizonyította. A harmadik fajta magsugárzást, a töltés nélküli γ -sugárzást Becquerel írta le 1900-ban (Becquerel, 1900).

Megjegyzendő, hogy ugyanebben az évben *Paul Villard* is igazolta a γ -sugárzás léte-

Közös munkánk során, e cikkgyűjtemény megjelenésének idején hunyt el az összeállítás vendégszerkesztője, Vértes Attila, az MTA rendes tagja.

A *Magyar Tudomány* szerkesztőségének munkatársai megrendülten búcsúznak tőle.

zését. Villard egy szellemes kísérlettel azt mutatta meg, hogy a rádium sugárzásának egy része alumíniumon refrakciót (fénytörést, sugártörést) szenved. Ez egyben azt is jelentette, hogy ez a sugárzás hasonlóan viselkedik, mint a Röntgen által felfedezett sugárzás.

A radioaktivitás felfedezéséért Becquerel, Marie és Pierre Curie fizikai Nobel-díjat kaptak 1903-ban. A polónium és a rádium felfedezéséért Marie Curie kémiai Nobel-díjat is kapott 1911-ben. Rutherford 1908-ban ugyancsak kémiai Nobel-díjat kapott a radon és az α - és β -sugárzás felfedezéséért. A radioaktivitás felfedezését követő években a kutatók (Egon Schweidler, Hans Geiger, Salomon Rosenblum, Wolfgang Pauli, Enrico Fermi, George Gamow és mások) felderítették a radioaktív bomlás törvényszerűségeit.

A 20. század első éveiben a legtehetségesebb természettudósok érdeklődését felkeltette a radioaktivitás, és egyre többen végeztek vizsgálatokat ezen a területen. A bomlási soroknak egyre több tagja vált ismertté, és mint egy kirakós játék, összeálltak a bomlási sorok. Ebben az időben csatlakozott a mag-sugárzással kapcsolatos vizsgálatokhoz egy fiatal magyar kutató, Hevesy György is, aki a nukleáris kémia egyik megalapozója lett.

Hevesy György Rutherford manchesteri laboratóriumában kapta azt a feladatot, hogy az uránércből ólommentesen nyerje ki a radioaktív RaD-t, tehát válassza szét a RaD-t és az ólmot. Hevesy kiváló vegyész volt, de ezt a feladatot nem tudta végrehajtani. Ezt a kudarcot ma már könnyen megértjük, ugyanis a RaD maga is ólom, egy radioaktív ólomizotóp: ^{210}Pb . (Akkor még egy elem izotópjainak szétválasztásához nem voltak megfelelő módszerek. Ma már ilyen feladat ipari méretekben is megoldható. Gondoljunk például az ^{235}U dúsítására!)

Ennek a sikertelen kísérletnek az eredménye lett egy igen fontos felfedezés. Hevesy György ugyanis rájött, hogy a radioaktív RaD indikátora lehetne az ólomnak, és egy 1913. január 8-án, Budapesten kelt levélben meg is írta a Bécsben Stefan Mayer által vezetett Bécsi Rádium Intézetben dolgozó barátjának, Fritz Paneth-nak, hogy a RaD segítségével meg lehetne határozni az ólomsók oldhatóságát vízben. Paneth és Hevesy 1913. április 24-én beszámoltak a Bécsi Császári Akadémián a mérési eredményeikről, és még ebben az évben a dolgozatuk is megjelent arról, hogy megmérték a PbCrO_4 és PbS oldhatóságát vízben, 25°C -on, amelyek értéke rendre $1,2 \times 10^{-6}$, 3×10^{-5} g/100 ml. Ezzel a munkával (Hevesy – Paneth, 1913) elindították a nyomjelzéstechnika természettudományi alkalmazásainak diadalútját. E módszer legújabb felhasználásai közül csak egyet említék, a pozitronemissziós tomográfiát (PET), amely az agydiagnosztika és tumorvizsgálatok leghatásosabb módszere.

Hevesynek a nyomjelzéssel kapcsolatos felismerése magában foglalta azt a felfedezést is, amelyet néhány hónappal később Frederick Soddy mondott ki és írt le, tudniillik, hogy a frissen felfedezett radioaktív nuklidok mindegyikét csak úgy lehet elhelyezni a periódusos rendszerben, ha az egyes helyekre több is jut, és innen adódik az „izotóp = azonos hely” elnevezés (Soddy, 1913a-b). Az izotóp fogalmának fontosságát az 1921-es kémiai Nobel-díj is jelzi. A pontos definíciót, a rendszámmal és tömegszámmal természetesen akkor még nem lehetett megadni, hiszen a neutront James Chadwick csak tizenkilenc évvel később fedezte fel.

Az MTA tisztagságában, az Akadémia utca 3-as számú házában, 1885. augusztus 1-jén született Hevesy Györgynek a nyomjel-

zéstechnika felfedezéséért ítélték oda a kémiai Nobel-díjat 1943-ban. (A háború miatt 1944-ben vette át a kitüntetést, amikor még magyar állampolgár volt. 1945-ben vette fel a svéd állampolgárságot.) Ezenkívül még számos kiemelkedő eredménye volt. 1922-ben Dirk Coster társaságában felfedezte a periódusos rendszer 72. elemét, a hafniumot. 1926–1932 között bizonyította a ^{40}K , ^{147}Sm , ^{148}Sm és ^{149}Sm nuklidok létezését. 1934-ben ő végzett először neutronaktivációs analízist (Hevesy – Levi, 1935, 1936). Hevesy a neutronforrást arra is felhasználta, hogy egy mesterséges radioaktív foszforizotópot állítson elő ($^{32}\text{S}(n, p)^{32}\text{P}$), amit aztán fontos élettani vizsgálatokhoz használt fel (Hevesy – Chiewitz, 1935).



Hevesy György a kémiai Nobel-díj átvételkor 1944-ben. Baloldalt Albert Camus, aki ugyanekkor vette át az irodalmi Nobel-díjat, és az ő felesége. (Hevesy Ingrid szívességéből)

A nukleáris tudomány lett a 20. század természettudományának motorja. Ezt az állítást egyszerűen lehet bizonyítani, ha meggondoljuk, hogy a 20. században száz alkalommal adtak ki fizikai Nobel-díjat, ugyanennyiszor kémiai Nobel-díjat, és a kétszáz átadott fizikai és kémiai Nobel-díj között ötvenhét esetben a nukleáris tudomány területén elért eredményért ítélték oda az elismerést (Vértes, 2009). Ez a közel 30%-os részesedés azt jelzi és bizonyítja, hogy a nukleáris tudomány szolgáltatta az elmúlt század természettudományának dinamizmusát, és e tudományterület eredményei segítettek megérteni az anyag, a környezetünk és az Univerzum szerkezetét és kialakulását.

A nukleáris tudomány a felsorolt eredmények ellenére meglehetősen népszerűtlen napjainkban. Ez a közvélekedés persze érthető, ha a Hiroshima és Nagasaki felett, 1945. augusztus 6-án és augusztus 9-én felrobbant urán-, illetve plutóniumtöltetű atombombákra vagy az 1986. április végén, Csernobilban és 2011 márciusában Fukusimán történt eseményekre gondolunk. De arról nem a tudomány tehet, hogy a maghasadást éppen a második világháború előestéjén, 1938. december 17-én, Berlinben fedezte fel Otto Hahn és Fritz Strassmann, és amikor a fizikusok publikálták, hogy a maghasadás révén óriási energiákat lehet felszabadítani, akkor a tehetősebb kormányok arra adtak pénzt és támogatást, hogy a magenergiák felhasználásával romboló eszközök készüljenek a katonai potenciálok növelésére, és csak az 1950-es években épültek a villamos energiát termelő első, kísérleti atomreaktorok (Idaho, USA; Obnyinszk, Szovjetunió; Calden Hall, Anglia). E reaktorok teljesítménye 5–45 MW volt. (A Pakson működő négy reaktor mindegyikének átlagos teljesítménye kb. 450 MW).

Az történet, mint sokszor a történelemben, hogy a tudomány, a tudósok eredményeit a politika, a politikusok először a katonai potenciál fokozására használták, és csak később a társadalom hasznára. (E megállapítás általános érvényű, és akkor is igaz, ha elfogadjuk a feltevést, hogy a Japánra ledobott atombombák meggyorsították a háború befejezését.) A csernobili eseményeket emberi mulasztások sorozata okozta, és ez szintén nem a tudomány bűne. A fukusimai gigantikus természeti csapás viszont kivédhetetlen volt.

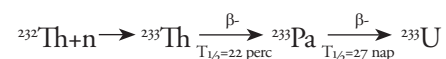
Oláh György (Oláh, 1998), az USA-ban élő magyar származású vegyész, aki 1994-ben a karbókation-kutatásaiért kapott kémiai Nobel-díjat, az Amerikai Kémikusok Egyesületének ezredfordulós kiadványában írt egy fejezetet *Az olaj és a szénhidrogének a 21. században* címmel. Ennek az írásnak mintegy konklúziójaként Oláh György ezt írta: „A nem megújuló fosszilis tüzelőanyagok (kőolaj, földgáz, kőszén) felhasználásán alapuló energiatermelés csak rövid távon jelent megoldást, és még így is komoly környezetvédelmi problémákat vet fel. Az atomkorszak beköszönte csodás új lehetőségeket teremtett, de egyúttal veszélyeket és biztonsági problémákat is felvetett. Tragikusnak tartom, hogy ez utóbbi megfontolások miatt az atomenergia további fejlesztése, legalábbis a nyugati világban, gyakorlatilag megállt. *Akár tetszik, akár nem, hosszabb távon nincs más választásunk, mint az, hogy egyre növekvő mértékben a remélhetően tiszta atomenergiára támaszkodjunk.* Nyilvánvalóan ezt akkor tehetjük meg, ha megoldjuk a biztonsággal kapcsolatos kérdéseket, valamint a radioaktív hulladékok elhelyezésének és tárolásának problémáit. Természetesen fontos, hogy rámutassunk a nehézségekre és veszélyekre, és az is, hogy ésszerű szabályozást vezessünk be. Ugyanakkor alapvető,

hogy megtaláljuk az ezeket a problémákat kiküszöbölő megoldásokat.”

Úgy vélem, Oláh Györgynek igaza van, és csak az általa felvázolt program is sok szép feladatot jelent a 21. század nukleáris fizikusai és kémikusai számára.

A IV. generációs reaktortechnológiák lényegesen nagyobb biztonságot ígérnek, mint a jelenleg működő II. és néhány III. generációs atomreaktor (Vértes et al., 2011). Ezek üzembe állítása 15–20 éven belül várható.

Életének utolsó éveiben Teller Ede is foglalkozott a IV. generációs reaktorok technológiájával. Egy, a halála után két évvel megjelent dolgozatban (Moir - Teller, 2005), amelynek még ő is társszerzője volt, a javasolt üzemanyag a ^{232}Th , és csak a láncreakció indításához használnak ^{235}U nuklidot. A maghasadás ^{233}U révén valósul meg a következő módon:



Majd az ^{233}U neutronabszorpció hatására hozná létre a maghasadást, és szabadítana fel két-három neutron, amelyek továbbvinnék a láncreakciót. A javasolt hűtő-, moderátor-, illetve energiaátadó közeg LiF és BeF_2 sóolvadék; 620°C belső és 450°C külső hőmérséklettel. Előnye, hogy gőznyomása nagyon alacsony ($< 10^{-4}$ atm) és forráspontja magas ($\sim 1400^\circ\text{C}$). A reaktort a föld alá, legalább 10 méterre tervezték a szerzők, és élettartamát mintegy kétszáz évre becsülték.

Az MTA Kémiai Tudományok Osztálya által szervezett előadói ülésen, a Kémia Nemzetközi Éve tiszteletére és Marie Curie 1911-es kémiai Nobel-díjára emlékezve, 2011. május 4-én hét előadás hangzott el. A jelenlegi, hazai radiokémiai kutatások és munkák egy részét áttekintő előadások tartalmát mutatják be a következő írások.

Kulcsszavak: *radioaktivitás, bomlási sorok, nyomjelzőtechnika*

IRODALOM

- Becquerel, Henri (1896): Sur les radiations émises par phosphorescence. *Comptes Rendus*. **122**, 420–421.
- Becquerel, Henri (1900): Sur la transparence de l'aluminium pour la rayonnement du radium. *Comptes Rendus*. **130**, 1154–1157.
- Curie, Ève (1962): *Madame Curie. Sikerkönyvek.* (Fordította Just Béla, Rába György) Gondolat, Budapest
- Glasser, Otto (1934): *Wilhelm Conrad Roentgen and the Early History of the Röntgen Rays.* Springfield, Illinois <http://books.google.hu/>
- Hevesy, George [György] – Chiewitz, O. (1935): Radioactive Indicators in the Study of Phosphorus Metabolism in Rats. *Nature*. **136**, 754–755. | DOI:10.1038/136754a0
- Hevesy, George [György] – Levi, Hilde (1935): Artificial Radioactivity of Dysprosium and Other Rare Earth Elements. *Nature*. **136**, 103. DOI: 10.1038/136103a0
- Hevesy, George [György] – Levi, Hilde (1936): Action of Slow Neutrons on Rare Earth Elements. *Nature*. **137**, 185. DOI: 10.1038/137185a0
- Hevesy George [György] – Paneth, Fritz (1913): RaD as "Indikator" des Bleis. *Zeitschrift für anorganische Chemie*. **82**, 323.
- Moir, Ralph W. – Teller, Edward [Ede] (2004): Thorium-fueled Underground Power Plant Based on Molten Salt Technology. *Nuclear Technology*. **151**, 334–338. • http://ralphmoir.com/media/moir_teller.pdf
- Oláh, George A. [György] (1998): Oil and Hydrocarbons in the 21st Century. In: Barkan, Paul (ed.): *Chemical Research 2000 and Beyond.* American Chemical Society – Oxford University Press, Washington, DC – New York, 40–54.
- Röntgen, Wilhelm Conrad (1895): Über eine neue Art von Strahlen. Vorläufige Mittheilung. *Sitzungsberichte der Physikalisch-Medizinischen Gesellschaft*. **137**, 1.
- Rutherford, Ernest (1899): Uranium Radiation and the Electrical Conduction Produced by It. *Philosophical Magazine*. **Ser. 5**, XLVII, 109.
- Soddy, Frederic (1913a): The Radio Elements and the Periodic Law. *Chemical News*. **107**, 97.
- Soddy, Frederic (1913b): Intra-atomic Charge. *Nature*. **92**, 399. <http://www.nature.com/physics/looking-back/soddy/index.html>
- Vértes Attila (szerk.) (2009): Szemelvények a nukleáris tudomány történetéből, Akadémiai, Budapest
- Vértes Attila – Nagy S. – Klencsár Z. – Lovas G. R. – Rösch, F. (szerk.) (2011): *Handbook of Nuclear Chemistry*. 2nd ed. Springer, Dordrecht–Heidelberg–London–New York.



RADIOAKTÍV NYOMJELZŐ RENDSZEREK

Tóth Géza Tömböly Csaba

az MTA doktora, tudományos tanácsadó
geza@brc.hu

PhD, tudományos főmunkatárs

MTA Szegedi Biológiai Kutatóközpont Biokémiai Intézet, Szeged

Az *Henri Becquerel* által 1896-ban felfedezett jelenséget (Becquerel, 1896) 1898-ban Marie Curie nevezte el radioaktivitásnak. Röviddel a radioaktivitás felfedezése után *Hevesy György* felfedezte a nyomjelzési elvet és megalkotta a nyomjelzéstechnikát (Hevesy–Paneth, 1913), amely a fizikai, kémiai és élettudományok fontos kísérleti eszközévé vált. A módszer fejlődését a mesterséges radioaktivitás felfedezése (1935, *Irène Curie* és *Frédéric Joliot-Curie*), majd a mesterséges radioizotópok előállítása jelentősen segítette. „A radioaktív izotópok indikátorként való alkalmazásáért a kémiai kutatásban” indoklással 1944-ben Hevesy György kapta a kémiai Nobel-díjat. Ez az úttörő munka tette lehetővé az élő szervezetben lezajló biokémiai és fiziológiai folyamatok dinamikai vizsgálatát, valamint a nukleáris medicina kifejlődését.

A nyomjelzéstechnikában, a kutatási problémák radioaktivitásmérésen alapuló megoldásakor az első lépés mindig a megfelelő radioizotóp kiválasztása. Ekkor elsősorban az izotóp felezési idejét, az ebből adódó moláris aktivitást, az izotóp által kibocsátott sugárzás fajtáját és energiáját, valamint a radioaktív jelzett molekulán belüli helyzetét kell megvizsgálni. A sugárzás jellemzői és a jelzett

molekula kémiai, biológiai környezete határozza meg a radioaktivitás mérésére alkalmazandó módszert, míg a jelzett molekulák moláris aktivitása és a radioizotóp molekulán belüli helyzete a vizsgálat érzékenységét és specifikusságát befolyásolja. Biológiai rendszerek vizsgálatára elsősorban a H, C, N, O, P, S és I radioaktív izotópjai alkalmazhatók (*1. táblázat*). Ha a vizsgált rendszer valamely komponensébe ezen elemek izotópjait építjük be, a vizsgált, fiziológiai jelentőséggel bíró vegyület szerkezete, kémiai tulajdonságai alig változnak, így a nyomjelzéses kísérlettel csak minimális mértékben avatkozunk be az egyébként nem érzékelhető folyamatba, miközben mérhetővé tesszük azt. Az *1. táblázat*ban feltüntetett szénizotópok közül pl. a C-14 radioizotóp metabolizmusvizsgálatokban alkalmazható, amikor a szervezetbe juttatott jelzett vegyület lebomlásának útjai, dúsulásának helyei térképezhetők fel. Emellett az 5730 éves felezési ideje következtében radiokarbonkormeghatározásra is használható a mintában még meglévő C-14-tartalom mérésével. Ezzel szemben a 20 perces felezési idejű, pozitront sugárzó C-11 izotóp a képalkotó diagnosztikai eljárások (pozitronemissziós tomográfia – PET és hibrid technikák) fontos nuklidja. Az

élettudományi kutatásokban a β -sugárzó izotópok (H-3, C-14, P-32, S-35) felhasználása a legelterjedtebb. Új gyógyszerek fejlesztésében, a hatóanyagok metabolizmus- és farmakokinetikai vizsgálataiban főleg a C-14 és H-3 jelzett vegyületeket lehet alkalmazni. A fehérjeszintézis kutatásában a H-3, C-14, valamint S-35 jelzett aminosavakat, míg a nukleinsavak szintézisének vizsgálatára a P-32 és P-33 jelzett nukleotidokat alkalmazzák. Ez utóbbiaknak is köszönhető a modern genetika és génterápia kifejlődése. Az idegrendszer működésének tanulmányozására, neurológiai betegségek klinikai kutatásához, vagy a rákos betegségek diagnosztizálásához a rövid felezési idejű, pozitronsugárzó izotópokkal (C-11, N-13, O-15, F-18) jelzett vegyületek az alkalmas eszközök. Emellett természetesen jelentős diagnosztikai szerep jut a Tc-99m-nek és más radioaktív fémizotópoknak is.

Laboratóriumunkban elsősorban tríciummal jelzett vegyületeket állítunk elő, de C-14 és I-125 izotópos jelöléseket is rendszeresen

végzünk. A továbbiakban a trícium nyomjelzéstechnikai alkalmazására fókuszálunk. A trícium ideális radionuklid biológiai jelentőséggel bíró molekulák jelöléséhez. Felezési ideje 12,35 év, így viszonylag nagy moláris aktivitású jelzett vegyületek előállítására ad lehetőséget. Ezenkívül tiszta β^- sugárzásának maximális energiája csupán 18,6 keV, és a szervezetben tartózkodását leíró biológiai felezési ideje is rövid, 12 nap, ezért biztonságosan használható fel, egészségkárosító kockázata alacsony. Sugárzásának alacsony energiájából ered az a hátrányos tulajdonsága, hogy csak kis hatásfokkal mérhető, folyadékszcintillációs módszerrel is legfeljebb 60% érhető el. Előnyös azonban, hogy a trícium viszonylag olcsón előállítható megnövelt Li-6 tartalmú Li-Mg ötvözet neutronbesugárzásával, és a kapott trícium gázt hidrogénezési eljárásokban alkalmazva a H-3 jelzett vegyületek egyszerűen preparálhatók.

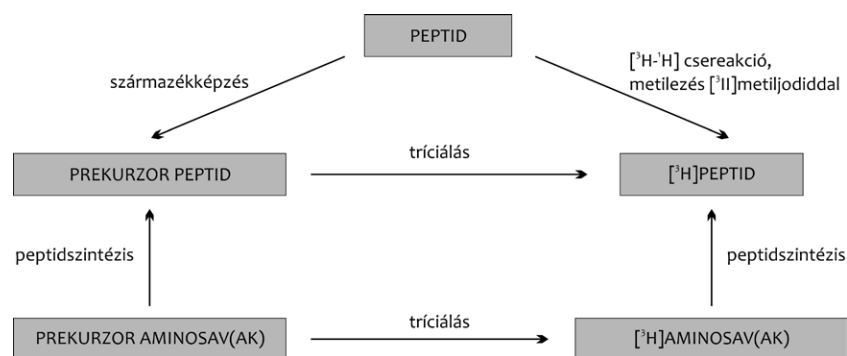
A trícium beépítése izotópcserereakciókkal, direkt kémiai szintézissel és biokémiai,

izotóp	felezési idő	sugárzás típusa	sugárzás max. energiája	a*
³ H	12,4 év	β^-	18,6 keV	1,07
¹⁴ C	5730 év	β^-	156 keV	$2,31 \cdot 10^{-3}$
¹¹ C	20,4 perc	β^+	0,96 MeV	$3,41 \cdot 10^5$
¹⁵ O	2,0 perc	β^+	1,72 MeV	$3,43 \cdot 10^6$
¹³ N	9,9 perc	β^+	1,19 MeV	$6,99 \cdot 10^5$
³² P	14,3 nap	β^-	1,71 MeV	338
³³ P	25,3 nap	β^-	249 keV	191
³⁵ S	87,4 nap	β^-	167 keV	55,3
¹²³ I	13 óra	γ	159 keV	8920
¹²⁵ I	60,2 nap	γ	35 keV	80,3
¹³¹ I	8 nap	β^-	607 keV	604
		γ	364 keV	

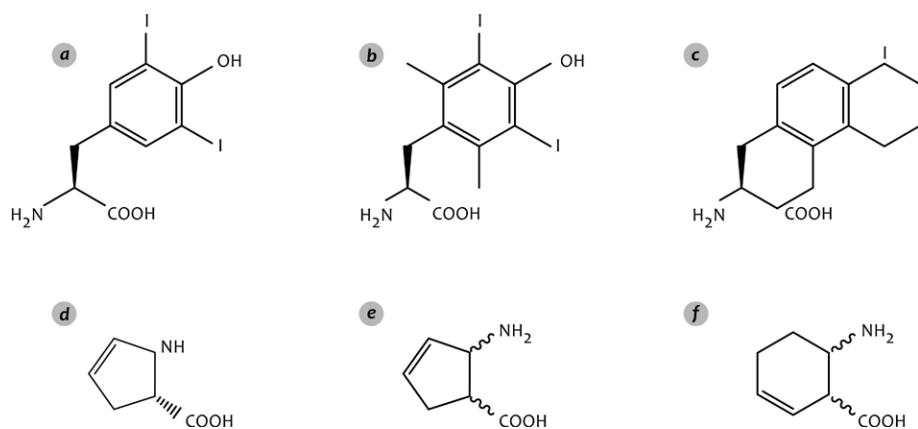
1. táblázat • Néhány radionuklid jellemző fizikai adatai. (* A molekulánként egy radioaktív atom beépítésével elméletileg elérhető maximális moláris aktivitás [TBq/mmol] egységben.)

enzimatis reakciókkal történhet. A trícium gáz és a szerves molekulák hidrogénatomjai közötti cserereakciók végbemenetelét a trícium sugárzási energiája teszi lehetővé. Így azonban alacsonyabb moláris aktivitású jelzett vegyületek állíthatók elő, és ezekben a radioaktív atomok helyzetét csak statisztikai úton becsülhetjük. A modern élettudományi kutatások által igényelt magasabb moláris aktivitású, specifikusan jelzett vegyületek előállítására direkt kémiai szintézist kell alkalmazni. Ekkor a kémiai reakciók által meghatározott

pozíciókba építhetjük be a radioaktív jelet, és a molekulán belüli izotópeloszlás tekintetében is homogén terméket – nyomjelzett kísérleti eszközt kapunk. A jelölést elsősorban trícium gázzal végzett hidrogénezési reakcióval vagy fém-tritidekkel végzett redukcióval hajtjuk végre. Figyelemre méltó, hogy a trícium atomtömege háromszor nagyobb, mint a próciumé (könnyűhidrogéné), így az izotópeffektus jelentős. Végeredményben a kapott H-3 jelzett vegyület alkalmazhatóságát a beépített radioaktív atom kémiai stabilitása



1. ábra • Tritiált peptidek szintézisének lehetőségei



2. ábra • Tritiált peptidek szintéziséhez alkalmas prekursor aminosavak: a) 3,5-dijód-tirozin; b) 3,5-dijód-2,6-dimetil-tirozin; c) *p*-jód-fenilalanin; d) 3,4-dehidro-prolin; e) 2-amino-3-ciklopentén-karbonsav; f) 2-amino-5-ciklohexén-karbonsav

és a jelzett vegyület radiolízissel szembeni érzékenysége határozza meg. Legstabilabb a trícium jel, ha szénatomhoz kötődik, ezzel szemben labilis a jel, ha heteroatomhoz (O, N, S) kötődik. Érdemes megkülönböztetni savakra, bázisokra érzékeny és biolabilis pozíciókat is, mivel így a felhasználás körülményeinek megválasztásában segítünk.

Laboratóriumunkban az opioid receptor-rendszerekkel foglalkozunk. Az opioid receptorok (morfin receptorok) jelenlétét 1973-ban triciált morfin, naloxon és etorfin felhasználásával radioreceptor-kötési vizsgálatokkal bizonyították, majd azonosították azok kis molekulatömegű endogén peptid ligandumait (enkefalinok, dinorfinok, endomorfinok) is (Pasternak, 2004). (A ligandumok kis molekulatömegű vegyületek, amelyek a nagy molekulatömegű receptor molekulához kötődnek.) Mivel az opioid rendszer nagyon összetett, és az egyes receptor fehérjék szerkezete mindmáig ismeretlen, ezért rengeteg radioligand receptor kötési kísérleten alapuló szerkezet-hatás összefüggésvizsgálatot végeztek az ideális, specifikus hatást kiváltó, mellékhatásoktól mentes opioid fájdalomcsillapítók fejlesztése érdekében. Csoportunkban számos, az opioid receptorok kutatásában alkalmazott H-3 jelzett alkaloid és peptid típusú radioligandum előállítását dolgoztuk ki. A peptidek aminosavakból felépülő vegyületek, ahol az N-terminális rész (-NH₂) a vegyület elejét és a C terminális rész (-COOH) a végét jelenti. Az élő szervezetben jelenlévő proteolitikus enzimek bontják a peptid kötések, így a peptidek kevésbé stabil vegyületek. Ezért fontos, hogy béta aminosavak legyenek a peptidekben, hogy enzimekkel szemben ellenálló vegyületeket kapjunk. A triciált peptideket általában a megfelelő prekursor peptidekből trícium gáz és pallá-

dium katalizátorok felhasználásával állítjuk elő (Tóth et al., 1997; 1. ábra). Redukcióra érzékeny peptidok esetében triciált aminosavak felhasználásával lépésenkénti peptid-szintézist alkalmazunk a jelzett peptidok előállítására.

Az opioid peptidok családjába tartozó endomorfinokat (endomorfin-1: Tyr-Pro-Trp-Phe-NH₂, endomorfin-2: Tyr-Pro-Phe-Phe-NH₂) James E. Zadina és munkatársai izolálták marhaagyból (Zadina et al., 1997). A két tetrapeptid amid a μ opioid receptorok endogén liganduma, nagy affinitással és szelektivitással aktiválja azt. Emiatt az endomorfinok új analgetikumok fejlesztésére alkalmas vezérvegyületek. Publikálásukat követően azonnal előállítottuk az endomorfinok több H-3 jelzett származékát. A szintézisekhez a 2. táblázatban felsorolt prekursor endomorfinszármazékokat használtuk fel. Ezek katalitikus dehalogénezésével vagy telítésével olyan nagy moláris aktivitású izotopomereket kaptunk, amelyek a radioaktív jelet különböző aminosavakban hordozták. A kapott radioligandumokat receptorkötései vizsgálatokban jellemeztük, majd patkányban történő degradációs vizsgálataikkal bizonyítottuk, hogy proteolitikus lebomlásuk a Pro² és a Trp³/Phe³ aminosavak közötti peptidkötés hasadásával kezdődik, és a képződő dipeptidek hidrolízisével végződik. A metabolizmusvizsgálatok eredményeiből kiindulva proteolitikus enzimekkel szemben ellenálló, új endomorfinszármazékokat állítottunk elő, ahol a Pro² aminosavat aliciklusos béta aminosavakkal (2-amino-ciklopentán karbonsav – Acpic; 2-amino-ciklohexán karbonsav – Achc) helyettesítettük, illetve dimetil-tirozint építettünk az N-terminális pozícióba. Mivel az így kapott vegyületek megőrizték μ opioid receptor affinitásukat,

Prekurzor peptid	Tríciált peptid	a*
Tyr(3,5- ¹² I)-Pro-Trp-Phe-NH ₂	Tyr(3,5- ³ H ₂)-Pro-Trp-Phe-NH ₂	1,53
Tyr-Δ ^{3,4} Pro-Trp-Phe-NH ₂	Tyr-Pro(3,4- ³ H ₂)-Trp-Phe-NH ₂	2,35
Tyr(3,5- ¹² I)-Pro-Phe-Phe-NH ₂	Tyr(3,5- ³ H ₂)-Pro-Phe-Phe-NH ₂	1,95
Tyr-Δ ^{3,4} Pro-Phe-Phe-NH ₂	Tyr-Pro(3,4- ³ H ₂)-Phe-Phe-NH ₂	1,88
Tyr-Pro-Phe(4- ¹ I)-Phe-NH ₂	Tyr-Pro-Phe(4- ³ H)-Phe-NH ₂	0,77
Dmt(3,5- ¹² I)-Pro-Phe-Phe-NH ₂	Dmt(3,5- ³ H ₂)-Pro-Phe-Phe-NH ₂	1,95
Dmt-Δ ^{3,4} Pro-Phe-Phe-NH ₂	Dmt-Pro(3,4- ³ H ₂)-Phe-Phe-NH ₂	2,87
Tyr-(1S,2R)-Δ ^{3,4} Acpc-Phe-Phe-NH ₂	Tyr-(1S,2R)-Acpc(3,4- ³ H ₂)-Phe-Phe-NH ₂	1,41
Tyr-(1S,2R)-Δ ^{5,6} Achc-Phe-Phe-NH ₂	Tyr-(1S,2R)-Achc(5,6- ³ H ₂)-Phe-Phe-NH ₂	2,35

2. táblázat • Tríciummal jelzett endomorfinok és származékaik
(* moláris aktivitás [TBq/mmol] egységben)

és az enzimikus stabilitásuk is nőtt, ezért néhányat tríciummal is jelöltünk. Az ehhez szükséges új prekurzor aminosavakat a 2. ábra mutatja, ezek kereskedelmi forgalomban nem kaphatóak, és mi alkalmaztuk elsőként radioaktív jelölés prekurzoraként.

A tríciált peptidok a fluoreszcencia mérésén alapuló technikák elterjedése mellett még mindig jelentős kutatási eszközök, hiszen éppen a vizsgált molekulával való kémiai azonosságuk teszi lehetővé az abszolút szerkezet-hatás vizsgálatokat. Így ismeretlen szerkezetű

receptor fehérjéken végzett radioligandum kötési vizsgálatokkal nagyszámú vegyület affinitása vizsgálható, autoradiográfiás mérésekkel az adott receptorok szöveti eloszlása vizualizálható. Ezenfelül a radioaktív peptidok enzim inhibitorok jellemzését is segíti, illetve az elsősorban I-125 jelzett vegyületek a radioimmunoassay (RIA) módszerek antigenjei.

Kulcsszavak: *radioaktivitás, nyomjelzéstechnika, trícium jelölés, radionuklidok kiválasztása, neuropeptidok, opioidok, endomorfinok*

IRODALOM

- Becquerel, Henri (1896): Sur les radiations émises par phosphorescence. *Comptes Rendus*. 122, 420. • <http://www.bibnum.education.fr/physique/radioactivite/sur-les-radiations-invisibles-emises-par-les-corps-phosphorescents>
- Hevesy, George de [György] – Paneth, F. (1913): The Solubility of Lead Sulphide and Lead Chromate. *Zeitschrift für anorganische Chemie*. 82, 322–327.
- Pasternak, Gavril W. (2004): Multiple Opiate Receptors: Déjà Vu All over Again. *Neuropharmacology*

- 47, 312–323. DOI:10.1016/j.neuropharm.2004.07.004
- Tóth Géza – Lovas S. – Ötvös F. (1997): Tritium Labeling of Neuropeptides. In: Irvine, G. Brent – Williams, Carvell H. (eds.): *Molecular Biology, Neuropeptide Protocols*. Humana Press: Totowa, NJ, 219–230. <http://books.google.hu>
- Zadina, James E. – Hackler, L. – Ge, L-J. – Kastin A. J. (1997): A Potent and Selective Endogenous Agonist for Mu-opioid Receptor. *Nature*. 386, 499–502. DOI:10.1038/386499a0

RADIOKÉMIA A GYÓGYÍTÁS SZOLGÁLATÁBAN

Környei József Mikecz Pál

a kémiai tudomány kandidátusa,
kutatás-fejlesztési igazgató
Izotóp Intézet Kft., Budapest
kornyei@izotop.hu

szakmai vezető,
Debreceni Egyetem Orvos- és Egészségtudományi
Centrum, Nukleáris Medicina Intézet
Radiokémiai Központ, Debrecen

A radiokémia, vagy más szóhasználattal élve a nukleáris kémia a radioaktív izotópok tulajdonságaival, előállításával és alkalmazásával foglalkozó szaktudomány. Az alkalmazási területek egyike az orvosi biológiai kutatások témaköre, amelyet *Hevesy György* Nobel-díjas magyar kutató munkássága alapozott meg a nyomjelzés elvének megfogalmazásával, módszereinek kidolgozásával. Az orvosi biológiai kutatások eredményeire épülő rendszeres klinikai alkalmazás az 1950-es években terjedt el számos országban, köztük hazánkban is, mivel ebben az időben a mesterségesen előállított radioaktív izotópok egyre jobban hozzáférhetővé váltak. Ebben a cikkben bemutatjuk, hogy a nukleáris kémia mely területei jutnak szerephez a gyógyításban: a radioaktív nyomjelzésen alapuló izotópdia- nosztikában és a radionuklid-terápiában.

A képpalkotó orvosi diagnosztika teljes mértékben a radioaktív nyomjelzés elvén alapul: az élő emberi szervezetben olyan nagy specifikus aktivitású radioaktív készítményeket juttatnak be, amelyek részt vesznek a fiziológiai, biokémiai folyamatokban, de anélkül, hogy azok végbemenetelét befolyásolnák. A nyomjelző anyagok (radiógyógyszerek) szervezeten belüli megoszlását, azaz

szervekben, szövetekben való dúsulását, majd kiürülését az általuk kibocsátott elektromágneses sugárzás révén detektálni, „lefényképezni” lehet, azaz két- és háromdimenziós képek formájában anélkül lehet információt kapni a végbemenő folyamatokról, hogy magukat a folyamatokat befolyásolnánk. Radionuklid-terápia esetén a szervezetbe olyan készítményeket juttatnak be, amelyek a kóros szövetekben kötődnek meg, és az általuk kibocsátott korpuszkuláris sugárzás – leggyakrabban β⁻ sugárzás – végzi a célzott sejtpusztítást, amelynek révén az elemi részecskék dimenziójában történő „sebészeti beavatkozásra” kerül sor.

Nyomjelző anyagok előállításához a nukleáris kémia alábbi részterületeit kell művelni:

- radioaktív izotópok előállítása (magreakcióban);
- elválasztási, tisztítási eljárások;
- jelzett vegyületek előállítása: a radioizotóp beépítése szerv-, illetve szövetspecifikus molekulákba;
- a jelzett vegyületek analitikai vizsgálata.

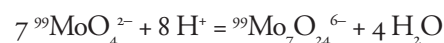
Ahhoz, hogy a nyomjelző anyagok vagy terápiás készítmények embernek beadhatók legyenek, meg kell felelniük a gyógyszerekkel szemben támasztott követelményeknek, tehát a nukleáris kémia művelése kiegészül a gyógy-

szerformulázás, gyógyyszerminőség-biztosítás kérdéskörével.

Radioaktív izotópok előállítását kutatóreaktorban neutronokkal vagy ciklotronban töltött részecskékkal (protonnal, deuteronnal, α -részecskékkal) történik. A képalkotó orvosi diagnosztika napi gyakorlatában a legtöbb vizsgálatot a gamma-sugárzó ^{99m}Tc (technécium) és a pozitron-sugárzó ^{18}F (fluor) radioizotóppal végzik. A technéciumot nem közvetlenül állítják elő, hanem a ^{235}U urán reaktorban történő hasításával ^{99}Mo molibdénhez jutnak, ami ^{99m}Tc technéciummá bomlik:



A 99-es tömegszámú molibdén fizikai felezési ideje 66 óra, míg a gamma-sugárzó 99-es metastabilis technéciumé 6 óra. Ezt a fizikai adottságot kihasználva a molibdént alumínium-oxid oszlopon megkötik, és ebben a formában szállítják a kórházakba (Mo/Tc-generátor), ahol naponta végzik a technécium elválasztását, oszlopról történő eluálását (mosással végrehajtott izolálását). Ahhoz, hogy a készítménybe semmiképpen se jusson 10^{-2} %-nál nagyobb molibdénaktivitás, az elválasztásnak rendkívül nagy hatásfokúnak kell lennie. Ez úgy érhető el, hogy az uránhasadásványból kinyert molibdát-oldathoz sav adagolásával pH-3 értéket állítanak be. Ekkor a molibdát anionból oligomerek képződnek, melyek lényegesen erősebben kötődnek az alumínium-oxid oszloptólthez:



A molibdén béta-bomlásából folyamatosan keletkező technéciumot pertechnetát-anion formájában, fiziológiás sóoldattal naponta végrehajtott elúcióban választják el:



A ^{99m}Tc pertechnetát önmagában is radiogyógyyszer: beadás után jelentős hányadban a pajzsmirigyben jelenik meg, dúsulása fokozott mértékű a hormonszabályozás alól kivonódott, túlzott működésű szövetekben (hipertireózis, golyva). Ugyanakkor a technécium kémiaja rendkívül gazdag, nagyon sokféle szerv- vagy szövetspecifikus komplex vegyülete állítható elő. Ezt mutatja be az 1. táblázat.

A 110 perces felezési idejű ^{18}F radioizotópot ciklotronban, leggyakrabban ^{18}O stabil izotópot tartalmazó víz („dúsított célyanyag”) protonokkal történő besugárzásával állítják elő. 1-3 ml vízből néhány száz GBq [^{18}F]hidrogén-fluorid képződik, miközben a ^{18}O atom magja egy protont befog, ugyanakkor egy neutront kibocsát: $^{18}\text{O}(p,n)^{18}\text{F}$. A magreakcióban a célyagnak csak egy kis hányada alakul át.

A ^{18}F -hidrogén-fluoridot anioncserélő oszlopon kötik meg, az át nem alakult ^{18}O -vizet visszanyerik, a ^{18}F fluorid-ionokat pedig egy koronaéter kálium-komplexéhez kötött formában (Kriptofix-2-2-2- K^+F^-) kapják meg, ami szerves közegben jól oldódik, és alkalmas a ^{18}F ionok szerves molekulákba nukleofil módon való beépítésére. A leggyakrabban alkalmazott ilyen reakcióban a ^{18}F -ral jelzett dezoxi-fluoro-glükóz (^{18}F -FDG) injekciót állítják elő.

A pozitronsugárzó ^{18}F izotóppal jelzett FDG a pozitronemissziós tomográfiával (PET) történő képalkotó diagnosztika alapvegyülete. Miért van kiemelt szerepe ennek a nyomjelző anyagnak? A választ az az igen érdekes kísérleti tény adja meg, amely szerint a fluoratom bevitele a cukormolekulába részlegesen „elrontja” annak metabolizáló képességét. A ^{18}F -FDG a cukorlebotási – energianyeresi – folyamatnak csak az első részfolyamatában

a ^{99m}Tc oxidációfoka	koordinációs szám	a komplex töltése	Ligandum	Alkalmazás
+1	+6	+1	metoxi-izobutiro-izonitril	szívizom vizsgálata: infarktus, ischemia; tumorkiújulás, recidiva kimutatása
+3	+6	-1	dimerkapto-borostyánkősav	vese funkcionális tömegének meghatározása
+4	+6	-1	metilén-difoszfónát	csontszcintigráfia, csontáttétek helyének, számának meghatározása
+5	+7	-1	szubsztituált N-fenil-karbamoilmetil-iminodiacetsav	májsejtek működőképességének megállapítása, epeúti transzport vizsgálata
+5	+6	+1	tetrofosmin	szívizom vizsgálata: infarktus, ischemia; tumorkiújulás, recidiva kimutatása
+5	+5	-1	N,N'-etilén-L,L-dicisztein	veseürülés, tubuláris funkció vizsgálata
+5	+5	0	etilén-dicisztein dietilészter	agyi vérellátás vizsgálata (a lipofil komplex átjut a vér-agy gáton)

1. táblázat

képes részt venni: a sejtekbe történő belépés után 6-os szénatomján foszforileződik a hexokináz-enzim segítségével. Ezután a cukor-metabolizmus további lépéseiben nem vesz részt a ^{18}F -FDG, hanem a sejteken belül kötve marad, és megkötődésének mértéke egyenesen arányos a sejtek mindenkori cukorfogyasztásával. Ily módon a fokozott mértékű cukorfogyasztást mutató sejtek, szövetek nagyobb intenzitású területként jelentkeznek a PET-képeken, elhelyezkedésük különösen a PET/CT készülékkel pontosan megadható, sőt

megfelelő kalibrálással a radioaktivitás és jelintenzitás közötti összefüggésből az is kiszámítható, hogy az adott sejtek, szövetek egy-egy tömege egységnyi idő alatt mennyi cukrot fogyaszt. A „cukorfogyasztási mutató” pedig alkalmas

- tumorok (rákos daganatok, áttétek) stádiumának, rosszindulatúságuk mértékének meghatározására,
- a zsírsavak helyett inkább cukrot fogyasztó ischemiás szívizom jellemzésére, továbbá
- a gyulladással szövetek kimutatására.

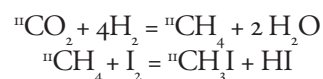
rövid név	kémiai név	biokémiai folyamat
FDG	[¹⁸ F]2-fluoro-2-dezoxi-D-glükóz	cukor-metabolizmus
ELT	3'-dezoxi-3'-[¹⁸ F]fluorotimidin	sejtprolifерáció
FAZA	[¹⁸ F]fluoroazomicin arabinózid	hipoxia
FMISO	[¹⁸ F]fluoromizonidazol	hipoxia
FCHO	[¹⁸ F]fluorokolin	lipidmetabolizmus
Fallypride	[¹⁸ F]5-(3-fluoropropil)-2,3-dimetoxi-N-[[² S]-1-(2-propenil)-2-pirrolidinil]metil]-benzamid	D ₃ /D ₃ receptor
FDOPA	[¹⁸ F]2-fluoro-5-hidroxi-L-tirozin	dopamintranszport

2. táblázat

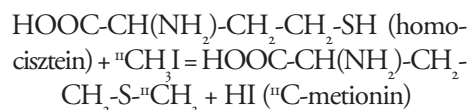
Ennek alapján a betegek sorsát eldöntő kezelések optimálissá tételével igazolható a PET/CT képalkotó diagnosztika kiemelt szerepe a gyógyítás folyamatában. Mára számos ¹⁸F izotóppal jelölt vegyületet alkalmaznak a PET-diagnosztikában, a 2. táblázatban példaként feltüntetünk néhány gyakran alkalmazott vegyületet.

Egy másik fontos pozitronsugárzó radioizotóp a húszperces felezési idejű ¹¹C, ami természetes nitrogén-gázból állítható elő protonokat besugározva. A nitrogén atommagja egy protont fog be a magreakcióban, és egyidejűleg egy alfa részecske távozik a magból: ¹⁴N(p,α)¹¹C. A ¹¹C izotópot legtöbbször metil-jodid formájában építik be radiogyógyszer prekursor molekulákba.

Amennyiben a céltárgyban a nitrogén-gázhoz kevés oxigént kevernek, a képződő ¹¹C izotóp CO₂ formájában kapható meg, ami molekuláris szűrőn megköthető, majd hidrogén-gázzal nikkelkatalizátor segítségével metánná alakítható, amiből elemi jóddal lehet a metil-jodid jelölő ágenst előállítani:



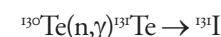
A ¹¹C-metil-jodid segítségével könnyen lehet különféle molekulákba ¹¹C-metil-csoportot beépíteni. Ilyen vegyület a homocisztein, amiből ¹¹C-metilézéssel egy természetes aminosav, a ¹¹C-metionin képződik:



Minthogy a ¹¹C pozitronsugárzó szénatom kémiaiilag pontosan ugyanúgy viselkedik, mint a nem radioaktív szénatom, a ¹¹C-jelzett metionin élő szervezetben tanúsított viselkedése is pontosan ugyanolyan, mint a jelzetlen aminosavé. Következésképpen az aminosav-transzport, illetve a proteinszintézis sebességének képi megjelenítése lehetségessé válik a PET/CT-leképezéssel. Ha egy agytumorban szenvedő betegen egymást követően ¹⁸F-FDG és ¹¹C-metionin vizsgálatot is elvégeznek, a képeken pontosan azonosíthatók a fokozott cukorfogyasztású és a fokozott aminosav-felvételű szövetek, és az is fontos diagnosztikai információ, ha ezek nem feltétlenül azonos területen láthatók.

Belső sugárkezelést, radionuklid-terápiát elsősorban β⁻-sugárzókkal, az esetek jelentős

hányadában ¹³¹I jód-izotóppal végeznek. A ¹³¹I radio-jód uránhasadványból is előállítható, azonban a hazai gyártás kiindulási anyaga a természetes izotópösszetételű tellúr-dioxid, amit a Budapesti Kutatóreaktorban neutronokkal sugároznak be. A magreakció során a ¹³⁰Te tellúr atommagja egy neutronot fog be gamma-sugárzás keletkezése mellett, és béta-sugárzó ¹³¹Te tellúrrá alakul, amelyből a magbomlás során a kevert sugárzást (β⁻ + γ) kibocsátó ¹³¹I jód keletkezik:



A neutronokkal aktivált ¹³¹Te bomlásából keletkező gyökös, illetve elemi ¹³¹I jód a tellúr-dioxid célszövetből (T ≥ 750 °C) a vákuumdesztillációs eljárásban választható el, amit a jód nátrium-hidroxid oldatban történő megkötése követ.

A ¹³¹I nátrium-jodidot oldatban vagy kapszulázott formában alkalmazzák a pajzsmirigy-túlműködés (hipertireózis) műtétet kiváltó, vagy a pajzsmirigyák műtétet követő kezelésére. A betegeknek beadásra kerülő oldat vagy kapszula stabilizátorként mindig tartalmaz redukálószerrel, az esetek többségében nátrium-tioszulfáttal. Ugyanakkor a redukálószerrel nem tartalmazó ¹³¹I nátrium-jodid oldat jelző preparátumként is felhasználható más molekulák (például: receptor-ligandumok, monoklonális antitestek) radiojódolásához. Ilyen receptor-ligandum a meta-jód-benzil-guanidin, melynek ¹³¹I jódjelzett formája a mellékvese-eredetű neuroendokrin tumorok (feokromocitoma, neuroblasztoma, paraganglioma, karcinoid, medulláris pajzsmirigy karcinoma) leképezésére, majd az azt követő kezelésére alkalmas. A leképezés kis aktivitásmennyiséggel (20–40 MBq) a ¹³¹I gamma-sugárzása révén lehetséges, míg a kezelést nagyobb aktivitásmennyiséggel (3700

MBq) végzik, melynek során a célzott sejtpusztítás a ¹³¹I béta-sugárzása révén valósul meg.

Meg kell említenünk néhány hazai radiofarmakon-fejlesztést is, melyek eredményei várhatóan a jövőben állnak majd a gyógyítás szolgálatába. A ¹¹C szénizotóppal jelzett kolin a lassú proliferációjú tumorok, például a prosztatarák PET/CT leképezésére alkalmas. A ¹⁸F jelzett 1-(5-fluoro-5-dezoxi-D-arabino-furanozil)-2-nitroimidazol a rákos daganatok oxigénhiányos (hipoxiás) szöveteinek lokalizálását teszi lehetővé. A hipoxiás tumorszövetek elhelyezkedésének ismerete azért fontos, mert ezek a külső sugárkezelésnek jobban ellenállnak, mint a normál oxigénellátottságúak, azaz a kobaltágyúval történő sugárkezelés megtervezésénél az ellenállóbb oxigénhiányos szövetekre nagyobb sugárdózist kell beállítani az eredményesség érdekében. A külső sugárkezelés várható hatásossága az első néhány besugárzás után már monitorozható a ¹⁸F-FDG és a 3'-deoxi-3'-(¹⁸F)-fluoro-timidin (¹⁸F-FLT) készítménnyel történő összehasonlító PET-vizsgálatnál: Ha a ¹⁸F-FDG még dúsul a tumorban, de a ¹⁸F-FLT már nem, akkor a besugárzást biztosan érdemes folytatni, mivel a ¹⁸F-FLT dúsulás hiánya egyértelműen a tumorsejt-burjánzás csökkenését, megszűnését jelzi.

A fentiek alapján belátható, hogy a radiogyógyszerek alkalmazása a korszerű orvosi diagnosztikában és terápiában nélkülözhetetlen. A radiogyógyszerek fejlesztésével és rutinszerű előállításával a radiokémia teszi lehetővé a nukleáris diagnosztikai vizsgálatok létét és folyamatos bővülését.

Kulcsszavak: nukleáris medicina, izotóp-előállítás, radioaktív nyomjelzés, radiogyógyszerek, radionuklid-terápia, PET-leképezés

NÖVÉNY- ÉS GOMBAMINTÁK ²¹⁰PO- ÉS ²¹⁰PB-KONCENTRÁCIÓJÁNAK MEGHATÁROZÁSA ALFA-SPEKTROMETRIAI MÓDSZERREL

Kovács Tibor

Somlai János

PhD, egyetemi docens,
Pannon Egyetem, Radiokémiai
és Radioökológiai Intézet, Veszprém
kt@almos.vein.hu

PhD, egyetemi docens,
Pannon Egyetem, Radiokémiai
és Radioökológiai Intézet, Veszprém

Máté Borbála

PhD-hallgató,
Pannon Egyetem, Radiokémiai
és Radioökológiai Intézet, Veszprém

Bevezetés

Pontosan száz évvel ezelőtt, 1911-ben a svéd Királyi Tudományos Akadémia *Marie Skłodowska-Curie*-nek ítélte a kémiai Nobel-díjat „elismerésképpen a rádium és polónium felfedezésért, a rádium sikeres elszigeteléséért, és ennek a figyelemre méltó elemnek további tanulmányozásáért”.

A ²³⁸U bomlási sorában található, a ²¹⁰Pb izotópból keletkező, alfa-sugárzás kibocsátásával bomló ²¹⁰Po radioizotóp felezési ideje 138 nap.

A ²¹⁰Po a természetben a levegőben, vízben, talajban, s így az élelmiszerekben (különösen a tengeri eredetű élelmiszerekben) is megtalálható. Egy év alatt egy fő szervezetébe átlagosan 58 Bq-nyi ²¹⁰Po izotóp kerül be (1 Bq [becquerel] azon anyag radioaktivitása, amelyben 1 atommag bomlik el másodpercenként),

az összes többi természetes eredetű bomlási sorokban található radionuklid közül ez a legnagyobb érték. A lenyelésből származó lekött éves effektív dózis súlyozott átlaga 85 $\mu\text{Sv}/\text{év}$ (Sv, *sievert*): az embert érő és elnyelt ionizáló sugárzás mértékegysége (J/kg). Mesterségesen, atomerőműben is előállítható; az így előállított ²¹⁰Po radioizotópot használták például 2006-ban Alekszandr Litvinyenko, korábbi KGB-ügynök meggyilkolásánál (kb. 185 MBq aktivitás alkalmazásával) (Somlai, 2011).

A növények a levegőből és a talajból veszik fel a polóniumot. Így ez elsősorban a hosszú tenyészidejű vagy speciális tulajdonságú élőlények esetén lehet jelentős.

Munkánk során a dohány és a gombák polóniumfelvételét tanulmányoztuk, és a fent említett centenárium adott aktualitást annak, hogy eddigi eredményeinkről beszámoljunk.

Polónium a dohányban, cigarettában

A dohányt több szempontból is szívesen alkalmazzák a polónium és ólom bioindikátorként. Egyrészt elég hosszú a tenyészideje ahhoz, hogy képes legyen akkumulálni a kijutott radionuklidot (akár a gyökéren, akár a levélfelületen keresztül jut be), másrészt elég rövid ahhoz, hogy ne egy hosszú időszakra adjon integrális képet, mint például a fás szárú növények.

A dohányba került ólom és polónium a cigaretta izzási hőmérsékletén szublimál. Már az 1960-1970-es években számos cikk jelent meg a cigarettafüst polóniumtartalmáról. A későbbiekben az alfa-spektrometriai eljárások fejlődésével még többen számoltak be a vizsgált cigaretták polóniumkoncentrációjáról. Egyes kutatók jelentős szerepet tulajdonítanak a dohányzás rákkeltő hatása és a cigarettában lévő polónium közötti kapcsolatnak (Radford - Hunt, 1964; Robyn et al., 2009).

Mint a címben is szerepel, a ²¹⁰Po koncentrációját vizsgáltuk, de valójában a bomlási sorban előtte szereplő ²¹⁰Pb felvétele a meghatározó. Ennek oka, hogy a ²¹⁰Po felezési ideje $T_{1/2} = 138$ nap, így a dohány tenyészideje, illetve az utána történő érlelése, feldolgozása során, és végül a dohány elszívásáig eltelt idő alatt jelentős része le is bomlana. A ²¹⁰Pb felezési ideje viszont huszonekét év, így a növénybe beépült ólomizotópból folyamatosan keletkezik a polóniumizotóp, és beáll az egyensúly (²¹⁰Pb [$T_{1/2} = 22$ év] \rightarrow ²¹⁰Bi [$T_{1/2} = 5$ nap] \rightarrow ²¹⁰Po [$T_{1/2} = 138$ nap] \rightarrow ²⁰⁸Po [stabil]).

A növény eddig pontosan nem tisztázott módon veheti fel az említett radionuklidokat. A dohánylevelél felszíne hatalmas adszorpciós felületet jelent, amit a rajta lévő szőrök (trichomák) tovább növelnek, így sok kutató az egyik bejutási lehetőségnek tartja a dohány

levelére ülepedett aeroszol ²¹⁰Pb-tartalmának megtapadását vagy felszívódását (Martell, 1974). A másik útvonal a gyökéren keresztül történő felszívódás, melyre szintén sok kutató rámutatott (Tso et al., 1966). Szerintük a talajból történő felszívódás lehet a meghatározó, több esetben mértek ugyanis nagy koncentrációt erősen műtrágyázott területeken (a foszforműtrágyák rádiumtartalma ugyanis gyakran akár ötvenszeresen is meghaladja a talajok átlagos rádiumtartalmát) (Naina et al., 2008).

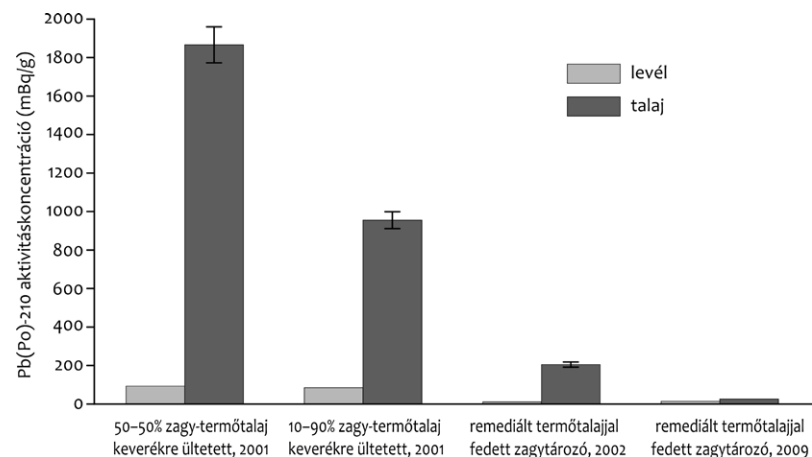
Eddigi munkánk két fő csoportba osztható. Egyrészt mint bioindikátor növényt alkalmaztuk a korábbi uránbánya környezetében, másrészt a dohányminták vizsgálatával meghatároztuk a dohányzással együtt járó sugárterhelés mértékét.

Dohány a remediált területen

Az 1997-ben bezárt remediált Mecseki Uránbánya két területén, a zagyterén és a vízkezelő bázison, valamint a környező településeken (Bakonya, Kővágószőlős, Pellérd) 2001 óta folyamatosan természetünk dohánynövényt mint bioindikátort, és vizsgáltuk a talaj és a növény különböző részeinek ²¹⁰Pb- és ²¹⁰Po-koncentrációját.

Vizsgálataink során a begyűjtött minták (talaj, gyökér, levél) radionuklid-tartalmát mértük. A dohánymintákat szobahőmérsékleten szárítottuk, hogy a polónium-koncentrációjuk ne csökkenjen, majd kávédarálással őrlöttük, a talajmintákat dörzsmozsárral finom szemcsékre aprítottuk. Nyomjelző radionuklid hozzáadását követően savas feltárás, majd a megfelelő alfa-forrás készítése, alfa-spektrometriás mérése következett.

Az eredmények egyértelműen bizonyították, hogy magas talajbeli koncentráció esetén a dohány levelében is jelentős a polónium-

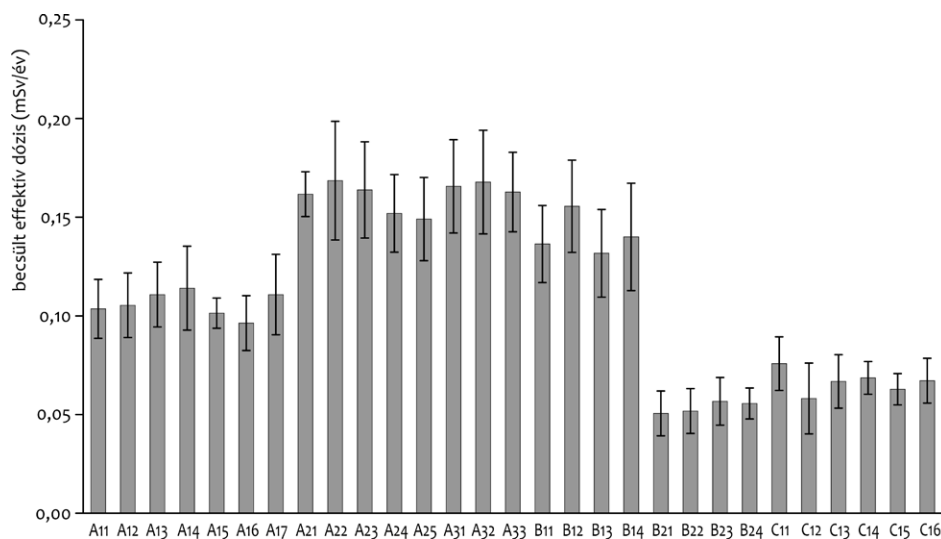


1. ábra • A polónium és ólom zagyterőzőn mért aktivitáskoncentrációi légszár az anyagra vonatkoztatva

koncentráció (a talaj 1500 mBq/g körüli koncentrációjához a dohánylevél szintén viszonylag magas, 100 mBq/g-os polónium- és ólomkoncentrációja tartozott).

A 2002-es és 2009-es adatok alapján megállapíthatjuk, hogy a zagyterőző takarása

megfelelően funkcionál, radionuklid migrációja nem történt, 2009-re már lecsökkent a talaj izotópkoncentrációja 30 mBq/g körüli értékre, amelyhez a dohánylevél 20 mBq/g körüli izotóp-koncentrációja tartozott (1. ábra).



2. ábra • Különböző cigaretták ²¹⁰Po-tartalmától várható éves sugárterhelés, A; B; C: különböző cigarettagyárak azonosító kódjai

Cigaretta radionuklid-koncentrációja

Hazai cigarettagyárak különböző termékeit vizsgáltuk, de a környező országokban kapható (illetve Japánból, Kínából származó) termékeket is elemeztünk. A ²¹⁰Po-tartalom 10-35 mBq/szál volt. A magyarországi átlagfogyasztást (16 szál/nap), 20%-os szervezetbe jutást és az ICRP (International Commission on Radiological Protection) által megadott dózistényezőt figyelembe véve becsültük a sugárterhelést, azaz az éves lekötött effektív dózist (2. ábra) (Papastefanou, 2001).

Méréseink alapján megállapítottuk, hogy az azonos márkanevű termékek korábban használt „light” stb. minősítése semmilyen eltérést sem jelentett a radionuklid-tartalomra vonatkozólag. A sugárterhelés, mint látjuk, relatíve nem elhanyagolható, sok esetben meghaladja a 0,1 mSv/év értéket, ami sokszor a dózismegszorítás határértékeként szerepel (például ivóvíz, nukleáris létesítmény stb.). A cigaretták ²¹⁰Pb-tartalmából is hasonló mértékű sugárterhelés becsülhető. Így ezek együttesen elérik vagy meghaladják a csernobili atomerőmű-baleset okozta (összesen 0,2-0,3 mSv) magyarországi átlagos sugárterhelést.

Polónium a gombákban

A kalapos gombák gyűjtése széles körben elterjedt szabadidős tevékenység. A gombák azonban nemcsak az élvezeti értékük miatt kerülhetnek az érdeklődésünk középpontjába, hanem az erdei ökoszisztémában betöltött szerepük, a speciális életfolyamataik során felhalmozott nyomelemek, de akár a gyógyító/mérgező hatásuk miatt is.

A gombák legnagyobb része, a micélium a felszín alatt található, és akár több négyzetméter kiterjedésű is lehet. Ez teszi lehetővé a gombák számára, hogy a talajból nagy haté-

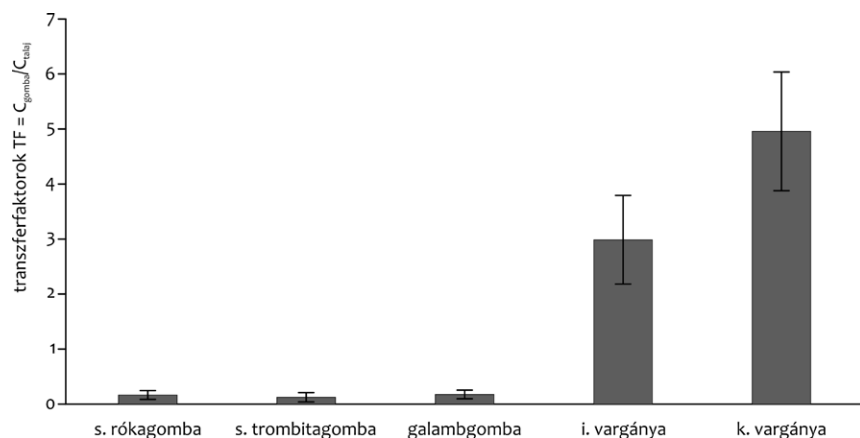
konysággal felvegyék a különböző nyomelemeket. Az utóbbi időszakban számos vadon termő gombafaj nyomelem-koncentrációját vizsgálták. A két legjelentősebb és legátfogóbb összefoglaló tanulmányt a témában Pavel Kalač és Lubomír Svoboda (2000), valamint Riina Pelkonen, Georg Alfthan és Olli Järvinen (2008) készítették.

A gombák nehézfém-koncentrációja általában jelentősen magasabb, mint más mezőgazdasági növények, zöldségek, gyümölcsök esetében. Ez arra utal, hogy a gombákban egy olyan hatékony mechanizmus működik, amely lehetővé teszi számukra a nehézfémek megkötését az ökoszisztémából, ezért a nehézfém-szennyezések jól nyomon követhetőek a segítségükkel (Ángeles-García et al., 2009).

Mivel egyes gombafajok képesek a nehézfémeket felhalmozni a szervezetükben, így a különböző radionuklidokat is tudják akkumulálni. Ezek alapján már az 1960-as évektől, az atomrobbantási kísérletek kezdetétől vizsgálták egyes ehető gombafajok mesterséges és természetes eredetű radionuklid-koncentrációját (Grünter, 1964; Seeger, 1978).

A gombák nehézfém- és nyomelem-akkumulációja mellett elkezdtek vizsgálni, hogy a természetes eredetű radionuklidok megkötésére is képesek-e. Számos tanulmány készült arról, hogy milyen természetes radionuklidokat képesek megkötni ezek az élőlények. Vizsgálták a ⁴⁰K, a ²²⁶Ra és a ²¹⁰Pb izotópokat. Arról is folytattak kutatásokat, hogy mennyiben függ össze a talaj radionuklid-tartalma a gombákban mérhető radionuklidok koncentrációjával (Eckl et al., 1986; Baeza - Guillén, 2006).

A gombák radionuklid-akkumulációja nemcsak radioökológiai és közegészségvédelmi szempontból fontos, hanem segítheti



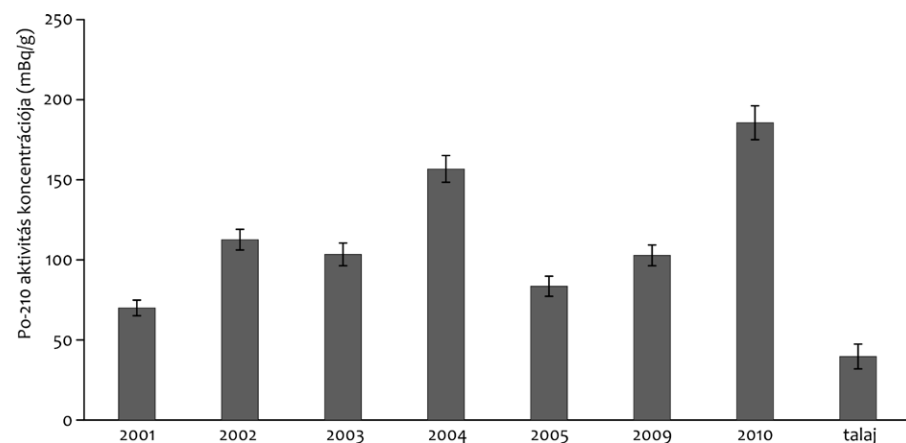
3. ábra • Különböző fajta gombáknál mért transzfer faktorok a ^{210}Po esetén; transzfer faktor = a gombában és a talajban mért ^{210}Po aktivitás-koncentrációjának hányadosa

a szennyezett területek kármentesítését is. A mikoremediáció vonzó alternatíva a drága eljárásokkal szemben, és képes nagy területek nehézfém- vagy radionuklid-szennyezésének megszüntetésére (Entry et al., 1996).

Ebben a munkában a gombák kevésbé tanulmányozott ^{210}Po -koncentrációjának meghatározása volt a cél. A Déli-Bakony területén tizenöt különböző gombafajt vizsgáltunk. A mintavételi terület egy viszonylag

kis, 20×50 méteres erdősáv volt az Öcs-Pula határában lévő erdei tó környékén. A gombákat, illetve a talajmintákat is erről a területről gyűjtöttük. 2000 óta szinte minden évben a gombákat igyekeztünk megközelítőleg ugyanabban az időszakban szedni, így azok évenkénti koncentrációváltozása figyelhető meg, mivel az alattuk levő talaj ugyanaz.

A mintákhoz feldolgozás előtt jelzőizotópot adtunk (a határfok nyomon követése



4. ábra • Különböző években gyűjtött ízletes vargánya, illetve a talaj ^{210}Po -koncentrációja

céljából), amelyet a megfelelő előkészítés, savas feltárás és az alfa-spektrometriás mintakészítés, majd mérés követett.

Az eredmények meglepőek voltak. A gomba és a talaj polónium-koncentrációját összevetve azt tapasztaltuk, hogy a vargánya fajok dúsírtják a polóniumot (3. ábra). Az ízletes vargánya esetén az évenkénti eloszlás a 4. ábrán látható. Jelentős eltérést tapasztaltunk a tavaszi és őszi gyűjtött minták esetén. Az okok kiderítésére tovább folytatjuk a vizsgálatokat.

Összegzés

Megállapíthatjuk, hogy a természetes eredetű radionuklidok szinte mindenhol megtalálhatók a környezetünkben, és az ezekről származó sugárterhelés – a rendkívül súlyos balesetek környezetét leszámítva – jelentősebb, mint a mesterséges eredetű radionuklidok okozta sugárterhelés. Ebben a környezetben alakult ki az emberi faj, így ezek a sugárterhelések nagy valószínűséggel jelentősen nem befolyásolják életünket.

Kulcsszavak: ^{210}Po , ^{210}Pb , alfa-spektrometria, dohány, cigaretta, gomba, felszívódás, effektív dózis, remediáció, uránbánya

IRODALOM

- Ángeles-García, María – Alonso, J. – Julia-Melgar, M. (2009): Lead in Edible Mushrooms Levels and Bioaccumulation Factors. *Journal of Hazardous Materials*. 167, 777–783. DOI:10.1016/j.jhazmat.2009.01.058
- Baeza, Antonio – Guillén, Javier (2006): Influence of the Soil Bioavailability of Radionuclides on the Transfer of Uranium and Thorium to Mushrooms. *Applied Radiation and Isotopes*. 64, 1020–1026. doi:10.1016/j.apradiso.2006.04.003
- Eckl, Peter – Hofmann, W. – Türk, R. (1986): Uptake of Natural and Man-made Radionuclides by Lichens and Mushrooms. *Radiation and Environmental Biophysics*. 25, 43–54. DOI: 10.1007/BF01209684
- Entry, James A. – Vance, N. C. – Hamilton, M. A. et al. (1996): Phytoremediation of Soil Contaminated with Low Concentrations of Radionuclides. *Water, Air, & Soil Pollution*. 88, 167–176. • <http://www.springerlink.com/content/h68009j2751544om/fulltext.pdf>
- Grünter, Hans (1964): Eine selektive Anreicherung des Spaltproduktes ^{137}Cs in Pilzen. *Naturwissenschaften*. 51, 161–162. DOI: 10.1007/BF00622291
- Kalač, Pavel – Svoboda, Lubomír (2000): A Review of Trace Element Concentrations in Edible Mushrooms. *Food Chemistry*. 69, 273–281. DOI:10.1016/j.foodchem.2008.04.019
- Martell, Edward A. (1974): Radioactivity of Tobacco Trichomes and Insoluble Cigarette Smoke Particles. *Nature*. 249, 454, 215–217. doi:10.1038/249215a0
- Naina, M. – Chauhan, R. P. – Chakarvarti, S. K. (2008): Alpha Radioactivity in Tobacco Leaves: Effect of Fertilizers. *Radiation Measurements*. 43, 515–519.
- Papastefanou, Constantin (2001): Radioactivity in Tobacco Leaves. *Journal of Environmental Radioactivity*. 53, 67–73. • <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2672370/>
- Pelkonen, Riina – Alfthan, G. – Järvinen, O. (2008): Element Concentrations in Wild Edible Mushrooms in Finland. *The Finnish Environment*. 25. Finnish Environment Institute, Helsinki
- Radford, Edward P. – Hunt, Vilma R. (1964): Polonium-210: A Volatile Radioelement in Cigarettes. *Science*. 143, 1603, 247–249. • <http://www.sciencemag.org/content/143/3603/247.full.pdf>
- Prueitt, Robyn L. – Goodman, J. E. – Valberg, P. A. (2009): Radionuclides in Cigarettes May Lead to Carcinogenesis via p16INK4a Inactivation. *Journal of Environmental Radioactivity*. 100, 157–161. doi:10.1016/j.jenvrad.2008.11.008
- Seeger, Ruth (1978): Kaliumgehalt höherer Pilze. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*. 167, 23–31.
- Somlai János (szerk.) (2011): *Radioaktív sugárzások a politika szolgálatában*. Radioökológiai Tisztasáért Társadalmi Szervezet, Veszprém
- Tso, Tien C. – Harley, N. – Alexander, L. T. (1966): Source of Lead-210 and Polonium-210 in Tobacco. *Science*. 153, 3738, 880–882. • <http://www.sciencemag.org/content/153/3738/880.full.pdf>

RADIOKARBON: ALKALMAZÁSOK ÉS PERSPEKTÍVÁK A KÖRNYEZETVÉDELEMBEN ÉS AZ IPARBAN

Molnár Mihály

PhD, fizikus, laboratóriumvezető-helyettes
mmol@atomki.hu

†Hertelendi Ede

kandidátus, fizikus, osztályvezető,
a laboratórium alapjainak létrehozója

Veres Mihály

fizikus, vezérigazgató

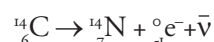
MTA ATOMKI – Isotoptech Zrt.
Hertelendi Ede Környezetanalitikai Laboratórium, Debrecen

Már egy évtizeddel a természetes radioaktivitás felfedezése után, 1906-ban, Ernest Rutherford rámutatott arra, hogy például a kőzetekben lévő radioaktív atommagok bomlása felhasználható a kőzetek kialakulása óta eltelt idő, a földtani kor meghatározására. A radioaktivitás csökkenésének mérésén alapuló időmérés alapjául a radioaktív bomlás törvénye szolgál, amely szerint zárt rendszerben a minta adott izotópjának radioaktivitása (A) az idővel folyamatosan csökken úgy, hogy a csökkenés arányának természetes logaritmus egyenesen arányos az eltelt idővel (Δt) az adott izotópra jellemző bomlásállandó (λ) mellett.

$$\Delta t = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{A_{\text{kezdo}}}{A}$$

A földi élet szempontjából egyik legjelentősebb elem, a szén 14-es tömegszámú radioaktív izotópjá (radiokarbon, ^{14}C) természetes úton van jelen a Földön. A kozmikus sugárzás a Föld felsőlégkörében jelentős mennyi-

ségben hoz létre szabad neutronokat. Ezen neutronok hatására a radiokarbon a légkörben főként nitrogénből magreakció végmagjaként keletkezhet. A keletkezett ^{14}C β -bomlással 5730 ± 40 év felezési idővel ($E_{\text{max}} = 160$ keV) ^{14}N -né bomlik:



Az eddigi számítások szerint 2–2,5 ^{14}C atom keletkezik másodpercenként a Föld felületének egy négyzetcentiméterére vonatkoztatva. A radiokarbon a légkörben gyorsan oxidálódik szén-dioxiddá, és folyamatosan „nyomjelzi” a légköri szén-dioxidot, melynek fajlagos aktivitása 14,1 bomlás/min/gC. Mivel a kozmikus sugárzás intenzitása hosszú idő óta közel állandó, és ehhez képest a ^{14}C 5730 éves felezési ideje rövidnek tekinthető, a Földön a kozmogénikus ^{14}C radioaktív egyensúlyi állapotban van. Az egyensúlyi izotóparány $^{14}\text{C}/^{12}\text{C} = 1,17 \times 10^{-12}$. Az akkumulálódott ^{14}C -mennyiség a Földön 51 tonna, ami kicse-

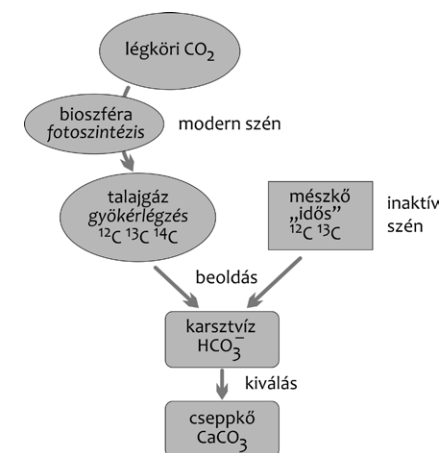
rélődési folyamatok révén a hidro-, bio-, illetve atmoszférában 94,3%, 3,8%, illetve 1,9% arányban oszlik el.

A légköri szén beépülésével formálódó képződmények létrejöttékor azok szénének fajlagos radioaktivitása folyamatosan követi az atmoszferikus szén fajlagos radiokarbon-aktivitását. Ekkor széntartalmukat radiokarbon-tartalom szempontjából modernnek nevezzük. A beépülési folyamat megszünte után, például egy élőlény elpusztulásával az anyagcsere leállásakor további ^{14}C -felvétel nem történik, ezért a ^{14}C koncentrációja az adott anyagban a felezési időnek megfelelően exponenciálisan csökken a radioaktív bomlás miatt. Ez a radiokarbon kormeghatározás elve. A módszernek nagy jelentősége van a régészetben, mivel segítségével leletek ~ 60 ezer évig visszamenően dátumozhatók. A módszer kidolgozásáért Willard F. Libby 1960-ban kémiai Nobel-díjat kapott.

A ^{14}C lehetséges alkalmazásainak köre mára már messze túlmutat a történettudomány keretein. A földi természetes szén ciklus tanulmányozásának egyik elengedhetetlen eszköze lett ez az izotóp geológiai, hidrológiai és légkörtani értelemben egyaránt.

A hazai példákat tekintve, a régészeti tanulmányokon túl sikerrel alkalmaztuk a ^{14}C -méréseket például *geológiai széndinamikai vizsgálatok*ra. Egyik ilyen jellegű hazai kutatás volt a Baradla-barlang cseppköveiben az „öreg”, azaz mészkő eredetű szén arányának mérése (Molnár et al., 2006). A karsztrendszerekben ugyanis a vízből kiváló karbonátok széntartalmának csak egy része származik a mészkőből, a másik rész a légkörből, pontosabban a beszivárgás helyén a talaj felső rétegének talajgázából beoldott modern szén-dioxidból jön. A karsztvíz, amelyből kiválik a karbonátos kőzet, a karsztrendszeren

áthaladva a modern szén-dioxid mellé beoldott kisebb-nagyobb mennyiségben karbonátot az idős mészkő alapközetből is, ami mérhető mennyiségű ^{14}C -et nem tartalmaz, azaz szene inaktívnak tekinthető (1. ábra). Az öreg és a friss szén arányának alakulása fontos információkat ad a barlang körüli klíma időbeni változásairól, éppen ezért a klímakutatás egyik fontos terepét jelentik a karsztos barlangok. Az „öreg” szén aránya barlangról barlangra igen eltérő értéket mutathat, mely nagyban függ a borító kőzet vastagságától, a felszíni növényborítástól, a terület mikroklimájától és számos további, eddig talán még nem is tisztázott paramétertől. Igen meglepő eredmény volt éppen a Baradla-barlang kapcsán, hogy a frissen formálódó cseppkövekben az alapközetet adó mészkő eredetű (idős) szén aránya igen csekély (<10%), ami azt mutatja, hogy a klasszikus kémiai megközelítés mellett sokkal bonyolultabb izotóp-geokémiai folyamatokat is figyelembe kell vennünk, ha a karsztos rendszerek széndinamikáját meg akarjuk érteni.



1. ábra • Karsztos rendszerek széndinamikájának alapsémája

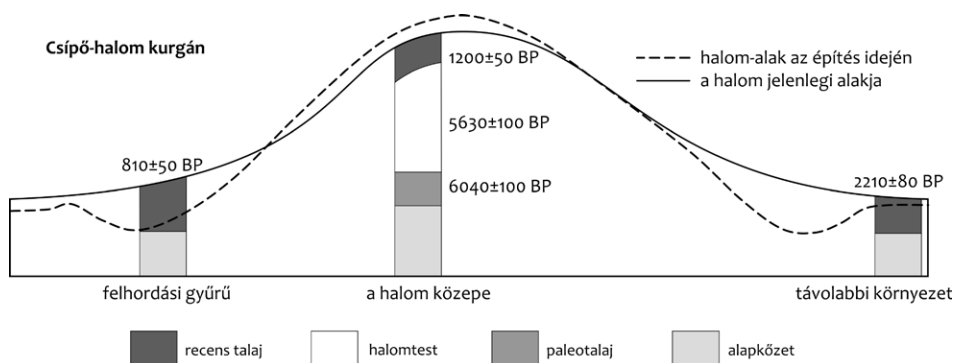
Hazánk egyik legfontosabb természeti erőforrásának, az ivóvíz tisztaságának védelmére is jelentős mértékben segíthető a radiokarbonos vizsgálatokkal. Ugyanis az „idős”, azaz vélhetően nem szennyezett, mélységi ivóvízbázisban tárolt értékes víz és a frissen a felszínről leszivárgó, gyakran emberi behatásra elszennyezett vizek keveredése a ^{14}C mérésén keresztül még igen korai stádiumban és nagyon nagy érzékenységgel felfedezhető.

Sikerrel alkalmaztuk igen komplex karsztvízbázisok folyamatainak megértéséhez a ^{14}C -vizsgálatokat. Többek között vizsgáltuk a Pasnyag-forrást, ezt az Aggteleki-karszt keleti nyúlványának tövében fakadó karsztvízforrást, amelynek vizét néhány közeli falu ivóvízellátására használják. A környező figyelőkutak vizeit elemezve a ^3H -, ^{14}C - és nemesgáz-mérések segítségével megállapítottuk, hogy a forrás vize egy nagyon fiatal (1–2 év) és egy idősebb (>1000 év), mélyebb rétegből feláramló, úgynevezett *termálkarsztvíz* keveréke. Sorozatos mérések tanúsága szerint a meleg termálkarsztvíz feláramlása a vizsgált három éves időszakon belül közel állandó volt, a Pasnyag-forrásba kerülő hideg és meleg víz keverési arányát a térség csapadékosságán

keresztül a hideg víz hozama szabályozta (Palcsu et al., 2004).

A mezőgazdasági kutatásokon belül a *talajtani vizsgálatokhoz* is kapcsolódott az a kísérletsorozat, melyben egy emberi kéz által több ezer éve emelt kunhalom, a hortobágyi Csípő-halom vizsgálataihoz használtuk a ^{14}C módszert (Molnár et al., 2004). Méréseink segítségével megállapítható volt, hogy a halomot viszonylag fiatal talajréteg fedi (radiokarbon kor: 1200 év BP). A halomtest összehordott talajból áll, melynek ^{14}C kora 5630 év BP, és alatta megmaradt az eredeti paleotalaj is (^{14}C kor: 6040 év BP). A halomtest és az eltemetett palaeotalaj korának hasonlósága egybevágott a régészeti elképzeléssel, miszerint a halom egy lépésben hozták létre, nem pedig több kisebb, időben eltolódott fázisban (2. ábra).

A halom lábánál talált recens talaj igen fiatal kora (810 év BP) alátámasztja azt a feltevést, mely szerint ez a terület szolgált felhordási zónaként a halom megépítéséhez („felhordási gyűrű”), így itt az alapkőzetet teljesen új, fiatal talaj kialakulása indulhatott meg. A halom távolabbi környezetéből származó recens talaj idősebb kora (2210 év BP) szintén



2. ábra • A Csípő-halomban és a környezetében feltárt talajrétegek és azok radiokarbon kora (év BP, *Before Present*: konvencionális ^{14}C -kor években, 1950-hez viszonyítva)

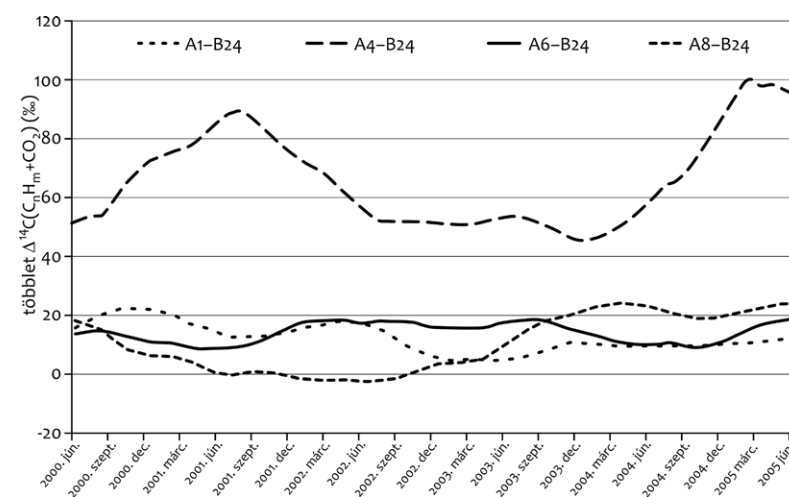
arra utal, hogy a halomtest tetején, illetve a felhordási gyűrűn talált recens talajokhoz képest ez egy kevésbé bolygatott, idősebb talaj. A friss szén beépüléséről a talajokba, a talaj széndinamikájáról, a konzerválódásról és az új talaj képződésének időbeni alakulásáról sokat elárult a fenti vizsgálatosorozat.

Az atomkor beköszöntével, a szándékosan vagy hulladékként a *nukleáris iparban* mesterségesen előállított ^{14}C nyomon követése alapvető feladata lett a *környezetvédelemnek*, a szén biológiai, életlani jelentősége miatt.

A Paksi Atomerőmű üzeme során is folyamatosan figyelik annak légnemű ^{14}C -kibocsátását, közvetlenül a szellőztető kéményekben, illetve az erőmű környezetében telepített megfigyelőállomásokon is, egy távolabbi referenciaállomáshoz (B24, Dunaföldvár) viszonyítva (3. ábra). Az öt évet feldolgozó eredményes azt mutatta, hogy a szénhidrogén és szén-dioxid frakcióját együttesen vizsgálva az atomerőmű közvetlen környezetében, már 1–2 kilométeren belül is csak alig

érezhető az a ^{14}C -többlet, amelyet a kéményeken keresztül kijuttat a környezetbe (Molnár et al., 2007).

Az atomerőművek hatásánál sokkal erőteljesebb, de mára már a légkörből teljesen kimosódott ^{14}C -többletet adtak az 1960-as évek elején a világ különböző pontjain nagy számban végrehajtott légköri nukleárisfegyver-kísérletek, melyek hatására időszakosan duplájára emelkedett a radiokarbon koncentrációja globálisan a légkörben. A természetes háttérszint megkettőzése egy ilyen gyenge béta sugárzó izotóp esetében természetesen semmilyen egészségügyi kockázattal nem járt, de a jelenségnek a későbbiekben óriási tudományos jelentősége bizonyos értelemben haszná lett. Ugyanis ebből a nagyon ritka szénizotópból ilyen módon rövid idő alatt, pontoszerű forrásokból globális méretekben is jelentős mennyiség került a légkörbe. Valójában egy földgolyó léptékű nyomjelzési kísérletként foghatjuk fel ezt az egyébként egész más céllal végrehajtott kísérletsorozatot.



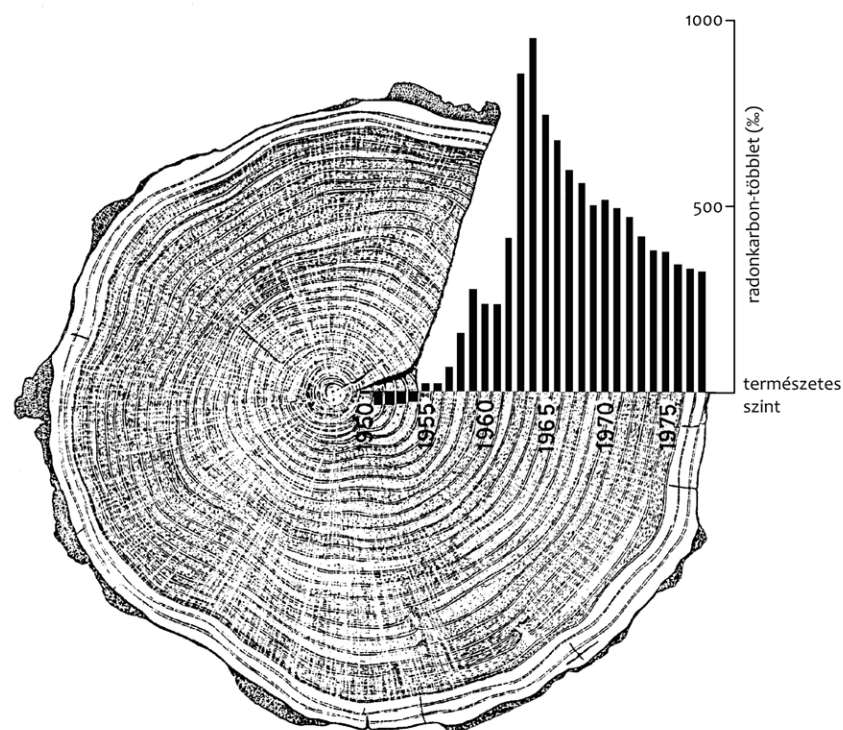
3. ábra • A Paksi Atomerőműtől eredő légköri ^{14}C -többlet alakulása közeli megfigyelőállomásokon (A1-, A4-, A6- és A8-állomás), %-ben kifejezve a természetes háttérszint (B24) felett

A szén ciklus kutatói a ^{14}C -jelzésen keresztül unikális információkat szereztek a légköri szén keveredésének, transzportjának tanulmányozásához. A légköri ^{14}C atombomba-csúcs mindenhol megjelent a Földön, például a Debrecenben ez időszakban növekedett faégyűrűkben is (4. ábra) (Hertelendi – Csongor, 1982). Ezt a gyorsan változó légköri ^{14}C -jelet például már a bűnüldözés is felhasználja, olyan hamisítási ügyekben, ahol a kérdés az ebből az időszakból származó bizonyítékok (borok vagy iratok levélpapíron) eredetisége, vagy épp ezek felhasználása régebbi dátumozással ellátott anyagok hamisítására.

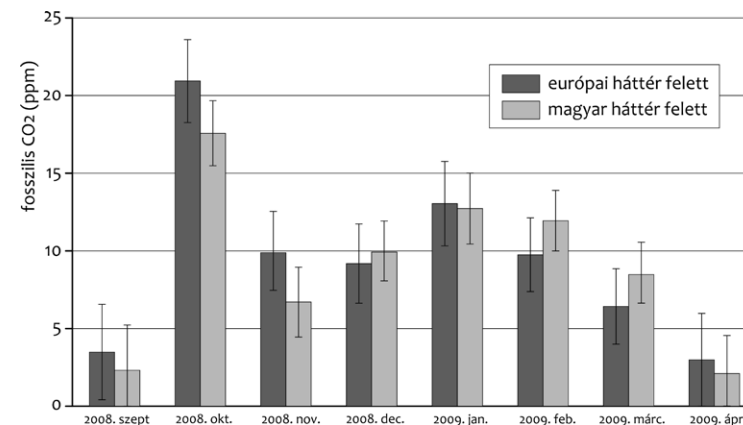
Egy másik jelentős globális jelenség, a légköri fosszilis szén-dioxid szintjének növekedése is jól vizsgálható a ^{14}C segítségével, akár például a klímaváltozás kutatása céljából is.

Az ipari forradalom óta a technika fejlődésével egyre növekvő energiaigényünket jórészt fosszilis tüzelőanyagok elégetésével fedeztük. Mivel a fosszilis tüzelőanyagok alapjául szolgáló szerves anyagok a föld alatt több millió éve kizáródtak a biológiai szén ciklusból, így bennük a kozmogén radiokarbon nem pótlódott a légkörből, tehát mára már csak stabil, azaz radiokarbon-mentes szenet tartalmaznak. Ez az inaktív szén a tüzelőanyagok elégetése során a légköri szénhez keveredik, s így hígítja annak ^{14}C -tartalmát. Ezáltal a radiokarbon mérésén keresztül jól elkülöníthető egymástól a fosszilis és a friss, biogén szén-dioxid.

Hazai példával élve: a debreceni városi levegőben ezzel a módszerrel mérhető volt a fosszilis CO_2 többlete a természetes európai (Jungfraujoch, Svájc) és akár a hazai (Hegy-



4. ábra • A ^{14}C atombomba-csúcs egy 1945-től 1980-ig növekedett fa égyűrűiben



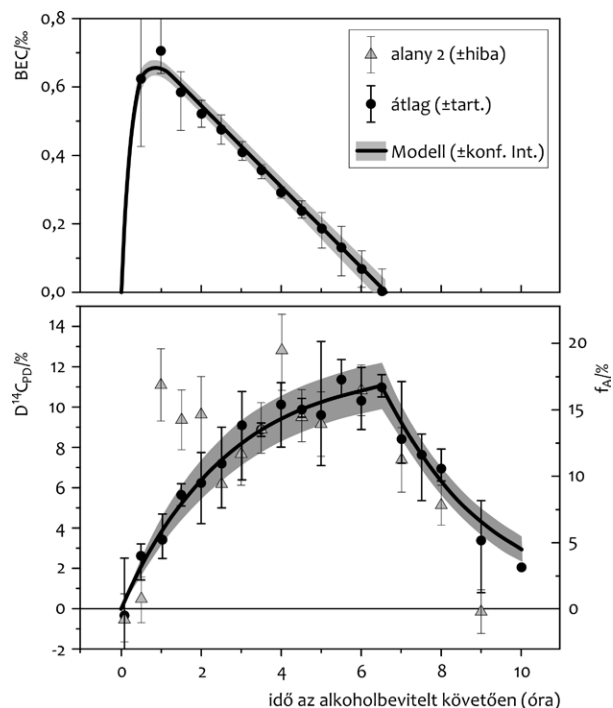
5. ábra • A fosszilis CO_2 mennyisége Debrecen levegőjében 2008 telén az európai, illetve a hazai természetes háttérhez viszonyítva

hátsál) háttérhez viszonyítva is (5. ábra). A 2008 telén gyűjtött mérési adatok azt mutatták, hogy szeptemberben alig volt kimutatható fosszilis CO_2 -többlet a város levegőjében. Ezzel szemben októberben viszont átlagosan közel 20 ppm fosszilis eredetű CO_2 jelenlétét detektáltuk ugyanitt (Molnár et al., 2010).

Éppen a biológiai rendszerekben, illetve az emberi szervezetben betöltött szerepe miatt az orvosi kutatások számára is új dimenziókat nyithat ez az izotóp, mivel olyan szén, amelynek természetes előfordulása igen csekély a Földön ($\sim 1 : 1\,000\,000\,000\,000$ a ^{14}C természetes aránya a stabil ^{12}C gyakoriságához viszonyítva). Az elmúlt időkig azonban komoly akadálya volt a szélesebb orvosi felhasználásnak az, hogy általában a bomlások számlálásán keresztül, azaz aktivitásmérés útján határozták meg a minták ^{14}C -tartalmát, amihez radiológiai léptékű dózisokat kellett használni ebből a gyenge sugárzású, de hosszú felezési idejű izotópból. Mára viszont, a gyorsító tömegspektrométerek (Accelerator Mass Spectrometer – AMS) rohamos fejlődésével és térnyerésével (pontosabban a méret

és a gondozási igény drasztikus csökkenésével) a természetes radiokarbon szint ezredrészeinek megfelelő bedúsulás is könnyedén mérhető akár milligrammnyi szövetmintából is. Ezzel az áttöréssel a radiokarbon-vizsgálatok a gyógyszer- és egyéb biológiai anyagcseremechanizmusok kutatásának eddig elképzelhetetlen tárházát nyitják meg. A 6. ábrán bemutatott, komoly anyagcsere-információt adó, de rendkívül egyszerű biológiai kísérlet végrehajtásához az AMS-technika használata mellett csak néhány lelkes önkéntesre és némi 1964-es évjáratú konyakra volt szükség (Schulze-König et al., 2011).

A kísérletben használt konyak évjáratá azért fontos, mert 1964-ben a légkörben és így az ital alapanyagául használt szőlőben is a már említett atombomba-csúcs miatt kissé emelkedett ($\sim +6.4\%$) volt a ^{14}C szintje a mai természeteshez képest. A kísérletsorozatban bevitt ^{14}C mennyisége ($\sim 10\text{Bq}$ fejenként) messze nem tekinthető radiológiai mennyiségnek, így nagyságrendekkel könnyebb és olcsóbb a kísérletek tervezése és kivitelezése. Ezzel a módszertani fejlődéssel a radiokémia



6. ábra • A véralkoholszint (BEC – Blood Ethanol Concentration) változását kísérő ^{14}C -szint százalékos emelkedése (PD – post dose) és az alkohol eredetű szénfrakció (f_A) a kilélegzett levegő szén-dioxidjában 1,5 dl 1964-es évjáratú konyak elfogyasztása után

területéről a klasszikus gyógyszerkémiai tesztek világába érkezett a ^{14}C , azzal az unikális előnnyel, hogy a bevitt ritka szénizotóp nyomnyi mennyiségben is detektálható lesz a szervezetben. Önmagáért beszél az a tény, hogy a ^{14}C célra ma elérhető legmodernebb kompakt AMS-berendezés (MICADAS – Mini radioCarbon DAting System) kifejlesztését éppen egy gyógyszeripari kutató nagyvállalat (Vitalea Science, Davis, CA, USA) finanszírozta.

Mindezek hatására számos olyan laboratórium épül ma is a világban, amelynek feladata a radiokarbon mennyiségének meghatározása a legkülönbözőbb szerves és szervesetlen mintákban, a lehető legkevesebb anyaghasz-

nálat és a lehető legrövidebb mérési idő mellett. Magyarországon a radiokarbon-méréseknek több évtizedes hagyománya van az MTA debreceni Atommagkutató Intézetében (Csongor – Hertelendi, 1986). Ezen hagyomány továbbvitelének záloga a svájci Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ, Zürich) műszaki kutatóintézetrel közös fejlesztésben, jórészt magánberuházás keretében (Isotopech Zrt., Debrecen) 2011 nyarán üzembe helyezett MICADAS típusú gyorsító tömegspektrométer (7. ábra) (Synal et al., 2007). A berendezés beszerzését az Új Magyarország Fejlesztési Terv (GOP-2.1.1-09/A-2009-2008) és az MTA is támogatta.

A magyarországi új ^{14}C AMS-ek mellett, hogy nagy pontosságú régészeti mérések is végezhetőek a segítségével, olyan speciális gáz-ionforrással is el van látva, amely nagyban segíti a környezeti és környezetvédelmi jellegű mérések elvégzését, ezért az EnvironMICADAS elnevezést kapta. A gáz-ionforrás opció kidolgozása a svájci és a magyar partner együttes fejlesztőmunkájának eredménye, melyet az OTKA (MBO8-A 81515) és a svájci SCIEX-program is támogatott. A gáz-ionforrás alkalmazása teszi lehetővé a 0,1 mg alatti széntartalmú minták rutinszerű mérését, aminek például az aeroszok összetétel-specifikus elemzésénél, illetve karbonátok és talajvizek gyors és egyszerű mérésénél van nagy jelentősége.

Előnye, de egyben a gyengéje is az AMS- ^{14}C -mérésnek, hogy igen kis mintamennyisé-

geket használ (0,01–1 mg szén). Ez a tulajdonsága próbára teszi egyrészt a mintavélt végzőt, hiszen megnehezül ezáltal a minta reprezentativitásának biztosítása, másrészt igen kényes kérdéssé válik a minta tisztán kezelése és preparálása. Ezen feladatok megoldására a Hertelendi Környezetanalitikai Laboratóriumban (HEKAL) speciális AMS radiokarbon mintaelőkészítő laboratóriumot alakítottunk ki, amely megfelel a jelenlegi legmagasabb elvárásoknak, azaz a régészeti alkalmazásoknak is. A mintaelőkészítő laboratórium kiépítését az Új Magyarország Fejlesztési Terv támogatta (GOP-1.3.1-09/A-2009-0032).

Az AMS-alapú ^{14}C -mérésekhez általában grafit céltárgyat szokás készíteni a minta széntartalmából, hacsak nem a ma még kuriózumnak számító gáz-ionforrást használják.



7. ábra • EnvironMICADAS gyorsító tömegspektrométer ^{14}C -mérésekre a Hertelendi Környezetanalitikai Laboratóriumban, MTA ATOMKI – Isotopech Zrt., Debrecen

Ennek érdekében tiszta körülmények között ki kell vonni a minta széntartalmát megfelelő kémiai formában, amit általában szén-dioxiddá alakítanak égetéssel vagy savas feltárással, amelyből aztán legtöbbször hidrogénes redukcióval állítják elő az AMS-berendezéssel már közvetlenül mérhető grafitot. A megfelelő kémiai előkezelések és szén-dioxid-gyártás egyes lépései klasszikus kémiai receptek alapján történnek, speciális tisztasági követelmények mellett. Az egyes mintákból a méréshez szükséges mennyiséget az anyag típusa, széntartalma, annak kémiai formája, valamint a konkrét minta tisztasága határozza meg. A megfelelő kémiai előkészítést követően a minták égetése/feltárása a külső levegő teljes kizárása mellett, csak speciális vákuumrendszerekben történhet, hiszen a levegő mai modern szén-dioxidot, s benne a mintákhoz képest jelentős mennyiségű ^{14}C -et tartalmaz. Erre a feladatra egyedi *on-line* égető és gáztisztító rendszer épült a Hertelendi Laboratóriumban, amely a legbonyolultabb, lépcsőzetes, kontrollált, alacsony hőmérsékletű égetést és megfelelő gáztisztítást is képes megoldani. E szofisztikált *on-line* égetőrendszer mellett

természetesen a jóval egyszerűbb zárt reakciócsöves égetési és gáztisztítási módszer is elérhető a laboratóriumban.

Komoly kihívást jelent még az égetéssel/feltárással előállított kis mennyiségű (1–10 cm^3) CO_2 kezelése és redukciója, megfelelően tiszta és reprodukálható körülmények között. Erre a célra egyedi gázkezelő rendszert és grafitelőállító egységet fejlesztettek ki a HEKAL-ban (Rinyu et al., 2007). Az összeállítás elemei jelenleg négy–négy kemence és Peltier-hűtő, mely párosok egyenként öt–öt mintát tudnak fogadni, így egyszerre húsz grafitizáció végezhető el. A teljes rendszer digitálisan vezérelt és programozható.

A debreceni AMS- ^{14}C -laboratórium létrejöttével teljesült egykori karizmatikus vezetője, Dr. Hertelendi Ede (1950–1999) álma, remélhetőleg a magyar és nemzetközi kutatói, környezetvédelmi és nukleáris társadalom közös öröme és hasznára (Svingor, 1999).

Kulcsszavak: *radiokarbon, kormeghatározás, szén ciklus, ivóvízvédelem, talajtan, nukleáris ipar, környezetvédelem, gyógyszeripar, AMS, minta előkészítés*

IRODALOM

- Csongor Éva – Hertelendi Ede (1986): Low-level Counting Facility for ^{14}C Dating. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, 17, 493–497. doi:10.1016/0168-583X(86)90195-3
- Hertelendi Ede – Csongor Éva (1982): Anthropogenic ^{14}C Excess in the Troposphere between 1951 and 1978 Measured in Tree Rings. *Radiochemical and Radioanalytical Letters*, 56, 103.
- Molnár Mihály – Joó K. – Barczy A. et al. (2004): Dating of Total Soil Organic Matter Used in Kurgan Studies. *Radiocarbon*, 46, 413.
- Molnár Mihály – Dezső Z. – Futó I. et al. (2006): Fialat karsztos kőzetek ^{14}C korának mérése és értelmezése. In: Veress Márton (szerk.): *Karsztféjlődés*. 11. Szombathely, BDF Természetföldrajzi Tanszék, 37–46. • <http://www.karsztfeloldes.hu/kotetek/2006/>

- FIATAL%20KARSZTOS%20KÖZETEK%20 ^{14}C %20TARTALMÁNAK.pdf
- Molnár Mihály – Bujtás T. – Svingor É. et al. (2007): Monitoring of Atmospheric Excess ^{14}C around Paks Nuclear Power Plant, Hungary. *Radiocarbon*, 49, 1031–1043. • <https://journals.uair.arizona.edu/index.php/radiocarbon/article/view/2996/2755>
- Molnár Mihály – Haszpra L. – Svingor É. et al. (2010): Atmospheric Fossil Fuel CO_2 Measurement Using a Field Unit in a Central European City during the Winter of 2008/09. *Radiocarbon*, 52, 2–3, 835–845. • <https://journals.uair.arizona.edu/index.php/radiocarbon/article/view/3717/pdf>
- Palcsu László – Rinyu L. – Major Z. et al. (2004): A Pasnyag-forrás karsztvízrendszerének izotóphidrológiai vizsgálata. In: Veress Márton (szerk.): *Karsztféjlődés*. 9. Szombathely, BDF Természetföldrajzi Tsz, 91.

- Rinyu László – Futó I. – Kiss Á. Z. (2007): Performance Test of a New Graphite Target Production Facility in ATOMKI. *Radiocarbon*, 49, 217–224. • <https://journals.uair.arizona.edu/index.php/radiocarbon/article/download/2921/2681>
- Schulze-König, Tim – Wacker, L. – Synal, H.-A. (2011): Direct Radiocarbon Analyses of Exhaled Air. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 26, 287–292. DOI: 10.1039/C0JA00039F

- Synal, Hans-Arno – Stocker, M. – Suter, M. (2007): MICADAS: a new compact radiocarbon AMS system. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 259, 7–13. doi:10.1016/j.nimb.2007.01.138
- Svingor Éva (1999): Ede Hertelendi (1950–1999). *Radiocarbon*, 41, 3, vii–x. • <https://journals.uair.arizona.edu/index.php/radiocarbon/article/viewFile/3812/3237>



PROMPT-GAMMA AKTIVÁCIÓS ANALITIKA BUDAPESTEN KÉMIAI ELEMZÉS NEUTRONOKKAL

Révay Zsolt

az MTA doktora,

MTA Izotópkutató Intézet, jelenleg Technische Universität München

revayz@gmail.com

Az analitikai kémia feladata, hogy megmondja a vizsgált mintáról, milyen összetevőkből áll, és azok milyen mennyiségben vannak jelen. Ennek a nagyon is bonyolult kérdésnek a megválaszolására ma már óriási műszeres arzenál áll a vegyszerek rendelkezésére, így meg tudjuk határozni, milyen kémiai elemek alkotják a kérdéses anyagot, illetve, hogy azok milyen kémiai formában vannak jelen, azaz milyen vegyületeket tartalmaz a minta. A legkritikább esetben kell azonban a teljes összetételt megadni. Néha elegendő ismerni a főbb alkotókat, máskor csupán annyi a kérdés, hogy a nagyjából ismert összetételű minta (például emberi szövet vagy talaj) tartalmaz-e egy bizonyos szennyező molekulát vagy elemet. Ezekre a nagyon különböző kérdésekre alapelveiket tekintve is egészen eltérő módszerekkel tudjuk megadni a választ.

Analitikai vizsgálat során valamilyen külső hatásra (gerjesztés) az anyag egyes alkotói kizárólag rájuk jellemző választ adnak. Ahogyan a nátrium sárgára festi a lángot (gerjesztés: magas hőmérséklet, válasz: jellegzetes sárga fény), úgy más típusú gerjesztés hatására más színképet (spektrumot) kapunk eredményül, és a spektrum kiértékelése után

meg tudjuk adni a keresett alkotók minőségét és mennyiségét.

A kémiai elemek atomjainak magját pozitív töltésű protonok és semleges neutronok alkotják, amely körül a protonokéval megegyező számú elektron mozog. Ez a szám a rendszám, amelyet tehát az elektronhéj, de az atommag gerjesztésével is meg lehet határozni. Ha csak az elemi összetétel érdekel minket, akkor a legbelső elektronhéjakat kell gerjesztenünk, mert ezek változatlanok maradnak a kémiai átalakulások során. Ezt a látható fényénél jóval nagyobb energiájú sugárzással tehetjük meg, mint amilyen a röntgensugárzás. A röntgensugarak segítségével azonban a kis rendszámú elemeket (rendszerint a hidrogéntól a nátriumig terjedőket) nem lehet vizsgálni.

Ha ezekre az elemekre vagyunk mégis kíváncsiak, segítségül hívhatjuk a nukleáris (azaz az atommagot gerjesztő) elemzési módszereket. Minden atommag (a hélium két proton és két neutron tartalmazó rendkívül stabil magja kivételével) kölcsönhatásba lép a semleges neutronokkal. Lassú neutronok segítségével „kíméletesen” gerjeszthetjük az atommagot (Révay, 1997). Szobahőmérsék-

letű (termikus) vagy annál hidegebb neutronok elnyelődésekor eggyel több neutron tartalmazó atommag (azaz ugyanazon kémiai elem eggyel nagyobb tömegszámú izotópjá) keletkezik, miközben felszabadul a kötési energia, hasonlóan ahhoz, amikor vegyületek képződése, például oxidáció során hő szabadul fel. Ez az energia azonban jóval nagyobb a leghevesebb kémiai reakciók során felszabaduló hőnél, de még a röntgensugarak energiájánál is: nagy áthatóképeségű gamma-sugárzás keletkezik, az ún. prompt-gamma-sugárzás. Ennek vizsgálatán alapul a prompt-gamma aktivációs analitika (PGAA) (Molnár, 2004).

Az atommag alapállapotba kerülésével (legerjesztődésével) a folyamat többnyire véget is ér. Ha azonban a keletkező izotóp nem stabil, akkor az meghatározott felezési idővel radioaktív bomlást szenved, és általában béta- és gamma-sugárzás kibocsátásával stabilizálódik. Ez a késő gamma-sugárzás szintén egyértelműen jellemzi az aktivált atommagot, tehát kémiai elemzésre alkalmas. Ezt a hagyományos neutronaktivációs analízis (NAA) aknázza ki.

Az NAA alapjait a magyar származású Nobel-díjas tudós, *Hevesy György* fektette le 1936-ban, alig néhány évvel a neutron felfedezése után. A neutron a természetben nem létezik szabad állapotban, „frissen” kell előállítani valamilyen magreakció segítségével. Ilyen például a termikus neutronok keltette maghasadás, amelynek során az urán 235-ös tömegszámú izotópjából könnyebb atommagok és gyors neutronok keletkeznek, mely utóbbiak lelassításával (termalizálásával) további maghasadást lehet előidézni. E szabályozott láncreakció zajlik le az atomreaktorok belsejében, a felszabaduló nagy energiát hasznosítják az atomerőművek, a neutrono-

kat pedig a tudományos kutatás céljaira használhatjuk. Az e célból épített kutatóreaktorok a legnagyobb hozamú neutronforrások, amelyekből több száz működik szerte a világon. Ezek egyike Budapesten, Csillebércen található, ahol az elmúlt évtizedekben jelentős kutatások folytak a PGAA és az NAA terén, de más neutronsugárzást alkalmazó kutatásokban is.

A Budapesti Kutatóreaktor (BKR) elindításának nemrég volt az 50. évfordulója (*1. ábra*). Az 1990-es években végzett felújítás során többek között egy új épületbe három neutronnyalábot vezettek át nagy átbocsátó képességű neutronvezetők segítségével, illetve cseppfolyós hidrogént tartalmazó hideg-neutron-forrást helyeztek el a reaktor belsejében, amellyel tovább lassíthatók a termikus neutronok. E hideg-neutron-nyalábok egyikén, a hidegforrástól 35 méterre helyezkedik el a PGAA-berendezés.

A PGAA-berendezés lelke egy nagy tisztaságú germánium detektor, amely a beérkező gamma-fotonok energiájával arányos jelet



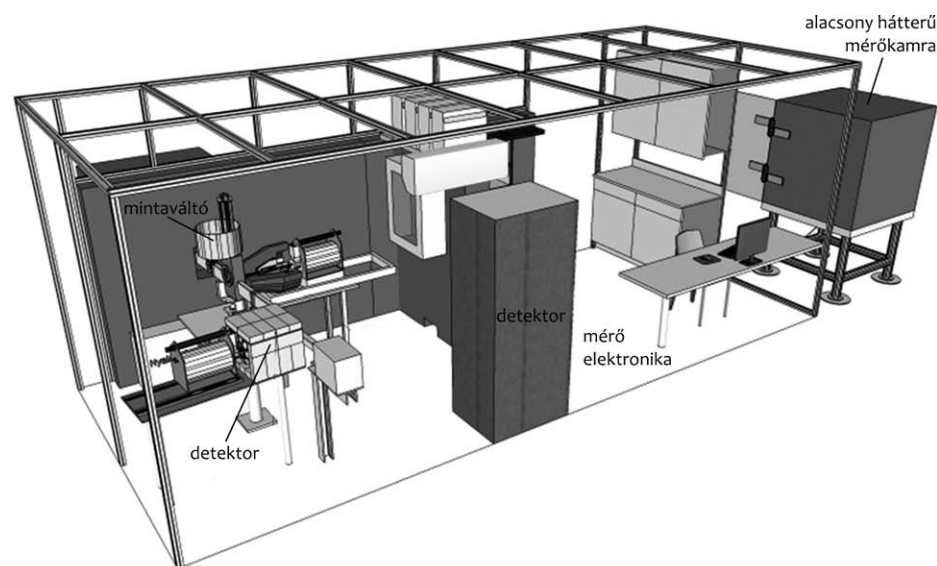
1. ábra • A Budapesti Kutatóreaktor. Körülötte láthatók a sugárvédelemmel ellátott kísérleti berendezések. A jobb oldalon alul a neutronvezetők védelme helyezkedik el. (forrás: www.aeki.kfki.hu)

ad ki, s ezek elektronikai feldolgozása után kapjuk a prompt-gamma-spektrumot. A spektrumok rendkívüli bonyolultságát a detektor köré helyezett aktív és passzív védelemmel lehet csökkenteni, amely egyrészt megakadályozza a környezetből származó sugárzás detektálását, másrészt leiltja a detektorból kiszóródó, a spektrális háttérrel növelő eseményeket. A budapesti PGAA-berendezésnél két ilyen detektorrendszer is van (2. ábra).

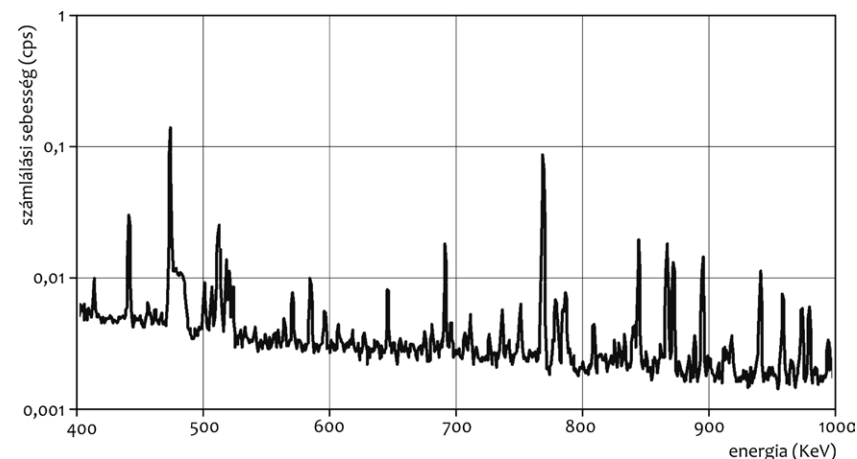
A prompt-gamma-spektrumok gyakran rendkívül bonyolultak: egy-egy kémiai elemnek akár több száz elkülöníthető csúcsa is megtalálható bennük (3. ábra). Ezek feldolgozása a számítástechnika mai színvonalán már nem jelent nehézséget. Az 1990-es évekig a kiértékelés bonyolultsága jelentősen hátráltatta a módszer elterjedését. A gamma-spektroszkópiai szoftverek a jóval egyszerűbb bomlási gamma-spektrumok kiértékelésére készültek, és általában nem tudnak megbir-

közni ilyen tömegű csúcs kiértékelésével. Ezért mi magunk fejlesztettünk ki egy komplex kiértékelő programot, amely kielégíti különleges igényeinket: nemcsak a csúcsterületek meghatározására alkalmas, hanem a detektor nagyon pontos kalibrálását is el lehet vele végezni.

A PGAA-módszer elvben minden elem minden izotópjának mérésére alkalmas (az említett kivétellel), habár az egyes elemek analitikai érzékenysége igen nagy mértékben eltér. Leggyakrabban a könnyű elemek elemzésére alkalmazzuk, hiszen ez más műszeres analitikai technikáknál nehézségekbe ütközik. A hidrogén kimutatására kivételes lehetőségeket biztosít ez a módszer, mely elem milliomod résznyi mennyiségben is kimutatható, ugyanakkor vizes oldatok mérése is lehetséges, s ezzel a PGAA egyedülálló az analitikai módszerek sorában. A módszer analitikai érzékenysége a bórra, kadmiumra és egyes ritka-



2. ábra • A prompt-gamma-aktivációs analitikai berendezés a Budapesti Kutatóreaktor mellett (Szentmiklósi László rajza)



3. ábra • Geológiai standard prompt-gamma-spektrum részlete néhány komponens megjelölésével. A teljes spektrum kb. 50 keV-től 10000 keV-ig terjed.

földfémekre (szamárium, európium, gadóli-nium stb.) a legnagyobb, így ezek nyomnyi (akár milliomod résznél kisebb) mennyiségben is kimutathatók a mintákban, míg a sok nagyságrenddel gyengébb analitikai érzékenységű oxigén csak kivételes esetekben elemezhető jól.

A PGAA-elemzés során a besugárzott térfogat átlagösszetételét kapjuk eredményül, tetszőleges méretű mintát tehetünk a nyaládba, akár csomagolásával együtt sugározhatjuk be. A vizsgálat roncsolásmentes, a kísérlet végén eredeti formájában adhatjuk vissza a tárgyat tulajdonosának.

A budapesti PGAA-berendezést nagy múgonddal építettük meg, illetve fejlesztjük ma is folyamatosan. Nagy hangsúlyt fektetünk a neutronok és a gamma-sugárzás elleni védelem hatékonyságára. Erre a kényszer szorított rá minket: eleinte – hidegforrás hiányában – jóval kisebb volt a neutronnyaláb intenzitása, és csak igen alacsony spektrális háttér mellett lehetett jó minőségű méréseket végezni. Bár a neutronfluxus majdnem két nagyságrendet nöött 1996 óta, a szerkezeti

anyagok aktiválódásából származó háttérnövekedés ellen egyre sikeresebben küzdöttünk, így spektrumainkban a hasznos csúcsok kiértékelését zavaró háttér alig az ötszörösére nőtt. A berendezés építése során szerzett tapasztalatainkat megbecsülik szerte a világban: ha valamelyik reaktor mellett PGAA-berendezést építenek, nagy valószínűséggel osztályunk segítségét is igénybe veszik.

A kémiai elemzés során a kalibrált spektrumokból kinyerjük a jellegzetes csúcsok energiáját és nagyságát. A csúcslistát azután egy spektroszkópiai adatbázissal összehasonlítva az elemzés elvben elvégezhető. Csakhogy kutatásaink kezdetén nem létezett olyan spektroszkópiai adatkönyvtár, amely alapján az analitikában elvárható pontossággal és megbízhatósággal lehetett volna a minőségi és mennyiségi elemzést elvégezni. Ez azért is meglepő volt, mert a neutronbefogás az univerzum egyik leggyakoribb folyamata (így képződik a nehéz elemek többsége a csillagok belsejében), és földi körülmények között is alaposan kutatják évtizedek óta. Ezért mi magunk állítottuk össze ezt az adatbázist.

Ehhez végig kellett mérni a periódusos rendszer valamennyi, a természetben előforduló elemét, pontosan meghatározva spektrumbeli csúcsaik energiáját és intenzitását. Mindmáig a miénk a legrészletesebb ilyen adatbázis, amelyet a tudomány más területein is használnak.

Ahogy az adatbázis készült, úgy vált egyre világosabbá, hogy a prompt-gamma-spektrumok esetén a hagyományos eljárások nem használhatók az összetétel megállapításához. Az NAA-ban vagy a környezeti minták radioaktivitásának mérésekor a csúcsok energiája többnyire egyértelműen azonosítja az elemet, izotópot, épp ezért nincs szükség külön minőségi elemzési eljárásra. A PGAA-spektrumban ezzel szemben olyan sűrűn helyezkednek el a csúcsok, hogy egy tetszőleges energián általában több elem is ad jelet. Így csak akkor jelenthetjük ki egy elemről biztosan, hogy az adott mintában jelen van, ha a prompt-gamma-spektrumban a rá jellemző mintázat (a legnagyobb csúcsok energiája és egymáshoz viszonyított intenzitása) jelentkezik. Ezt az energia- és intenzitásértékek statisztikai vizsgálata teszi lehetővé.

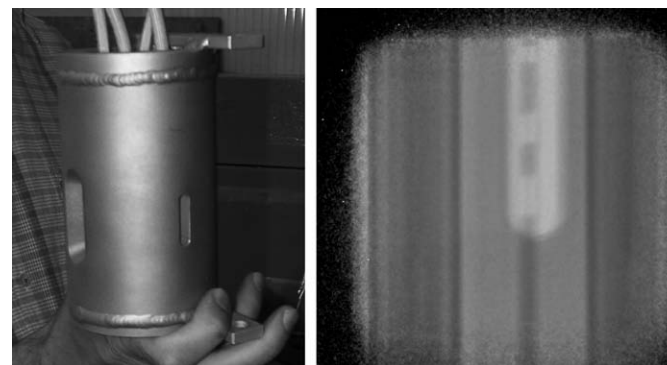
A környezetünket alkotó anyagok többsége a könnyű elemekből áll, ezek elemzésére a PGAA-nak ezt az alapmódszerét alkalmazzunk immár több mint egy évtizede. A régészeti minták (kerámiák, üvegek, kőszeközök stb.) vizsgálatáról Kasztovszky Zsolt kollégám számolt be a lap hasábjain (Kasztovszky, 2011). Ezenkívül érmék és más fémtárgyak vizsgálata is folyik berendezésünknel. A geológiai minták hasonlóan jól elemezhetők PGAA-val – a Kárpát-medence környékéről származó vulkanikus eredetű kőzetek börtartalmát vizsgálták osztályunkon.

Módszerünk legsikeresebb ipari alkalmazása során egy igen nagy méretű üvegotlasztó

kemence inaktív nyomjelzéses vizsgálata volt a cél. A radioizotópos nyomjelzés, amelynek módszerét ugyancsak Hevesy György dolgozta ki, jól alkalmazható ipari berendezések, de akár természeti folyamatok vizsgálatára is. Ennek során a vizsgált anyagba keverjük a nyomjelző komponens, majd különböző helyekről vett mintákban meghatározva a nyomjelző hígulását, vizsgálhatjuk a rendszer átfolyási és keveredési tulajdonságait. Ebben az esetben azonban a kemence nagy mérete miatt nehezen lett volna kivitelezhető a radioizotópos nyomjelzés, ezért az üvegben jól keveredő, bór- vagy gadolíniumtartalmú anyagot adagoltak a betáplálásnál a nyersanyaghoz egy adott időpontban. A kész üvegből rendszeres időközönként vett mintákban mért nyomjelző-koncentrációból azután következtetni lehetett az olvasztókemence működésére.

E hagyományosnak mondható alkalmazások mellett igyekeztünk a PGAA-módszert továbbfejleszteni. Az egyik ilyen újdonság a szaggatott nyalábban történő kombinált PGAA–NAA-mérés. Ennek során egy neutronelnyelő anyaggal részben bevont, forgó tárcsával másodpercenként több tucatszor megszakítjuk a neutronnyalábot, és külön spektrumban gyűjtjük a nyaláb nyitott állapotában keletkező prompt-gamma-spektrumot, illetve a zárt állapotban kibocsátott késő gamma-fotonok spektrumát. Ez utóbbi jóval kisebb intenzitású, és csupán egyes elemek jelentkeznek benne, amelyek így érzékenyebben mutathatók ki.

A másik érdekes megoldást úgy is nevezhetjük, hogy a láthatatlan mintatartó módszer. Ennek alkalmazásakor zárt tartót (például kis gázpalackot) helyezünk a nyaládba úgy, hogy a 2 cm átmérőjű neutronnyaláb annak a közepén haladjon át. A detektorrend-



4. ábra • Katalitikus reaktorcella és a neutronradiográfiás képe. Középen húzódik végig a reaktorcső, amelyben a kísérlet egy fázisában megszakadt katalizátorrágy látható. (A radiográfiás felvételt Szentmihályi László készítette.)

szert úgy állítjuk be, hogy az ugyancsak a minta közepét lássa. Így elérhető egy olyan elrendezés, amelynél a tartály falának egyébként erős gamma-sugárzása nem jut el a detektorba, mert a detektor összetett védelmével leárnyékoljuk azt. Így a tartó belsejében lévő anyagot, akár gázokat is vizsgálhatunk nagy érzékenységgel.

Talán legsikeresebb munkánk egy katalitikus reaktor belsejében lezajló kémiai reakció követése volt az *in situ* PGAA módszerével. A berlini Fritz Haber Intézetben és az intézetünkben dolgozó kémikusokkal közösen végzett kísérletben szénhidrogének palládium katalizátoron lezajló hidrogénezési reakcióját követtük a hidrogén és a palládium csúcsarányok időbeli változásán keresztül (4. ábra).

A PGAA-módszer újabb alkalmazásait találják ki a neutronos laboratóriumokban. A legperspektivikusabb a más neutronnyalábos technikákkal való kombinálása. A közel párhuzamos neutronnyaládba helyezett minták belső szerkezete egyszerűen megjeleníthető: a nyaládba kell helyezni egy speciális szcintillátorlemez, amelyben neutronok hatására látható felvillanások keletkeznek. E fénypontokat digitális kamerával rögzítjük, és képpé állítjuk össze. A minta neutron-radiogramján azután elkülöníthetjük a különböző neutronelnyelésű részleteket, melyekre odairányítva a szűkített neutronnyalábot, célzott elemzés végezhető.

Kulcsszavak: *neutron, aktivációs analitika, kutatóreaktor, hidegneutron-nyaláb*

IRODALOM

- Kasztovszky Zsolt (2011): A Budapesti Neutron Központ szerepe az európai kulturális örökség kutatásában – CHARISMA. *Magyar Tudomány*. 10, 1238–1246. • <http://www.matud.iif.hu/2011/10/14.htm>
- Molnár Gábor L. (ed.) (2004): *Handbook of Prompt Gamma Activation Analysis with Neutron Beams*. Kluwer Academic Publishers • <http://books.google.hu>
- Révay Zsolt (2009): Determining Elemental Composition Using Prompt Gamma Activation Analysis.

Analytical Chemistry. 81, 6851–6859. DOI: 10.1021/ac9011705

Révay Zsolt (1997): Hideg részecskenyaláb a laboratóriumban. *Élet és Tudomány* 52, 47, 1475–1477.

Teschner, Detre – Borsodi J. – Wootsch, A. – Révay Zs. – Schlögl, Robert (2008): The Roles of Subsurface Carbon and Hydrogen in Palladium-Catalyzed Alkyne Hydrogenation. *Science*. 320, 86–89. DOI: 10.1126/science.1155200 • <http://www.sciencemag.org/content/320/5872/86.full>

ÁGYÚVAL VERÉBRE? KÉMIAI FINOMSZERKEZET VIZSGÁLATA GAMMASUGARAKKAL

Homonnay Zoltán

az MTA doktora, egyetemi tanár

Kuzmann Ernő

az MTA doktora, egyetemi tanár

ELTE Természettudományi Kar, Kémiai Intézet, Magkémiai Laboratórium

Németh Zoltán

egyetemi adjunktus

†Vértes Attila

az MTA rendes tagja, emeritus professzor

Bevezetés

Ha egy kutató valamilyen fizikai mennyiséget próbál mérni, akkor a mérésnek általában két lényeges tulajdonságát kell megvizsgálni. Az egyik, hogy a mérés (vagy sok megismételt mérés) várható értéke mennyire egyezik meg a tényleges fizikai mennyiséggel, azaz van-e valamiféle szisztematikus hiba, illetve hogy a mérés statisztikus hibája mekkora, és ez utóbbi a fizikai mennyiség természetén túl a mérőműszerünk, illetve mérési módszerünk felbontóképességén múlik.

Az utóbbira koncentrálna, korpuszkuláris jelenségeknél ahhoz vagyunk hozzászokva, hogy a mérendő mennyiség és a mérőeszköz kb. „azonos súlycsoportban” van. Így aztán mi sem természetesebb, mint egy lécszalaggal mérni, semmi esetre se tolómérővel („subler”), ami tizedmilliméteres pontosságra képes. Ezzel szemben egy baktérium méreteit se akarná senki akár sublerrel mérni, mert erre még annak a felbontása sem alkalmas (hogy ne beszéljünk az emberi szem-

ről, ami egy új tényezőt hozna be). Ennek fényében értelmezhető a címben jelzett hasonlat, miszerint gammasugarakkal eséllyel lehet próbálkozni kémiai finomszerkezeti információk megszerzésére, ami azt jelenti, hogy közel tizenötezer elektronvoltos gammasugarakkal „ágyúzva” elemezgethetjük a vérben lévő hemoglobinnal vasatomjának kémiai állapotát (pl. a vasatom helyén mért elektronsűrűséget), ami néhány tized elektronvoltos változások kimutatását igényli.

Az ugyanis a tapasztalat, hogy hála az atommag gerjesztett állapotai meglehetősen hosszú *élettartamának* (a hosszú itt relatív, mikroszekundum alatti időkről beszélünk), a vele közvetlen kapcsolatban lévő, e gerjesztett állapot *energiájának bizonytalansága* hihetetlenül kicsi lehet (Heisenberg-reláció).

Az 1. táblázatban az ^{57}Fe 14,4 keV-os gammasugárzására vonatkozó adatokat hasonlítottuk össze egy látható fotonra vonatkozó tipikus esettel.

A kémiai reakciók vagy kémiai állapotok tipikus tartománya 1 eV alatti, akár század-

	E_γ (eV)	Γ (eV)	E_R (eV)
Közönséges fény:	≈ 1	$\approx 10^{-5}$	$\approx 10^{-11}$
Gamma-sugárzás (^{57}Fe , 14,4 keV)	$\approx 10^4$	$\approx 10^{-9}$	$\approx 10^{-3}$

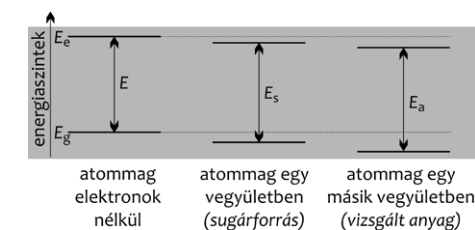
1. táblázat • A fotonenergia (E_γ), az energiabizonytalanság (Γ) és a visszalökődési energia (E_R) összehasonlítása a látható fotonok és gammasugarak esetén.

elektronvoltól is beszélhetünk. Világos, hogy egy olyan spektroszkópai módszernél, ahol látható fényt használunk (például atomabszorpciónál, ahol a mintát alkotó elemek azonosítása a cél), az alkalmazott sugárzás energiája és annak bizonytalansága között öt nagyságrend különbség van. Ugyanez a különbség az ^{57}Fe esetén tizenhárom nagyságrend, tehát a relatív felbontóképesség százmilliószorosa az előbbinek!

Ebben a pillanatban örülnünk kell, mert ha van egy ilyen pontosan meghatározott energiájú sugárzásunk, akkor ilyen pontossággal tudunk energiát mérni, ha ehhez találunk ügyes technikai megoldást. Az ügyes technika azért kell, mert nincs független módszer a gammaenergia 10^9 eV-os pontosságú mérésére. Azt lehet kihasználni, hogy ha egy atommag, ami kibocsátja ezt a gammasugárzást, olyan kölcsönhatásban van, amely ezt a sugárzást a félértékességgel (ez az energiabizonytalanság választott fokmérője) összemérhető módon megváltoztatja, és mi éppen ezt a kölcsönhatást akarjuk megmérni, akkor egy másik ugyanolyan atommag e sugárzást már nem képes elnyelni (akár csökken, akár nő az energia, nem lesz meg a rezonanciafeltétel). Azt viszont meg tudjuk oldani, hogy e kölcsönhatás okozta energiaváltozást más, kontrollált, mérhető módon kompenzáljuk, és így az elnyelődést lehetővé tesszük. Esetünkben ez a mérendő kölcsönhatás kémiai kölcsönhatás, és azért lép fel, mert az atommagok az atomi elektronokkal

kölcsönhatnak, és ez is meghatározza a kibocsátó rendszer – az atom – érvényes energianívóit.

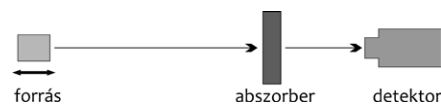
Az eredmény tulajdonképpen az, hogy egy radionuklid által kibocsátott gammasugárzás nem pontosan ugyanolyan energiájú különböző kémiai környezetekben. Ezt szemlélteti az 1. ábra. Az említett mag-elektron kölcsönhatás különbözik alap- és gerjesztett állapotban (a mag méretének megváltozása miatt), és ugyancsak különbözik az eltérő elektronsűrűségek miatt a két vegyületben, ami miatt a két gammaenergia (E_s és E_a) el fog térni. (Az ábrán ezek a változások kb. tizenkét nagyságrenddel nagyobbak vannak feltüntetve a láthatóság kedvéért!) Hogyan mérjük ezt a változást, mivel lehet kompenzálni az energiaeltolódást? A megoldás egyszerű (ha már valaki más kitalálta): mozgassuk a sugárforrást, és így a Doppler-elv értelmében megváltozik a fotonenergia, és szerencsénkre tipikusan néhány mm/s (tehát nem túl nagy) az a mozgási igény, amely a kémi-



1. ábra • Az atomi energiaszintek alakulása az atommag gerjesztésekor az elektronokkal való kölcsönhatás figyelembevételével

ai különbségek miatti kompenzációt megteremt. (Ha ezt összehasonlítjuk a fénysebességgel, hasonló arányt kapunk, mint a sugárzás energiája és félértékiséssége összevetésekor.)

Az ennek megfelelő kísérleti elrendezést a 2. ábra szemlélteti, amelynek aláírásából is kiderül, hogy amiről eddig szó volt, az nem más, mint a Mössbauer-spektroszkópia. Hogy ennek a megalkotásához Rudolf Mössbauer kellett, és megért egy Nobel-díjat, annak magyarázatára az 1. táblázat negyedik oszlopához kell visszatérnünk. A gammafoton kilökődésekor ugyanis jelentős visszalökődési energiával (E_R) kell számolni. Ahogy a táblázatból látszik, a félértékisésség egymilliószorosa ez az érték (miközben a látható fény esetében teljesen elhanyagolható, így ezzel soha senki se törődött), ezért emiatt akár felesleges is lett volna leírni az eddigieket. Mössbauer azonban kísérletileg felfedezte és meg is magyarázta, hogyan lehet a visszalökődési energiát ez esetben is elhanyagolhatóvá tenni, és megvalósítani a – kissé nagyvonalúan fogalmazva – „visszalökődésmentes magrezonancia-abszorpciót”, amit Mössbauer-effektusnak is neveznek. A feltétel lényege, hogy a gammafotont kibocsátó atom kristályrácsban legyen rögzítve, és a visszalökődési energia ne legyen alkalmas egy rácsrezgés kvantum gerjesztésére se. Ekkor a visszalökődési energia átadására nem marad más út, minthogy azt egy egész kristályszemcse merev testként vegye fel, és az így kiszámolható visszalökődési energia a sugárzás félértékisésségéhez képest is nagyon kicsinek adódik.



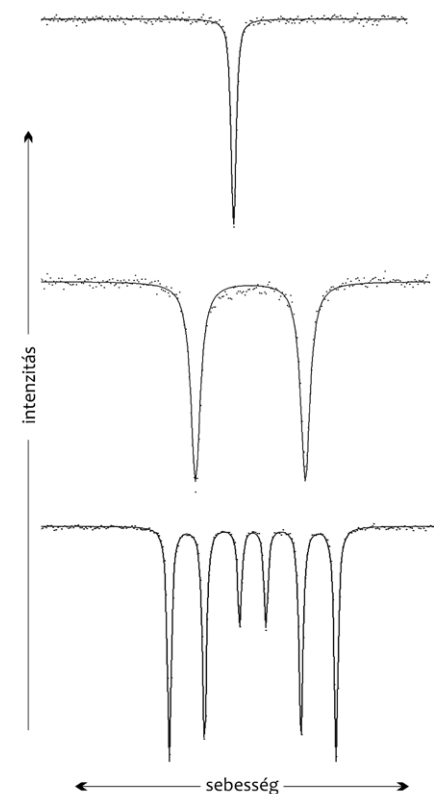
2. ábra • A Mössbauer-spektrum felvételére alkalmazott tipikus elrendezés

Ez a feltétel természetesen behatárolja a felhasználható radionuklidok körét. Olyan nuklidot kell találni, amelynek első gerjesztett állapota alacsony energiájú, hogy minél kisebb eséllyel történjen fonongerjesztés (a fonon a szilárd halmazállapotú testek rezgési átmeneinek energiakvantuma). Óriási szerencse, hogy a lehető legkönnyebben (már szobahőmérsékleten is) mérhető nuklid a vas – mint technológiailag egyik legfontosabb elemünk – egyik izotópja, az ^{57}Fe . A Mössbauer-vizsgálatok mintegy 65 százaléka ^{57}Fe -at alkalmaz. Mivel a fononszintek sűrűsége a hőmérséklet csökkentésével csökken, a visszalökődésmentesség feltételei javulnak. Így számos más izotóp is alkalmassá tehető Mössbauer-mérésre, de a hűtés általában drága. A továbbiakban csak az ^{57}Fe Mössbauer-spektroszkópia alkalmazását tárgyaljuk.

A Mössbauer-spektroszkópiával a vizsgált anyagról szerezhető információk közül hármat emelünk ki, amelyek meghatározzák a spektrum jellegzetes alakját. Amennyiben a Mössbauer-atom magja gömbszimmetrikus elektronsűrűség-eloszlást „érez” (ez teljesülhet például a vasatom körül tetraéderesen vagy oktaéderesen elhelyezkedő azonos ligandumok esetén a legtöbb Fe^{III} -vegyületre), a spektrum alakja egyetlen szingulett (a 3. ábra felső spektruma), aminek jellemző paramétere a vízszintes koordinátatengelyen (az mindig a mozgatási sebesség skálája) elfoglalt helye, és izomereltolódásnak nevezzük. A mérési módszerből következően ez mindig egy relatív mennyiség, és a mag helyén mért elektronsűrűség eltérésére jellemző (azzal arányos) egy adott referenciához képest, amely referenciaanyag többnyire a fém vasat jelent szobahőmérsékleten. Ha az említett elektronsűrűség-eloszlás nem gömbszimmetrikus, a spektrum egy dublettre hasad fel (a 3. ábra

középső spektruma). Ha mágneses tér is jelen van, akkor a felhasadás bonyolultabb, és egy jellegzetes szextett tűnik fel a spektrumban (a 3. ábra alsó spektruma).

E három esetet gyakran rendre az elektromos monopólus, elektromos kvadrupólus és mágneses dipólus – ún. hiperfinom kölcsönhatások – megjelenéseként szokták emlegetni. A hiperfinom jelző érthető, mivel ezek a 10^{-9} eV energiatartományba esnek, és hála a gamma-félértékisésségnek, mérhetők. Emlékeztetünk, hogy a kémiai energiák ennél sokkal nagyobbak, de mivel a hiperfinom



3. ábra • A Mössbauer-spektrum tipikus alakja ^{57}Fe esetén, elektromos monopólus (fent), elektromos kvadrupólus (középen) és mágneses dipólus kölcsönhatás esetén (lent)

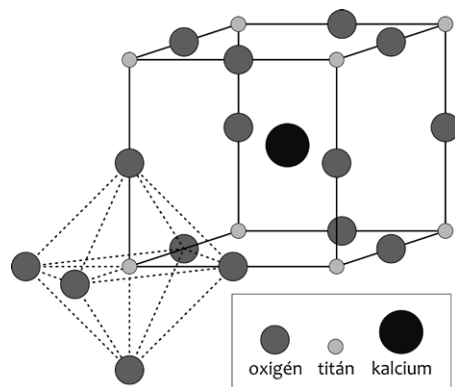
kölcsönhatások az atommag helyén érvényesek, a kémia pedig „a külső, vegyértékhéjakról szól”, a vegyértékhéjtól a mag felé haladva fellépő több nagyságrendi tompítás miatt szükség van a felbontóképességre.

A fentiekből megérthető, hogy minden kémiai környezetnek megvan a saját Mössbauer-ujjlenyomata, azaz egy rá jellemző Mössbauer-spektrum. Így az alkalmazások vagy arra vonatkoznak, hogy megpróbáljuk egy ismeretlen anyagkeverékről megtudni, hogy milyen vasvegyületeket tartalmaz, úgy, hogy a spektrumát ismert Mössbauer-spektrumokból „összerakjuk”, vagy azt a kérdést tesszük fel, hogy az adott Mössbauer-paraméter miért éppen akkora, azaz milyen anyag szerkezeti jellemző okozza. Az utóbbi eset sokkal bonyolultabb, de az előbbi is csak látszólag egyszerű, hiszen a lehetséges vasvegyületek (pontosabban a vasatom lehetséges kémiai környezeteinek) száma igen nagy, és sok az átfedés.

Az alábbiakban három olyan alkalmazást mutatunk be, amelyek szépen demonstrálják nagyon finom kémiai különbségek kimutatását Mössbauer-spektroszkópiával, technológiailag fontos anyagokban.

A $\text{Sr}_{0,95}\text{Ca}_{0,05}\text{Fe}_{0,5}\text{Co}_{0,5}\text{O}_{2,67}$ perovszkit vizsgálata

A címben jelzett vegyület szerkezete a perovszkit nevű ásványéval egyezik meg, és egy érdekes vegyületcsalád egy tagja. Anyagvegyületének a stroncium-ferrát (SrFeO_3) tekinthető, ami azért különleges, mert négyes oxidációs számú vasat tartalmaz. Ez részben a rácsszerkezet kényszerítő hatásának tudható be, hiszen a klasszikus perovszkitban (4. ábra) a kalcium oxidációfoka 2, a titáné 4, és sem a Ca, sem a Sr nem „vegyértékváltó”. Mindazonáltal a négyes oxidációfok elérésének



4. ábra • A perovszkit (CaTiO_3) elemi cellájának szerkezete (ún. ABO_3 típus), a B kationpozíció oxigénkörnyezetének kiemelésével

nehézsége abban megmutatkozik, hogy a rácsban oxigénvakanciák keletkeznek, így a hármas oxigénsztöchiometria csak megfelelő szintéziskörülmények mellett érhető el. (Sztöchiometria a kémiának a vegyi folyamatok során fellépő tömeg- és térfogatváltozásaival foglalkozó területe. Az itt – majd a későbbi rokon vegületnél – feltüntetett, oxigénre vonatkozó értékek e konkrét vizsgált mintákra vonatkozó mért mennyiségek.)

Ha a kationok cseréjét folytatjuk, elérhetünk a $\text{Sr}_{0,95}\text{Ca}_{0,05}\text{Fe}_{0,5}\text{Co}_{0,5}\text{O}_{2,67}$ összetételű perovszkithoz, ahol az oxigénsztöchiometria már lényegesen három alatt van, így a kobalt, illetve a vas egy része biztosan hármas oxidációs állapotban van. Kérdés: vajon melyik? Általában is feltehető a kérdés, hogy az ilyen kationhelyettesítések esetén teljesen véletlenszerű a kationok eloszlása az egyébként köbös szerkezetét megtartó rácsban, vagy van valamiféle preferencia (pl. valamelyik kation több vakancia környezetét preferálja). Az Sr és a Ca keveredését illetően a Mössbauer-spektroszkópia nem ad közvetlen információt, de a Fe és a Co esetén erre lehetőség kínálkozik.

Ehhez fontos tudni, hogy az ^{57}Fe -Mössbauer-spektroszkópiában az alkalmazott sugárforrás ^{57}Co , ami elektronbefogásos bomlással állítja elő az ^{57}Fe gerjesztett nivóját. Az elektronbefogás felezési ideje kilenc hónap, és ez is fontos a gyakorlati alkalmazhatóság szempontjából (a 14,4 keV-os nivó felezési ideje mikroszekundumnál is kisebb). Kihhasználva, hogy Mössbauer-spektrumok felvételénél a sugárforrás és az abszorber szerepe felcserélhető, megtehetjük, hogy standard sugárforrás és tetszőleges mért abszorber helyett standard abszorbert és tetszőleges sugárforrást alkalmazunk. Ezt hívjuk emissziós Mössbauer-mérési technikának (továbbiakban: EMS). A szimmetriát persze lerontja, hogy a forrás nem vas! Ezért ha a vizsgált anyag tartalmazza a radioaktív kobaltot, akkor számolni kell az elektronbefogásos bomlás keletkező ^{57}Fe atom környezetét érintő romboló hatásával, ami esetleg látszhat a Mössbauer-spektrumban. Esetünkben – a részletek ismertetése nélkül – leszögezhetjük, hogy a vizsgált anyagban érvényes nagy elektronmobilitásnak köszönhetően ilyen veszélytől nem kell tartani. Ugyanakkor vegyük észre, hogy EMS-mérés esetén a vizsgált rácspozíció a kobaltatom környezete. Megint mellőzve a részletes magyarázatot megállapítható, hogy az elektronbefogás által keletkezett ún. nukleogén ^{57}Fe ligandumkörnyezete megfelel az ^{57}Co anyaelemének (mivel az oxigén diffúziósebessége nem elég a gyors átrendeződéshez – ha arra egyáltalán szükség van), így arról közvetít információt.

Az előbbiek fényében adódik tehát a lehetőség: ha hagyományos elrendezésben (transzmissziós mérés, továbbiakban TMS) a Mössbauer-spektrum a vasatomok környezetéről ad információt, EMS esetén pedig a kobaltatomok környezetéről, akkor megválaszolha-

tó az a kérdés, hogy vajon a köbös szerkezetet megőrző $\text{Sr}_{0,95}\text{Ca}_{0,05}\text{Fe}_{0,5}\text{Co}_{0,5}\text{O}_{2,67}$ perovszkitban a vas és a kobalt teljesen véletlenszerűen oszlik el a kristályrácsban, vagy van különbség a kémiai környezetük között. A mérések értelmezésénél fontos, hogy a vizsgált anyag vas- és kobalttartalma megegyezik, és így a pusztán ebből adódó különbség kizárható.

Az 5. ábra két spektrum párt mutat. A bal oldali spektrum pár a frissen szintetizált anyagból készült, míg a jobb oldali szén-dioxiddal való reakció után. (Ennek az anyagnak kiugróan magas a szén-dioxid-megkötő képessége, ami az ipari szén-dioxid-kibocsátás szabályozásában játszhat majd szerepet a jövőben.)

Már az eredeti anyagon is látszik, hogy a két spektrum nem azonos. Ez annak a bizonyítéka, hogy ebben a vegyületben a vasatomok és a kobaltatomok kémiai környezete nem egyezik meg. A reakció utáni különbség a Co és a Fe (oxid) eltérő reakciókészségével magyarázható.

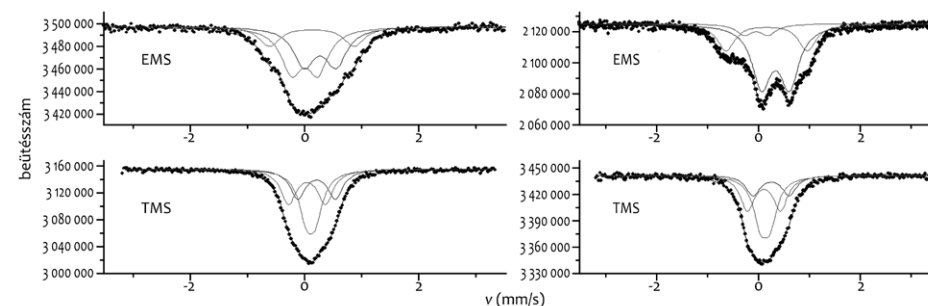
Az eredeti anyagban fellépő különbségre számos modellt állítottunk fel, amelyek összevetése a Mössbauer-paraméterekkel, illetve az észlelt spektrumkomponensek számával és intenzitásával azt mutatta, hogy a teljesen rendezetlen eloszlás helyett a Co- és a Fe-ato-

mok lokálisan rétegszerűen rendeződnek (Homonnay et al., 2002; Juhász et al., 2001; Nomura et al., 2002). Ezek a rétegzett szerkezetek olyan kisméretűek, hogy a tér különböző irányai szerint kiátlagolódva a röntgen-diffrakciós elemzés csak köbös struktúrát lát.

A $\text{Sr}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Fe}_{0,5}\text{Co}_{0,5}\text{O}_{2,47}$ perovszkit vizsgálata

A $\text{Sr}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Fe}_{0,5}\text{Co}_{0,5}\text{O}_{2,47}$ anyiban különbözik a $\text{Sr}_{0,95}\text{Ca}_{0,05}\text{Fe}_{0,5}\text{Co}_{0,5}\text{O}_{2,67}$ -től, hogy az „A” rácspozícióban a Sr felét cseréltük le Ca-ra, aminek az lett az eredménye, hogy az oxigénsztöchiometria tovább süllyedt, lényegében $\text{O}_{2,5}$ -ig, ami a „B” pozícióban lévő atomokra 3-as oxidációfokot jelent. A rács szerkezet megfelel a brownmilleritének, amelynek összetétele $\text{Ca}(\text{Al},\text{Fe})\text{O}_{2,5}$. Ez egy réteges szerkezet, amit úgy lehet elképzelni, hogy a perovszkitszerkezetet képzeletben síkokra osztjuk, és minden második síkból eltávolítjuk az oxigénatomok felét. Így az érintetlen síkokban marad a „B” kationok (esetünkben Fe és Co) oktaédres koordinációja, míg a többiben csak tetraédres koordinációra van lehetőség.

A kérdés máris adott: ha a „B” kationoknak éppen a fele Co, a fele Fe, vajon egyikük



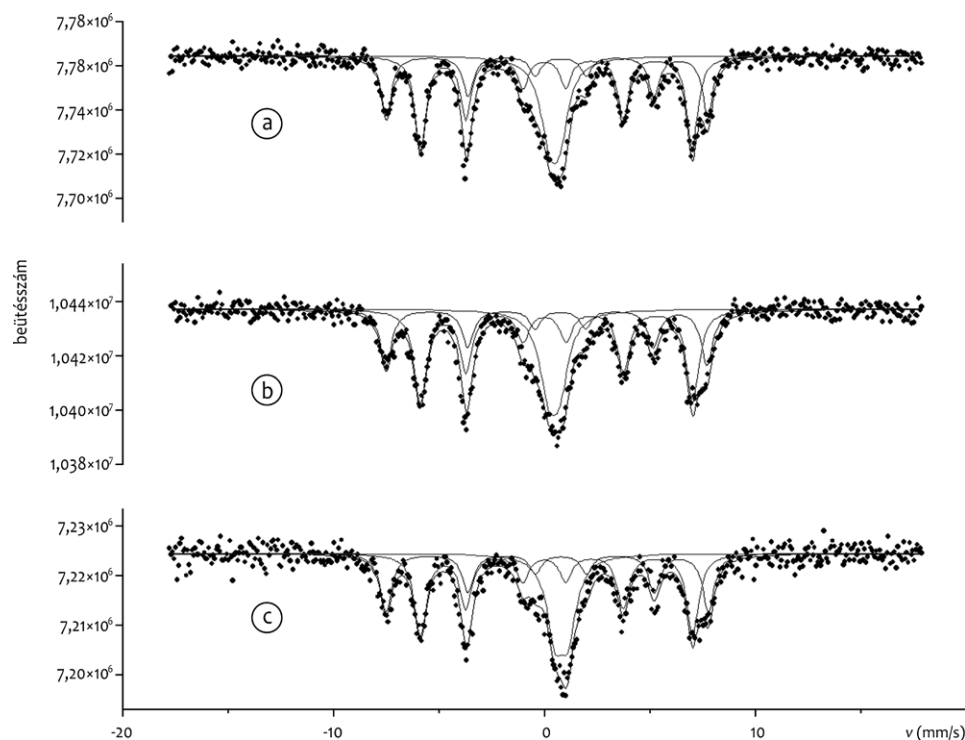
5. ábra • A $\text{Sr}_{0,95}\text{Ca}_{0,05}\text{Fe}_{0,5}\text{Co}_{0,5}\text{O}_{2,67}$ Mössbauer-spektruma emissziós (EMS) és transzmissziós (TMS) módban felvéve szobahőmérsékleten, szén-dioxiddal történő reakció előtt (bal oldal) és után (jobb oldal)

a tetraédes pozíciókat részesíti előnyben, a másik pedig az oktaédeset? Vagy teljesen véletlenszerű az eloszlás?

A Mössbauer-spektrumok megint tudnak segíteni. Ráadásul, ebben az anyagban a „B” kationpozícióban mágneses tér is van (ez az anyag egy antiferromágnes). Ez informatívabbá teszi a spektrumot, mert egy kémiai környezetet mindjárt hat vonal azonosít, és az átfedések is kisebbek. Ismert, hogy a tetraédes környezetben kisebb, az oktaédes környezetben pedig nagyobb a mágneses felhasadás. A 6. ábrán az EMS-spektrumok láthatók az eredeti és két különböző hőmérsékleten lefolytatott szén-dioxidos reakció után (Juhász et al., 2001; Nomura et al., 2002).

A spektrumokat két szextettre és egy középtűt elhelyezkedő kvadrupólus dublettire bontottuk fel. Számunkra a két szextett érdekes, és mindkét szextett bal szélső vonalát érdemes összehasonlítani, mivel azok különülnek el a legjobban. Látható, hogy a nagyobb felhasadású szextett vonala (ez balról a legelső vonal) kevésbé intenzív. Ez a szextett tartozik az oktaédes környezetekhez, és mivel az EMS-mérés a Co-környezetekről szól, megállapíthatjuk, hogy a Co ebben a kristályszerkezetben a tetraédes környezetekben fordul elő nagyobb valószínűséggel.

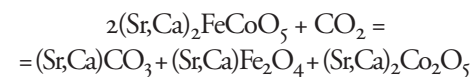
Természetesen, ha az emissziós mérések ezt mutatják, akkor a transzmissziós méréseknek is összhangban kell ezzel lenniük.



6. ábra • A $\text{La}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{CoO}_{3-\delta}$ EMS-módban szobahőmérsékleten felvett Mössbauer-spektrumai a szintézis után (a), 650°C -os CO_2 -atmoszférás hőkezelés után (b), valamint 825°C -os CO_2 -atmoszférás hőkezelés után (c)

Valóban, a 7. ábra tanúsága szerint, ha megtekintjük a legfelső spektrumot, akkor a szextettek intenzitásvisszonya éppen fordított!

A szén-dioxiddal történő reakció szintén nagyon érdekes eredményt szült, hiszen az látható, hogy az EMS-esetben a spektrumok lényegében nem változtak, míg a TMS-esetben még egy harmadik szextett is megjelent, és a korábbi kettő intenzitásvisszonya kiegyenlítődt. Ebből arra következtettünk, hogy a szén-dioxiddal tulajdonképpen a vas reagált, míg a kobalt visszamaradt egy tisztán kobaltot tartalmazó brownmillerit fázisban:

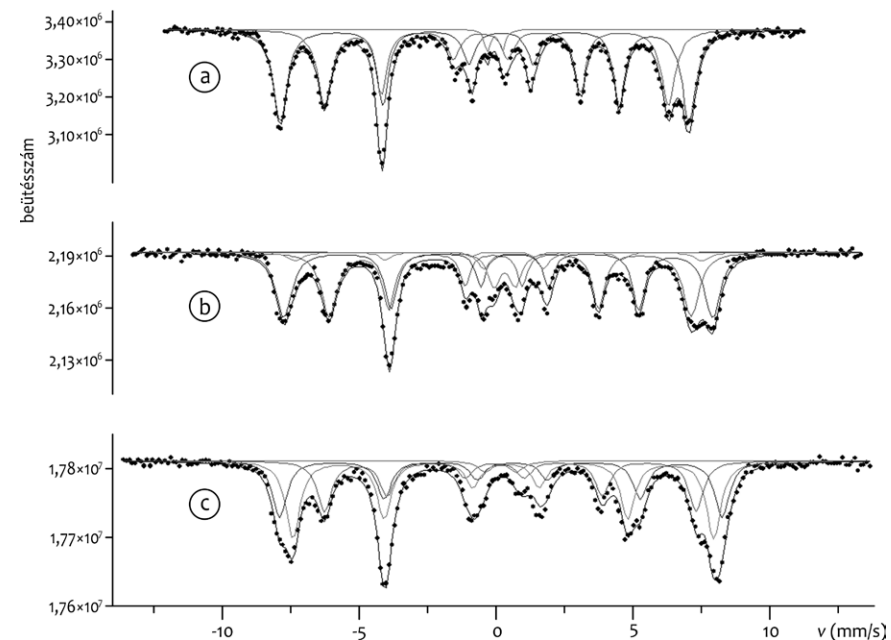


Ez tökéletes összhangban van azzal, hogy a Co jobban kedveli az alacsonyabb koordi-

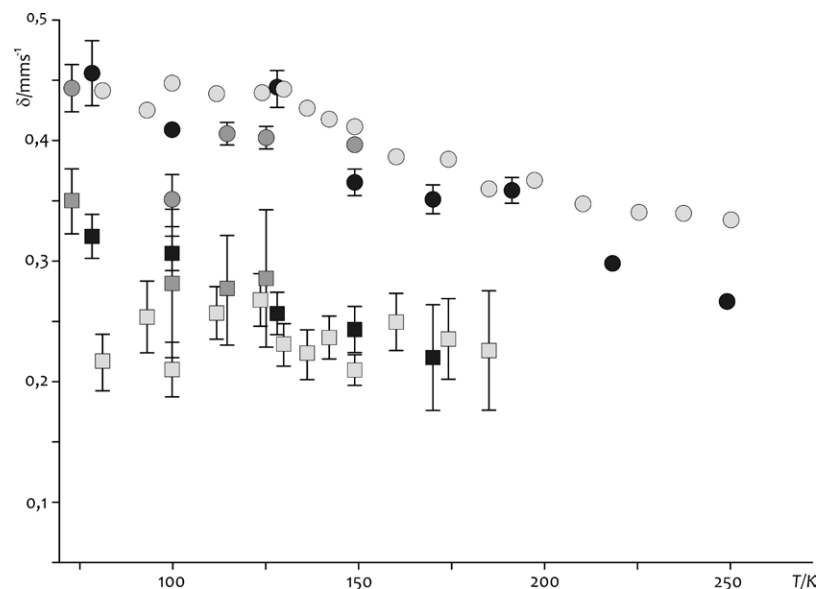
nációs számot, mint a vas, hiszen a (Sr,Ca) Fe_2O_4 spinell ferritben minden vas (Fe^{3+}) oktaédes környezetben van.

A $\text{La}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{CoO}$ vizsgálata

A $\text{La}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{CoO}_{3-\delta}$ ugyancsak perovszkit szerkezettel jellemezhető, és attól különlegesebb az előző példánál, hogy itt az „A” kationpozícióba nem kettes, hanem hármas oxidációfokú elemet helyettesítünk (lantánt). Ez még bonyolultabb vakanciaszerkezethez, illetve az oxidációfokok megváltozásához vezethet. SrCoO_3 ugyanis nem létezik (értsd: egy vegyület tisztán négyes oxidációfokú kobalttal), de létezik LaCoO_3 tisztán Co^{III} -mal (a római szám az oxidációfokot jelöli). Ugyanakkor, innen indulva, valamennyi Sr-helyettesítés (esetünkben 20%) kikényszeríthet



7. ábra • A $\text{Sr}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{Fe}_{0,5}\text{Co}_{0,5}\text{O}_{3-\delta}$ TMS-módban szobahőmérsékleten felvett Mössbauer-spektrumai a szintézis után (a), 650°C -os CO_2 -atmoszférás hőkezelés után (b), valamint 825°C -os CO_2 -atmoszférás hőkezelés után (c)



8. ábra • A paramágneses (körök) és a ferromágneses (négyzetek) fázisban mért izomereltolódás (δ) $\text{La}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-\delta}$ -ban emissziós Mössbauer-mérések alapján különböző hőmérsékleteken ($x=0-0,025$)

valamennyi Co^{IV} -állapotot, mivel a Sr kizárólag Sr^{II} hajlandó lenni. (Az „ $\text{O}_{3-\delta}$ ” megjelölés arra utal, hogy tudjuk, hogy az oxigén-stöchiometria nem éri el a 3-at, de annak közelében van.)

Mindennek ott van jelentősége, hogy a $\text{La}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{CoO}_{3-\delta}$ ún. kolosszális mágneses ellenállású anyag, vagyis hogy viszonylag kis mágneses tér hatására elektromos ellenállása jelentősen megváltozik (ilyeneket előszeretettel használnak mágneses adathordozók olvasófejeiben, hiszen ez nem más, mint mágneses-elektromos jelkonverzió). Ez a tulajdonsága pedig a Co^{III} és Co^{IV} állapotok kölcsönhatásához köthető (kettős kicserélődés).

Ezt az anyagot számos különböző szintézis, oxigénezettségi állapot, esetleg vastartalom és hőmérséklet esetén vizsgáltuk (Homonnay et al., 2003; Klencsár et al., 2004; Németh et al., 2007ab). Megállapításaink két

olyan felfedezés köré csoportosíthatók, amelyek tipikusan csak Mössbauer-módszerrel voltak elérhetőek.

Az egyik eredményünk annak kimutatása, hogy a hőmérséklet csökkenésével mágneses átalakulás megy végbe: a paramágneses állapot ferromágnessé alakul. Az átalakulásban az a különleges, hogy igen tág hőmérséklet-intervallumban zajlik.

A másik „felfedezés” azt jelentette, hogy észrevettük: bár spinek rendeződése általában nem jár az elektronsűrűség megváltozásával, esetünkben a paramágneses és a ferromágneses fázisban mért izomereltolódás értéke különbözött (8. ábra). Ez azon túl, hogy összhangban van azzal, hogy a mágneses átalakulás elektronszerkezeti változással jár, és ezért van kolosszális mágneses ellenállás, azt is igazolta, hogy a vezetőképesség növekedése (ezt az izomereltolódás csökkenése jelzi, mivel

a vas 3d pályáján lokalizált elektronok egy része delokalizálódik) kizárólag a ferromágneses klasztereknek köszönhető, és nem egy átlagos tömbfázis-sajátosság.

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a Mössbauer-spektroszkópia annak ellenére, hogy nagy energiájú sugárzást használ fel mérési célra, rendkívül csekély kémiai különbségek kimutatására is alkalmas lehet

adott rendszerek esetén. A tárgyalt rendszerek még számos olyan vegyületet foglalnak magukban, amelyek vizsgálata jelentős technológiai fejlesztéseket szolgálhat.

Kulcsszavak: *Mössbauer-spektroszkópia, emissziós Mössbauer-mérés, perovszkit, ferrát, kobaltát, kolosszális mágneses ellenállás, széndioxid-abszorber*

IRODALOM

- Homonnay Zoltán – Nomura K. – Juhász G. – Gál M. – Sólymos K. – Hamakawa S. – Hayakawa T. – Vértes A. (2002): Simultaneous Probing of the Fe and Co-sites in the CO_2 -absorber Perovskite $\text{Sr}_{0,95}\text{Ca}_{0,05}\text{Co}_{0,5}\text{Fe}_{0,5}\text{O}_{3-\delta}$: A Mössbauer Study. *Chemistry of Materials*. **14**, 1127–1135. DOI: 10.1021/cm011190v
- Homonnay Zoltán – Klencsár Z. – Kuzmann E. – Németh Z. – Rajczy P. – Kellner K. – Gritzner G. – Vértes A. (2003): Study of $(\text{Ln Sr})(\text{Fe Co})\text{O}_{3-\delta}$ Type CMR Materials by ^{57}Co Emission Mössbauer Spectroscopy. *Solid State Phenomena*. **90–91**, 165–170. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP90-91.165
- Juhász G. – Homonnay Z. – Nomura K. – Hayakawa T. – Hamakawa S. – Vértes A. (2001): Microstructural Study of the CO_2 -absorption in $\text{Sr}_x\text{Ca}_{1-x}\text{Fe}_{0,5}\text{Co}_{0,5}\text{O}_{3-\delta}$. *Solid State Ionics*. **139**, 219–231. DOI: 10.1016/S0167-2738(01)00690-7
- Klencsár Z. – Németh Z. – Homonnay Z. – Kuzmann E. – Gritzner G. – Cziráki Á. – Kotsis I. – Nagy M. – Vértes A. (2004): Colossal Magnetoresistance in Focus: Studies of Different CMR Materials by Mössbauer Spectroscopy. *Journal of Nuclear and Radiochemical Sciences*. **5**, R1–R8. • <http://www.soc.nii.ac.jp/jnrs/paper/JN51/jo51Klencsar.pdf>
- Németh Z. – Homonnay Z. – Árva F. – Klencsár Z. – Kuzmann E. – Hakl J. – Vad K. – Mészáros S. – Kellner K. – Gritzner G. – Vértes A. (2007a): Mössbauer and Magnetic Studies of $\text{La}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{CoO}_{3-\delta}$ CMR Perovskite. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. **271**, 11–17. • <http://www.springerlink.com/content/1133705230663137/fulltext.pdf>
- Németh Z. – Homonnay Z. – Árva F. – Klencsár Z. – Kuzmann E. – Vértes A. – Hakl J. – Mészáros S. – Vad K. – de Châtel, P. F. – Gritzner G. – Aoki, Y. – Konno, H. – Greneche, M. (2007b): Response of $\text{La}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{CoO}_{3-\delta}$ to Perturbations on the CoO_3 Sublattice. *European Physical Journal B*. **57**, 257–263. • <http://www.springerlink.com/content/kw328j8384563803/fulltext.pdf>
- Nomura, Kiyoshi – Homonnay Z. – Juhász G. – Vértes A. – Donen, H. – Sawada, T. (2002): Mössbauer Study of $(\text{Sr,Ca})(\text{Fe,Co})\text{O}_{3-\delta}$ for Rapid CO_2 Absorption at High Temperatures. *Hyperfine Interactions*. **139**, 297–305. • <http://www.springerlink.com/content/mq1745g403418275/fulltext.pdf>

RADIOANALITIKA AZ ATOMERŐMŰBEN

Pintér Tamás

osztályvezető,
MVM Paksi Atomerőmű
pinter@npp.hu

Elter Enikő

főosztályvezető,
MVM Paksi Atomerőmű

Nehéz lenne pontos feleletet adni arra a kérdésre, hogy mikor kezdett az ember kémiai, anyagismereti tevékenységgel foglalkozni, és mikor jutott az első kémiai ismeret birtokába. Őseink kétségkívül tisztában voltak a földre hullott gyümölcs erjedésével, a barlangrajzokhoz festékeket használtak, tüzet gyújtottak, fémet olvasztottak. Az egyiptomiak már ötezer éve kozmetikumokat használtak, halottaikat bebalzsamozták. A görög természetfilozófusok nagy hangsúlyt fektettek az anyagok belső tulajdonságainak megismerésére. Megszülettek az első atomelméletek, s az anyag milyenségét magyarázó teóriák.

A kincskeresés, a gyors meggazdagodás vágya, az örök élet titka régóta foglalkoztatta az emberi fantáziát. Az alkimisták célja az arany előállítása volt. Kezdetben a mesteremberek és az alkimisták hasonló módon tevékenykedtek, csak munkájuk végcélja volt más. Az alkimia az anyagátalakítás „tudománya” volt, évezredek történetében voltak olyan szakaszok, amelyek előrevitték az ismereteket.

A XVII–XVIII. század a tudományok forradalmának kora. Egyik kiemelkedő esemény az atomelmélet újraeredése.

Megszületett az elemek rendszerbe foglalása, a Mengyelejev-féle periódusos rendszer. A táblázatban az elemeket atomsúlyuk szerint

csoportosítva a tulajdonságok periodikusan változnak. A táblázatból hiányzó elemeket, sőt, azok tulajdonságait is előre meg lehetett jósolni. Az atomelmélet folyamatosan fejlődött, új alapokra helyeződtek a természettudományok. Megdőlt az atom mint az anyag legkisebb, oszthatatlan építőkövének mítosza. Felfedezik, hogy az atom további elemi részekre osztható, s ez az osztás még napjainkban sem ért véget.

1896-ban *Henri Becquerel* felfedezi, hogy a radioaktív sugárzás az atommagban keletkezik. 1898-ban *Pierre* és *Marie Curie* uránszurokércsel folytatott kísérletei új tudományágak születését indították el. Megszületik a nukleáris kémia, a radiokémia, sugárhatás-kémia. Felfedezik az izotópokat, a maghasadást, az elemek átalakítását, a mesterséges izotópokat. Megszületik egy modern „alkímia”.

A kémia fejlődésében több ezer év kellett a radioaktív sugárzás felfedezéséig, de nem telik el további száz év, és energiatermelés indul Pakson.

Közben sajnos az emberiség megmutatta, hogy mint mindent, az atomenergiát sem csak békés célokra tudja használni. Az atom- és hidrogénbombák robbantásával a természetet elszennyezte mesterséges izotópokkal, és megmutatta, hogy békés célra használt

berendezésekkel is tud kellemetlen meglepetéseket okozni. Ennek eddigi legsúlyosabb következménye a csernobili katasztrófa.

Az új tudományágak közül a *magkémia* vagy nukleáris kémia a fizika és a kémia határterülete. Magában foglalja a magfizika alkalmazásait a kémia részterületein, és a magfizika területén alkalmazott kémiai módszereket, a radiokémiát. Az előbbire példa a nukleáris szerkezetvizsgáló módszerek, az aktivációs analízis, sugárhatás-kémia, az utóbbira az izotópdúsítás és a nuklidsválasztás kémiai módszerekkel.

Az *analitikai kémia* a kémia különböző anyagok mennyiségi és minőségi elemzésével foglalkozó területe. A *radioanalitika* tág értelemben olyan analitikai kémia, ahol a vizsgált anyag radioaktív. A klasszikus analitikában általában nem különböztetik meg az izotópokat, míg a radioanalitika mindig izotópokkal dolgozik. A radioanalitika felhasználja mindazokat az ismereteket, módszereket, amelyeket a klasszikus analitika területén dolgoztak ki, kiegészítve az izotópok eltérő tulajdonságaival kapcsolatos, új ismeretekkel.

Az atomreaktorok – a paksi is – egy hatalmas „alkimista” műhely, ahol a természetben található anyagokból más anyagok, izotópok keletkeznek felaktiválódás, maghasadás során. Az atomreaktorok működtetésénél az a cél, hogy ezeket az anyagokat lehetőség szerint mind bent tartsuk a zárt primer körben, nagy részüket a fűtőelem burkolatán belül, de előfordulhat ezen anyagok kikerülése. A nukleáris folyamat szabályozásához különböző kémiai adalékok szükségesek. Ezek meghatározásához, annak ellenére, hogy a vizsgált közeg radioaktív, klasszikus analitikai módszereket használunk. Az adalékokból származó felaktiválódott termékek meghatározása azonban már a radioanalitika tárgykörébe tartozik.

Ennek legegyszerűbb módja a gamma-spektrometriai elemzés, ahol együtt van a minőségi és mennyiségi elemzési módszer.

A blokkok indulásakor könnyű helyzetben voltunk, mert tiszta volt a primer kör, a méréshez legtöbbször elegendő volt a felezési idők alapján történő elkülönítés, a minta hűtése. Néhány alacsony aktivitású, de fontos izotópnál kémiai elválasztást alkalmaztunk. Idővel egyre több izotóp jelent meg a hűtővízben, ami kémiai elválasztási módszerek kidolgozását igényelte. Itt klasszikus kémiai elválasztások és izotópeffektuson alapuló módszerek kombinációját kell érteni. Az első mérés-technikai kihívást a csernobili katasztrófa következményei jelentették. Megjelentek olyan izotópok, amelyek addig nem voltak detektálhatók a tömör fűtőelemekkel üzemelő blokkokon. Ez az esemény vonta maga után olyan radioanalitikai módszerek kidolgozását, amelyekre később szükségünk lett.

A 2003-as súlyos üzemzavar után találkoztunk addig nem látott izotópokkal, aktivitáskoncentrációkkal. Hatalmas mérés-technikai tartományokat kellett áthidalni néhány tized Bq-tól több száz MBq-ig. Hasonló történt korábban Csernobil esetében, de az a környezeti mérés-technika területét érintette csak.

Speciális technikákat dolgoztunk ki, például a koronaéteres és kromatográfias izotópcsoport-elválasztást a transzuránokra és a stronciumizotópokra. Új mérés-technikai berendezéseket kellett csatornába állítani: alfa-spekroszkópiát, folyadékszcintillációs számológót, plazmagerjesztésű tömegspektrométert (ICP-MS).

Mérés-technika a gyakorlatban

Az analitikai gyakorlatban a mérési eredmények megadásához különböző mérési módszereket kell igénybe venni. Ezek lehetnek

klasszikus analitikai módszerek (titrálás, tömegmérés) vagy műszeres mérések. A klaszikus analitika terén egyre jobban terjednek a műszeres mérések, egyre korszerűbb berendezések kerülnek forgalomba. A radioanalitikában a kezdetektől kizárólag közvetett, műszeres mérésekre volt lehetőség. A radioaktív anyagokat, a radioaktivitást az atomok által kibocsátott sugárzásuk alapján lehetett detektálni, azonosítani.

Az atomerőmű esetében is elsődleges szempont volt a megfelelő érzékenységű és kapacitású mérőberendezések beszerzése. Az indulási időszakban a legfontosabb mérés technikai kihívás a gamma- és béta-sugárzás mérése, és ezen keresztül a radioaktív izotópok minőségi és mennyiségi meghatározása volt.

Az 1980-as évek elején sikerült beszerezniünk egy gamma-spektrometriai berendezést az amerikai Canberra gyártótól, egy Series 80 típusú sokcsatornás analizátort és a hozzá tartozó Ge(Li) félvezető-detektort. Ez az egyik legkorszerűbb berendezés volt, de a technika fejlődésével cserére szorult. Jelenleg egy szintén Canberra gyártmányú, hálózatba integrált Genie 2000 szoftverrel üzemelő gamma-spektrometriás mérőrendszert használunk.

A félvezetődetektor-típusok is változtak. A kezdeti Ge(Li)-detektorokat a korszerűbb HPGE-detektorok váltották fel. A Pakson használt ilyen detektorokat már gyakorlatilag tölteni sem kell cseppfolyós nitrogénnel, mert a beépített hűtőrendszer újra cseppfolyósítja az elpárolgó nitrogént. A Ge(Li)- és a HPGE-detektorok közötti különbség az, hogy míg a Ge(Li)-detektort állandóan a cseppfolyós nitrogén hőmérsékletén kell tartani, addig a HPGE hűtése csak a mérés idején szükséges. Azonban a gyakorlatban a HPGE hűtése is folyamatos, így a mérések között nincs szükség a lehűlési idő kivására.

A minták béta-sugárzását kezdetben a magyar Gamma Művek által gyártott, egy- és többcsatornás béta-számlálókkal oldottuk meg, amelyek egy árnyékoló ólomtoronyba szerelt plasztik szcintillátorral mérték a béta-sugárzást. Jelenleg a minták béta-sugárzásának méréséhez egy szintén Canberra gyártmányú béta-számlálót használunk, amely már számítógépes környezetbe integrálható.

A 2003-as súlyos üzemzavar után a műszerpark további bővítésére kényszerültünk. Ekkor szereztünk be egy Canberra gyártmányú alfa-spektroszkópiás egységet és egy Packard gyártmányú Tri-Carb b folyadék-szcintillátort a trícium és a stroncium izotópjainak meghatározására.

A bemutatott műszerpark lehetővé teszi a mérést, de a mintákat megfelelően elő kell készíteni ahhoz. Erre szolgál a címben is szereplő radioanalitika.

Radioanalitika

A paksi blokkok indulásáig nem volt nukleáris mérés technikai igény. A blokkok indulása után jelentek meg először a mesterséges radioaktív termékek. Először az adalékanyagok felaktiválódott termékei (^{42}K , ^{24}Na), majd az ausztenites szerkezeti anyagokból bekerült korróziós termékek aktív nuklidjai, a Fe, Cr, Co, Ni izotópjai, valamint a hegesztési és forrasztóanyagok (Ag, W) izotópjai. Ezek mind gamma-sugárzóak, gamma-spektrometrián könnyen meghatározhatók. Ezek mellett lassan megjelentek a fűtőelemek felületén gyártáskor rajta maradt uránszennyezésből származó hasadási termékek izotópjai (^{131}I , ^{132}I , ^{133}I , ^{134}I , ^{135}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs). Megjelentek továbbá a nemesgázok radioaktív izotópjai is, amelyek közül a Kr és Xe izotópok a hasadás során keletkeznek, míg a ^{41}Ar a természetes Ar aktivációs terméke.

A radioanalitikai feladatot kezdetben ezeknek az izotópoknak az egymás melletti meghatározása jelentette. A K és Na izotópjai a beadagolt vegyszerek magas koncentrációja miatt domináns volt, de felezési ideje elég rövid, így a minta hűtésével, pihentetésével (amelynek során az izotóp aktivitása a bomlás miatt lecsökkent) a többi izotóp aktivitása mérhetővé vált. A nemesgáz-izotópokat gáz-szeparáció után a gázfázisból határoztuk meg. Radioanalitikai elválasztást csak a jód, a cézium, valamint az Sr és Ba rövid felezési idejű izotópjainak meghatározása igényelt. Ezen izotópok a fűtőelem burkolati hibáinak indikátorizotópjai, ezért meghatározásuk fontos volt a működés biztonsága szempontjából.

A jód- és céziumizotópok elválasztására az erőmű szállítója egy célberendezést adott részünkre. Ez a félautomata berendezés lehetővé tette a jód- és céziumizotóp-csoportok szelektív elválasztását a többi izotóptól. Ehhez egy ezüst-jodiddal és egy réz-ferrocianiddal impregnált, kationcserélő tulajdonságú szövetet használtak. A berendezés a megfelelő kör alakúra vágott szövetet adott ideig áztatta és mozgatta a mintában. Az izotópok megkötődése után lehetett a minták aktivitását meghatározni. A kémiai elválasztó egységhez tartozott egy gördíthető ólomtorony NaI(Tl) szcintillációs detektorral és egy számlálóegység. A mérés eredménye az összes jódkaktivitás és az összes céziumaktivitás volt, nem volt igény izotópszelektív mérésre az eredeti előírás szerint. Az aktivitáskorlátok is összes aktivitásban voltak megadva. Miután az erőműnek volt félvezető detektoros gamma-spektrométere, kezdetektől izotópszelektív méréseket végeztünk. Így a célberendezés az első próbaüzem után a raktárba került.

A gammasugárzó Sr- és Ba-izotópok meghatározása is a kationcserélő szövet segítségével

vel történt. A szövetet szálaira bontva egy oszlopot kellett vele megtölteni. A szöveten átöntve a mintát, és NaCl oldattal lemosva a Ba- és Sr-izotópok karbonát formában lecsapathatók voltak. A csapadék gamma-spektrometriás mérésevel a Ba- és Sr-izotópok aktivitáskoncentrációja meghatározhatóvá vált.

A Cs és az Sr, Ba elválasztására a mai napig ezeket a módszereket használjuk, mert kielégítően szelektívek és gyorsak. Az előkészített szövet megtartására kereskedelmi szűrőtartót használunk, amin a mintát egy perisztaltikus szivattyú hajtja át.

Az orosz szállító javaslatára egy újabb elválasztási módszert próbáltunk ki az 1980-as évek végén. Ez már a korszerűbb félvezető gamma-spektrometriára épített. Egy szivacsos teflontablettákból összeállított kromatográfiás oszlopon történt az elválasztás. A tabletták az oszlopban felülről lefelé az alábbi vegyületekkel voltak impregnálva: dekan a lebegő és kolloid korróziós részek megkötésére, trikloramín (TOA) a jódok megkötésére, di-2-etil-hexil ortofoszforsav a stroncium és bárium megkötésére, ammónium foszformolibdát a cézium megkötésére. A módszer gyors volt és viszonylag szelektív, de az impregnált teflontabletták beszerzése bonyolult volt. Minden mérés új tablettát igényelt volna.

A jódkizotópok meghatározására több elválasztási technika kipróbálása után egy oxidációs-redukációs elválasztást használunk, amely kellően gyors a rövid felezési idejű izotópok meghatározására, és biztosítja a megfelelő szelektivitást.

Egy speciálisan kialakított dupla edény egyik felébe a mintához inaktív jódot adunk kálium-jodid formában, és kálium-jodát hozzáadásával elemi jóddá oxidáljuk. Az elemi jódot levegőárammal áthajtjuk a másik

térfélbe, ahol nátrium-tioszulfát oldat van, amelyben a jód redukálódik, és jodid formában oldva marad. Az inaktív jóddal együtt az aktív jódizotópok is átkerülnek a tioszulfátos oldatba, amelynek gamma-spektrometriás mérésével határozzuk meg a jódizotópok aktivitásának koncentrációját.

A 2003-as üzemzavar utáni napokban külső intézetek (BME Nukleáris Technikai Intézet, Pannon Egyetem, Pécsi Tudományegyetem) siettek a segítségünkre a mérések elvégzésére, de rövid időn belül be kellett rendezkedni a saját mérés technikára. Az első és legfontosabb lépés az urán- és transzurán-izotópok meghatározása volt. Itt egy jól bevált technikát honosítottunk meg a BME Nukleáris Technikai Intézet hathatós segítségével.

Az elválasztást extrakciós kromatográfiával végezzük speciális ioncserélő gyanták használatával. Ezek a gyanták egyes elemekre, elemcsoportokra szelektívek, és pH-változtatással az egyes izotópok az alfa-spektroszkópia által megkövetelt tisztasággal, szelektivitással különíthetők el. Az elválasztáshoz UTEVA márkanevű gyantát használunk, amellyel kúrium, amerícium, plutónium és urán frakció különíthető el. Az alfa-spektrometriás méréshez a vékony réteget neodímium(III)-nitrát és hidrogén-fluorid hozzáadásával képződő NdF_3 -csapadék segítségével hozzuk létre. A NbF_3 -csapadékkal együtt az urán- és transzurán-izotópok is kvantitatívan leválnak (a leváló csapadék felületén adszorbeálódnak). A levált csapadékot 0,1 mikrométer porusméretű membránszűrőn szűrjük le, ami a spektrométerbe közvetlenül behelyezhető.

Az alfa-sugárzó izotópok meghatározására kidolgoztunk egy gyors módszert, amelynek lényege, hogy a méréshez szükséges vékonyréteget acéllapra párolással hozzuk létre. Ekkor azonban a primerköri hőhordozó

minták magas bórsavtartalma lehetetlenné tenné a megfelelő vékonyságú, önabszorpciómentes réteg létrehozását. Ezért a bepárolt rétegből a bórsavat etilalkohol vagy metilalkohol segítségével illékony bórsav-észter formájában elszublimáltatjuk, s így előáll a mérésre alkalmas réteg. E módszer spektrális felbontása lényegesen rosszabb, mint az extrakciós kromatográfiával létrehozotté, de az üzemviteli beavatkozások végrehajtásához elegendően pontos eredményt szolgáltat.

Az uránkoncentrációk és az uránizotóparány mérésére rendelkezünk egy ICP-MS-tömegspektrométerrel, ami alacsonyabb uránkoncentrációk kimutatására alkalmas, mint az alfa-spektrometria. Ez a berendezés átmenet a klasszikus analitika és a radioanalitika területe között.

A ^{89}Sr és ^{90}Sr elválasztásához speciális szelektivitású koronaétert használunk. Az elválasztás elvi alapja, hogy a koronaéter olyan speciális gyűrűs vegyület, amelynek gyűrűjébe csak meghatározott méretű atom fér be. A leggyakoribb koronaéterek etilénoksi ($\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}$) egységek ismétlődéséből jönnek létre. A *korona* szó a kialakult molekulaszerkezetre utal, vagyis az éter mint egy korona veszi körül a megkötött atomot. (A stroncium Sr elválasztására szolgáló koronaéter megnevezése: *4,4'(5')-di-t-butylcyclohexano 18-crown-6*).

Az Sr elválasztása a koronaéterrel megtöltött oszlopon, extrakciós kromatográfiával történik. Az elválasztás jóságát gamma-spektrometriásan, a kémiai kitermelést inaktív Sr-hordozó hozzáadásával, gravimetriásan végezzük. A szűrletből a Sr-ot oxalát formában csapadékba visszük. A csapadékot salétromsavban oldjuk, és szcintillációs koktél hozzáadása után folyadékszcintillációs mérőberendezésben megmérjük az aktivitását. A min-

tában egy időben jelen lévő ^{89}Sr és ^{90}Sr (^{90}Y) izotópok aktivitásának meghatározásához két mérést kell végezni eltérő időpontokban, és a bomlási idők figyelembe vételével az egyedi aktivitásértékek meghatározhatók.

A 2003 után kialakított mérési gyakorlat és műszerpark alkalmas az erőmű működtetése szempontjából szükséges minden radioanalitikai probléma megoldására. A korszerű radioanalitika egyre fontosabb szerepet tölt be az erőművek életében. Az utóbbi idők sajnálatos eseményei (Fukusima/Japán, Browns Ferry/USA) is fokozták a radiokémiai mérések, a radioanalitika jelentőségét.

Az elvégzett mérések eredményei alapján fontos információk nyerhetők a primerköri rendszerek, a fűtőelemek állapotáról. Továbbá a környezeti kibocsátások, a környezeti

terhelés becsléséhez is forrásadatként szolgálnak. A radioanalitikai eredmények felhasználásával a korróziós folyamatokról, a korróziós termékek transzportjáról is következtéseket vonhatunk le. Egyes klasszikus analitikai mérések kontrolljához is felhasználhatók az eredmények, például a pH szabályozásánál használt KOH-koncentráció változásának elemzése a ^{42}K izotóp alapján, továbbá az ausztenites acél legnagyobb ellensége, a klorid koncentrációjának nyomon követésére a ^{38}Cl izotóp segítségével.

Látható, hogy az atomerőmű biztonságos működése szempontjából elengedhetetlenül fontosak a radioanalitikai mérések, az általuk szolgáltatott eredmények.

Kulcsszavak: *atomerőmű, radioanalitika*



Tanulmány

A MAGYARORSZÁGI LÉGKÖRI SZÉNDIOXID-MÉRÉSEK HARMINC ÉVE

Haszpra László

az MTA doktora,
Országos Meteorológiai Szolgálat
haszpra.l@met.hu

Nemrég emlékeztünk meg a folyamatos légköri szén-dioxid-koncentráció-mérések megkezdésének 50. évfordulójáról (Haszpra, 2008). Mára már a hazai mérések idősorának hossza is eléri a harminc évet, ami alkalmat teremt arra, hogy röviden felvillantsuk a hazai mérések történetét és az ez idő alatt tapasztalt változásokat.

Bevezetés

A 19. század második felében már ismert volt, hogy a légkör széndioxid-tartalma fontos szerepet tölt be a Föld éghajlatának alakításában (Tyndall, 1861). Ma már azt is tudjuk, hogy geológiailag rövid időskálán az éghajlati rendszer szabályzásában a Nappól érkező energia mellett a szén-dioxid játssza a meghatározó szerepet (Lacis et al., 2010). Bár már több mint egy évszázada is tudott volt, hogy az emberiség a fosszilis tüzelőanyagok elégetése révén nagymennyiségű szén-dioxidot juttat a légkörbe, az esetleges következmények csak akkor kerültek az érdeklődés homlokterébe,

amikor az 1950-es években végzett óceáni és bioszférikus radiokarbon (^{14}C) -vizsgálatok jelezték, hogy a kibocsátott szén-dioxid egy része nagy valószínűséggel a légkörben marad, növelve a légköri koncentrációt (Revelle – Suess, 1957). Ennek tisztázására indította meg Charles David Keeling (Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California, USA) az 1957/1958-as Nemzetközi Geofizikai Év keretében a folyamatos légköri szén-dioxid-koncentráció-méréseket a hawaii Mauna Loa Observatóriumban és az Amerikai Egyesült Államok déli-sarki kutatóállomásán. A mérések megindításának tudománytörténeti háttérét a korábbi tanulmányban (Haszpra, 2008) részletesen bemutattuk.

Keeling mérései rövid időn belül bebizonyították a szén-dioxid légköri halmozódását (Pales – Keeling, 1965). Ezt követően a Meteorológiai Világszervezet (WMO) – a globális éghajlatváltozás veszélye miatt – kiemelt figyelmet szentelt a légköri széndioxid-tartalom megfigyelésének. A széndioxid-koncent-

ráció mérését az 1960-as évek végén életre hívott globális háttérlevegőszennyezettség-mérő hálózat (Background Air Pollution Monitoring Network [BAPMoN], a mai Global Atmosphere Watch [GAW] hálózat elődje) alapállomásainak (baseline station) kötelező feladatává tette (WMO, 1974).

A hazai mérések története

1978-tól 1992-ig Mészáros Ernő (ma az MTA tagja) vezetésével az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) adott otthont a WMO által elsősorban a fejlődő országok szakemberei számára szervezett, a háttér-levegőszennyezettség mérésével foglalkozó továbbképző tanfolyamoknak. A demonstrációs eszközöket ehhez a WMO biztosította. Így jutott az OMSZ egy Siemens ULTRAMAT 3 típusú, infravörös elnyelésen alapuló széndioxid-monitorhoz. A műszer 1981-ben az akkor elkészült K-pusztai (Kiskunság, $46^{\circ}58'N$, $19^{\circ}33'E$) mérőállomásra került, ahol 1981. június 5-én indultak meg a folyamatos légköri mérések. A WMO kimutatása szerint Európában ekkor még csak Németországban és Olaszországban működtek CO_2 -mérő állomások, miközben világviszonylatban harminchárom állomás jelentett adatokat (URL1).

Míg korábban a mérőhelyek kijelölésénél előnyben részesítették a bioszférától távoli helyszíneket (magas hegycsúcsok, sarkvidéki és sivatagi területek, kontinensektől távoli óceáni szigetek) a ciklikusan fotoszintetizáló-respiráló vegetáció keltette széndioxid-koncentráció-ingadozás, „zaj” elkerülésére, az 1980-as évek végén, az 1990-es évek elején fordulat következett be a légköri szén-dioxid mérési stratégiájában. A források és nyelők földrajzi elhelyezkedésének vizsgálatára kifejlesztett ún. inverz terjedési modellek ugyanis ekkortájt mutatták ki, hogy a bioszféra

sokkal jelentősebb szerepet játszik a légkör globális széndioxid-mérlegében, mint azt korábban gondolták. Ez a tény felértékelte a vegetációval borított területeken korábban telepített mérőállomásokat, így K-pusztát is, és további ilyen állomások létrehozásához adott lendületet. Kihhasználva a meglévő mérési tapasztalatokat és a tudomány együttműködések támogatására ekkor alakult Magyar–Amerikai Közös Alap nyújtotta lehetőségeket, 1992-ben az Országos Meteorológiai Szolgálat és az Amerikai Egyesült Államok Nemzeti Óceán- és Légkörkutató Hivatala (National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA) közös tervet dolgozott ki a magyarországi mérések továbbfejlesztésére.

A mérések minél nagyobb területi reprezentativitásának eléréséhez magas (>100 m) mérőtoronyra lett volna szükség, s ez K-pusztán nem állt rendelkezésre. Pénzügyi okokból csak már létező torony felműszerezése jöhetett szóba. Számos szempont (magasság, légáramlás viszonylagos homogenitása, közvetlen antropogén szennyezőforrások távolsága stb.) mérlegelése után az Antenna Hungária Rt. hegyhátsági adótoronyára esett a választás ($46^{\circ}57'N$, $16^{\circ}39'E$). Európa első, kifejezetten hosszú távú megfigyelésre szánt magas toronyos széndioxid-mérő állomásán 1993 márciusától palackos levegőminta-vételek, majd 1994 szeptemberének végétől négy magassági szintben (10 m, 48 m, 82 m, 115 m) folyamatos szén-dioxid-koncentráció-mérések zajlanak. 1997-től az ELTE Meteorológiai Tanszékével együttműködve folyamatosan mérjük a talaj+növényzet és a légkör közötti széndioxid-forgalmat. Számos egyéb, üvegházhatású gázokkal kapcsolatos mérés után, 2008-tól az MTA ATOMKI-val már lehetőségünk nyílt a légköri szén-dioxid ^{14}C -tartalmának mérésére is.

A K-pusztán és Hegyhátsálon 1994 és 1999 között végzett párhuzamos mérések bebizonyították, hogy míg az éjszakai mérések erősen a helyi viszonyokat tükrözik, addig a nappali, kora délutáni mérések lényegi különbséget nem mutatnak a két helyszín között (Haszpra, 1999). A két adatsor egyetlen homogén adatsorként kezelhető, így ma már – nemzetközileg is kiemelkedően – harmincévnyi széndioxidkoncentráció-adat áll rendelkezésre az elemzésekhez. A mérési adatok a Meteorológiai Világszervezet adatbázisában, illetve számos európai kutatási projekt (pl. *CarboEurope*) adatbázisában nyilvánosan elérhetők, ezzel is segítve a csak nemzetközi együttműködésben végezhető éghajlatkutatást.

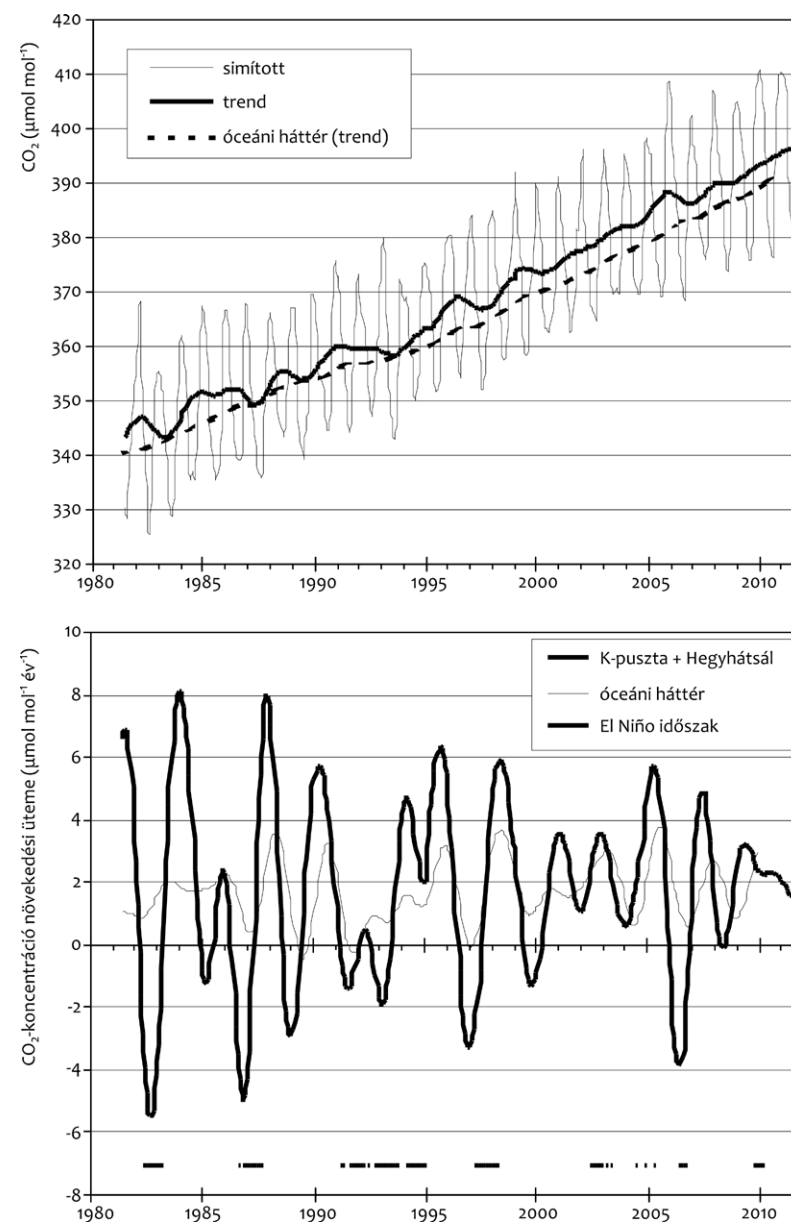
Néhány eredmény

Az 1999-ben megszűnt K-pusztai és az 1994-ben indult hegyhátsági mérések a helyi vegetáció által keltett „zaj” ellenére hűen tükrözik a globális légkörben végbement változásokat (1. ábra). A növekedési ütemben tapasztalható változások lényegesen nagyobbak annál, mint ami a meglehetősen egyenletes antropogén kibocsátás számlájára lenne írható, és időben valamivel megelőzik a közepes északi szélességekre vonatkozó óceáni háttérkoncentráció ingadozását. A változások ugyanakkor jól korrelálnak a Csendes-óceán egyenlítői térségében időnként kialakuló tengervíz-hőmérsékleti anomáliával, az El Niño jelenséggel (1. ábra). Az ingadozások a kontinentális területeken, így Magyarországon is nagyobbak, mint a jelenség által közvetlenül érintett csendes-óceáni térségben. Ez, továbbá az időbeli eltérés azt jelzi, hogy a megfigyelt ingadozások hátterében – az óceáni folyamatokon túlmenően – jelentős szerepet játszik az éghajlati zavar által megbolygatott bioszféra, illetve a globális cirkuláció átmeneti meg-

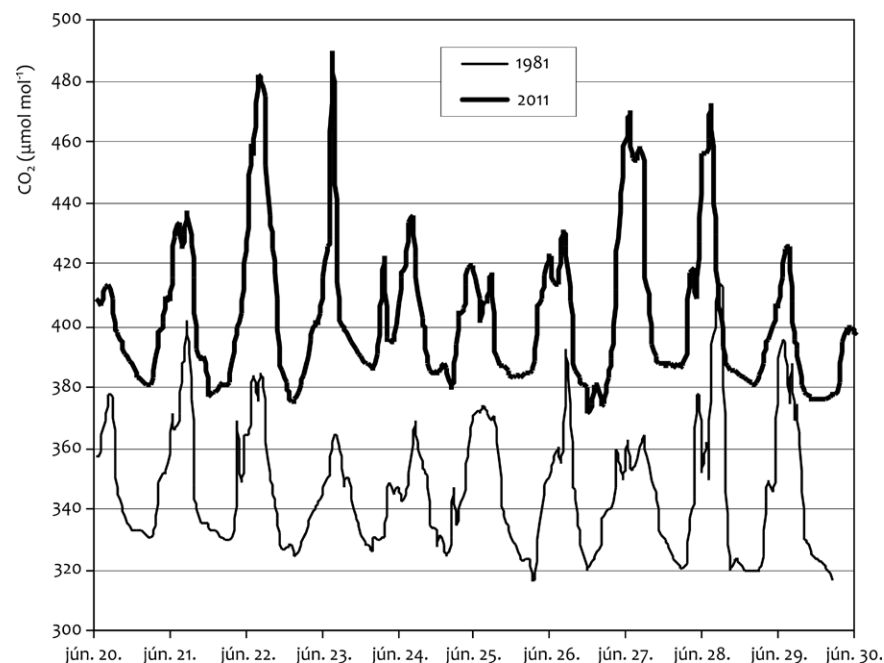
változása. Kivételt képez az 1991–1992-es időszak, amikor a Pinatubo-vulkán kitörése átmeneti lehűlést okozott, elsősorban az északi félgömbön. Ez az alacsonyabb hőmérséklet valamelyest visszafogta a növényi és talajrespirációt, ami az ekkoriban éppen fennálló El Niño jelenség ellenére fékezte a légköri szén-dioxid-koncentráció növekedését.

A Magyarországon mért széndioxid-koncentráció átlagosan $3,5 \mu\text{mol mol}^{-1}$ -al (milliomod térfogatrész, ppm) haladja meg a közepes északi szélességekre becsülhető óceáni háttértérteket (1. ábra). Ez a többlet alapvetően az európai antropogén forrásoknak köszönhető. Az eltérés az ezredforduló táján volt a legnagyobb (kb. $4,5 \mu\text{mol mol}^{-1}$), azóta – összhangban az európai kibocsátás-mérséklési erőfeszítésekkel – valamelyest csökkent. A komoly kibocsátás ellenére mindössze 1%-os többlet jelzi, hogy hosszú légköri tartózkodási ideje miatt a szén-dioxid meglehetősen egyenletesen elkeveredik a bolygó légkörében.

A globális kibocsátás által vezérelt koncentrációnövekedés üteme nem lassul. A mérések első tíz évében (1981–1990) $1,65 \mu\text{mol mol}^{-1} \text{év}^{-1}$ volt, míg az utolsó tíz évben (2001–2011) már $1,95 \mu\text{mol mol}^{-1} \text{év}^{-1}$. Ezek az értékek lényegében megegyeznek a Föld más részein mért értékekkel. Ebben az értelemben a K-pusztai és a hegyhátsági mérőállomás, bár egy erősen iparosított kontinens közepén helyezkednek el, tulajdonképpen globálisan reprezentatívnak tekinthető. A mérések kezdetén, 1981 júniusában a nagy területre reprezentatívnak tekinthető koradélutáni széndioxid-koncentráció $330,3 \mu\text{mol mol}^{-1}$ volt (2. ábra). 30 évvel később ugyane hónapban $383,1 \mu\text{mol mol}^{-1}$ -t mértünk. (Nyári, az éves minimumkoncentráció környéki időszakraól lévén szó, az évszakos változás kiszűrésével számított értékek magasabbak: $343,4$, illetve $396,2 \mu\text{mol mol}^{-1}$.)



1. ábra • A légköri szén-dioxid-koncentráció változása a magyarországi mérések alapján. Az ábrákon összehasonlítás céljából feltüntettük az északi félgömb közepes szélességeire becsült óceáni háttérkoncentrációt, illetve növekedési ütemét is. A felső ábrán a napi mérési adatokra illesztett, a rövid idejű ingadozásokat kiszűrő görbét (simított) és az éven belüli ingadozásoktól megtisztított adatsorra illesztett görbét (trend) tüntettük fel.



2. ábra • A légköri szén-dioxid-koncentráció alakulása Magyarországon a mérések kezdetén, 1981 júniusában és harminc évvel később

A harminc év alatti $52,8 \mu\text{mol mol}^{-1}$ -os növekmény közel fele (45%) az ipari forradalom kezdete óta bekövetkezett növekedésnek.

Laikusok részéről időről időre felmerül a kérdés, hogy miért vagyunk biztosak abban, hogy a légkör széndioxid-koncentrációját az emberi tevékenység növeli? Nem csak az szól az emberi felelősség mellett, hogy egyetlenegy olyan természetes CO_2 -forrást sem ismerünk, amely az elmúlt háromszáz évben lépett volna működésbe egyre nagyobb mennyiségű (ma már több mint 30 Gt év^{-1} [Friedlingstein et al., 2010]) szén-dioxidot juttatva a légkörbe, és nem csak az, hogy az átlagos légköri koncentráció növekedés összhangban van az antropogén kibocsátással. Közvetlen mérések is jelzik az emberi tevékenység hatását.

A természetben a szén két stabil (^{12}C – $\sim 98,9\%$ és ^{13}C – $\sim 1,1\%$) és egy radioaktív izo-

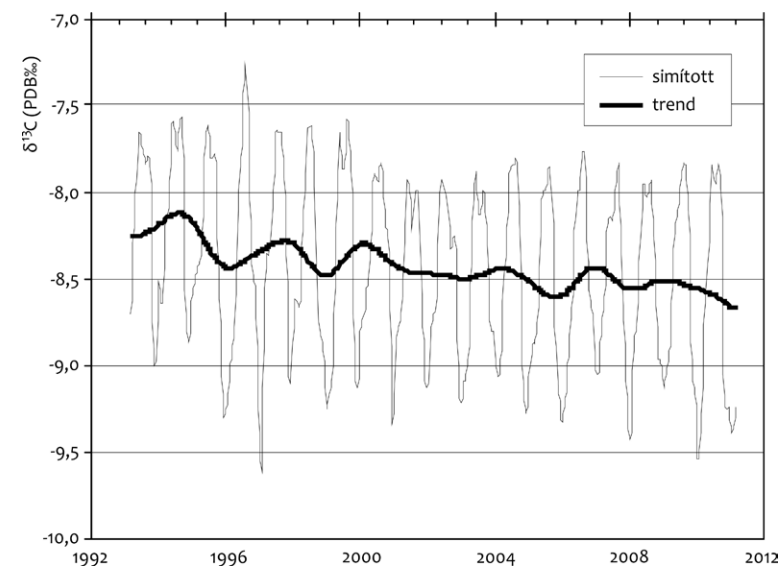
tópja (^{14}C – $\sim 10^{-10}\%$) fordul elő. Utóbbi a Földön természetes körülmények között a légkörben a kozmikus sugárzás hatására keletkezik, és 5730 éves felezési idővel bomlik el. A növényzet a fotoszintézis során a 12 -es tömegszámú szénizotópot tartalmazó szén-dioxidot előnyben részesíti a 13 -as tömegszámú izotóppal szemben, így a biomassza ^{13}C -ban hígabb, mint a légkör. Ha az elhalt szerves anyag nem a szabadban bomlik el, széntartalma nem jut vissza a légkörbe, hanem a földkéregbe kerül, akkor a nem arányos szénizotóp-kivonás miatt a légkör $^{13}\text{CO}_2$ -ban dúsul. Ugyanebből az okból a biomasszából a földkéregben képződött fosszilis tüzelőanyagok ^{13}C izotópban szegényebbek, mint a légkör. A fosszilis tüzelőanyagok felhasználása során a légköri arányokhoz képest kisebb arányba kerül $^{13}\text{CO}_2$ a légkörbe, mint $^{12}\text{CO}_2$,

így a légköri $^{13}\text{CO}_2$ -részarány csökken. A 3. ábrán a hegyhátsági levegőmintákból a NOAA által végzett $^{13}\text{CO}_2/^{12}\text{CO}_2$ -arány vizsgálatának eredménye látható. Az ábrán jól megfigyelhető a növényzet életciklusa által gerjesztett éven belüli ingadozás, továbbá a fosszilis tüzelőanyagokból származó, ^{13}C -ban relatívan szegény szén-dioxid bevétele miatti fokozatos izotóparány-eltolódás.

A légkörben keletkező 14 -es tömegszámú szénizotóp a fotoszintézis révén kerülhet a növényekbe, a szerves anyagba. Az elhalt szerves anyag már nem tud több $^{14}\text{CO}_2$ felvenni, ellenben a benne lévő ^{14}C izotóp geológiailag igen gyors ütemben elbomlik. Az évmilliókkal korábban elhalt szerves anyagból képződött fosszilis tüzelőanyagok gyakorlatilag ^{14}C -mentesek. A fosszilis tüzelőanyagok el-

égetése során keletkező CO_2 nem tartalmaz ^{14}C izotópot, így az antropogén CO_2 -kibocsátás fokozatosan csökkenti a $^{14}\text{CO}_2$ részarányát a légkörben. Voltaképpen ez a ^{14}C -arány csökkenés vezetett az 1950-es években ahhoz, hogy elkezdenek foglalkozni az antropogén eredetű szén-dioxid esetleges légköri feldúsulásával (Revelle – Suess, 1957). 2008 vége óta az MTA ATOMKI közreműködésével Hegyhátsálon is mérni tudjuk a $^{14}\text{CO}_2$ légköri részarányát (Molnár et al., 2010).

Azt, hogy a légköri szén-dioxid-többlet nagyrészt széntartalmú anyagok oxidációjával (elégetésével) keletkezik, a légköri oxigénszint arányos csökkenése is bizonyítja (Prentice et al., 2001). O_2/N_2 -aránymérések azonban Magyarországon monitoring jelleggel egyelőre nem folynak.



3. ábra • A Hegyhátsálon vett levegőminták $^{13}\text{CO}_2/^{12}\text{CO}_2$ izotóparányának eltérése a nemzetközileg használt PDB standard izotóparányától ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}=0,01124$), és az eltérés időbeli menete. (A méréseket az Amerikai Egyesült Államok Nemzeti Óceán- és Légkörkutató Hivatala végezte.) Az ábrán az egyedi mérési adatokra illesztett görbét (simított) és az éven belüli ingadozásoktól megtisztított adatsorra illesztett görbét (trend) tüntettük fel.

A hazai mérések jövője

A légköri szén-dioxid mennyisége meghatározó szerepet tölt be a Föld éghajlatának szabályzásában, és koncentrációjának belátható időn belüli csökkenése a legoptimistábbak sem számítanak. A koncentráció nyomon követésére így még igen hosszú időn keresztül szükség lesz. A már hatályba lépett, illetve tervezett környezetpolitikai döntések, kibocsátás-korlátozások betartásának ellenőrzése is csak összehangolt, térben és időben sűrű, nagypontosságú mérések segítségével lehetséges. A műholdas mérések pontossága ma még egyértelműen elégtelen ezeknek a feladatoknak a megoldásához, működésük korlátai (nem „látják át” a felhőzetet, felszíni referenciát igényelnek) pedig a jövőben is nélkülözhetetlenné teszik a felszíni, lehetőleg magas tornyokra telepített mérőállomásokat.

A szén-dioxid hosszú légköri tartózkodási ideje miatt globális szennyező, ezért mérésének is nemzetközi keretekbe kell illeszkednie. Napjainkban intenzíven bővül a globális mérőhálózat. A Meteorológiai Világszervezet adataiból becsülhetően száz fölött van már a nemzetközi programokban tevékenykedő mérőállomások száma. Elsősorban Észak-Amerikában bővül a repülőgépes mérőhálózat is. A sok, viszonylag kis területű országot magában foglaló Európában különös jelentősége van a sűrű állomáshálózatnak, hiszen csak ez teszi lehetővé, hogy kisebb területekre is elfogadható pontossággal meghatározható legyen a szén-dioxid-forgalom, benne az emberi közreműködés. E célra szerveződik, és lép operatív működésbe 2012-től az ICOS (Integrated Carbon Observation System), amelynek egyik fontos feladata az európai

környezetpolitikai döntések előkészítése és ellenőrzése, és amelyről e lap lapájában a közelmúltban részletes ismertető is megjelent (Haszpra, 2011). A magyarországi környezetpolitika eddig mégis feltűnően távol tartotta magát az ICOS-tól, azt a hamis látszatot keltve, mintha nem értene egyet a céljaival. Magyarország az egyetlen olyan ország maradt Európában, ahol van hagyományuk, szakmai háttérük a légköri üvegházgáz-méréseknek, kutatásnak, mégsem csatlakozott az ICOS-hoz, miközben számos olyan országban (térésünkben például Csehország, Lengyelország), ahol ilyen mérések korábban nem folytak, intenzív fejlesztéseket végeznek. Távolmaradásunk nem akadályozza meg, hogy a nemzetközi központok Magyarországra vonatkozóan is végezzenek számításokat, de lehetetlené teszi, hogy az éppen a hazai mérések hiánya miatt pontatlanabb, számunkra esetleg hátrányos eredményeket cáfoljunk, korrigáljuk.

A hegyhátsági TV-adótornyokon a mérési lehetőséget az Antenna Hungaria Rt. természetbeni támogatásként nyújtja. Az elmúlt három évtizedben a méréseket és a kapcsolódó kutatásokat egyebek között támogatta az OTKA (T7282, T23811, T42941), a Környezetvédelmi Minisztérium, a Nemzeti Fejlesztési Ügynökség (A08-1-CK77550), a Magyar–Amerikai Közös Alap (J .F. 162, 504), az Európai Bizottság 5., 6. és 7. K+F programja (AEROCARB, CHIOTTO, CarboEurope-IP, IMECC, InGOS), valamint INTERREG IIIB CADSES programja (5D038). Az adatsorok elemzéséhez a NOAA CCGCRV adatelemző szoftverét használtuk (Thoning et al., 1989).

Kulcsszavak: *szén-dioxid, légkör, monitoring*

IRODALOM

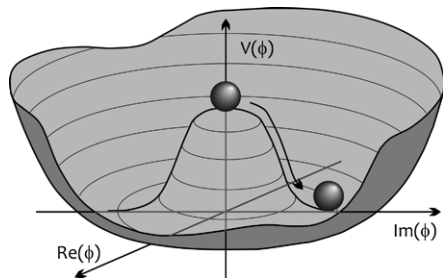
- Friedlingstein, Pierre – Houghton, R. A. – Marland, G. – Hackler, J. – Boden, T. A. – Conway, T. J. – Canadell, J. G. – Raupach, M. R. – Ciais, P. – Le Quéré, C. (2010): Update on CO₂ emissions. *Nature Geoscience*. 3, 811–812. DOI:10.1038/ngeo1022 • <http://www.nature.com/ngo/journal/v3/n12/full/ngeo1022.html>
- Haszpra László (1999): On the Representativeness of Carbon Dioxide Measurements. *Journal of Geophysical Research*. 104, D21, 26953–26960. DOI:10.1029/1999JD900311
- Haszpra László (2008): Egy adatsor, amely megváltoztatta a világot. *Magyar Tudomány*. 169, 1359–1365. • <http://www.matud.iif.hu/2008-11.pdf>
- Haszpra László (2011): ICOS – a jövő páneurópai üvegházgáz-megfigyelő rendszere. *Magyar Tudomány*. 172, 32–37. • <http://www.matud.iif.hu/2011/01/04.htm>
- Lacis, Andrew A. – Schmidt, G. A. – Rind, D. – Ruedy, R. A. (2010): Atmospheric CO₂: Principal Control Knob Governing Earth's Temperature. *Science*. 330, 356–359. DOI:10.1126/science.1190653 • <http://www.sciencemag.org/content/330/6002/356.full>
- Molnár Mihály – Major I. – Haszpra L. – Svetlík, I. – Svingor, É. – Veres M. (2010): Fossil Fuel CO₂ Estimation by Atmospheric ¹⁴C Measurement and CO₂ Mixing Ratios in the city of Debrecen, Hungary. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 286, 471–476. DOI: 10.1007/s10967-010-0791-2
- Pales, Jack C. – Keeling, Charles D. (1965): The Concentration of Atmospheric Carbon Dioxide in Hawaii. *Journal of Geophysical Research*. 70, 6053–6076. doi:10.1029/JZ070i024p06053
- Prentice, Iain Colin – Farquhar, G. D. – Fasham, M. J. R. – Goulden, M. L. – Heimann, M. – Jaramillo, V. J. – Khesghi, H. S. – Le Quéré, C. – Scholes, R. J. – Wallace, D. W. R. (2001): The Carbon Cycle and Atmospheric Carbon Dioxide. In: Houghton, John T. – Ding, Y. – Griggs, D. J. – Noguer, M. – van der Linden, P. J. – Dai, X. – Maskell, K. – Johnson, C. (eds.): *Climate Change 2001—The Scientific Basis, Contribution of WG1 to the 3rd Assessment Report of IPCC*. Cambridge Univ. Press, Cambridge–New York, 183–237. • http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/climate/ipcc_tar/wg1/
- Revelle, Roger – Suess, Hans E. (1957): Carbon Dioxide Exchange between Atmosphere and Ocean and the Question of an Increase of Atmospheric CO₂ during the Past Decades. *Tellus*. 9, 18–27. DOI: 10.1111/j.2153-3490.1957.tb01849.x • <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.2153-3490.1957.tb01849.x/pdf>
- Thoning, Kirk W. – Tans, P. P. – Komhyr, W. D. (1989): Atmospheric carbon dioxide at Mauna Loa Observatory, 2, Analysis of the NOAA GMCC data, 1974–1985. *Journal of Geophysical Research*. 94D, 8549–8566. DOI:10.1029/JD094iD06p08549
- Tyndall, John (1861): On the Absorption and Radiation of Heat by Gases and Vapours, and on the Physical Connexion of Radiation, Absorption, Conduction.—The Bakerian Lecture. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*. Series 4, 22, 169–194., 273–285. • <http://tyndall1861.geologist-1011.mobil/>
- WMO (World Meteorological Organization) (1974): *WMO Operational Manual for Sampling and Analysis Techniques for Chemical Constituents in Air and Precipitation*. WMO No. 299, URL: <http://gaw.kishou.go.jp/wdceg/wdceg.html>

MEGLESZ-E A HIGGS-RÉSZECSCKE A NAGY HADRONÜTKÖZTETŐVEL?

Horváth Dezső

a fizikai tudomány doktora, tudományos tanácsadó,
MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont, MTA ATOMKI
horvath.dezso@wigner.mta.hu

A Peter Higgs (és vele egyidejűleg, de tőle függetlenül mások) által is javasolt spontán szimmetriasértési (vagy Higgs-) mechanizmus a részecskefizika elméletének, a standard modellnek számos problémáját megoldja. Biztosítja többek között a gyenge kölcsönhatást létrehozó lokális (helyről helyre meghatározott módon változó) szimmetria sértésével a kölcsönhatást közvetítő részecskék tömegét, lehetővé teszi az alapvető anyagi részecskék, a leptonok és a kvarkok tömegének létrejöttét, és – mintegy melléktermékként – megteremt a Higgs-bozont, ezt az igen furcsa, hipotetikus részecskét.



1. ábra • Spontán szimmetriasértés. A sombrero hengersizimetriája elromlik, amikor golyót helyezünk a csúcsára. A golyó stabil állapota valahol a völgyben van, de véletlenszerű, hogy hova esik.

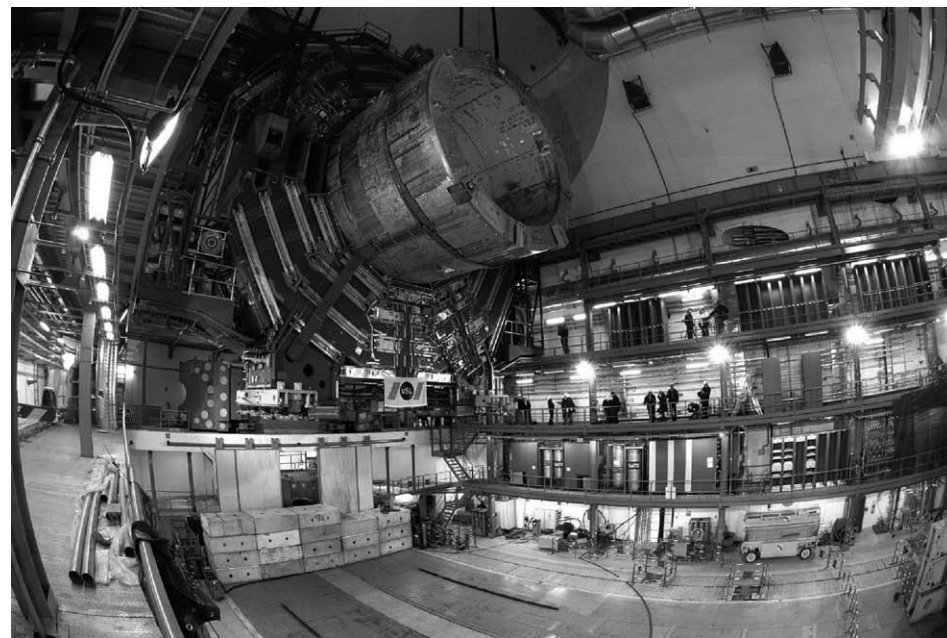
A spontán szimmetriasértést legegyszerűbb a mexikói kalappal illusztrálnunk. (1. ábra) Az tökéletesen hengersizmetrikus, ha azonban a középpontjára helyezünk egy golyót, az stabil állapotot csak a völgyben talál, de véletlenszerű, hogy konkrétan hol. Ezzel a szimmetria spontán sérül. Hasonló helyzet áll elő, ha egy kötötűt hosszában megnyomunk: valamire elhajlik, és azzal megbontja az eredeti szimmetriáját. A fizika nyelvén ezt úgy fejezzük ki, hogy a rendszernek nem stabil a zérus potenciálú állapota, tehát nem zérus a vákuumbeli várható értéke. Az elmélet szerint az elemi részecskék a Higgs-térben mozogva, azzal kölcsönhatásban nyernek tömeget. Makroszkopikus világunk tömege azonban nem ennek köszönhető, hiszen a proton és a neutron tömegében az őket alkotó elemi részecskék, a kvarkok tömegjáruléka igen kicsiny, néhány százaléknyi, a legnagyobb része a kvarkok energiájának tulajdonítható.

A részecskefizika egyik alapkérdése, hogy igaz-e a spontán szimmetriasértés, amelyet némileg igazságtalanul Higgs-mechanizmusnak is hívnak, holott Peter Higgs-szel egyidejűleg két másik kutatócsoport is javasolta; és egyáltalán létezik-e a Higgs-részecske. A Higgs-bozonnak nincsenek kvantumszámjai (vagy ha úgy tetszik, valamennyi jellemző

kvantumszáma zérus), és pusztán létevel ki-küszöböli azokat a végtelen tagokat, amelyek egyébként lehetetlenné teszik a gyenge kölcsönhatás folyamatait (például az atommagok bomlása) valószínűségeinek kiszámítását. Megfigyelnünk ugyan eddig nem sikerült, de tekintve a részecskefizika elmélete, a standard modell fantasztikus, immár négy évtizedes sikerét az összes eddig megfigyelt részecskefizikai folyamat pontos kiszámításában, kevesen kételkednek a létezésében. Leon Lederman híres könyvében (*Az isteni a-tom vagy mi a kérdés, ha a válasz a Világegyetem?*) *isten-részecskének* hívja, de ez, szerencsére, a szakirodalomban nem terjedt el. Állítólag Lederman eredetileg *istenverte részecskének* akarta hívni, de a kiadó ahhoz nem járult hozzá.

A CERN (Európai Részecskefizikai Laboratórium) óriási gyorsítója, a nagy hadronütköztető (LHC) egyik fő célja a Higgs-részecske megfigyelése. Elsősorban erre épült az

egymással versengő és egymást remekül kiegészítő két óriási, egyenként több ezer fizikus részvételével épített észlelőrendszer, az ATLAS- (*A Toroidal LHC ApparatuS*) és a CMS- (*Compact Muon Solenoid*) detektor. A CMS-együttműködésben alapító tagok vagyunk, az MTA Központi Fizikai Kutatóintézet Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet (MTA KFKI RMKI), az ATOMKI (MTA Atommagkutató Intézet), a Debreceni Egyetem és az Eötvös Loránd Tudományegyetem kutatói és hallgatói vesznek részt benne. Érdekeseen különbözik a két rendszer: a CMS egyetlen szolenoid mágneset tartalmaz, a világon a legnagyobbat, 6 méter belső átmérővel, körülötte kétszer annyi vas van, mint a párizsi Eiffel-toronyban. Az ATLAS viszonylag kis szolenoidját viszont óriási toroidmágnes veszi körül, és azt töltik meg az észlelőegységek. A CMS csupa hagyományos egységből áll, az ATLAS viszont mindenütt a legújabb detek-

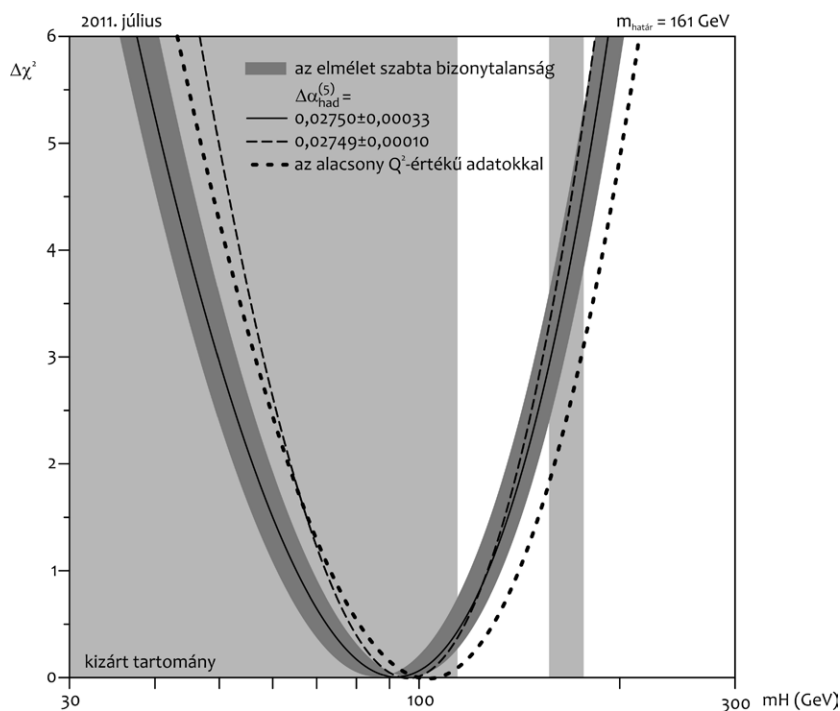


2. ábra • A CMS-detektor szupravezető mágnesének beillesztése

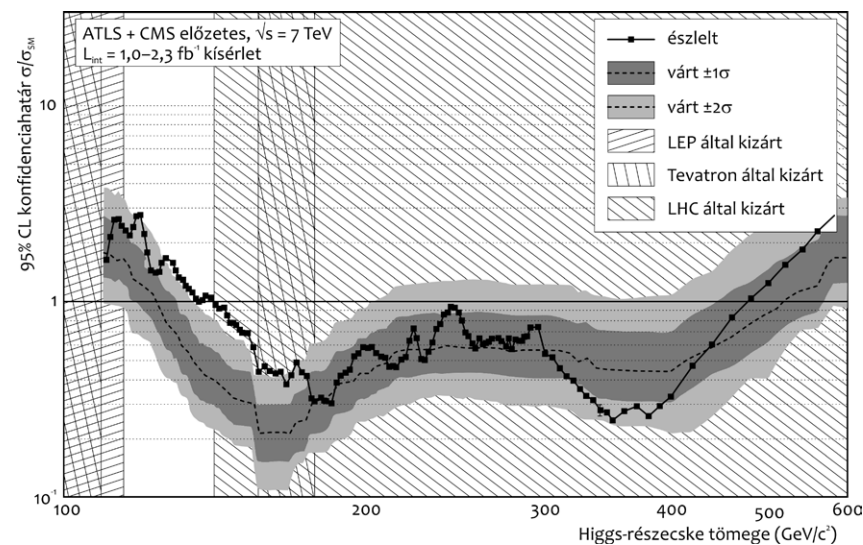
tortechológiát alkalmazta. A CMS moduláris szerkezetű, már nagyrészt a felszínen összerakták, és egy évig ketyegtették, majd 2000 tonnás darabokban engedték le az LHC földalatti barlangjába (2. ábra), az ATLAS-t viszont eleve a föld alatt építették fel.

Szimulációk segítségével tíz éve készülünk a Higgs-bozon megfigyelésére. Mivel a standard modell alapján a Higgs-bozon minden feltételezett tömegére valamennyi keletkezési és bomlási reakció pontosan kiszámítható, különböző tömegtartományokra különböző adatelemzéseket készítettünk. Már a CERN előző óriási gyorsítója, a nagy elektron-pozit-

ron ütköztető (LEP), meglehetősen behatárolta a Higgs-részecske lehetséges tömegét, kizárta a $114,4 \text{ GeV}/c^2$ (a hidrogénatom tömegének mintegy 122-szerese) alatti tartományt, ugyanakkor a kísérleti adatokkal a legjobb egyezést egy $100 \text{ GeV}/c^2$ tömegű Higgs-bozon feltételezésével kapjuk (3. ábra). Mivel a proton eleve összetett részecske, két proton nagyenergiájú ütközése számtalanféle reakciót vált ki, és az LHC protoncsomagjainak ütközésekor 10–20 proton–proton ütközés is végbemehet, egy könnyű Higgs-bozont igen nehéz megfigyelni (4. ábra). Már több évtizede felhívták elméleti fizikusok (köztük



3. ábra • A standard modell paramétereinek illeszkedése a kísérletekhez, a Higgs-bozon hipotetikus tömegének (energiaegységben) függvényében. A folytonos vonal az elmélet illesztési jósága, a körülötte levő sáv annak egyszeres szórása, azaz 68%-os bizonytalansági környezete. Az árnyékolt területeket 95% konfidenciával kizárják a korábbi kísérleti adatok, $114 \text{ GeV}/c^2$ alatt a CERN LEP, $165 \text{ GeV}/c^2$ környékén pedig a Fermilab Tevatronjának kísérletei. Az LHC kísérletei a Tevatron által kizárt tartományt erősen kiszűsítették.



4. ábra • A LEP, a TEVATRON és az LHC kísérleti adatainak (2011 nyaráig gyűjtve) együttes analízise 95%-os konfidencia mellett kizárja a standard modell Higgs-részecskéjének lehetséges tömegét $114 \text{ GeV}/c^2$ alatt, valamint 141 és $476 \text{ GeV}/c^2$ között. A vízszintes tengelyen a Higgs-bozon feltételezett tömegét, a függőlegesen pedig a megfigyelt és számított valószínűségeknek a szimulációk alapján várt és a mérési adatokból következő aránya látható. A Higgs-bozont tehát az ábra bal oldalán levő fehér tartományban várjuk.

Trócsányi Zoltán akadémikus) a figyelmet, hogy ilyen részecske megfigyelésére annak két nagy energiájú fotonra való bomlása nyújt kiváló megfigyelési lehetőséget, a folyamat igen kicsi valószínűsége ellenére. A CMS-detektor erre optimalizálta a fotonok észlelésére szánt részét, az elektromágneses kalorimétert, amely $80\,000 \text{ PbWO}_4$ kristályból áll.

2010 óta működik az LHC, 7000 GeV energián ütköztetve protonokat, egyre növekvő nyalábintenzitás mellett: az indulása óta mintegy tíz nagyságrendet növeltek rajta, és 2011 végére az eredetileg tervezett adatmennyiség csaknem hatszorosát szolgáltatva. Vele párhuzamosan 2011-ig tovább működött a Chicago melletti Fermilab Tevatron gyorsítója is, habár alacsonyabb energián és jóval kisebb intenzitással.

Minden kísérleti adatnak természetes statisztikus bizonytalansága, tudományos szaragonban hibahatára vagy hibája van. A bizonytalanságnak sok forrása van: a megfigyelt események száma, a szimulációk által jósolt jel és háttér bizonytalansága, a detektorelemek és a gyorsító adatainak kalibrációja. Egy kísérleti értéket általában $m \pm \sigma$ alakban írunk fel, ahol m a mért érték és σ annak bizonytalansága. Mivel a bizonytalanságot nagyon nehéz pontosan megbecsülni, a gyorsító fizikában a következő megállapodás született: elmondhatjuk, felfedeztünk valamit, ha azt legalább a bizonytalanság ötszöröse fölött látjuk, tehát ha például egy m_0 háttéren ülő jel esetén $m - m_0 > 5\sigma$ mennyiséget észlelünk, ugyanakkor pedig kizártuk, ha 95% konfidencia mellett nem látjuk. Miközben a Higgs-

bozont kerestük, valamennyi kísérlet észlelt az 5σ küszöböt el nem érő többleteseményt a Higgs-bozon $140 \text{ GeV}/c^2$ körüli tömegének megfelelő tartományban, sőt, ezt némelyek meg is szellőztették blogokban, illetve magánjellegű sajtónyilatkozatokban, az együttműködések őszinte bosszankodására. 2011 júliusában ez a többlet csaknem elérte a 3σ -t, de azután az augusztusban gyűjtött adatok hatására lecsökkent, őszel pedig gyakorlatilag eltűnt, pedig igencsak reménykedtünk benne, hátha tovább fejlődik.

A 2011 novemberében lezajlott párizsi tematikus konferenciára a CMS-nek és az ATLAS-nak sikerült analizálnia a nyáron gyűjtött LHC-adatokat. Habár külön-külön egyik kísérlet sem zárja ki a Higgs-részecske egybefüggő tömegtartományát, a kettő együtt

már igen. A 4. ábrán jól látszik, hogy a LEP, az LHC és a Tevatron adatai alapján a Higgs-bozon lehetséges tömegét, ha nem is sikerült megfigyelni, de mára már erősen behatárolták, és mivel az adatok egyezése az elmélettel a Higgs-bozon $100 \text{ GeV}/c^2$ körüli tömegénél a legjobb (3. ábra), legnagyobb valószínűséggel a $114\text{--}141 \text{ GeV}/c^2$ tartományban található, ahol egymással versengő részecskereakciók vannak (5. ábra).

A CERN-ben működő nagy kísérletek, az ATLAS és a CMS megállapodtak egymással, hogy ha úgy érzik, hogy felfedeztek valami újat, felkeresik vele a főigazgatót, aki azonnal szól a másik kísérletnek, hogy az ellenőrizze. Ezzel természetesen megőrzik az első kísérlet prioritását, de elkerülnek az első kísérlet (például a Tevatronnál is) időnként fellépő kínos szituációt, amikor az egyik kísérlet felfedezést jelent be, majd egy idő múlva a másik megcáfolja.

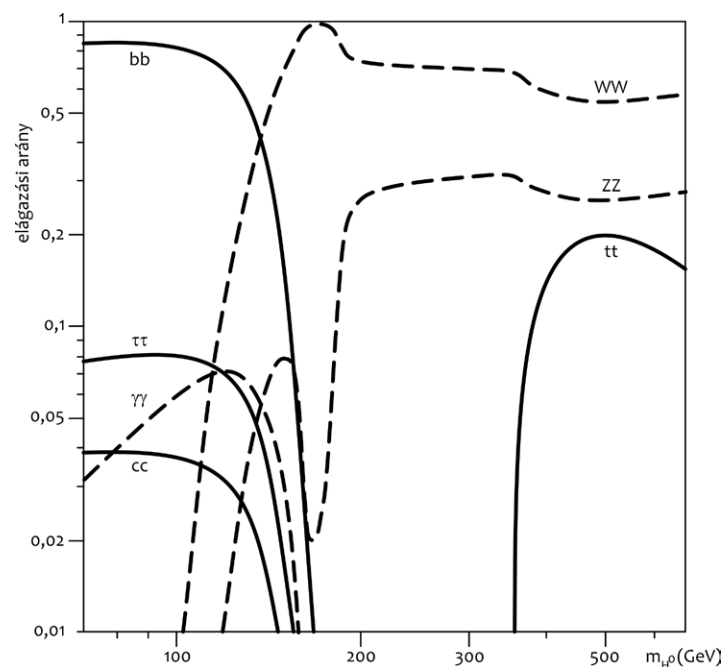
Az előzetes becslések szerint 2012 végére elegendő adatunk gyűlik össze, hogy megtaláljuk a Higgs-bozont vagy kizárjuk a létezését, bármekkora legyen is a tömege. Habár a sajtóvisszhangja sokkal kevésbé lenne pozitív, a részecskefizika számára a Higgs-bozon kizárása érdekesebb volna, mint felfedezése, hiszen a Higgs-részecske nélkül összeomlik a mikrovilág jelenlegi elmélete, és valami radikálisan újat kellene találnunk helyette.

Gyakori kérdés: ki kaphat Nobel-díjat a Higgs-bozon felfedezése esetén. A szokványos válasz, hogy valószínűleg Peter Higgs, esetleg együtt azok közül kettővel, akik a mechanizmust tőle függetlenül ugyancsak javasolták, például François Englert és Robert Brout. Az is felmerült, hogy esetleg megváltoztatják a

Nobel-díj alapszabályát, hogy intézetek vagy együttműködések is megkaphassák, de ez nemigen fog egyhamar végbemenni.

Már zajlott a kézirat nyomdai előkészítése, amikor a CERN közzétette, hogy a 2011-ben gyűjtött adatok előzetes elemzése alapján jelentősen szűkült a Higgs-bozon számára lehetséges tömegtartomány: az ATLAS adatai szerint $116\text{--}130 \text{ GeV}$, a CMS adatai szerint pedig $115\text{--}127 \text{ GeV}$ közé. Biztató, hogy azért nem sikerült valamennyi tömeget kizárni, mert mindkét kísérlet enyhe eseménytöbbletet észlel $120\text{--}125 \text{ GeV}$ környékén. Azt, hogy az véletlen fluktuáció vagy a Higgs-bozon jele, a jövő adatainak kell eldöntenie.

Kulcsszavak: *Higgs-részecske, LHC, részecskefizika, spontán szimmetriasértés, ATLAS-kísérlet, CMS-kísérlet*



5. ábra • A Higgs-részecske feltételezett bomlási csatornái. Jól látható, hogy éppen a kísérleti adatok által szabadon hagyott, 114 és $141 \text{ GeV}/c^2$ közötti tartományt a legnehezebb tanulmányozni az egymással versengő reakciók miatt.

IRODALOM

Lederman, Leon (2010): *Az isteni a-tom vagy mi a kérdés, ha a válasz a Világegyetem?* Typotex, Budapest



AZ OXIGÉN, A SZÉN-DIOXID ÉS AZ ENERGETIKA

Reményi Károly

az MTA rendes tagja
remeni@freemail.hu

Az oxigén a Föld történetében kb. 2,5 milliárd éve van jelen, azóta, hogy az organizmusok a klorofill segítségével képessé váltak a Nap sugárzási energiájának tárolására. A növények földbe süllyedésével kezdődő szénképződés és a kőolaj-keletkezés során szintén oxigén szabadult fel. Ezzel ellentétben a hegyképződés és erózió során keletkezett új kőzetek oxidációjával keletkező oxid-ásványok oxigént vontak ki a légkörből.

A légköri oxigénkoncentráció az utóbbi 600 millió évben jelentősen változott. 300 millió éve (a karbon korszak végén) a légkörben az oxigénkoncentráció ~35% volt. 255 millió évvel ezelőtt 30% volt, majd hirtelen 13%-ra esett vissza. Ezután 23%-os csúcsot elérve a jelenlegi 21% közelében állandósult (1. ábra). A légköri oxigéntartalom kisebb változásait figyelve nem tekintik nagy, általános problémának ennek az alapvető légköri alkotónak az alakulását.

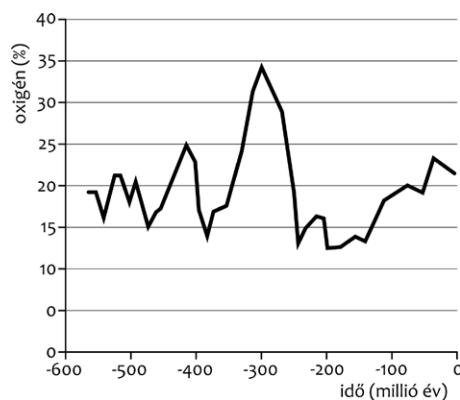
A lejátszódó kémiai folyamatokban, a levegő és a víz, valamint a levegő és a talaj közötti kémiai és biológiai kapcsolatokban az oxigénnek alapvető szerepe van.

Az oxigénkoncentrációnak a földfelszíntől mért magasság függvényében való változása (2. ábra) a barometrikus képlettel számítható, amely azonban csak közelítő érték meghatározására szolgálhat:

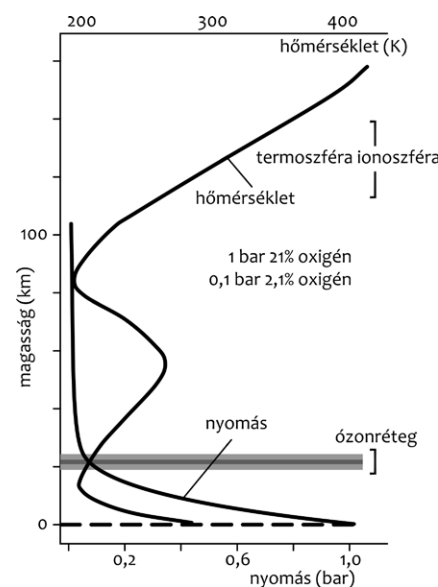
$$p = p_0 \exp(-Mgz / RT),$$

ahol p_0 a légnyomás a tengerszinten (~1000 hPa), M 1 mol levegő tömege (~0,029 kgmol⁻¹), g a gravitációs gyorsulás (9,8 ms⁻²), z a magasság (m), R a gázállandó (8,314 JK⁻¹mol⁻¹) és T a hőmérséklet (K).

Az emberi fiziológiai folyamatban a 21% oxigénkoncentráció kb. <15%-ra csökken. Mészáros Ernő szerint „kimutatták, bár a fosszilis tüzelőanyagok felhasználása a szén-dioxid légköri koncentrációját jelentősen növeli, az oxigén mennyiségét alig módosítja. Ez az oxigén hatalmas légköri tömegének köszönhető” (3. ábra).

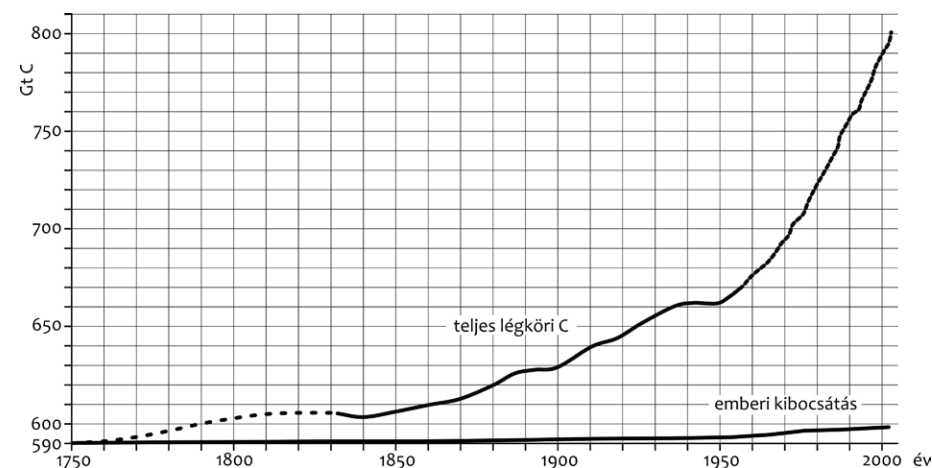


1. ábra • Az O₂ koncentrációjának változása az évmilliók során



2. ábra • Az O₂-koncentráció és a hőmérséklet változása a magasság függvényében

A 3. ábrán két skálát kell értelmezni. A felső vonal a teljes légköri karbonmennyiséget mutatja (a CO₂ gigatonna C-ben kifejezve). Az alsó vonal az emberi tevékenység követ-



3. ábra • A légköri karbon teljes mennyiségének és az ipari fejlődés által kibocsátott karbon mennyiségének összehasonlítása

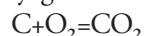
keztében keletkező karbonmennyiséget jellemzi, de e mennyiség számításakor az 1750-es évnél nulla értékből kell kiindulni (a leolvasott ordinátaértékből 590 Gt értéket mindig le kell vonni).

Néhány vizsgálat szerint a légköri oxigénkoncentráció jobban csökken, mint ahogy a fosszilis tüzelés következtében a szén-dioxidkoncentráció növekedik. Az oxigén saját dinamikáját követi. A két gáz között a koncentrációkülönbség óriási, míg a 20,95 %-os oxigén 209 460 ppm, addig a CO₂ kb. 380 ppm (az arány kb. 550-szeres). Műszeres széndioxid-méréseket több mint fél évszázada végeznek, míg az oxigén mérését lényegesen rövidebb idő óta, kb. két évtizede. A fosszilis tüzelőanyagok tüzelésénél O₂:CO₂ cserearányt 1,4 molaránnyal, míg a fotoszintézisnél 1,1 értékkel számolnak. Ezeket az értékeket gyakran hibásan használják, ezek csak a folyamatoknál érvényesek, de a mérlegegyenleteknél, természetesen az arány 1:1.

A légköri szén-dioxid és oxigén koncentrációváltozása kapcsolatának vizsgálatok a

fizikai, kémiai, oldódási és biológiai folyamatokat kell számításba venni. A legfontosabb mérlegegyenletek:

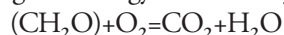
a fosszilis anyagok tüzelésekor:



a fotoszintézis:



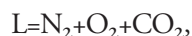
a tengerben az egyik kémiai folyamat:



a tengerben az oxigén és a CO_2 oldódásának jellege különböző.

A légköri koncentráció számításakor a ténylegesen keletkező vagy eltűnő vegyületek mennyisége a mértékadó. A folyamatok lefolyásához a ténylegesen keletkezett mennyiségek arányától eltérő, általában nagyobb érték kell. A kutatásoknál a tüzeléshez 1,4 oxigéntöbblet (légfelesleg-tényező), a fotoszintézisnél 1,1 oxigéntöbblet szükséges. Ez érthetetlen, súlyos tévedés. A kutatásokban a mért és a felvett különbségeket értékelik, és következtetnek a természeti folyamatokra. Az ezen az alapon felvett hipotézisek általában a tényezők szerepének kiválasztásában helyesek, csak a matematikai levezetések állandóinak értéke és értelmezése helytelen. Tüzeléskor például a szén égési reakcióban 1 molnyi O_2 felhasználásakor 1 molnyi CO_2 keletkezik, (azaz az $O_2:CO_2=1$ és nem 1,4).

Ésszerű elhanyagolásokkal könnyített példán bemutatva érthetővé válik, hogy a mérésekkel kapott oxigén-csökkenés mértéke nagyobb, mint a szén-dioxid-növekedés. Az egyszerűség kedvéért a levegő három összetevője:



A közelítésnél a nitrogénmennyiséget állandónak véve (minden kutatás ezt teszi), az

oxigénfogyás és a széndioxid-növekedés figyelembevételével a mérlegegyenletek:

$$L = N_2 + (O_2 - \Delta O_2) + (CO_2 + \Delta CO_2),$$

$$O_2 = (O_2 - \Delta O_2)/L; \quad CO_2 = (CO_2 + \Delta CO_2)/L,$$

$$|\Delta O_2| = |\Delta CO_2|$$

Ha a CO_2 mind a légkörben maradna, a CO_2 -koncentráció növekedése megegyezne az O_2 -koncentráció csökkenésével. Az eddigi kutatások szerint a légkörbe kerülő CO_2 felét ismert és nem ismert folyamatok elvonják. Mivel az oxigén-csökkenés mértéke nem változik, ellenben a CO_2 -növekedésnek csak a fele jelentkezik, tehát a tényleges mérlegegyenlet:

$$L = N_2 + (O_2 - \Delta O_2) + (CO_2 + 1/2 \Delta CO_2);$$

$$O_2 = (O_2 - \Delta O_2)/L; \quad CO_2 = (CO_2 + 1/2 \Delta CO_2)$$

A koncentrációk:

$$\left(\frac{O_2 - \Delta O_2}{L} \right)_2 = \left(\frac{O_2 - \Delta O_2}{L} \right)_1;$$

$$\left(\frac{CO_2 + \frac{1}{2} \Delta CO_2}{L} \right)_2 < \left(\frac{CO_2 - \Delta CO_2}{L} \right)_1$$

Az oxigénmérés és a kutatás folyamata, az O_2/N_2 mérési eljárás sok értékes eredményt szolgáltat. Az értékelésnél feltételezett tényezők, azaz tüzelési, biológiai tényezők (erdőirtás, földhasználat stb.), a kőzetkémia helyesek, de az egyes tényezők szerepére vonatkozó és az eredő meghatározásával kapcsolatos szemléletet lényegesen meg kell változtatni.

A nagy koncentrációban jelen lévő oxigén termodinamikailag reaktív közeg. Ez feltétele az élet fennmaradásának, az égésnek, az oxidációnak (rozsdásodás, korrózió); szerepe van a földfelületnek a veszélyes UV sugárzástól való megvédésében.

A légkörben az oxigén mérése bonyolult, mert a szén-dioxidhoz viszonyítva lényegesen nagyobb mennyiségben fordul elő. Ezért proxit használnak a közvetlen mérés helyett. A mérőeszköz lehet például tömegspektrométer (például Finnigan MAT-252, amely a korrekcióhoz 32 ($^{16}O^{16}O$) és 29 ($^{15}N^{14}N$) tömegszámú molekulákat használ). A mérés módszere szerint a vizsgált mintában mért O_2/N_2 arányból, egy referencia összetételű gáz O_2/N_2 arányának kivonása után nyert különbséget a referenciaarányhoz viszonyítják, és 10^6 -nal való szorzás után *per meg* egységben kifejezve kapják az O_2/N_2 arány változását (Institute of Oceanography, La Jolla California, USA):

$$\delta(O_2/N_2) \text{ per meg} = 10^6 [(O_2/N_2)_{\text{sam}} - (O_2/N_2)_{\text{ref}}] / (O_2/N_2)_{\text{ref}}$$

E különbség alkalmazásakor: kb. 4,77–4,8 per meg egyenértékű 1 ppm-mel (1 mol O_2 per mol száraz levegő). Közelítésként a légkör nitrogénkoncentrációját állandónak veszik fel (bár a növények életfolyamatainál a nitrogén is szerepet játszik az oxigéntartalmú vegyületekben).

Az előbbi egyenletben meghatározott oxigén és az atmoszférában további CO_2 -t eredményező oxigén összességét *atmoszférikus potenciális oxigénnek* nevezik, APO-nak jelölik, és szintén „per meg” egységben mérik. Számítása:

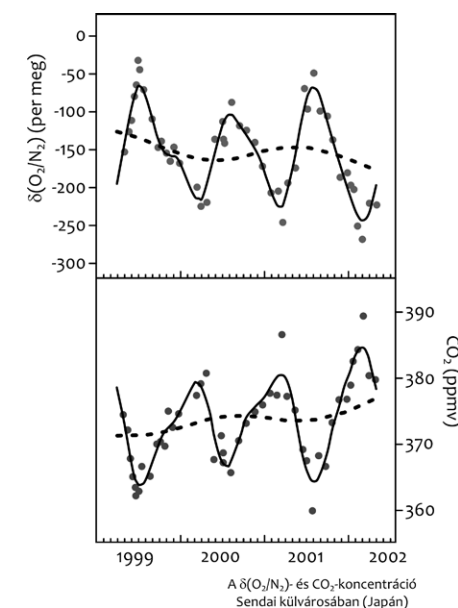
$$APO \text{ per meg} = \Delta(O_2/N_2) + 4,8\alpha_B [CO_2]$$

Egy japán kutatóintézet Sendaiban, (38°É, 140°K), a tengerszint felett 150 m-re helyezkedik el. A mintagyűjtést nyugati szélben végezték, légköri nyomáson. A nedvességet -78°C -ra való hűtéssel távolították el.

Referencialevegőként iparilag előkészített minta nem használható, mert a $d(O_2/N_2)$

értékek szignifikánsan alacsonyabbak 2500–4500 per meg értékkel, mint a légköri értékek. Ezért például referenciaként előkészítésre a laboratórium épülete mellől természetes levegőmintát vettek, és 47 literes, nagy nyomású palackban helyezték el, szárítás után $1,0-10^7$ Pa nyomáson, 4A molekuláris szűrőt használva (4A [adszorbeált anyag mérete 4 Å]: leköti: H_2O , CO_2 , SO_2 , H_2S , C_2H_4 , C_2H_6 , C_3H_6 , etanol. Nem adszorbeálja a C_3H_8 -t és a magasabb szénhidrogéneket. Jó a nempoláris folyadékokra és gázokra. Töltet: alumínium-szilikát gél).

A palack mangánnal ötvözött acélból készült. A referencialevegő választásának módszere és a mérési módszer különlegesen körültekintő kutatással alakult ki. A mérések elsősorban szezonális váltakozást mutattak (4. ábra).



4. ábra • A légköri oxigén/nitrogén arány és a szén-dioxid változása

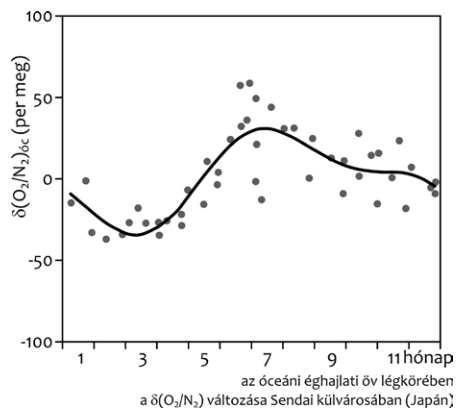
A $\delta(O_2/N_2)$ és a CO_2 változása szezonálisan és hosszabb távon is ellentétes. A szén-dioxid változása jelentősen függ a fosszilis tüzelőanyagok eltüzelte mennyiségétől és az erdőirtástól. A japán vizsgálatoknál a $\delta(O_2/N_2)$ átlagos éves változás $-16,3$ per meg/év, a CO_2 koncentrációváltozása pedig $1,9$ ppmv/év. Az anyagmérleg:

$$d \frac{CO_2}{dt} = 0,471 \times (f_{\text{tűz}} + f_{\text{cement}} + f_{\text{föld}} + f_{\text{óceán}})$$

$$d \frac{O_2}{dt} = 4,8 \times 0,471 \times (1,43 f_{\text{tűz}} + f_{\text{föld}})$$

ahol $f_{\text{tűz}}$, f_{cement} , $f_{\text{föld}}$, $f_{\text{óceán}}$ a légkörbe áramló karbonfluxus (GtC/év), a fosszilis tüzelésből, a cementgyártásból, a földi bioszférából és az óceánból. Az $1,43$; $1,1$; $0,471$ és $4,8$ együtthatók jelentik a CO_2 -képződés által igényelt O_2 -arányt (helytelen).

A mérések szerint a szezonális ciklusok harmonikus ciklusokban követik egymást (5. ábra), az északi féltekén végzett mérések alapján. A $\delta(O_2/N_2)$ minimumot mutat március végén, április elején és maximumot július végén, augusztus elején. A csúcok között a



5. ábra • Az oxigén/nitrogén arány szezonális változása

$\delta(O_2/N_2)$ amplitúdó kb. 150 per meg, a CO_2 -nál kb. 15 ppmv. Az északi féltekén ezt a földi bioszféra és a légköri CO_2 között lejátszódó fotoszintézissel és légzéssel magyarázzák. A $\delta(O_2/N_2)$ - és a CO_2 -arány a tengerközben $-8,3$, míg a déli féltekén $-5,3$, ezt az óceán hatása miatti különbözőséggel magyarázzák. Ralph Keeling és munkatársai (2006) szerint a $\delta(O_2/N_2)$ óceáni komponense:

$$\delta(O_2/N_2)_{oc} = \delta(O_2/N_2) + (1,1/0,2095)[CO_2],$$

ahol $1,1$ az $O_2 - CO_2$ cserearány a földi bioszféra-folyamatban, a $0,2095$ a légkörben az O_2 -mólarány, $[CO_2]$ a mért széndioxid-koncentráció.

A Cape Grim, Tasmania (Ausztrália) által gyűjtött adatok szintén szezonális függést mutattak a CO_2 - és O_2 -koncentrációváltozásnál. Egyik tényező az óceánban a természetes szállítás az északi féltekéről dél felé (termohalin cirkuláció), a másik természetes tényező biológiai, a fotoszintézis során játszik szerepet. Az 1991–2001 évtizedben vizsgált héteves periódusban az O_2/N_2 arány kb. 100 meg-gel csökkent (1 ppm $O_2=4,77$ meg). (6. ábra)

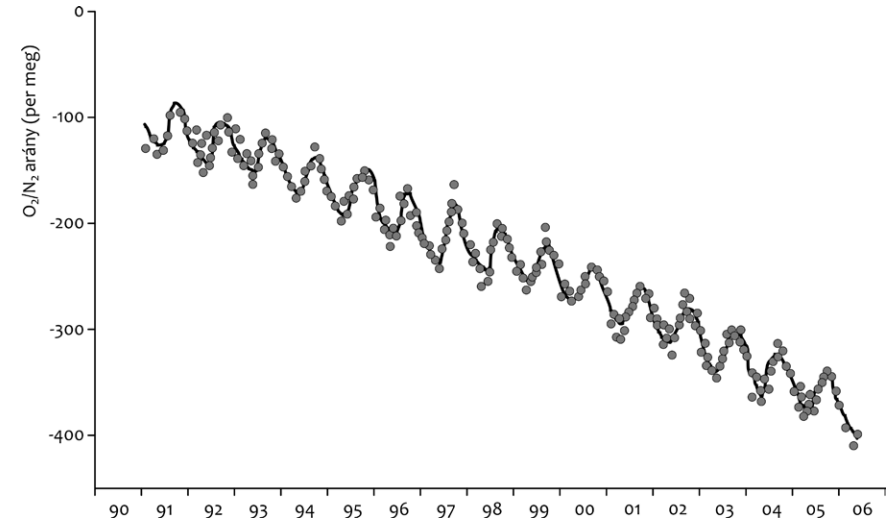
Az Irvine-ban, a University of California által végzett kutatások szerint a légköri oxigénkoncentráció csökkenésének oka lehet, ha a földi bioszférában lévő karbon erősebben oxidálhatóvá válik a természeti ökoszisztéma zavarai miatt (több oxigént von el).

A légkör O_2 -változása kifejezhető a légkörből az ökoszisztémába áramló nettó karbonfluxus (F_{net}) és a nettó $O_2:CO_2$ cserearány (R_{net}) értékével:

$$dO_2/dt = -R_{net} F_{net}$$

A pozitív jel a légkör felé, a negatív a földi bioszféra felé történő áramlást jelöli.

$$dO_2/dt = -(R_{ab} F_{ab} + R_{ba} F_{ba}),$$



6. ábra • A légköri O_2/N_2 -arány változása Mauna Loa térségében végzett mintagyűjtéssel

ahol F_{ab} a légkörből a bioszférába áramló karbonfluxus (a nettó primér termék NPP), az R_{ab} NPP oxidációhoz szükséges arány (CO_2 molekulánként szükséges O_2), F_{ba} a bioszférából a légkörbe visszatérő fluxus (légzés, tüzek és egyéb veszteségek), az R_{ba} a visszaáramló fluxus oxidációs aránya (CO_2 molekulánként szükséges O_2 mol mennyiség).

Az ökoszisztéma dinamikusan egyensúlyban van, az F_{ab} és F_{ba} nagysága hasonló. James Randerson hipotézise szerint a természeti zavarok szintjének a növekedése az utóbbi évtizedben az R_{ab} csökkenéséhez vezet. Ebbe beleértendő az erdőirtás fokozódása, a legeltetés, a tüzelés, a fák pusztulása, a növényfajták váltása stb. Ez mind az oxigéntartalmú elemek növekedését jelenti a növények és a föld szerves anyagaiban, és csökkenti a légkör oxigéntartalmát.

A földhasználat változása és a nitrogénoxidáció növekedése hosszú távon az atmoszférára oxigéntartalmának csökkenését okozza.

Az újabb mérőállomások között említhető az Északi-tengeren lévő F3 olaj-gáz-fúró-

torony, 200 km-re a holland partoktól. A legkorszerűbb infravörös technológiát és egyéb precíziós műszereket használva folyamatosan méri a CO_2 - és O_2 -tartalmat. A méréseknél a nitrogénkoncentrációt állandónak veszik. A mérések feldolgozásával újabb eredmények ismerhetők meg, és bár a tendenciák hasonlóak, a számszerű adatok eltérőek, továbbá az összehasonlítások is jelzik, hogy további kutatások elengedhetetlenek. A légköri CO_2 és az O_2 koncentrációjának változása:

$$\Delta CO_2 = F - O - B$$

$$\Delta O_2 = \alpha_F F + \alpha_B B + Z,$$

ahol ΔCO_2 a légkör átlagos CO_2 -koncentrációváltozása, ΔO_2 az oxigén átlagos koncentrációváltozása, F a fosszilis tüzelőanyag-égetésből és cementgyártásból származó CO_2 , O az óceáni eredetű CO_2 -csökkenés, B a biológiai eredetű CO_2 -csökkenés (biomassza-égetés, földhasználat), α_F és α_B az $O_2:CO_2$ cserearány a fosszilis és bio-folyamatokra, Z az óceán és légkör közti nettó O_2 -cserearány.

A legnagyobb O₂-csökkenést a Berni Egyetem Francesco Valentino vezette kutatócsoportja figyelte meg. Az adatokat Svájcban és Franciaországban gyűjtötték. A Jungfraujoch (JFJ) állomás a Svájci Alpok északi oldalán 3580 m magasan, a Puy de Dome állomás 1480 m-en, az Alpok nyugati oldalán helyezkedik el. A kutatócsoport a légkörben emelkedő CO₂-trendet és csökkenő O₂-trendet állapított meg. A JFJ mérései szerint a ΔCO₂ növekedés 1,08 ppm/év 2001–2002-ben és 2,41 ppm/év 2003 és 2006 között. A Δ(O₂/N₂) -2,4 ppm/év és -1,5 ppm/év, ill. -9,5 ppm/év és -6,9 ppm/év között csökkent.

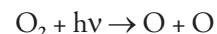
A Puy-nál a ΔCO₂ növekedés 2,43 ppm/év 2001–2002-ben; 1,07 ppm/év 2003–2004-ben között és 2,4 ppm/év 2005–2006-ban. A Δ(O₂/N₂) -6,1 ppm/év és az APO -3,7 ppm/év a 2001–2002 között; a Δ(O₂/N₂) -10,4 ppm/év és az APO -7,6 ppm/év 2002 és 2006 között. Az átlagos O₂:CO₂ arányra -1,9+0,7 a JFJ-nél és -1,8+0,5 a Puy-nál, ami lényegesen különbözik a biológiai 1,1 és a tüzelés 1,4 várt arányától. A kutatók először az óceáni áramlásnál lévő hűlési viszonyokra gondoltak, de ekkora különbség nem lehet reális. Az okokat mégis az óceánoknál keresik.

Az európai partok közelében 2000–2005 között két állomáson végeztek kutatásokat: Az írországi Mace Head a tengerszint felett 35 m-en, fosszilis tüzeléstől viszonylag mentes környezetben van, és Hollandia északi partján, 30 km-re északnyugatra Groningen várostól üzemel a Station Lutjewad. Hasonló trendeket tapasztaltak. Lutjewad esetén a CO₂-növekedés 1,7+ 0,2 ppm/év, az oxigén-csökkenés -4,2+0,3 ppm/év; Mace Headnél CO₂ 1,7+ 0,2, oxigén -4,2+ 0,3 ppm/év.

Minden mérés azt mutatja, hogy az oxigén-csökkenés gyorsabb, mint a CO₂ növekedése. A különböző időperiódusokban a változások mértéke különböző is lehet. Nem lehet az okokat egyértelműen a fosszilis tüzelőanyagok használatával magyarázni, vagy az oxigén-csökkenést a hideg tengervízzel. Az erdőségeknek és fitoplanktonoknak fontos szerepük van a földi oxigénellátásában és a vizsgálatok elemzése azt mutatják, hogy a klímapolitikában sürgősen a valóságos hatásokat figyelembe véve kell az intézkedéseket kialakítani. A szén-dioxid csökkentése önmagában nem hoz eredményt, mert hatása kismértékű, így erre alapozni veszélyes.

Az oxigén egy része ózon (O₃) formában van jelen a légkörben. A földi élet fennmaradása szempontjából alapvető szerepe van. Az ózon létezése és a vele kapcsolatos folyamatok kutatása gyakorlatilag a tudomány külön területe.

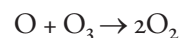
A molekuláris oxigén fotodisszociációval atomos oxigénné alakul:



Az atomos oxigén a molekuláris oxigénnel kölcsönhatásba lépve ózonná alakulhat:



Az atomos oxigén és ózon rekombinációjával molekuláris oxigén keletkezik:



A Föld feletti ózonpajzsot nagyon alapos megfigyelés alatt tartják.

Kulcsszavak: *szén-dioxid, oxigén, felmelegedés, energetika*

IRODALOM

- Ishidoya, Shigeyuki – Aoki, S. – Nakazawa, T. (2003): A High Precision Measurements of the Atmospheric O₂/N₂ Ratio on a Mass Spectrometer. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. 81, 1, 127–140. • http://www.jstage.jst.go.jp/article/jmsj/81/1/127/_pdf
- ISIS Report 19/08/09 (2009): *O₂ Dropping Faster than CO₂ Rising*. <http://www.i-sis.org.uk/O2DroppingFasterThanCO2Rising.php>

- Keeling, Ralph (2006): *Atmospheric O₂ Concentration, Reported as the O₂/N₂ Ratio*. Univ. of California at San Diego Institution of Oceanography (SIO), US
- Mészáros Ernő (2010): *Különleges egyensúly a levegőben*. MTA, Miskolci Akadémiai Bizottság, 2010. jún. 2.
- Warwick, Hillier (2011): *Something in the Air We Breathe*. Research School of Biological Sciences, Australian National University Canberra ACT 0200 Australia
- Zumdahl, Steven S. (2005): *Chemical Principles*. 5th edition, Houghton Mifflin Company



AZ ALFÖLD ÁSVÁNYI KINCSE: A FELSZÍN ALATTI VÍZ

Marton Lajos

CSc, hidrológus, a Magyar Állami Földtani Intézet nyug. tudományos tanácsadója
lamarton@invitel.hu

A termőföld mellett az Alföld nagy kincse a felszín alatti víz, amely különösen kedvező adottság az ország ivóvízellátását és hévízkészletét tekintve. A mélységi víz minden más „ásványi kincstől” különbözik. Sajátossága, hogy a hidroszféra részeként a földkéreg legkülső részében egy felülről nyitott hidrológiai rendszert képez, ennek megfelelően állandó kapcsolatban van a felszíni vizekkel és a légkörrel, s a csapadékból táplálkozik. Másik sajátossága, hogy létezését és mozgását a tavak és tengerek vízzel ellentétben nemcsak saját tulajdonságai, hanem a tároló kőzet rendkívül széles skálán megjelenő paraméterei határozzák meg. Ezért a vele foglalkozó hidrogeológia a földtudományok egyik önálló ágaként interdiszciplináris tudománnyá fejlődött.

A felszín alatti édesvízkészletek – mint a legértékesebb ivóvízbázisok – egyre fontosabbak az emberiség létfenntartásának folyamatában, s védelmük globális problémává, korunk egyik legfontosabb műszaki és tudományos kérdésévé vált. Az emberiség a 21. századba a vízvilágválság fenyegetésével érkezett. Miközben Európa vízkészletei veszélyben vannak, hazánk vízbeszerzési források és vízminőség tekintetében helyzeti előnyben van Nyugat-Európához képest. Az Alföld rétegzett pleisztocén és felsőpannon üledékei ha-

talmas mennyiségű édesvízkészleteket tárolnak, amelyek stratégiai jelentőségű készletek, és nemzetközi osztályozás szerint is a világ nagy vízáadó rendszerei között szerepelnek. Az édesvízkészletek mélyebb zónáiban a 30 °C-nál melegebb termálvizeket találjuk. A talajvizek, karsztvizek és a nem nagy mélységű rétegvizek csapadékeredete régen nyilvánvaló, de a termálvizekről csak az izotópos vizsgálatok mutatták ki, hogy szintén a csapadékból beszivárgó és a mélyben felmelegedő vizek. Magyarország a termálvizek tekintetében is kedvező helyzetben van.

Az Alföld a Kárpát-medence nagy központi süllyedéke, s mint ilyen, földtani egység. Nevezik Pannon-medencének is, minthogy kiterjedését az újharmadidőszaki Pannon-beltenger üledékei határozzák meg. Az Alföld (Nagyalföld) 100 000 km² kiterjedésű területének valamivel kevesebb mint fele, kerekén 45 000 km² tartozik ma Magyarországhoz. Ezért gyakran nevezzük Magyar-medencének, a napi szóhasználatban azonban változatlanul a történelmileg kialakult Alföld megnevezést használjuk. A Kisalföld a Kárpát-medence nyugati fiókját alkotja, területe kb. 8000 km², szintén jelentős vízkészletet tárol.

A Pannon-medence a Föld egyik legzárabb medencéje, de a hidrológiai körforgás

tekintetében nyitott rendszer, amelynek történelmi elválaszthatatlanok a hidroszféra globális eseményeitől. A medence a csapadékot nemcsak a területén elpárolgó vízből kapja, hanem túlnyomóan a tengervizek párájából, és felszíni vizeinek egy része a lefolyás révén ismét a tengerbe jut. A felszín alá jutott víz mozgása már nem követhető ilyen látványosan, aminek az a következménye, hogy mennyisége és pótlódása tekintetében számos tisztázatlan kérdés merült fel. Az Alföld hidrológiai kutatásának elmúlt százharminc éve alatt gyűjtött hatalmas ismeretanyag ellenére is rengeteg „titkot” rejt még ez a különleges vízföldtani egység.

Az Alföld szerkezetének néhány jellemzője

A Pannon-medence aljzatát idős, erősen tektonizált kristályos alaphegység alkotja, ahol a sasbércek és árkok szintkülönbségei az 5000 métert is elérik. Legmélyebb szintje a Békésmencedében eléri, helyenként meghaladja a 7000 métert. Ezt a tektonikailag rendkívül szabdalt medencét több ezer méter vastag tengeri-tavi és folyóvízi üledék tölti ki, és az üledékes összletek mindig rétegzettek. Ebből kifolyólag szerkezetében és jellegében merőben eltér a legtöbb európai ország vízföldtani tulajdonságaitól.

A medencét kitöltő üledékek nagy változatosságot mutatnak. Legalsó szintjét több kilométert elérő vastagságban tengeri és folyóvízi lerakódások, főként agyagok és agyagmárgák alkotják, ezekből víz alig fakasztható. A Pannon-tenger beltóvá alakulása után a folyók egyre több durvább szemű üledéket hordtak bele, amelynek vastagsága elérheti az 1–2 km-t is, ez már több homok-homokkő réteget és benne vizet is tartalmaz. Két részmedencéje, a Kisalföld és az Alföld a negyedkorban – az utolsó 2,4 millió évben – tovább

süllyedt, amikor már tisztán folyóvízi üledék-képződés folyt, jellemzően iszapos, homokos, kavicsos lerakódásokkal. Magyarország mélységi víztározói közül ezek a legjelentősebbek. Vastagságuk a Dél-Alföldön eléri a 700 métert, a Kisalföldön pedig megközelíti az 1000 métert. A medence peremén a folyók hordalékkúpjai sok kavicsot tartalmaznak, vastagságuk többnyire néhányszor 10 m körüli, de a Szigetközben a több száz métert is eléri.

Az Alföld felszín alatti vizeinek feltárása

Az Alföld hidrogeológiai viszonyainak megismerésében az első jelentős esemény Zsigmond Béla bányamérnök nevéhez fűződik, aki 1879-ben, Püspökladányban fúrta az első kifolyó vizet adó kutat a Magyar Államvasutak részére. Az igazi átütő sikert azonban a Hódmezővásárhelyen, 1880-ban, illetőleg 1884-ben átadott két, lakossági használatra szánt artézi kútja hozta. Az „artézi kút” elnevezés onnan származik, hogy Franciaország Artois-i Grófságában fúrták 1126-ban az első olyan kutat, amelyik felszökő vizet adott. Később az olyan kutat is artézi kútnak nevezték, amely nem szolgáltatott felszökő vizet, de szintje megközelítette a terepszintet. Az első sikeres hazai fúrások után rohamos gyorsasággal nőtt a kutak száma. 1900-ban már 2400 artézi kutunk van, s ezeknek túlnyomó része az Alföldön. A Dél-Alföldön a földtani viszonyok olyan páratlanul kedvezőek voltak, hogy már sekély mélységben (30–35 m) felszökő vizet találtak. Ez azonban a vizek nagymértékű pazarlásához is vezetett.

A 20. század első felében tovább nőtt a vízellátás céljait szolgáló kutak száma, az 1940-es évek elején már 24 000 artézi kutat tartottak nyilván a lecsökkent területű országban. A felszín alatti vizekkel való gazdálkodás azonban késett, elsősorban azért, mert azok

eredete és pótlódása sokáig tisztázatlan volt. A század második felében tovább gyorsult a vízellátást szolgáló kutak építése, 1980-ban az országban 58 000 kutat tartalmazott a kút-kataszter, ebből 43 000 volt az Alföldön. A szolgáltatott ivóvízért beszedett vízdíj évtizedeken át alacsonyabb volt, mint a tényleges termelési költség, a vízdíjakon lévő jelentős állami támogatás nem ösztönözte a vízzel való takarékosagra. A vízkészletek védelme még nem állt a hidrológiai szemlélet középpontjában, a víz még nem szerepelt az ásványi kincsek védendő készletei között. Óriási mértékű vízpazarlás folyt, főleg a szabad kifolyású alföldi artézi kutakból. 1973-ban egyik szaklapunkban azt olvashattuk, hogy Szenteshatárában a K-99. kataszteri számú, 1923-ban létesített artézi kútból a felhasználatlan, akkor már ötven éve túlfolyó víz a kút körül mocsaras-nádas területet hozott létre.

A felszín alatti víztermelés az 1980-as évek végére érte el a csúcst, ami sok helyen már túltermelést jelentett, és a karszterületeken a források kiapadásában és a nagyarányú karsztvízszint-süllyedésekben, a medenceterületeken pedig a rétegvízszintek csökkenésében és a talajvízszint süllyedésében mutatkozott meg. Az ivóvizet adó rétegekben általában 5–10 m-es vízszintsüllyedés, illetve nyomáscsökkenés következett be. A nagyobb vízművek környékén és a mélyebb termálfeltároló képződményekben a süllyedés többször 10 métert is elérte. Ezzel párhuzamosan a talajvízszintek (a felszínhez közeli sekély mélységű vizek szintjei) is süllyedtek, az 1970-es évek közepétől a Duna–Tisza közeli hátság és a Nyírség területén fokozatos süllyedés figyelhető meg.

Mára a vízdíjak piaci árának bevezetésével és a kevésbé vízigényes ipari technológiák bevezetésével jelentősen, 35–40%-kal csök-

kent a rétegvíz-kitermelés, s az országban nyilvántartott kb. 90 ezer mélyfúrású kútnak jelenleg mintegy harmada üzemel termelő kútként. A kitermelés csökkenésével azonban leginkább csak a termelőhelyeken emelkedtek a vízszintek, távolabbi területeken nem. Az ÉK-Alföldön, 2006-ban készített egyik felmérés szerint a nagy vízművektől 10–15 km távolságra is több ezer négyzetkilométeren 10–12 m maradó potenciálcsökkenést, sőt további süllyedést lehetett megállapítani, mivel a kétségkívül kis mértékű utánpótlódás mellett, főleg nyomáskiegyenlítődés ment végbe (Marton, 2009). A rétegvizek esetében ez a változás energetikai (azaz potenciál-) csökkenést jelent, maga a réteg változatlanul nyomás alatt és telítve van. Egy példával szemlélítve: az ÉK-Alföld VF-4 jelű Mikepércsen létesített figyelőkútjában a 190–220 m közötti mélységű „vízműves” rétegben a negyven évvel ezelőtti –8,0 m-es nyugalmi szintnél 197,0 m vízszlop-magasság volt mérhető a vízáadó közép szintjéhez viszonyítva, a jelenlegi –19,5 m-es nyugalmi szint mellett pedig 185,5 m a vízszlop-magasság a rétegben, tehát az eredeti érték 94%-án áll.

Vélemények és viták a felszín alatti vizek eredetéről és mozgásáról

Hazánkban az 1960–70-es években élénk vita folyt a felszín alatti vizek eredetéről, készleteiről és megújulásuk lehetőségeiről. A fő kérdés, hogy milyen úton jut le a víz az alföldi medencében több száz vagy akár több ezer méter mélységbe, hosszú ideje foglalkoztatja a szakembereket, és ma is ez az egyik fő témájuk a kutatásoknak, illetve a magyarázandó feladatoknak. Az 1960-as évek elején uralkodó szemlélet szélsőségeit kitűnően jellemzi egy korabeli tanulmány (Urbancsek, 1963): „Vannak, akik az utánpótlódás lehető-

ségét tagadják. Szerintük csak a réteg anyagának leülepedésekor magába zárt vízmenyiség termelhető ki, illetőleg annak is csak az az aránylag kis hányada, amely szabad vízként raktározódott. Ezzel ellentétben más kutatók a csapadékból származó utánpótlódás lehetőségét fogadják el és csak a betáplálás helyére vonatkozólag térnek el a vélemények. A rétegvíz utánpótlódását közvetett úton magyarázzák úgy, hogy a hegységperemeken, tágabb értelemben a Kárpát-medence belső hegységperemén leesett csapadék az ottani vízvezető kőzeteken keresztül bejut a mélyebb medencebeli rétegekbe.”

Az 1970-es években várható lett volna valamilyen általánosan elfogadott szemlélet kialakulása a felszín alatti vizek mozgása tekintetében, miután időközben jelentős nemzetközi tudományos eredmények láttak napvilágot, gondoljunk az átszivárgó vízáadó rendszer (leaky aquifer system) vagy a gravitáció által indukált regionális áramlási rendszer (regional groundwater system) és a hidraulikai kontinuitás elméletének megjelenésére. Az új szemlélet alapját M. King Hubbert 1940-ben megjelent hidraulikus potenciál elmélete képezi, amelyből kiindulva Tóth József (Albertai Egyetem, Edmonton, Kanada) eljutott a regionális áramlási rendszerek létezésének felismeréséhez (Tóth, 1963). Az áramlási rendszerek létezésének felismerése és tudományos vizsgálata új szemléletet hozott a hidrogeológiai gondolkodásba. Amíg korábban az aquifer (víztartó kőzet réteg) volt a hidrológiai vizsgálatok alapegysége, az 1960-as évektől kezdődően a nemzetközi tudományos világban a regionális medence áramlási rendszere került a figyelem és a kutatás középpontjába. Röviden fogalmazva, a kúthidraulika helyébe a medence áramlási rendszerének hidrológiája lépett. Ez a hidrológiai

szemlélet azt állítja, hogy az artézi medence elkülönült víztartó képződményei nem függetlenek egymástól, hanem dinamikai kapcsolat van közöttük, mert tökéletesen vízzáró képződmény nincs. A víz az egyik víztartóból a másikba átszivároghat a majdnem vízzáró rétegen keresztül is, ha közöttük hidraulikai energia-magasság különbség van.

Miközben jelentős új tudományos ismeretek születtek, hazánkban tovább mélyültek a nézetkülönbségek a hidrogeológia alapvető kérdéseiben. Az egyik nagyhatású elméleti irányzat megfogalmazása több helyen, de legérzékenyebben a *Kút-kataszter* VIII. kötetének (1978) preambulumban *Az Alföld negyedkori üledékeiben uralkodó rétegvíznyomás* című tanulmányban látott napvilágot. Ennek néhány megállapítását idéztek formájában közöljük. „A pliocén korszak végén, a levantei emelet kifejlődésének idején, az Alföldön néhol több száz métert is elérő tarkaagyag sorozat rakódott le, amely a felsőpannoniai és negyedkori nagy víztározók között tökéletes zárást biztosít. A két különböző réteggöszlet között kommunikáció nincs és így közöttük vízmozgás nem tételezhető fel. A tarkaagyag sorozat valósággal kibéleli a negyedkori medence alját, ennek következtében a pleisztocén rétegvíz teljesen önálló hidrológiai rendszert képez, így a teljesen zárt medencének oldalirányú természetes megcsapolása nincs.” Ezek a tézisek egy nemzetközi konferencián (Hydrogeology of Great Sedimentary Basins, Conference of Budapest, 1976) is elhangzottak. Szerzője, Urbancsek János megfogalmazta, hogy „a Nyírségben nincs beszivárgás, sőt lefelé történő vízmozgás nem is lehetséges”.

A fenti idézetekkel az 1960–70-es évek egyik uralkodó felfogását jellemeztük, aminek egy mondatban kifejezhető lényege, hogy

ennek a hatalmas medencének felszín alatti vizei zártak, természetes megcsapolásuk nincs. Ennek az állításnak azonban egy nagyon fontos logikai következménye, hogy ha nincs természetes megcsapolás, akkor természetes úton nem lehet utánpótlódás sem, nincsenek áramlási rendszerei, vizei tehát ősidők óta a felszín alatt lehetnek, mozgásuk nincs.

Az Alföld vízáradó rétegeinek zártságát hangoztató szemléletnek tudományos körökben és a felsőfokú oktatásban is megjelenő széleskörű és hosszú ideig tartó elfogadottságát mutatja, hogy a magyar hidrogeológiai irodalomban megjelent a „küszöbesés” fogalma, melyet a szakma nagy tekintélyű képviselője, Juhász József *Hidrogeológia* című, három kiadást megért könyvében (Juhász, 1976, 1987, 2002) ismertette, amely évtizedeken át a szakma meghatározó forrásmunkája volt. A küszöbesés feltételezése lehetővé teszi a vízáradó zárt rétegeként történő kezelést.

Az 1970-es években, az előbbiekkal párhuzamosan, más szemléletű hidrogeológiai kutatás kezdődött a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet (VITUKI) Mélységi Vízkutatási Osztályán, amelyben meghatározó szerepe volt Erdélyi Mihálynak, aki az országhatárokon átívelő szemlélettel vizsgálta a Magyar-medence hidrodinamikáját. Ennek előzménye az volt, hogy Tóth József már a '60-as évek derekán vázolta az áramlási rendszerek elméletét Szabényi Lajosnak az artézi vizek forgalmáról kifejtett nézeteivel kapcsolatos hozzászólásában (Tóth, 1966), ami azonban akkor teljesen visszhang nélkül maradt. Erdélyi Mihály (1976) pályatársait messze megelőzve már az új szemlélet alapján kísérlete meg a Pannon-medence gravitációs hajtóerejű felszín alatti vízármlási rendszereit feltérképezni és értelmezni. Megállapította, hogy az Alföld többszintes áramlási rendsze-

reibe le- és feláramlási, illetve semleges átmeneti zónák vannak. A medence morfológiája biztosítja a mély áramlási rendszerek létezéséhez szükséges potenciális energiát. Az 500 mm-nél több évi csapadék és a mély, jó vízvezető kőzetek nagy felszíni elterjedése fenn tudják tartani a mély áramlási rendszereket és ezek mentén a vizek forgalmát.

Ez a koncepció sokkolta a medence zártságát hangsúlyozó szemlélet képviselőit, s informális kapcsolatokban vallásábrorúkhhoz hasonlítható módon ítélték el az új szemlélet támogatóit, míg mások paradigmaváltó fejlesztésnek minősítették azt, és kezdték munkájukban alkalmazni. Az Erdélyi-féle koncepciónak szinte azonnal erős és hiteles támogatója akadt egy vidéki hidrológus, Halász Béla személyében, aki a rétegzett hidrogeológiai rendszerek hidraulikájával foglalkozva elméletileg igazolta a pleisztocén rétegsorok egyetlen vízáradóként való viselkedésének szükségességét. Matematikailag bizonyította, hogy „a rétegzett rendszer a vízkivételi műtől számított bizonyos távolságon túl egyetlen, de az összlet teljes átbocsátó képességével rendelkező réteggént viselkedik”. Ebből közvetlenül adódott az agyagok áteresztő voltának feltételezése és elfogadása.

Erdélyi munkássága új szemléletet hozott a magyar hidrológiai gyakorlatba, de a másik oldal nagy tekintélye sokáig elhomályosította eredményeit; a Halász-féle vizsgálatokat pedig akkor még jószereivel meg sem ismerték, bár publikálásuk révén erre lehetőség lett volna. Sokat segített az új hidrológiai szemlélet érvényesülésében a Magyar Állami Földtani Intézet munkatársának, Rónai Andrásnak a munkássága. Rónai *A talajvíz és a rétegvizek kapcsolata az Alföldön* című, 1975-ös tanulmányában megfogalmazza, hogy az alföldi medence negyedkori rétegei egyetlen nagy víz-

tartó rendszer részei, és táplálásuk a felszínen és a felszín alatt több száz méter mélyen az egész Kárpát-medence éghajlati viszonyaitól függ, és egységesen alakul. Rónai hosszú ideig élénk tudományos levelezést folytatott a Kanadában dolgozó Tóth professzorral, a regionális gravitációs áramlási rendszer elméletének kidolgozójával. *Az Alföld negyedidőszaki földtana* című fő munkájában (Rónai, 1985) ezeket a tapasztalatokat is hasznosítva, de saját méréseire támaszkodva megállapítja, hogy „az alföldi laza üledékekkel nagy vastagságban feltöltött medence több elkülönült részre tagolt, de egészében egyetlen nagy vízáradó rendszer, amelyben a víz horizontális és vertikális irányban különböző sebességgel, de állandó körforgásban, szivárgó mozgásban van. A hegyperemeken s a kiemelt homokterületeken beszivárgó víz a vízvezető rétegek segítségével a mélybe nyomul, és a mélyből az áramlási rendszer pályája mentén vízvezető és vízzáró rétegeken át felfelé szivárog és a talajvízen át visszajut az atmoszférába”.

A rétegzett rendszerek értelem szerűen átiszivárgó vízáradó rendszerek. A hidrogeológiai rendszer rétegzettségének fenti értelmezése egyetlen jelent a hidraulikai folytonosság megfogalmazásával. Az ilyen rendszerek hidraulikai modellezései már az új hidraulikai szemlélet eredményei voltak, ezek között említendő Székely Ferenc több tanulmánya, közöttük az agyagrétegekkel elválasztott rétegzett hidrogeológiai rendszert megcsapoló kutak depressziójának számítására kidolgozott eljárása.

Lökést adott az Alföld felszín alatti vizeinek mozgása és utánpótlódása megismeréséhez az izotóphidrológia módszereinek 1970-es években elkezdett alkalmazása, amely először a VITUKI-ban, majd vidéken is a gyakorlati munka eszköze lett. Papp Béla, a VITUKI munkatársa a Magyar Alföld

mélységi vizeinek izotópkoncentrációit mérte 1973-ban Koppenhágában (Papp, 1974), s az eredmények azt mutatták, hogy a felső-pannon vízáradók egy részében holocén csapadékvizek találhatóak, holott a vízáradó rétegek lerakódása millió évekkel ezelőtt történt. Bécsben a BVFA Geotechnikai Intézetében 1973–79 között végzett izotópmérések pedig a Nyírség felszín alatti vizei áramlási rendszerének kimutatását és az átszivárgás útján történő utánpótlódás számítását tették lehetővé (Marton, 1981). A korszak azonban még mindig nem volt alkalmas az új szemlélet fogadására, a közölt és több formában is publikált eredményeket hosszú elhallgatás követte. Más izotóphidrológiai vizsgálatok, melyek szintén Erdélyi és Rónai említett kutatási eredményeit igazolták az Alföld északi részén húzóódó hegylábak közvetítő szerepének kimutatásával a vizek nagy mélységbe juttatása folyamatában, ismertebbek lettek (Stute – Deák, 1989). Meglepőnek hatott az a feltűnő jelenség is, hogy a mélységi víztartókban lefelé haladva 1000 m mélységig megtaláljuk ugyanazt az évi vízintézetet, amit a talajvíznél megfigyelünk (Rónai, 1985, 202.). De a kétféle szemlélet, azaz a vízáradók zártságát vélelmező és a medence kontinuitását felismerő nézet, továbbra is együtt élt a magyar hidrológiai gondolkodásban.

Az új szemléletű hidrogeológia megismertetését segítette, hogy a magyar Felsőoktatási Minisztériumtól elnyert *A magyar hidrogeológia modernizálása* című pályázatból finanszírozva már főkéllégiumi szinten, azaz teljes három hónapos előadássorozatra került sor az ELTE-n, 1997-ben Tóth József emeritus professzor (Kanada) vezetésével. A későbbiekben ezt további tudományos kollégiumok követték Mádlné Szőnyi Judit (ELTE) szervezésében. Az „Alföldet a világ leghozzáfér-

hetőbb, egyben legizgalmasabb terepléptékű hidrogeológiai laboratóriumának tekintetem, a tanulmányi kirándulások élménye pedig meggyőzött arról, hogy az ország, és azon belül az Alföld, hidrogeológiai Paradisom!” – írja visszaemlékezésében Tóth József.

A század vége felé közeledve egyre erősödtek az új szemléletű hidrológia eredményeit közvetítő nézetek, melyek közül szemléltetésképpen két tanulmányt említünk. Varsányi Zoltánné (2000) kémiai és izotópos adatok alapján a Dél-Alföld vizeiről megállapítja, hogy „a pleisztocén rétegekben két területen követhető nyomon a víz mozgása a beszivárgástól a megcsapolásig. Az egyik a Duna-Tisza köz – Dél-Tiszántúl, ahol a beszivárgási terület a Duna-Tisza közti hátság, a megcsapolás Hódmezővásárhely környéke, a másik a Maros-hordalékkúp, ahol a beszivárgási terület az országhatár közelében, Kevermes környékén valószínűsíthető, a megcsapolási terület pedig északi irányban a Békéscsaba-Sarkad vonalban található”. A másik nagy figyelmet keltő esemény a debreceni Nagyerdő területén a mélyen fekvő alsó-pleisztocén vízáadó rétegre telepített vízműkutak térszínig kiható depressziós tölcserének a kimutatása volt, amely az egyébként is mély talajvíz szintjét további 5–6 méterrel lesüllyesztette. A meglepő, hazánkban eddig nem tapasztalt jelenséget Marton Lajos és Szanyi János 2000-ben ismertették a *Hidrologiai Közönyben* (Marton – Szanyi, 2000). Ez a hatás már csak teljesen új hidrogeológiai szemlélettel volt értékelhető és magyarázható.

Az új ismeretek egyes elemei példák formájában megjelentek az akkor még egyetlen hazai *Hidrogeológia* című kézikönyvben is (Juhász, 1987, 2002), de ezek elméletének teljes ismertetése és általános elfogadottsága még váratott magára. Az új eredmények mel-

lett is maradtak tehát tisztázatlan kérdések. A hidraulikai kontinuitás elve a hazai hidrológiai gondolkodásban még a közelebbi múltban sem volt általánosan elfogadott elmélet, következésképpen napjainkban sem az. Vágás István, a *Hidrologiai Közöny* főszerkesztője már az új évezredben fogalmazza meg: „Tisztázatlanok a felszín alatti vizek utánpótlódásának lényeges kérdései. Nem ismerjük a mélységi vizek függőleges mozgásának a talajvizekkel, egyes esetekben együttjárásban megnyilvánuló kapcsolatait, sőt a talajvízszintek függőleges ingadozásának pontos okozóit sem” (Vágás, 2001). Legújabbban pedig *A Tisza rejtélyesnek tűnő vízállás-változásai Martfűnél* című közlemény (Bezdn, 2011) hozta izgalomba a hazai hidrogeológia művelőit, amelyhez Vágás István főszerkesztői utószóban fejtette ki azon véleményét, miszerint igazolhatónak tűnhetnek Rónai Andrásnak az 1950–60-as évek vitájában kifejtett nézetei.

Az Alföld felszín alatti vizeinek áramlási rendszerei

A nagyszámú víz- és szénhidrogén-kutató fúrás eredményeként a 20. század végére elég adat gyűlt össze, hogy a hidrogeológia fő kérdései megválaszolásra kerüljenek. Fokozatosan kialakult a kép Magyarország rétegvíztároló rendszereiről, az áramlási rendszerekről és a Pannon-medence mélyszerkezetéről. Tóth József és Almási István (Albertai Állami Egyetem, Edmonton, Alberta, Kanada) feldolgozásában tanulmány jelent meg a *Geofluids* című folyóiratban a Pannon-medence felszín alatti vizeinek áramlási rendszereiről (Tóth – Almási, 2001). Eddig ez a legátfogóbb és legtöbb adatra támaszkodó értékelés a medencéről. A kőzetváz leírását az illetékes hazai szervezetek és hatóságok által

rendelkezésükre bocsátott több ezer mélyfúrás adatai alapján végezték, melyek egy része a preneogén aljzatba (az alaphegységbe) is több száz méterre lehatolt. Teljes egészében közel 53 000 pórusnyomás- és vízszintmérési adatot használtak fel az értékeléshez. Vizsgálataik alapján a Pannon-medence felszín alatti vizeinek áramlási viszonyait két különböző eredetű hajtóerő határozza meg: a) a felszín domborzatából eredő gravitáció, és b) a kőzetváz oldalirányú tektonikus kompressziója. A gravitációs erő által indukált áramlás zónájában az áramtér regionálisan nyitott, míg a kompressziós tartományban feszített.

A felső gravitációs tartomány vizei – egészüket tekintve – nyitott áramlási rendszerekben folynak, utánpótlódásuk csapadékból történik, és határozott megcsapolódási vagy kiáramlási zónákon keresztül térnek vissza a felszínre. Ennek a tartománynak a vastagsága nagy változatosságot mutat, közelítően 400 és 1700 m között változik. A főbb beszivárgási területek a Duna-Tisza közti hátság általában, és különösen annak magasabb fekvésű északi és déli részei, a Gödöllői Domság és Illancs, az Északi-középhegység vonulata, és ÉK-en a Nyírség-dombvidék. A fő regionális megcsapolási területek: egy 5–25 km széles sáv a Duna keleti partja mentén, a Tisza és a Körösök széles egyesült síkságai, a két utóbbi képezvén az Alföld központi magját. A potenciometrikus szintek emelkedése a mélységgel az Alföld belsejében határozott, de csak néhány méter nagyságú. A gravitációs tartományba tartozó rendszerek vízének kitermelése esetében az utánpótlódás nagyon lassú, amit az emberi beavatkozás ugyan fel tud gyorsítani, de még így is több nagyságrenddel elmarad a felhasználás mértékének ütemétől. Másrészt az is bizonyítható, hogy az Alföld rétegvizeiben a vízmozgást nem az emberi

tevékenység (a kitermelés elkezdése) indította el, de mindenképpen felgyorsította.

A Pannon-medence mélyebb szintjeiben fellépő tektonikus kompresszió túlnyomás alá helyezi a vizeket, amelyek a kisebb ellenállás irányában, fölfelé igyekeznek áramlani, ezek azonban más léptékű, nagyon lassú folyamatok, melyeknek kedveznek a tektonikai vonalak és a kisebb ellenállású üledékes ablakok. Ebből következik, hogy a túlnyomásos zónában található készletek nem pótlódhatnak.

Oszlik a köd, tisztul a kép

Ha lassan is, de kezdjük megismerni az Alföld szerkezetét és annak vízkincsét. A felszín alatti víz a csapadékból származik, és bizonyos mértékig folyamatosan táplálkozik. A víztároló képződmények nagy részében (a fosszilis vizek kivételével) a víz állandó mozgásban van, a felszínről utánpótlódik, s a megcsapolási helyek felé áramolva ismét a felszínre lép. A medencébe jutó víznek azonban csak kisebbik hányada vesz részt regionális vízáramlásokban, többségükben rövid áthatolási idejű, sekély rendszerekbe kerülnek (Mádlné Szőnyi, 2006). A vízcsera ideje igen széles skálán mozog, a néhány évtől több százézer évig tart. A radiokarbon-vizsgálatok szerint a medence-területek ivóvízminőségű vizet tároló üledékeiben a víz kora tízezer év nagyságrendű, a mélyebben található hévizek kora a millió évet is eléri, ez utóbbiak egy része viszont már fosszilis víz.

A modern hidrogeológia nagy felismerése, hogy az áramló felszín alatti víz univerzális földtani tényező, és hogy ez a térben és időben általánosan ható felszín alatti mechanizmus, amely létrehozza az üledékes kőzetek szerkezetét, és működteti a felszín alatti anyagtranszportot, meghatározza annak tulajdonságait és körülményeit. A modern hidrogeológiai

felfogás szerint a nagy üledékes medencék hidraulikus egységet képeznek, és rétegzett közlekedő víztározó rendszereknek tekintendők. A hidraulikus egység azt jelenti, hogy „az Alföld hajdani mocsarassága, mostani szikessége, feltörő belvizei, aszályos dombháta, mélyből felszökő artézi vizei, jellegzetes növényei, geotermikus hőkincse, olaj- és gázmezői, mind összefüggésben vannak egymással a felszín alatti vizektől való közös és kölcsönös függésük miatt” – írja Tóth József visszaemlékezésében.

A nagy medencék hidraulikai kontinuitásának elfogadása elvezetett ahhoz a felismeréshez, hogy a talajvíz és rétegvíz fogalmak elkülönítése elveszítette létjogosultságát, az artézi vízviszonyok kialakulása is új értelmezést nyert (Mádlné Szőnyi 2006). A modern hidrogeológia nem tekinti külön víztestnek a talajvizet, hanem azt az áramlási rendszer felső határaként ismeri el, és a számítások során a szoftverek (MODFLOW stb.) a természet felső peremfeltételeként kezelik.

Bővültek ismereteink a geológiai képződmények vízáradó képességének tulajdonságairól is. A 20. század első felében még az a szemlélet uralkodott a hidrogeológiában, hogy a felszín alatti vizet csupán a homok, homokkő vagy kavicsos homokrétegek – aquiferek – szolgáltatják, és az őket elválasztó agyag- és iszaprétegek nem vesznek részt az áramlásban, sem mint víztározó, sem mint vízáteresztő közegek. Az 1960-as évektől kezdve azonban az elméleti fejlesztések és a több évtizedig tartó, hosszú idejű szivattyúzások tapasztalati eredményeként eljutott a tudomány a medence méretű áramlási rendszerek koncepciójához, ahol már nem csak a homok- vagy kavicsrétegek, hanem az őket közbezáró, eddig vízárónak tekintett rétegek is forrásai és közegei az áramlásnak. A szivattyúzás előrehaladtával,

egyre több réteg kapcsolódik össze, és szolgáltat vizet a kúton keresztül, amint azt Shlomo P. Neuman és Paul Witherspoon kísérletekkel igazolták, és 1972-ben publikálták. Ez azt jelenti, hogy a termelés során az átszivárgás folyamatos táplálást jelent a réteg számára. Hazai példa erre többek között Debrecen, ahol a legrégebben szivattyúzott 130–180 m mélységű alsó-pleisztocén réteget megcsapoló kutak vízének mintegy fele függőleges átszivárgásból származik, és a talajvíz szintjének alakulására is kihat (Marton, 2009).

Legújabbban az izotópos mérések adataiból hazánkban végzett számítások egyértelműen igazolták a negyedkori és felsőpannon képződményekben természetes úton végbe menő horizontális és vertikális vízmozgások létezését. A víz korának ismeretében végzett hidraulikai számítások meggyőzően bizonyítják, hogy az Alföld negyedidőszaki és pliocén rétegeiben tárolt vizek kapcsolatban vannak egymással, a vízáradó rétegek között átszivárgás van, de a vízcsera ezer év nagyságrendű és molekuláris jellegű vízmozgással történik. Új szemléletet jelent a vizek mozgásában – ahogy azt az újabb külföldi kutatások kimutatták, – hogy nanoméretű esetében, tehát az agyag pórusaiban, a hajtóerők hatására a folyadék nem kontinuumként mozog, hanem viszkózus áramlásból molekuláris áramlásba megy át, ahol már nem érvényesek a hidraulikából ismert Navier–Stokes-törvények, de a Darcy-törvény, a mérnöki hidrogeológia alapvető törvénye érvényben marad.

Végezetül elmondhatjuk, hogy a talajvíz-szintek függőleges ingadozásának kérdésében is újabb felismerésekhez juthattunk, főleg annak megválaszolásában, hogy a feláramlási zónákban az alulról érkező víz módosíthatja-e a talajvízszinteket. Kis hatótávolságú helyi áramlási rendszerekben ez természetesen

módosító hatást jelent, nagy kiterjedésű, mely feláramlási övezetekben azonban más értelmezést kap a jelenség. A számítások azt mutatják, hogy a rétegzett rendszerekben a víz felfelé történő mozgásának mértéke olyan kicsi (5–10 mm/év), hogy az nem tudja mérhetően befolyásolni a talajvíz szintjének domborzatát, azt elsősorban a csapadék és a helyi klimatikus viszonyok alakítják. Ez a felfelé áramló kis mennyiségű mélységi víz azonban az ellenkező irányú hajtottsága következtében ilyen esetekben is ható tényezőként működik, mivel a talajvíz gravitációs leáramlását megakadályozva „hidraulikus támaszként” (hydraulic perch) szerepel ott, ahol ezt a zónát nem zavarja meg vízkivétel az emberi tevékenység. Gondoljunk ha-

zánkban a Hortobágyra vagy az Alföld más nagy szikes pusztáira.

Záró gondolatként megfogalmazhatjuk: az Alföld felszín alatti vízkészlete értékes ásványi kincs, kitermelhető mennyisége azonban az utánpótlódás mellett sem korlátlan. Ezzel a természeti erőforrással korábban nem gazdálkodtunk okosan. Készleteinek védelme, a magyar állam tulajdonában tartása, gazdaságos használata, minőségének megőrzése, néhány esetben annak javítása nemzeti érdek.

Kulcsszavak: *hidrológia, hidrogeológia, ivóvízkészletek, a víz mint ásványi kincs, Alföld, Pannon-medence, áramlási rendszerek, izotóphidrologia*

IRODALOM

- Bezdn Mária (2011): A Tisza rejtélyesnek tűnő vízállás-változásai Martfűnél. (A főszerkesztő utószavával). *Hidrologiai Közöny.* 91, 5, 45–48.
- Erdélyi Mihály (1976): Outlines of the Hydrodynamics and Hydrochemistry of the Pannonian Basin. (A Pannon-medence hidrodinamikai és hidrogeokémiai körvonalai). *Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungariae.* 26, 287–309
- Juhász József (2002): *Hidrogeológia.* Akadémiai, Budapest (1. kiadás 1976; 2. kiadás 1987)
- Marton Lajos (1981): *A környezeti izotópok felhasználása a Nyírség negyedkori mélységbeli vizeinek kutatásában.* Kandidátusi értekezés. Kézirat, Budapest
- Marton Lajos (2009): *Alkalmazott hidrogeológia.* ELTE Eötvös, Budapest
- Marton Lajos – Szanyi János (2000): A talajvíztűkör helyzete és a rétegvíz termelés kapcsolata Debrecen térségében. *Hidrologiai Közöny.* 80, 1, 2–18.
- Mádlné Szőnyi Judit (2006): *A „modern” hidrogeológia környezeti jelentősége.* ELTE TTK Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszék, UNESCO Chair „Erdélyi Mihály” School of Advanced Hydrogeology. Előadás, Budapest
- Papp Béla (1974): *Felszínalatti vizek oxigén-18 és deutérium összetevőinek regionális vizsgálata.* Kézirat, Bp.
- Rónai András (1985): *Az Alföld negyedidőszaki földtana.* *Geologica Hungarica. Series Geologica,* Tom. 21. Bp.

- Stute, Martin – Deák József (1989): Environmental Isotope Study (¹⁴C, ¹³C, ¹⁸O, D, Noble Gases) on Deep Groundwater Circulation Systems in Hungary with Reference to Paleoclimate. *Radiocarbon.* 31, 3, 902–918. • <https://journals.uair.arizona.edu/index.php/radiocarbon/article/download/1220/1225>
- Tóth József (1963): A Theoretical Analysis of Groundwater Flow in Small Drainage Basins. *Journal of Geophysical Research.* 68, 16, 4795–4812.
- Tóth József (1966): Hozzászólás dr. Szebényi Lajos „Az artézi víz forgalmának mennyiségi meghatározása” c. tanulmányához. *Hidrologiai Közöny.* 46, 6, 261–264.
- Tóth József – Almási István (2001): Interpretation of Observed Fluid Potential Patterns in a Deep Sedimentary Basin under Tectonic Compression: Hungarian Great Plain, Pannonian Basin. *Geofluids.* 1, 1, 11–36. DOI: 10.1046/j.1468-8123.2001.11004.x
- Urbancsek János (1963): A földtani felépítés és rétegvíznyomás közötti összefüggés az Alföldön. *Hidrologiai Közöny.* 43, 3, 205–218.
- Vágás István (2001): A hidrologia tudományának hazai fejlődése. *Hidrologiai Közöny.* 81, 4, 217–221.
- Varsányi Zoltánné (2000): Felszín alatti vízmozgási rendszerek elkülönítése a Dél-Alföldön kémiai és izotópos vizsgálatok alapján. *Hidrologiai Közöny.* 80, 3, 145–156.

A KÉSZLETEK ÁLTALÁNOS ELMÉLETE ÉS A FENNTARTHATÓ FEJLŐDÉS

Karcagi-Kováts Andrea

doktorjelölt

Kuti István

CSc., egyetemi docens
kuti@agr.unideb.hu

Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma
Gazdálkodástudományi és Vidékfejlesztési Kar Gazdaságelméleti Intézet

Az emberi társadalom és a természet fizikai kölcsönhatásának történetében lényeges elem a természet és az ember alkotta világ anyagi szerkezetének folyamatos változása. Néhány ezer éves története alatt, s különösképpen az utóbbi kétszáz évben, az emberiség jelentősen megváltoztatta a földi világ anyagi struktúráját. Már az emberi történelem kezdetétől, a növénytermesztésre és állattenyésztésre való átterítés óta nagymértékben átalakította a flóra és a fauna szerkezetét azzal, hogy egyes növény és állatfajok szaporodását előnyben részesítette a többi faj terjedésével szemben. Jóval későbbi korokban igen sok szemet, kőolajat, földgázt bányásztunk ki a földkéregből, ennek nagy részét elégettük, így hatalmas mennyiségű szén került a légkörbe (s jelentős hányada ott is maradt), másik – kisebb – részből műanyagokat készítettünk, s beépítettük az ember által létrehozott anyagi világba. Ez utóbbinak egy része hulladékká vált, s hulladéklerakókba került, más részét elégettük, s ugyancsak a légkörbe juttattuk. Az erdők jókora hányadát kiirtottuk, a mocsarakat lecsapoltuk, s a területet a termőföldek egy részével együtt beépítettük. A természetből kiszakított agyagot, homokot, kavicsot, követ,

fát, ásványokat építőanyagként hasznosítottuk, és – más anyagokkal együtt – ezekből lettek a városok. Az eredeti erdőket, mezőket városokkal és más településekkel, utakkal, autópályákkal és sávutvonallakkal is apró darabokra szabdaltuk, aminek következtében lecsökkent a vadon élő állatok és növények élettere, így ezek fajai ezerszámra pusztultak ki, s a megmaradt fajok egyedszáma is jelentősen csökkent.

A példákat hosszan sorolhatnánk és sokkoló adatokkal illusztrálhatnánk. Ehelyett azonban az alábbiakban összefoglaljuk a felvázolt folyamat lényegét.

A több mint hárommilliárd éven át az élet számára kedvező feltételeket biztosító földi természeti rendszerben megjelenő technoszféra (az ember által létrehozott anyagi világ) az utóbbi mintegy tízezer évben egyre gyorsabb ütemben terjeszkedett, mégpedig az előbbi rovasára. Mind több teret, anyagot, energiát vont el a természettől, csökkentette a bioszféra információs készleteit (a genetikai kódban tárolt információs készleteket, az élők változosságának csökkenésével párhuzamosan), s közben saját testének terjedelme, tömege, belső energiája, valamint komplexitása egyre

nőtt, s növekszik ma is. Ezek a folyamatok egyre növekvő, gigantikus méretűvé váló anyag- és energiaáramokat keltettek. Pomázi István és Szabó Elemér két munkájukban is hivatkoznak olyan becslésekre, melyek szerint „az ember által »keltett« anyagáramlások nagysága a kontinenseken meghaladja a földtani folyamatokéit” (Pomázi – Szabó, 2006a, 9.; 2006b, 1225.).

Ráadásul a folyamatok a történelem során egyre fokozódó intenzitással mentek végbe, s számos jel arra utal, hogy a mai napig erősödnek. Az egyre növekvő anyagáramok egyre jelentősebb változásokat idéztek elő a természet állományaiiban. Arno Behrens és munkatársai a *Millennium Ecosystem Assessment Report*-ra hivatkozva állítják, hogy „az elmúlt ötven évben az emberiség gyorsabban változtatta meg a természetes ökoszisztémákat, mint az emberi történelem bármely más hasonló időszakában” (Behrens et al., 2007, 445.). Egy sor kutató szerint igen nagy a valószínűsége a globális ökológiai katasztrófának, s olyan is akad, aki szerint az összeomlás elkerülhetetlen. A Gaia-elmélet megalkotója, James Lovelock baljós jóslata szerint, az ökológiai katasztrófa miatt a század végén az emberiség lélekszáma egymilliárd lesz vagy kevesebb (Lovelock, 2009).

A politikai döntéshozók ma különösen nehéz helyzetben vannak, mert egy súlyos világgazdasági válságból való kilábalás közben kell változtatlanul szembenézniük egy annál sokkal aggasztóbb, hosszú távú veszéllyel. Épp ezért nagy a tudósok felelőssége: *minél gyorsabban s jobban kell megérteniük a technoszféra és a természet kölcsönhatásának mechanizmusát, a gazdaság-társadalom-természet rendszer anyagcseréjének működési módjait*. Egyes kutatók szerint ebben segíthet az az új szemlélet, amely a természeti, társadalmi és

gazdasági „anyagi készletek” (például erdők, városok, ipartelepek) szerepét hangsúlyosabbá teszi a folyamatok leírásában.

Írásunk célja, hogy felhívjuk a figyelmet az anyagi állományok, készletek fontosságára a fenntarthatóság fogalmi megragadásában és mérésében. Meggyőződésünk, hogy a fenntarthatóság globális ökológiai feladvány, és a probléma minden más értelmezése, felvetése csak ehhez viszonyulva lehet helyes. A kérdés az, hogy a rendszer dinamikus stabilitásának, szabályozó funkcióinak megőrzéséhez a természet egyes állományai milyen mértékben csökkenthetők a technoszféra növelése érdekében, csökkenthetők-e egyáltalán, vagy már a meadows-i értelemben vett túllövés állapotába kerültünk, és épp a már meglévő technoszféra egyes állományait kell csökkentenünk.

A készletek általános elméletéről

Malte Faber, a Heidelbergi Egyetem professzora és munkatársai egy, mintegy négy évtizede tudatosuló és formálódó kérdésre adtak új közelítésű választ egy 2005-ben, az *Ecological Economics* folyóiratban közzétett cikkükben (Faber et al., 2005), s „az ökoszisztémák és a gazdaság dinamikája közötti kölcsönhatás jobb megértése” céljából a *készletek általános elméletére* vonatkozó elképzeléseiket ismertették. Faber és társai a készletek fogalmát magas absztrakciós szinten, a halmazelméletre alapozva ragadták meg, s az elvont tárgyalásmódtól azt remélték, hogy az nem szorítja a vizsgálatot egyetlen tudomány keretei közé, s a többi közelítésnél alkalmasabb lesz az interdiszciplináris elemzésre.

A 'készlet' általános fogalma jóval elvontabb és ezért bővebb, mint a közgazdaságtanban vagy a gazdasági gyakorlatban használt, megszokott egyes 'készlet' fogalmak. Éppen

ezért, mielőtt a Faberék cikkében bemutatott elvont, általános fogalomról szólnánk, célszerűnek tartjuk néhány példa segítségével világossá tenni, mit értünk általános anyagi készletek alatt. A készleteket sokféle módon csoportosíthatnánk, a fenntartható fejlődés kérdésköre azonban a természet, társadalom, gazdaság felosztást tünteti ki, ezért példáinkat ebben az osztályozásban adjuk meg. (Az egyes elemek besorolása vitatott lehet, itt azonban most nem ezen van a hangsúly.)

Néhány példa a készletekre:

A természet anyagi készletei: erdők, őserdők, mocsarak, lápok, tavak, felszín alatti vízkészletek, termőtalaj, sziklák, kőzetek, vadon élő állatállományok, levegő, szén-, olaj-, földgáz-, ásvány- és érckészletek stb. Általában ide tartozik a bioszféra, a litoszféra, a hidroszféra és az atmoszféra összes állománya.

A társadalom anyagi készletei: népesség, lakásállomány, középületek, út- és vasúthálózat, hidak, alagutak, járdák, metrók, függővasutak, repülőterek, gépkocsik, vonatok, repülőgépek, csatornahálózat, víz-, gáz-, villany-, telefon- és egyéb vezetékek, gépkocsialomány és a háztartások más tartós javai, bútorok, ruhák; felhalmozódott vagy szándékosan felhalmozott hulladékok stb.

A gazdaság anyagi készletei: a technikai tőke állománya (gyárépületek, gépek, termékek és anyagkészletek), áruházak, boltok és ezek árukészletei, bankok és ezek anyagi infrastruktúrája (például pénzautomaták), termelői infrastruktúra stb.

Amikor tehát készletekről beszélünk, az összes, a természetben, a társadalomban és a gazdaságban tartósan jelen lévő *anyagi állományokra, anyagfelhalmozódásokra, stockokra* gondolunk, függetlenül attól, hogy szerves vagy szervetlen anyagról van-e szó, tekintet nélkül az adott anyaghoz kapcsolt esetleges

általános értékítéletekre (a népességet éppúgy készletként fogjuk fel, mint egy hulladéklerakót). Figyelmen kívül hagyjuk azt is, hogy egyes elemek a tér egy viszonylag jól körülhatárolt részén helyezkednek el (például egy erdő), míg mások szétszórta lehetők fel (például a gépkocsialomány).

A fogalom pontosabb meghatározása előtt ki kell térnünk még a megnevezés kérdésére. A *készlet* szó a közgazdaságtanban és a köznyelvben is számos értelemben használatos. A fenti felsorolással körülírt anyagi létezőket egy sor névvel lehetne illetni. Az *anyagállomány* és a *stock* szó (Faberék ez utóbbit használják) közel áll az általunk előnyben részesített *általános készlet* megnevezéshez. Az *erőforrás*, *vagyton* és a *tőke* szavakat a témához kapcsolódó szakirodalom gyakran használja hasonló értelemben, ezekhez a megnevezésekhez azonban több mellékjelentés is társul (a *vagyton* kifejezéshez például a pénzben való mérés, az értékesség; a *tőke* szóhoz pedig a jövedelemtermelő képesség). A készlet fogalma azonban ennél általánosabb: egy meddőhányót éppúgy általános készletnek tekintünk, mint egy erdő teljes rovarpopulációját, egy ország összes lakóházát vagy egy település népességét.

Faber és munkatársai esszéjük általános célját abban jelölik meg, hogy olyan általános terminológiát fejlesszenek ki, amely alkalmas arra, hogy jobban megértsük *az ökoszisztémák és a gazdaság dinamikája közötti kölcsönhatásokat*. Bevezetik a *készletek* (stocks) általános fogalmát, amely közös fogalmi keretet nyújt a közgazdaságtan és az ökológia számára. A szerzők szerint, a készletek általános elmélete az ökológiai gazdaságtan koncepcionális megalapozásának építőkőve lehet.

Egyetértve ezzel az állítással, úgy véljük, hogy ez az új fogalmi rendszer és gondolko-

dásmód nem csupán az ökológiai rendszerek és a gazdaság, hanem a természet (a bioszféra, hidroszféra, atmoszféra és litoszféra által alkotott rendszer) és a technoszféra (azaz az emberiség által alakított anyagi világ, amely társadalmi és gazdasági összetevőkre bontható) metabolizmusának leírásában is jelentős előrelépést jelent. Egyebek mellett módot nyújt a fenntartható fejlődés koncepciójának pontosabb megragadására, amely így *a természet és a technoszféra által alkotott csatolt rendszer készleteinek és áramainak, ezek mennyiségi és minőségi jellemzőinek dinamikus stabilitását időben megőrző működési mechanizmusként* értelmezhető.

A következőkben röviden bemutatunk néhány, mondandónk szempontjából fontos gondolatot Faberék cikkéből.

A szerzők a rendszerszemlélet és a készlet-szemlélet összefüggéseit vizsgálva rámutatnak, hogy míg az előző a strukturáltságra, az elemek közötti kölcsönhatások sajátosságaira és működési módjára összpontosít, az utóbbi figyelmen kívül hagyja a belső szerkezetet. Ez azért érdekes számunkra, mert elméleti alapozását adja a készletek aggregálását alapvető módszerként alkalmazó anyagelemzés (általunk javasolt) új irányzatának, az *anyagkészlet-elemzésnek* (lásd később). Mondandónk szempontjából ugyancsak fontos, hogy Faberék kitüntetett szerepet tulajdonítanak az időnek. Felfogásuk szerint a készletek alapvető jellemzője a viszonylagos időbeli *állandóság*. A rendszer dinamikáját azonban épp a készletek változásával lehet leírni, így a készletek a változás mérésének bázisául szolgálnak. Bevezetik az *időhorizont* (T) és a *megfigyelés időskálája* (τ) mennyiségeket (ahol $\tau \ll T$). Az időhorizont az az időtáv, amely alatt a vizsgált entitásra érvényesnek tartjuk modellünket, a megfigyelés időskálája pedig az

az időszakasz, amely az adott problémát tekintve megfelelő. (A meteorológiai folyamatok vizsgálatánál az időskála lehet néhány óra, ekkor az időjárást vizsgáljuk; lehet azonban jóval hosszabb, ha a klimatikus rendszer érdeklí a megfigyelőt.) Felhívják a figyelmet, hogy a vizsgált időintervallumok szubjektívek, ezeket az elemzést végzők szempontjai határozzák meg. A nemzeti fenntartható fejlődési stratégiák elemzése során világossá vált, hogy ezek a dokumentumok mindeddig lényegében teljesen megkerülték az adekvát időhorizont elvi alapokon nyugvó megválasztásának elméleti problémáját (Gáthy et al., 2006). Úgy véljük, hogy az általános készletek módszeres vizsgálata a stratégiákban lehetőséget ad egy ilyen elvi alap felvázolására.

A tanulmány egy további említendő eredménye, hogy általános definíciót ad a *készlet jellegű indikátorokra*. Az elvont, formális definíció lényege, hogy egy halmaz mennyiségi jellemzőjének tekintik azt a tulajdonságot, amely a T időhorizonton egészen kifejezhető valós számokkal. Bármely adott készlethez számos készlet típusú változó rendelhető. Egy adott készletet leíró mutatók közül ki lehet választani a vizsgálat szempontjainak megfelelő jelzőszámok halmazát. Egy halpopuláció jellemezhető például az egyedszámmal vagy a biomassza tömegével, és az elemzés szempontjai döntik el, melyiket alkalmazzuk. A fenntarthatósági stratégiák elemzése során látható, hogy a gyakorlatban ez komoly nehézségeket okoz. Mindazonáltal, azt gondoljuk, hogy a készletszemlélet elősegíti az adekvát indikátorrendszer megválasztását.

A szerzők felhívják a figyelmet a készletek *térbeliségének* fontosságára is. (A gépkocsialományt vizsgálva beszélhetünk például egy ország, azon belül pedig egy város gépkocsikészleteiről.) A térbeliségnek, a készletek ha-

tárai kijelölésének például az egyes készletek közötti anyagáramlás vizsgálata szempontjából is jelentősége van.

A cikk egy rövid alpontot szentel annak a kérdésnek, hogy mi az a mechanizmus, amely a készletek viszonylagos állandóságát biztosítja. Ezt két „belső dinamikával” azonosítja: egyrészt a készlet egyes elemeinek maradóssága, másrészt az elemek reprodukciója. Ez a kevésbé kifejtett gondolat is rendkívül gyümölcsöző lehet a fenntarthatóság elmélete szempontjából, és kapcsolatba hozható egyebek között olyan fontos kérdésekkel, mint az amortizáció fogalmának általánosítása, valamint a technoszféra anyagi infrastruktúrájába, a humán és a természeti tőkébe való pótló és bővítő beruházások szerepének vizsgálata.

A környezetével kölcsönhatásban lévő és térben behatárolt készletek általános dinamikáját vizsgálva, a cikk négy mechanizmust meghatározó tényezőt azonosít: a készlet elemeinek (i) importját, (ii) exportját, (iii) képződését és (iv) lebomlását. A mechanizmus részletes bemutatására nincs helyünk, de ennek hiányában is megállapíthatjuk, hogy az elvont elmélet, különösen továbbfejlesztése esetén, jelentősen előreviheti a fenntarthatóság kutatását, ezen belül a fenntartható fejlődés indikátorainak továbbfejlesztését.

Az általános készletek és a fenntartható fejlődés

A fenntartható fejlődés máig legismertebb és legszélesebb körben elfogadott definíciója a Brundtland-jelentés által adott meghatározás: „a fejlődés olyan formája, amely a jelen igényeinek kielégítése mellett nem fosztja meg a jövő generációit saját szükségleteik kielégítésének lehetőségétől” (KFVB, 1988, 68.). Noha a fenntartható fejlődés Brundtland-féle definícióját

mind a mai napig széles körben elfogadják, és félreérthetősége, homályossága még hasznosnak is bizonyult az érdekelt felek széles koalíciójának létrehozásában, kevés részletet nyújtott ahhoz, hogy mit kell fenntartani, milyen mértékben és milyen időtávon (Barthelmus, 2003).

Amikor azt kérdezzük, hogy mi biztosítja a szükségletek kielégítését, valamilyen úton mindig az általunk *általános készletek* kifejezéssel megjelölt entitások megjelenési formáihoz, a természeti erőforrásokhoz, az emberi tudáshoz, képességekhez, valamint a javak termelésére alkalmas technikai eszközökhöz jutunk. Ezekről várhatjuk ugyanis, hogy szükségletek kielégítésére alkalmas javakat és szolgáltatásokat nyújtsanak számunkra. E körmönfont fogalmazás helyett írhattuk volna a sokkal megszokottabb kifejezéseket: a termelési tényezőkről vagy a tőke különböző formáiról – a technikai, humán és természeti tőkéről – van szó, de éppen arra az alapvető különbségre kívántunk rámutatni, ami az *általános készlet* és a *tőke* terminológia mögött meghúzódik. A tőke ugyanis nem pusztán „olyan elemekből áll, amelyeknek gazdasági szempontból az a tulajdonságuk, hogy valamilyen értékkel bíró jövőbeli szolgáltatást képesek teljesíteni” (Schultz, 1983, 72.), hanem újratermelhető, elhasználódása esetén beruházással pótolható, sőt bővíthető. A kérdés az, milyen mértékben.

A bevezetésben vázolt történelmi folyamathoz visszatérve, a fejlődés fenntarthatóságát, az élet fennmaradását a Földön éppen az veszélyezteti, hogy nem tudjuk, hogy az ember által átalakított világ (a technoszféra) át tudja-e venni a természet összes életfenntartó funkcióját. Az emberiség történetének néhány évezrede alatt ugyanis az ember által létrehozott eszközök (anyagi készletek) egyre szélesebb körben vették át a természet egyes

szolgáltató funkcióit. Ameddig ez méreteiben nem volt jelentős, nem okozott komoly gondot, nem sodorta veszélybe a természet mechanizmusait. Az „üres világ” azonban a technoszféra egyre gyorsuló terjeszkedésével „tele világgá” vált, azaz a technoszféra méretei – a szándékos és szándékolatlan módon átalakított anyagi készletek, valamint ezek be- és kimenő anyag- és energiaáramai – összemérhetővé váltak a természet méreteivel (Costanza et al., 2007), s ez egyre jelentősebb zavarokat okoz ez utóbbi működésében.

Bár nincsenek erre vonatkozó mérési eredmények, nyilvánvalónak tűnik, hogy a technoszféra világméretben még mindig növekszik (Bringezu, 2006). Az anyagi készletek nettó növekedésének mutatója (NAS) jelentős gyarapodását tapasztalhatjuk, ugyanakkor számos fejlett országban vannak jelek az épületek és az infrastruktúra volumenének telítődésére. A technoszféra metabolizmusára vonatkozó elméleti megfontolások szerint, a technoszféra *input* és *output* anyagáramai a jövőben egyensúlyba kell, hogy kerüljenek. Nyitott viszont az a kérdés, hogy ez mikor és milyen szinten következik be (Bringezu, 2006), ha valóban bekövetkezik.

Ebben a közelítésben a fenntarthatóság a természet – technoszféra csatolt rendszer készleteinek és áramainak a technikai és társadalmi fejlődés által megteremtett hosszú távú egyensúlyaként értelmezhető:

A fenntartható fejlődés a természet, a társadalom és a gazdaság anyagi, energetikai és információs készleteinek (állományainak, vagyon-, illetve tőkeelemeinek), ezek megfelelő mennyiségi és minőségi jellemzőinek és az ezeket összekapcsoló, körfolyamatokba rendeződő anyag-, energia- és információáramainak strukturális arányosságát, hosszú távú dinamikus stabilitását tudatosan tiszteletben

tartó, megteremtő, fenntartó, – tág értelemben vett – technológiai és társadalmi fejlődés.

A fenntartható fejlődésnek az általános készletek dinamikájához való kapcsolása nem teljesen újdonság, hiszen már a fenntarthatóság tőkeelméleti felfogásai, az ún. *gyenge és erős fenntarthatósági koncepciók* is így közelítik a problémát. A készletszemléletre alapozott fenti rövid meghatározás azonban egyrészt általánosabb, hisz tartalmazza akár az erős, akár a gyenge kritériumnak való megfelelés lehetőségét (attól függően, hogy a természeti tőke kritikus szintje tiszteletben tartásával, vagy a természet technikai tőkével való helyettesítése révén valósul meg az egyensúly), másrészt jobban utal a folyamat dinamikus jellegére, hisz a készleteket összekötő áramok stabilitását is megköveteli.

Faberék nem hozzák összefüggésbe – legalábbis közvetlenül – a készletek fogalmát a fenntarthatósággal. Ez annál furcsább, mivel cikkük bevezetőjében a következőket írják: „a készletekben megnyilvánul az emberiség gondoskodása azok megőrzésére, létezésük folyamatoságának biztosítására” (Faber et al., 2005, 155.). Ez nem jelent mást, mint az emberiség számára létfontosságú anyagi létezők fenntarthatóságának biztosítását.

Ugyancsak a fenntarthatóságra utal a szerzőknek ez a megjegyzése: „a termelés olyan szándékolatlan melléktermékeket is eredményez, mint a szennyvíz, a használt levegő és a szilárd hulladék, amelyek, ha csak természetes módon nem semlegesednek, hatással vannak a természetes készletekre, és veszélyeztetik az emberi élet alapjait” (Faber et al., 2005, 156.).

Az állítással természetesen egyet kell érteni, azt viszont mindenképpen hozzá kell fűznünk, hogy az emberiség által szándékolatlan létrehozott készletek is veszélyeztethetik az emberi élet alapjait, mert teret, anyagot,

energiát vesznek el a természeti készletektől, gyengítik a természeti rendszerek működését, s ezzel tönkretelhetik hosszú távú stabilitásukat, ami az adott (globális vagy lokális) rendszerek összeomlásához vezethet.

Azt, hogy „*a fenntartható fejlődést az aggregált stockok, készletek vagy a gazdasági, társadalmi, ökológiai vagy intézményi vagyoni minőségének időben való fenntartásaként kellene interpretálni*” (Pintér et al., 2005, 2.), már az IISD (International Institute for Sustainable Development) kutatói is ajánlották. Ez azonban csak akkor lehetséges, ha információval rendelkezünk ezekről a stockokról, készletekről és minőségekről, helyettesíthetőségükről, csökkenésük biztonságos hatáiról. Ezt az információt a fenntartható fejlődés mutatószámai, indikátorai nyújthatják.

A készletek mérése, indikátorok

A készletek, illetve a vagyoni szempontjából való közelítés fontosságára, és a megfelelő számbavétel jelentőségére egy alig két éve született fontos tanulmány, a *Stiglitz–Sen–Fitoussi-jelentés* (Stiglitz et al., 2008) is rámutat. (A vagyoni szóhoz kétségkívül pénzügyi mérést szokás társítani, ennél azonban fontosabb, hogy egy adott időpontban rendelkezése álló, stock típusú, készlet jellegű dolgot értünk alatta.)

„*A jövedelem és a fogyasztás elengedhetetlenek az életszínvonal felméréséhez, de végső soron csak a vagyoni vonatkozó információval együtt értékelhetők. Az a háztartás, amely a vagyoni javak szerzésére költi, növeli jelenlegi jólétét, de ezt a jövőbeli jóléte rovására teszi. Az ilyen viselkedés következményei a háztartási mérlegben lennének megfoghatóak – ez érvényes a gazdaság más szektoraira, sőt a gazdaság egészére is. A mérleg elkészítéséhez minden részletre kiterjedő számvetésre van szükség a követelésekről (vagyonról) és a terhekről. Az országokra vonat-*

kozó mérlegek koncepciója nem új keletű, de ezek még mindig csak korlátozottan érhetőek el, és támogatni kellene a készítésüket. A vagyoni mérése a fenntarthatóság mérésének központi kérdése. Amit átadunk a jövőnek, az szükség-szerűen tőkében fejezhető ki – fizikai, természeti, emberi és társadalmi tőkében. E tőkék értékének helyes meghatározása kulcsfontosságú, és gyakorta problematikus. Arra is szükség van, hogy ezeket a mérlegeket alternatív értékekkel 'stresszteszteljük' akkor, ha a követelések (vagyoni) piaci értéke nem meghatározható, vagy ki van téve a 'buborékhatásnak'. Amikor a pénzügyi értékelés nagyon bizonytalan vagy nehezen vezethető le, a közvetlenebb, nem pénzügyi jellegű indikátorokat kellene előnyben részesíteni.” (Stiglitz et al., 2008, 13.)

Az általános készletek mérési problémája szerteágazó, terjedelmes kérdéskör, itt csak néhány szempont jelzésére van módunk.

Amint már említettük, a gazdaság, a társadalom és a természet olyan összetett rendszerek, amelyeknek anyagi készletei (például ipartelep, város, erdő) is különböző módon strukturáltak, így mennyiségi jellemzésük vagy nagyszámú jelzőszám, indikátor alkalmazásával valósítható meg, vagy a minőségi különbözőségek figyelmen kívül hagyásával, aggregálás révén. Mindkét módszernek egyaránt vannak előnyei és hátrányai. A nemzeti fenntartható fejlődési stratégiák azzal a gonddal küzdenek, hogy mi módon válaszszanak ki az ezernyi jelzőszám közül egy áttekinthető, nyomon követhető, kommunikációra és a politikai döntések támogatására egyaránt alkalmas, az adott jelenséget, folyamatot jól jellemző indikátorrendszert. Noha a világ a fenntarthatóság tekintetében is csaknem két évtizede küzd ezzel a problémával, az optimálishoz akár közel eső indikátorrendszer felvázolásától is messze van a tudó-

mányos és politikai közösség. Az előrelépés egyik lehetséges útja az összetett mutatók fokozottabb alkalmazása. Az aggregálás történhet monetáris és fizikai egységekben. A készlet jellegű mutatók esetében a pénzügyi aggregálás lehetőségét a (nemzeti) vagyoni mutatója adja, a nem monetáris aggregálásra pedig pl. a tömeg, energia, térfogat (terület) és entrópia mértékei nyújtanak lehetőséget.

Az SNA készlet típusú, monetáris makromutatója a *nemzeti vagyoni*. Számbavétele nemzetközi szinten is háttérbe szorul a *flow* mutatók, elsősorban a GDP mellett. Míg a nemzeti fenntartható fejlődési stratégiák kivétel nélkül alapindikátornak tekintik a GDP-t, a nemzeti vagyont egyik sem említi, pedig a vagyoni számbavétele nélkül sem a leírás nem lehet teljes, sem a döntések nem lehetnek helyesek. Érzékletesen hívja fel erre a figyelmet Bródy András, rámutatva egyben a mérés néhány nehézségére is: „*Néha jelentős kincsekre sem ügyelünk, bár feltárásuk valaha sok munkába került, és attól fogva állandó fenntartást is igényelt. A Duna és más folyók vagy tavak vízkészletének nincs ára, közvetlenül nem is eladó a szó szoros értelmében. De néha áradva, sokszor apadva mégis befolyásolja egy-egy évünk jó vagy rossz természetét, a házak, utak, hidak tartósságát, a közlekedést és szállítást. ... Mindezek részletes ismerete hiányában nem tudjuk megítélni a gazdaság valós arányait, fejlesztésének összes szükségletét és lehetőségét, az ország terheinek súlyát, teherbíró képességét, teljes és igazi vagyoniát. Gazdálkodásunk esetivé és bizonytalanává válik.*” (Bródy, 2007, p. 233)

Ám a készletek számbavétele nemcsak pénzben, hanem pl. *tömegegységekben* is lehetséges. Az elmúlt csaknem húsz évben egy sor kutatóintézet neves tudósai dolgoztak ki új kutatási irányzatot, egy új módszertani családot, az *anyagáramelemzést* (MFA – material flow

analysis). Az eszközcsoport egyre nagyobb politikai jelentőségre tesz szert: nemzetközi szervezetek (ENSZ, EU, OECD) arra ösztönözték az államokat, hogy építsék be az MFA eszközeit statisztikai rendszerükbe, és sürgették a kormányokat és a gazdaság szereplőit, hogy alkalmazzák ezeket a módszereket. Az anyagáram-elemzés (MFA) – amint az elnevezésből is kiviláglik – az áramokra helyezi a hangsúlyt, s a készletek mértékét nem vizsgálja, azok változását ragadja csak meg egyetlen mutatóval, a nettó állományváltozás (NAS) indikátorával. Azonban ez is *csupán a technoszféra* anyagi készleteinek változását méri, és figyelmen kívül hagyja a természet készleteit.

Meggyőződésünk, hogy *ha jobban meg akarjuk érteni a természet–társadalom–gazdaság rendszer anyagcsere-folyamatait, további készletmutatók meghatározására, elkülönített anyagkészlet-elemzésre (MSA – material stock analysis) van szükség. Az anyagkészlet- és anyagáram-elemzés együtteseként megvalósuló anyag-elemzés (MSA + MFA = MA) teljesebb leírását adhatja a vizsgált rendszereknek.* (Ezzel a problémával egy hamarosan megjelenő tanulmányunkban [Karcagi-Kováts – Kuti, 2012] részletesebben foglalkozunk.)

Az anyagkészlet-elemzés mértékegysége a tömeg. Megjegyezzük, hogy a készletek mennyiségi jellemzése más fizikai mennyiségekkel is történhet. A múlt század 70-es éveit követően például csaknem két évtizeden át számos munka foglalkozott a technoszféra energiataralmának (embodied energy) mérésével (például Costanza, 1980), és sokan próbálkoztak az entrópia mértékegységként való alkalmazásával is. A természetes egységekben való aggregálást is számos kritika érheti, mindenekelőtt azért, mert összemos különböző minőségeket. Erre itt csak annyit mondhatunk, hogy minden aggregálás ezt teszi, s

a GDP is összeadja a szappanoperák gyártási költségeit és a tudományos kutatás kiadásait.

Az utóbbi években a készletek számbavételére fokozott érdeklődés mutatkozott. Az OECD egyik új keletű állásfoglalása szerint például „a mérési folyamat elengedhetetlen része a készletek vizsgálata, az áramok számbavételével együtt, és olyan indikátorok azonosítása, amelyek számot adnak azokról a mértékekről, amelyek a vagyon fenntartásának szükségességét jelzik mennyiségi, minőségi szempontok és értéknagyság szerint” (OECD, 2010, 5.). A következő pontban azt vizsgáljuk, hogy hogyan valósul meg mindez a gyakorlat egyik területén, a nemzeti fenntartható fejlődési stratégiákban.

A készlet típusú indikátorok az EU-tagállamok nemzeti fenntartható fejlődési stratégiáiban

Az EU-tagállamok nemzeti fenntartható fejlődési stratégiáinak (NFFS) alapos elemzése során arra a következtetésre jutottunk, hogy a készletek önálló, elkülönült tárgyalásának jelentősége nem tudatosult kellőképpen a stratégiák készítőiben. Az NFFS-ek számos fontos, de általános célkitűzést tesznek a természeti környezet, a társadalom és a gazdaság egyes állományainak alakulására vonatkozóan, azonban meglehetősen esetlegesen rendelnek ezekhez mutatószámokat, s többnyire azok elérendő mértékét sem adják meg.

Illusztrációként tekintünk az erdőkre vonatkozó mutatószámokat. A helyzetelemzés során egyetlen NFFS sem adja meg az erdők faállományának tömegét, azt is csak kevesen, hogy az adott ország területének mekkora hányadát borítja erdő. Az erdőkre vonatkozó indikátorok változatosak az NFFS-ekben, de olyan stratégia is akad, amelynek indikátor-készlete megfelelnek róluk. Az NFFS-ek

többsége azt a kérdést sem veti fel, hogy milyen változást tart kívánatosnak az erdőterület térfogatát vagy tömegét illetően. Teljesen hasonló következtetéseket vonhatunk le a vad- és halállomány indikátorainak vizsgálatából. A legmeglepőbb talán az, hogy a folyamatosan rendelkezésre álló édesvíz mennyiségének kérdése sem jelenik meg egy sor stratégiában.

A társadalom (szándékosan létrehozott vagy nem szándékoltan keletkező) anyagi készletei közül is számosat figyelmen kívül hagy a stratégiák jó része. A lakásállomány, a gépjárműállomány, a városi területek aránya, az utak, vasutak hálózata éppúgy példa erre, mint az eddig felhalmozódott szilárd hulladékok összes mennyisége.

A gazdaság általános készletei közül a haszonállat-állományt és a termelőtőke készleteinek nagyságát emeljük ki, mert a mérés szempontjából teljesen különböző problémákról van szó. Az állatállomány jelzőszáma minden gazdaságban rendelkezésre áll a mezőgazdasági statisztikákban. Ez a mutató a fenntarthatóság szempontjából kétségtelenül több vonatkozásban is igen fontos, mégis többnyire figyelmen kívül hagyják a stratégiák. Egészen más a helyzet a technikai tőkék aggregálása esetében, hisz ez nehéz statisztikai probléma. A közös bennük az, hogy mindkét készlet dinamikájára vonatkozóan elképzelésekkel kellene rendelkeznie a politikának, a stratégiákban viszont ennek nyoma sincs.

A természet, a társadalom és a gazdaság általános anyagi készleteinek azonosítása, leírása, mennyiségi jellemzése, valamint az anyagáramokkal való összefüggéseik feltárása, modellekbe építése jelentős előrelépés lehet a természet és a technoszféra dinamikus kölcsönhatásainak, metabolizmusának pontosabb megértésében. Az általános anyagi készletek mennyiségi leírásában az aggregált-

ság magasabb fokán a kutatásnak számos tennivalója van. Ez igaz a monetáris mérés (nemzeti vagyon) és a nem monetáris mérés (anyagkészlet-elemzés) esetében is. A készlet-szemlélet gyümölcsöző lehet a fenntartható fejlődés koncepciójának mélyebb, alaposabb kimunkálásában. Ennek jelentős gyakorlati haszna lehet a nemzeti fenntartható fejlődési

stratégiák továbbfejlesztésében, amennyiben azok a folyamatokat leíró mutatók mellett módszeresen és átfogóan alkalmazzák az aggregált készlet jellegű indikátorokat is.

Kulcsszavak: készletek általános elmélete, fenntartható fejlődés, fenntarthatósági indikátor, nemzeti fenntartható fejlődési stratégia

HIVATKOZÁSOK

- Bartelmus, Peter (2003): Dematerialization and Capital Maintenance: Two Sides of the Sustainability Coin. *Ecological Economics*. 46, 1, 61–81.
- Behrens, Arno – Giljum, S. – Kovanda, J. – Niza, S. (2007): The Material Basis of the Global Economy. *Ecological Economics*. 64, 2, 444–453.
- Bringezu, Stefan (2006): *Materializing Policies for Sustainable Use and Economy-wide Management of Resources: Biophysical Perspectives. Socio-Economic Options and a Dual approach for European Union. Wuppertal Papers* No. 160. Wuppertal Institute, June 2006 • http://www.wupperinst.org/uploads/tx_wibeitrag/WP160.pdf
- Bródy András (2007): A nemzeti vagyon. *Közgazdasági Szemle*. LIV, március, 233–247. • <http://epa.oszk.hu/00000/00017/00135/pdf/zbrody.pdf>
- Costanza, Robert (1980): Embodied Energy and Economic Valuation. *Science*. 210, 12 December 1980. 1219–1224
- Costanza, Robert – Cumberland, J. – Daly, H. – Goodland, R. – Norgaard, R. (Lead Authors); Golubiewski, N. – Cleveland, C. J. (Topic Eds.) (2007): *An Introduction to Ecological Economics*. In: Cleveland, Cutler J. (Washington, D.C.: Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment) (eds.): *Encyclopedia of Earth*. • [http://www.eoearth.org/article/An_Introduction_to_Ecological_Economics_\(e-book\)](http://www.eoearth.org/article/An_Introduction_to_Ecological_Economics_(e-book))
- Faber, Malte – Frank, K. – Klauer, B. – Manstetten, R. Schiller, J. – Wissel, Ch. (2005): On the Foundation of a General Theory of Stocks. *Ecological Economics*. 55, 2, 155–172.
- Gáthy Andrea – Kuti I. – Szabó G. (2006): Fenntartható fejlődési politikák és stratégiák az Európai Unióban. In: Bulla Miklós – Tamás Pál (szerk.): *Fenntartható fejlődés Magyarországon – jövőképek és forgatókönyvek. Stratégiai kutatások – Magyarország 2015*. Új Mandátum, Budapest, 165–194.

- Karcagi-Kováts Andrea – Kuti István (2012): MFA + MSA = MA – A fenntarthatóság és az anyagi készletek. A Magyar Ipari Ökológiai Társaság szimpóziumának előadásai, Debrecen (megjelenés alatt)
- KFVB (1988): *Közös jövőnk*. Mezőgazdasági, Budapest
- Lovelock, James (2009): One Last Chance to Save Mankind. (interview) *New Scientist*. n°2692, 23 January, 30–31. • <http://wanderinggaia.files.wordpress.com/2010/03/one-last-chance-to-save-mankind-opinion-23-january-2009-new-scientist.pdf>
- OECD (2010): *Monitoring Progress towards Green Growth: Indicators for the OECD Green Growth Strategy (for discussion). Fifth Meeting of the UN Committee of Experts on Environmental-Economic Accounting*. New York, 23–25 June 2010. • <http://unstats.un.org/unsd/envaccounting/ceea/meetings/UN-CEEA-5-16.pdf>
- Pintér László – Hardi P. – Bartelmus, P. (2005): *Indicators for Sustainable Development: Proposals for the Way Forward (Discussion Paper Prepared under a Consulting Agreement on behalf of the UN Division for Sustainable Development)*. Expert Group Meeting on Indicators of Sustainable Development, 13–15 December 2005, New York • http://www.iisd.org/pdf/2005/measure_indicators_sd_way_forward.pdf
- Pomázi István – Szabó Elemér (2006a): *A társadalmi metabolizmus (A fejlett gazdaságok anyagáramlása)*. L'Harmattan, Budapest
- Pomázi István – Szabó Elemér (2006b): Anyagáramlások a világ legfejlettebb országaiban az Egyesült Államok és Japán példáján. *Magyar Tudomány*. 10, 1225–1235. • <http://www.matud.iif.hu/060kt/11.html>
- Schultz, Theodore W. (1983): *Beruházás az emberi tőkébe*. KJK, Budapest
- Stiglitz, Joseph E. – Sen, A. – Fitoussi, J.-P. (2008): *Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress*. Paris, 291 p. • <http://www.stiglitz-sen-fitoussi.fr>

EVLIJA CSELEBI SZEJAHATNÁME CÍMŰ MUNKÁJÁNAK MAGYAR VONATKOZÁSAI

Naciye Güngörmüş

a nyelvtudományok kandidátusa, tanszékvezető egyetemi tanár,
Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Hungaroloji Anabilim Dalı
ngungormus@hotmail.com; ngungor@humanity.ankara.edu.tr

Az Oszmán Birodalmat egykoron bejáró, világszerte ismert török utazó, történetíró Evlija Cselebi előtt tisztelgett a világ 2011-ben, a híres *Szejahatnâme*, a magyar tudományos átírás szerint *Szejahatnâme*, azaz az *Utazások könyve* című többkötetes mű szerzője születésének 400. évfordulója alkalmából.

Ugyanakkor 2011 Evlija Cselebi magyar fordítójának és egyik fő kutatójának, Karácson Imrének (1863–1911) 100. halálévfordulója is. Így ez a tanulmány a két egybeeső alkalom kapcsán készült.

Evlija Cselebi több mint negyven év során végigjárta a hatalmas Oszmán Birodalom különböző tájait, sőt a szomszédos országokat is. Ez alatt az idő alatt sok helyre eljutott, amint azt írásai is világosan tanúsítják. Még ha túlzók volnának is ezek a beszámolók, szerzőjüknek köszönhetően rendkívül értékes adatok, leírások maradtak az utókorra.

Rövid áttekintés Evlija Cselebi életéről

Saját állítása szerint Evlija Cselebi 1611. március 25-én született az Oszmán Birodalom akkori székhelyén, Isztambulban, jómódú török családban. Felmenői kütahjaiak voltak. Öseiről Evlija Cselebi elég ellentmondásosan

szól; többek között a germijáni uralkodóházon keresztül a híres török misztikusig, Ahmed Jeszevíg vezeti vissza őket. A szép kort megért papa számos hadjáratban és utazásban vett részt. S minden bizonnyal nagy hatást gyakorolt fiára, amikor életének csodálatos élményeit mesélgette családi körben vagy régi barátok társaságában.

Evlija Cselebi anyja révén is jeles atyafiságot mondhatott magáénak, hiszen rokonságban állt Deferzâde Mehmed és Ibsir Musztafa pasával; a pályája csúcán a nagyvezíri méltóságig emelkedő Melek Ahmed pasa pedig a nagybátyja volt. Azt mindenképpen hangsúlyozni kell, hogy ameddig a pasa élt, mint pártfogó igen nagy szerepet játszott Evlija Cselebi életében.

Apjának köszönhetően Evlija Cselebi a szultáni udvarban nevelkedett, ahol kiváló Korán-recitátorra képezte ki magát, s elsajátította az iszlám vallási rítus előírásait is. Nagy érdeklődést mutatott a nyelvek iránt; saját állítása szerint hihetetlenül sok nyelvet ismert, többek között az arabot, perzsát, görögöt, tatárt, a kaukázusi és a balkáni nyelveket. Ezt tanúsítják az útleírásában előforduló, különböző nyelvekről készült kis alfejezetek, me-

lyek között magyar szójegyzék is szerepel. Emellett komoly ismeretekre tett szert a zenében és a festészetben, valamint a szépirodalomban és a történelemben is.

Evlija Cselebinek ezek az erényei akkor termették meg első gyümölcsüket, amikor 1636-ban, az Aja Szófia dzsámiban IV. Murád szultán felfigyelt a kitűnő hangú Korán-olvasóra, s miután nagybátyja, Melek Ahmed pasa is közbenjárt érte, a szultán felvette őt a belső palota apródjai közé.

A szultáni udvarban eltöltött idő a tehetséges ifjú személyiségének kifermálódásában is meghatározó szerepet játszott. Azon túl, hogy kora legjobb oktatóinak keze alatt bővíthette ismereteit a tudományokban és a művészetekben, itt alakultak ki azok a később is mindig tetten érhető jellemvonásai, amelyek Evlija Cselebit mint igazi társasági embert állítják elének, aki szeretetre méltó alakjával, színes és érdekfeszítő előadásmódjával, tréfára mindig kész alkatával azonnal a középpontba került, ahol csak megfordult.

Néhány éves tanulás és szolgálat után Evlija Cselebi a belső udvarból az udvari lovasság legrangosabb csoportjába, a szpáhik közé került. Ez a beosztása azonban már legfeljebb arra volt jó, hogy névleges állást biztosítson neki, mert ettől kezdve szinte élete végéig legfőbb szenvedélyének, az utazásnak hódolt.

Áttekintés Evlija Cselebi utazásairól

Köztudomású, hogy Evlija Cselebi utazásainak megkezdését, valamint a *Szejahatnâme* megszületését egy álomhoz kapcsolja. Eszerint egy éjjel az egyik isztambuli dzsámiban látta magát, ahol Mohammed próféta megjelent neki, az iszlám nagyjainak kíséretében. Evlija Cselebi állítólag másnap hozzá is kezdett az utazáshoz, de hogy melyikhez, az nem

deríthető ki pontosan. Az 1630-as években lépésről lépésre előbb Isztambulba járt be, majd 1640-től kezdve távolabbi vidékeknek vágott neki. Minden adódó alkalmat kihasználva szinte szakadatlanul úton volt, bár rövidebb időszakokra olykor vissza-visszatért Isztambulba. *Útleírása* szerint az 1670-es évek végéig a félhold vándora bejárta az Oszmán Birodalom minden táját, többek között eljutott Nyugat-Európába, Habsburg területekre is. 1660 és 1666 között többször járt Magyarországon, illetve Erdélyben.

A *Szejahatnâme* rövid áttekintése

Evlija Cselebi több mint negyven esztendőn át sokféle utazott és sokféle emberrel érintkezett. Útjai eredményeként született mesterműve, a tízkötetes *Szejahatnâme*, amely Törökországban először 1898–1938 között jelent meg nyomtatásban. Munkája nemcsak történelmi, irodalmi, valamint művelődéstörténeti szempontból fontos forrásmű, hanem a magyar–török érintkezések szempontjából is igen értékes alkotás.

A *Szejahatnâme*-vel kapcsolatos kutatásokból kiderült, hogy megírásához Evlija Cselebi irodalmi, történeti forrásokat, hivatalos okiratokat, térképeket, feliratgyűjteményeket is felhasznált. Mindezeket saját ismereteivel és képzeletével ötvözve, némileg kiszínezve, olyan „szintézist” hozott létre, amelyben a hétköznapi valóság igaz tényei és a legvadabb kitalálások váltogatják egymást.

A *Szejahatnâme* tartalma és stílusa

Az erről a témáról készült szakirodalom tanulmányozása alapján azt lehet mondani, hogy általános vélemény szerint Evlija Cselebinek nagy képzelőereje volt, esetenként olyan helyeket is leírt, amelyeket valószínűleg meg sem látogatott, de anekdotái és kellemes stí-

lusa ilyenkor is szórakoztató és tanulságos olvasmánnyá teszik művét mindenki számára. Mert az olvasó nemcsak az Oszmán Birodalom és a szomszédos országok néprajzát, történelmét és földrajzát ismerheti meg belőle, hanem a 17. század török kormányzás alatt élő különböző kultúráiról is tudomást szerez.

Evlja Cselebi beszámolójából nem az eseménytörténet jó-rossz részletei forrásértékűek a kutatók számára, inkább az, amit az egyes településekről, nevezetesen épületekről, például a dzsámikról, mecsetekről, templomokról, középületekről, fürdőkőről, híres várakról és azok lakosságáról, vallásáról, életmódjáról, viseletéről meg sok minden másról feljegyzett. Ezáltal a *Szejahatnáme* a török kori Magyarország művelődéstörténetének egyik elsőrendű forrása.

Azonban Evlja Cselebi a kortárs európai utazóktól eltérően, a török történetírás hagyományait követve nem közöl pontos adatokat, sőt mondhatjuk, hogy tudatosan túloz.

Evlja Cselebi Szejahatnáme című munkájának magyar vonatkozásai

Ezekben a kötetekben Evlja Cselebi mindekelőtt érdekes képet fest a 17. századi magyar közállapotokról, többek között leírja Budát, Pécsét, Egert, a Balatont, Erdélyt és még sok más fontos magyar vonatkozású dolgot. Elmeséli például, hogy katonaként részt vett Nagyvárad megvívásában, és ott volt a szentgotthárdi csatában is; tagja volt a szultáni követségnek, amely 1660 körül I. Lipót császárnál járt Bécsben egy hosszabb időre szóló béke megkötése érdekében. Tőle értesülünk arról is, hogy engedélyt kapott a Német-római Császárságban teendő utazásra, és eljutott egészen a Rajna vidékéig (bár ez nem túl valószínű).

Evlja Cselebi útjain nyitott szemmel járt, így a hódoltságkori magyarországi viszonyokról is az egyik leghitelesebb tudósító, aki meleg hangon emlékezik meg a magyar népről, nemesről és jobbágyról egyaránt.

A Szejahatnáme kiadása Törökországban és másutt

A török elbeszélő források kiadására Törökországban elég későn került sor. Ennek során kezdtek meg Isztambulban Evlja Cselebi *Szejahatnáme*-jének a Pertev Pasa Könyvtárban őrzött kéziratának közzétételét. Az 1896-ban Ahmed Dzsevdet és Nedzsip Aszim szerkesztésében megjelent első négy után 1897-ben már az ötödik kötetnél tartottak.

Érdekes módon Vámbéry Ármin, a híres magyar turkológus javaslatára 1901-ben az MTA 1500 frank támogatást nyújtott a kézirat 6. kötete török nyelvű szövegének elkészítésére. Ez a kötet Vámbéry előszavával és az Isztambulban kutatóúton lévő turkológus, történész Karácson Imre közreműködésével hamarosan meg is jelent; ezek után az MTA Történelmi Bizottsága 1902. április 5-én a kötet magyar nyelvű fordításának elkészítésével bízta meg Karácsont. Azonban e kötetek megjelenése idején Törökországban kemény cenzúra volt, és emiatt bizonyos részek kimaradtak az eredeti szövegből. Ráadásul a további kötetek kinyomtatását is megtiltották. Ezért 1928-ig kellett várni a hetedik és a nyolcadik kötet publikálására, a kilencedikre pedig 1935-ig, míg az utolsó, tizedik kötet 1938-ban jelent csak meg. Ezek a kiadások a sok elírás és olvasati hiba miatt nem használhatók jól.

Evlja Cselebi munkáját sajátos tartalma és különleges érdekessége miatt több nyelvre is lefordították, s nem csupán az érintett területekére (így magyar, bolgár, szerb, horvát, szlovák, örmény, román, orosz, görög átülte-

tésekre került sor), hanem olyan világnyelvekre is, mint az angol, a francia és a német.

Karácson Imre és a Szejahatnáme

Száz esztendeje halt meg Karácson Imre, aki a Magyar Tudományos Akadémiától kapott feladatot mindenféle nehézségek ellenére is rövid idő alatt teljesítette, s így 1904-ben napvilágot láthatott az *Evlja Cselebi török világutazó magyarországi utazásai, 1660–1664* című műve. E publikációban Karácson Imre előszaván kívül közölték Vámbérynek az isztambuli török kiadáshoz írt bevezetőjét, valamint Ahmed Dzsevdet előszavát is, amelyben hálás köszönettel emlékezik meg a magyar támogatósról.

Karácson Imre, aki időközben Isztambulba utazott, a mecsetek és a derviskolostorok könyvtáraiban őrzött kéziratok átvizsgálása során Evlja Cselebi művének más kézirataira is rábukkant. Hamarosan világossá lett számára, hogy a hetedik kötet java része is Magyarországról szól, s főképpen az 1664. és 1665. évi események leírásával foglalkozik. Így ennek a kötetnek a fordításához is hozzálátott, noha a közben egyre szigorodó cenzúra miatt nem lehetett nyíltan dolgozni a kéziraton. Ám e nehézségek ellenére is sikerült elkészítenie a második kötet magyar fordítását is, mely *Evlja Cselebi török világutazó magyarországi utazásai, 1664–1666. Fordította és jegyzetekkel kísérte: dr. Karácson Imre* címmel jelent meg 1908-ban, Budapesten.

Isztambuli tartózkodása során Karácson Imre többek között az MTA megbízásából anyagot gyűjtött a *Török történetírók* harmadik kötetéhez is, mellyel 1910. október 18-án készült el (a kiadásra csak 1916-ban került sor).

A török–magyar kapcsolatok fejlesztésén, illetve a közös múltunkra vonatkozó történelmi források feltárása terén sokat fáradozó

Karácson Imrének a magyar miniszterelnökségre küldött éves beszámoló-jelentéseivel csatolt fordításából jött létre, már a halála után, például a *Török–magyar oklevéltár, 1533–1789* című forrásközlés is.

Karácson Imre az eredeti Evlja-szövegre való hivatkozások jelentős részét arab betűkkel közölte, míg az 1985-ben, a Gondolat Kiadónál megjelent második kiadásban ezeket kiiktatták. Ezért a bevezető végén szükségét érezték annak, hogy közöljék az alkalmazott átírási rendszert, melynek segítségével bárki könnyen rekonstruálhatja az eredeti alakot.

A *Szejahatnáme* kapcsán még ma is nehézségeket okoz az a körülmény, hogy a munka nem végső formájában maradt ránk. Evlja Cselebi, akinek halálozási dátumát nem ismerjük pontosan, úti feljegyzéseit és összegyűjtött anyagát minden jel szerint élete vége felé kezdte el végleges formába önteni, de a halál megakadályozta abban, hogy tervét befejezze. Ezért aztán számos hiba, elírás, ellentmondás nehezíti meg a munka adatainak pontos értékelését.

De mégis, minden hiányossága és gyengesége ellenére, a szóban forgó mű pótolhatatlan forrása a 17. századi Oszmán Birodalomnak; történelmi forrás rangját csak olyan állásponttól lehet megtagadni tőle, amely a történelmet a politikátörténetre szűkíti le. Ezzel együtt Evlja Cselebi munkája fontos a korabeli gazdasági élet, kultúra, életmód, viselet, hadtörténet, technika stb. megismeréséhez.

Gondoljunk csak egy pillanatra arra, hogy milyen képünk lenne Evlja Cselebi nélkül a magyarországi török világ mindennapjairól, vagyis az Oszmán Birodalomban élő különböző népek összetételéről, azok mentalitásáról, a világ három külön földrészén az általuk létrehozott színes kulturális értékekről: dzsá-

mikről, fürdőkről, türbékről, karavánszerájokról, kutakról, hidakról, várakról; vagyis a hódoltságkori török építészet történetét Evlija Cselebi közlései nélkül nem lehetett volna megírni.

Ugyanakkor Evlija Cselebi *Útleírás*-ából tudjuk például azt, hogy Vitéz János esztergomi bíboros, érsek építtette a bámulatos hidroakusztikus vízgépet, s ő számol be magának a gépnek a működéséről is.

E néhány példa is érzékelteti talán, hogy Evlija Cselebi érteke nem történetírói mivoltában keresendő; elsősorban a mindennapi élet, a korabeli oszmán-török „civilizáció” leírójaként tarthat számot érdeklődésünkre.

Evlija Cselebi kortársaitól eltérően, ha saját korlátai között is, de igyekezett a muszlim világon túlra is tekinteni. A török írók között ugyancsak szokatlan dolgot tesz, amikor a törökök hibáira vagy mulasztásaira mutat rá, vagy méltatja az ellenség erényeit is, ahogy ez több helyen is olvasható munkájában. A *Szejjahatnáme* magyar vonatkozású részei pedig fontos adatokkal gazdagítják még ma is a hódoltságkori Magyarországra vonatkozó ismereteinket.

Futólag meg kell még említeni a *Szejjahatnáme*-ben szereplő magyar szavakat is, amelyek a nyelvek közötti érintkezésekre több szép példát adnak. A kérdéses szavak között

a mai törökben meghonosodott magyar eredetű szavak is találhatóak (vö: Zuhuri Danişman, *Evliyâ Çelebi Seyâhatnâmesi, Mehmed Zillî oğlu Evliyâ Çelebi* 9. cilt. 1970, 164. *Macar dili ve hesaplari*), például *város, palánk, palánkvár, hajdúság* stb., s figyelemre méltók a rövid magyar mondatok, így: *hoz bozat, hamar hoz, mujmek, nem tudom, honlakol, itlakom.* (Hozz búzát, hamar hozd, moss meg, nem tudom, hol lakol, itt lakom.) Azonban itt egy fontos hiányosságról is kell pár szót mondanunk, illetve egy tudományos szempontot is ki kell emelnünk. Sajnos a török kutatók sokáig nem hasonlították össze a mű különböző kéziratait, sem történelmi, sem nyelvészeti szempontból. Sőt az Evlija Cselebi kutatójaként ismert Cavit Baysun professzor sem foglalkozott eléggé a kéziratok összevetésével. A legutóbbi, Isztambulban készült és 1996–2007 között a Yapı ve Kredi Bankasınál megjelent betűhű szövegkiadás az alapok lerakásával ehhez a munkához nagy segítséget nyújt majd.

Mindent egybevéve Evlija Cselebi *Szejjahatnáme* című munkájának történelmi, irodalmi és művelődéstörténeti értéke felbecsülhetetlen.

Kulcsszavak: *Evlija Cselebi, Szejjahatnáme, útleírás, török–magyar kapcsolatok, Karácson Imre*

Vélemény, vita

A FILOZÓFUS SZEMÉRMERTLENSÉGE VÁLASZFÉLE NÁNAY BENCÉNEK

Vajda Mihály

az MTA rendes tagja, professor emeritus,
Debreceni Egyetem BTK Filozófiai Intézet
vajdam@mail.iif.hu

Nánay Bence *A filozófia és a tudományok* címen írt vitaindító cikket a Magyar Tudomány 2011/12 számába (Nánay, 2011). Cikkének célja tulajdonképpen a filozófia megmentése. Nem kisebb tekintély, mint Stephen Hawking állítja ugyanis a következőket: „A filozófia halott. Nem tartott lépést a tudományok (különösen a fizika) legújabb fejleményeivel. A tudósok lettek mára a felfedezés fátylájának hordozói a világ megismerésében.” Megpróbálok vitázni Nánay állításaival, aki a filozófiát megmenteni igyekezvén maga is csak a sírt ássa, amelybe a hullát majd kíméletesen leeresztjük. „Elméleti természettudománynak” akarja ugyanis tekinteni a filozófiát, ami persze a filozófia soha nem volt. Vagy két évszázadon keresztül az újkorban tudomány akart lenni, de nem tudott megfelelni a tudományosság akkori kritériumainak sem.

Megpróbálok a szerzővel vitázni, mondtam, de mindjárt ráébredtem: képtelenségnek tűnik, hogy vitázzunk egymással. Minden értelmes vita alapfeltétele ugyanis, hogy a vitázó felek találjanak valami közös

alapot, melyről elindulva szembeszegezhetik egymással érveiket. Közös alap híján olyan lenne a vita, mint egy lovagi torna, ahol a lovagok két egymással össze nem függő porondon táncoltatják paripáikat, s hiszik szembe helyezhetni dárdájukat a lovát valahol másutt táncoltató ellenféllel.

Nánay Bence a filozófiát a világ megismerésének tekinti, „a valóság felderítésének”, márpedig ha az (világon, valóságon értvén a létezők mindenségét), akkor eleve vesztesre áll a tudománnyal – amin Nánay a természet-tudományt érti – szemben. Mára a tudomány a valóság egészét, a létezők mindenségét lefeddi. Gondolom, Nánay Bence is kihallja ebből Heidegger szavát, aki *A filozófia vége és a gondolkodás kezdete* című híres esszéjében nagyjából azt állítja, hogy a filozófia (korábban Heidegger még metafizikának nevezte), ha a létezők mindenségének leírására vállalkozott, akkor befejezte feladatát, sikeresen előkészítette a talajt a tudományok számára. Elkezdhetünk hát gondolkodni, mert hát a tudomány, állítja másutt a tudósok és min-

den józan ember megrökönyödésére Heidegger, „nem gondolkodik”. A *Magyar Tudomány* hasábjain talán illenék megmagyaráznom, hogyan vetemedhetett valaki arra, hogy ezt az arcátlanságot állítsa. Lemondok erről a magyarázatról.¹ Az olvasót mély tisztelettel Heidegger – különben ma már magyarul is elérhető – *Mit hívunk gondolkodásnak?* című könyvéhez utalom (Heidegger, 2008). Csak annyit mondanék: Martin Heidegger egy hosszú élet számtalan súlyos élet-tévedéssel is terhelt kínlódása során mindig a lét, sohasem a létezők titkait kereste. S végül is arra jutott, hogy ő a maga részéről annak megfejthetetlen titkát keresi, *hogyan* vagyunk, nem pedig a – végül is nem olyan titokzatos – „tőlünk idegen dolgokat” vizsgálja, azt, hogy azok, nevezetesen a létezők – beleértve önmagunkat is, az emberi létezőt mint olyat – *hogyan* vannak. Heidegger nyomán én sem hiszem, hogy a filozófia (a gondolkodás) a világ megismerése, a valóság, a tőlünk idegen dolgok felderítése lenne. Ha az, akkor tényleg halott. Nyugodjék békében!

De miért ne lehetne ez az ugyancsak furcsa szüleménye európai létezésünknek, melyről éppenséggel a tudomány gondolja úgy manapság, hogy nem gondolkodik, hiszen nem szolgál számunkra hasznos ismeretekkel (mely állítással, ha a haszon fogalmát úgy használom, ahogy ma majd' mindenki, azaz anyagi javaink gyarapodásaként, kénytelen vagyok mélységesen egyetérteni), valami egészen mást céloz meg, mint a tudomány. A létet, mondja Heidegger. Ezzel azonban igazán nem muszáj egyetérteni, még érteni sem muszáj az állítást. Mi lenne, ha azt állítanám, hogy a filozófia az ént, az én éneket keresi? Idézek néhány ismert gondolkodót.

¹ Schwendner Tibor írt egy kitűnő könyvet *Heidegger tudományfelfogása* címen: Schwendner, 2000.

1. Platón:

„– Mondd csak, Szókratész, nem innen valahonnan az Ilisszosz mellől ragadta el a hagyomány szerint Boreasz Óreithüiát?

– Így mondják!

– Vajon nem éppen innen? Kellemesnek, tisztának és átlátszónak mutatkozik itt a víz és alkalmasnak rá, hogy lányok játsszanak mellette.

– Nem, hanem úgy két-három sztadionnal lejjebb, ahol az Agre szentélyéhez kelünk át; ott oltára is áll Boreasznak.

– Még sose öltött a szemembe. De mond csak, Zeuszra, Szókratész: hiszed, hogy igaz ez a mitikus elbeszélés?

– Ha a *mai bölcsék* módjára nem hinnék benne, nem keltenék feltűnést; és szofista szokás szerint elmondanám, hogy Boreasz szele sodorta le a közeli sziklákról a lányt, amint Pharmakeia nimfával játszott, és mint-hogy ilyen véget ért, ezért mesélték róla, hogy Boreasz ragadta el innen vagy Arész szirtjéről – mert ez a szóbeszéd is járja, hogy onnan, s nem innen ragadta el. Én azonban, Phaidrosz, egyébként kellemes időtöltésnek gondolom az ilyesmit, csak éppen *egy szörnyű okos, fárdatlan és nem túlságosan szerencsés ember* foglalatosságának – s nem egyéb okból, csupán azért, mert aztán megahippokentauroszok alakját lesz kénytelen kijavítani, utána Khimairáét, majd felé özönlük a Gorgók és Pégaszozok tömege és egyéb lehetetlen, csodás teremtmények különös sokasága. S ha az ember nem hisz bennük, és mindegyiket valami természeti jelenségre próbálja visszavezetni, mintegy paraszti, *józan ésszel élve*, ugyan csak sok szabad időre lesz szüksége. Nekem bizony nincs időm az ilyesmire, s ennek oka, barátom, a következő: *még arra sem vagyok képes, hogy – a delphoi felirat értelmében – megismerjem önmagamát, s nevétesnek tar-*

tom, hogy amíg ebben tudatlan vagyok, tőlem idegen dolgokat vizsgáljak. Ezért tehát búcsút mondván nekik, elhiszem, amit a hagyomány tart róluk, és – mint az imént említettem – nem az ilyesmit, hanem *önmagamát vizsgálom*: vajon valami szörnyeteg vagyok-e, aki Tüphónnál is bonyolultabb és jobban okádja a tüzet, vagy pedig szelídebb és egyszerűbb lény, akinek természeténél fogva valami isteni és minden elvakultságtól mentes jelleg jutott osztályrészéül.” (Platón, 1984. [229 C-230A], kiemelések tőlem – V. M.)

Valószínűtlen, hogy Platón a filozófia definícióját kívánta volna imádott mestere szájába adni. Azt viszont, amit Szókratész művelt, azt azért ma többnyire filozófiának tekintjük. Márpedig Platón szerint Szókratész nem a tőle idegen dolgokat, hanem önmagát vizsgálta. Furcsa, de ez igaznak tűnik.

2. Heidegger írja róla:

„Amennyiben az önmagát megvonóra vonatkozunk, akkor a magát megvonóra, szólításának titokzatos és ezért változó közelségére való rámozdulásban vagyunk. Amennyiben egy ember sajátosan ezen vonzásban van, akkor gondolkodik, legyen mégoly messzire is az önmagát megvonótól, s maradjon a megvonás maga bármennyire is homályban. Szókratész egész életében, egészen haláláig semmi mást nem tett, mint hogy ennek az elmozdulásnak a huzatába állt és abban benne maradt. Ezért ő a Napnyugat legtisztább gondolkodója. Ezért nem írt semmit sem. Mert aki a gondolkodásból eredően írni kezd, az vitathatatlanul azokhoz az emberekhez hasonlít, akik a túl erős szél elől a szélárnyékba menekülnek. Egy még rejtőzködő történelem titka, hogy miért kellett Szókratész után a Napnyugat valamennyi gondolkodójának, függetlenül nagyságától, ilyen menekültté válnia. . .

Az előző órán azt mondtuk, hogy Szókratész a Napnyugat legtisztább gondolkodója, követőinek a szélárnyékba kellett húzódnia. Megdöbbenve kérdeznek vissza: mi a helyzet Platónnal, Augustinusszal, Aquinói Tamással, Leibniz-cel, Kanttal, Nietzschével? Szabad ezeket a gondolkodókat Szókratészszal szemben ennyire lekicsinyelni? Nem hallották meg azonban, hogy hozzátettük: a Napnyugat valamennyi gondolkodója, Szókratész után, »függetlenül nagyságától«. Nem lehetetlen tehát, hogy valaki a legtisztább gondolkodó, anélkül, hogy a legnagyobbakhoz tartoznék.”

Nem lehetséges vajon, hogy ez a magát megvonó, ami nem állítja magát élénk, amint a létezők teszik, végezetül is én magam volnék? Mert Heidegger azt is állítja, hogy „... ha az ember lényegére kérdezzük, *mi magunkra* kérdezzük. [...] olyan létezőre. . . , *amelynek lenni nekünk magunknak van feladva.* [...] A kérdés, hogy mi az ember, ha valóban felteszik, az embert kifejezetten átadja *saját* jelenvaló-létének (– mondjuk az érthetőség kedvéért, *saját* létezésének – V. M.)” (Heidegger, 2008)

Márpedig az ember lényegére kérdezni, az bizonyosan valami más, mint az emberre mint létezőre kérdezni, ahogy mondjuk a biológia, az antropológia vagy a pszichológia tudománya teszi. Hogy mire gondolt Heidegger, amikor a magát megvonóról szólt, azt most hagyjuk. De vajon az én, az én énem nem vonja-e meg magát vizsgáló szemeimtől?

3. Hadd idézzem még Fichtét is:

„Aki ténylegesen is csak a dolgok terméke, soha nem fogja magát másképpen megpillantani, és igaza lesz mindaddig, amíg csak önmagáról és a magához hasonlókról beszél. A dogmatikus alapelve: hit a dolgokban, önmagukért; tehát közvetve, hit a szétesett és csak az objektumok által összetartott önma-

gában. [...] Aki azonban tudatára jut önállóságának és függetlenségének mindattól, ami rajta kívül van – és ezt csak az biztosíthatja, ha az ember mindentől függetlenül önmaga teszi magát valamivé –, annak nincsen szüksége a dolgokra mint önmaga támaszára, és nem is kellhetnek neki a dolgok, mert megszüntetik és üres látszattá teszik önállóságát... Hite önmagában közvetlen. [...] Hogy milyen filozófiát választ az ember, attól függ tehát, hogy milyen ember: mert *a filozófiai rendszer nem valami élettelen gönc, melyet az ember csak úgy félredob vagy újra előszed: élettelt tölti meg azt az ember lelke.*” (Fichte, 1975, kiemelés tőlem – V. M.)

Szóval a filozófia megválasztása – és ez persze egy igen bonyolult folyamat, annak a bizonyos titokzatos, magát kétségtelenül megvonó énnel a műve, aki filozófiájának megválasztásával önmagát értelmezi.

4. Nietzsche aztán – az elmondottak fényében talán már nem is meglepő – **ezt állítja:**

„Fokozatosan kiderült számomra, mi is volt eddig minden nagy filozófia: nem más, mint szerzőjének önvallomása, s egyfajta akaratlan és észrevétlen mémoires; valamint az is, hogy a morális (vagy moráltalan) szándékok alkották minden filozófiában azt a voltaképpeni életcsírát, amelyből az egész növény sarjadt. Valóban, ha az ember arra keres magyarázatot, hogyan jöttek voltaképpen létre valamely filozófus legféltreesebb

metafizikai állításai, jól teszi (és okosan), ha előbb mindig azt kérdezi: miféle morálra akar ez (azaz ő) kilyukadni? Ennek megfelelően nem hiszem, hogy a 'megismerés ösztöne' a filozófia atyja, hanem hogy valamely másik ösztön volt az, amelyik, mint mindig és mindenütt, a megismerést (és a félreismerést!) mint valami eszközt használta. [...] a filozófuson nincs egyáltalán semmi személytelen; legkivált pedig a morálja nyújt határozott és meghatározó tanúbizonyságot arról, *ki is ő...*” (Nietzsche, 1995, [I/6.])

Bármit mondasz, filozófus, magadról árulkodsz, lemezteleníted önmagad. Félre hát a filozófiával, beszéljünk inkább a tőlünk idegen dolgokról, még magamról is úgy, mintha tőlem idegen dolog volnék! Elég ebből a szemérmetlen magamutogatásból! – kiabál a hasznosság világa. Én magam azonban nem szívesen mondanék le – valljam be: nem is vagyok képes rá – erről az európai tradíció szülte filozófiáról. Ha már egyszer a szubjektum, az én elé táruolt objektumvilág feltérképezése vált az európai ember számára a legfontosabbá, kíváncsi vagyok arra is, ki is ez a feltérképező én. Lehet persze a filozófiára másképp is tekinteni, de hogy a valóságot derítene fel?

Kulcsszavak: *filozófia, tudomány, a filozófia halála, a filozófia mint tudomány, a filozófia mint memoár*

IRODALOM

Fichte, Johann Gottlieb (1975): *Versuch einer neuen Darstellung der Wissenschaftslehre*. Felix Meiner, Hamburg • <http://books.google.hu>
Heidegger, Martin (2008): *Mit hívunk gondolkodásnak? Gutenbergtér*. (Ford.: Vajda Mihály) Gond, Budapest
Nánay Bence (2011): *A filozófia és a tudományok Magyar Tudomány*. 12, 1493–1498.

Nietzsche, Friedrich (1995): *Túl jön és rosszon. Matúra Bölcsélet*. (Ford.: Tatár György) Ikon, Budapest
Platón (1984): Phaidrosz. (Ford.: Kövendi Dénes) In: *Platón összes művei. Bibliotheca Classica*. Európa, Budapest, II. 711–807.
Schwendtner Tibor (2000): *Heidegger tudományfelfogása*. Gond–Osiris, Budapest

A jövő tudósai

Tisztelt Olvasó!

A kutatók utánpótlásával – fiatal tudósokkal foglalkozó melléklet harmincnyedik számában *Cziráki Szabina* és *Szendró Péter* írását mutatjuk be a magyar tehetséggondozás hat évtizedes múltra visszatekintő, igazi hungarikuma, az országos tudományos diákköri mozgalom aktuális kérdéseiről. Kérjük, ha az

ifjú kutatókkal, avagy a nők tudományban betöltött helyzetével kapcsolatos témában bármilyen vitázó megjegyzése vagy javaslata lenne, keresse meg a melléklet szerkesztőjét, Csermely Pétert az alábbi e-mail címen.

Csermely Péter

az MTA doktora

(Semmelweis Egyetem Orvosi Vegytani Intézet)
csermely.peter@med.semmelweis-univ.hu

HAT ÉVTIZED, HARMINC OTDK VÁLTOZATLAN CÉLOK, NÖVEKVŐ TEKINTÉLY (A tudományos diákköri mozgalom kettős jubileumot ünnepelt)

A felsőoktatási tehetséggondozás leghatékonyabb formája, a tudományos diákkör 2011-ben ünnepelte hat évtizedes fennállását. Az első intézményi tudományos diákköri konferenciákat ugyanis 1951-ben rendezték az Eötvös Loránd Tudományegyetemen, valamint a Veszprémi Vegyipari Egyetemen. Ezt követően vált országos mozgalommá a TDK. Így 1955-ben Tudományos Diákkörök Első Országos Konferenciája néven már országos konferencia lebonyolítására is sor kerülhetett. Az első OTDK-n 109 pályamunkát mutattak be a hallgatók tizenkilenc szakkonferencián (Anderle, 2011). Most, ötvenöt évvel később, 2011 áprilisában az Országos Tudományos Diákköri Tanács (OTDT), valamint tizenhat egyetemi és főiskolai kar a Magyar Tudományos Akadémia és a Nemzeti Erőforrás Minisztérium fővédnökségével a XXX. Jubileu-

mi Országos Tudományos Diákköri Konferenciát szervezte meg.

A XXX. Jubileumi Országos Tudományos Diákköri Konferencia

Az OTDK rendszere

Az Országos Tudományos Diákköri Konferenciákra hagyományosan minden második év tavaszán kerül sor. A 2003. évtől kezdve bővült a tudományterületi szekciók száma tizenhatra. Az OTDK a legnagyobb hallgatói tudományos fórum, amely egyben verseny is, ahol szekciókon belül a hasonló témájú pályamunkák tagozatokban „mérkőznek” az I., II., III. helyezésekért. A tagozatok zsűritagjai (a pályamunkák bírálói) a tudományos élet jeles képviselői. A hallgatók számára a részvétel már maga is dicsőség, hiszen az in-

tézményekben bemutatott 11 651 pályamunkából végül 4169 szerepelt a XXX. Jubileumi OTDK-n. A zsűritagoktól kapott visszajelzés és értékelés pedig jelentős segítség a szakmai előrehaladásban.

Az Országos Tudományos Diákköri Konferencia rendező intézményeire az OTDT szakmai bizottságai tesznek javaslatot, amelyet az OTDT hagy jóvá a felhívás elfogadásával. A rendező intézmények számára a tanács szervez felkészítéseket, amelyeken a minőséget biztosító legfontosabb kérdésekről és a központi szabályokról folyik az egyeztetés.

A XXX. Jubileumi OTDK előkészítése

Az Országos Tudományos Diákköri Tanács a TDK-munka hatékony támogatásának érdekében a XXX. Jubileumi Országos Tudományos Diákköri Konferencia meghirdetését követően áttekintette azokat a kérdéseket, amelyekben fejlesztés látszott szükségesnek. A fő szempont a minőségbiztosítás fokozása volt, amelyet segített az, hogy az Országos Tudományos Diákköri Tanács szakmai közreműködőként részt vett az Oktatás-kutató és Fejlesztő Intézetben folyó *TÁMOP-4.1.4 Minőségfejlesztés a felsőoktatásban* című kiemelt program megvalósításában. Ennek jegyében a tudományterületi szekciók felülvizsgálták bírálati szempontrendszerüket, annak érdekében, hogy a pályamunkák értékelése minél egységesebb lehessen. Kiemelt kérdésként jelent meg továbbá a fokozott hallgatói részvétel a tanács és szakmai bizottságai munkájában. Ezért az OTDT azt a döntést hozta, hogy a tanács és a szakmai bizottságok számára lehetővé teszi a helyettesítő hallgatói tagok mandátummal történő delegálását. A hallgatói képviselő akadályoztatása esetén a helyettes vehet részt a munkában és a tanács ülésén.

Az OTDT online rendszere

Az Országos Tudományos Diákköri Tanács a XXIX. OTDK nevezésével kapcsolatos tapasztalatok értékelését követően új online rendszer fejlesztését határozta el. Az új szoftver kidolgozását és beüzemelését a XXX. Jubileumi OTDK Informatika Tudományi Szekciójának rendező intézménye, a Pázmány Péter Katolikus Egyetem Információs Technológiai Kara vállalta magára. A fejlesztés célja az volt, hogy az intézményi TDK-konferenciák, az OTDK, valamint a Pro Scientia Aranyéremre beérkező pályázatok adatait egyetlen rendszer kezelje és tárolja. Korábban ezeket az adatokat külön adatbázisok tartalmazták. Az intézményi Tudományos Diákköri Tanácsok elnökei által beküldött dokumentumok alapján az OTDT Titkársága vezette többek között azon hallgatók és pályamunkák listáját, akik jogosultságot szereztek a következő OTDK-n történő részvételre. Az így kialakult adatbázist vetette össze a Titkárság az OTDK-ra nevezett pályamunkák adataival, megállapítva, hogy van-e jogosultsága a szerzőknek arra, hogy részt vegyenek az OTDK-n. Ez az új informatikai rendszer hiányában korábban jelentős humán erőforrás-befektetést igényelt, aminek biztosítása egyre nehezebbé vált a többi aktuális teendő mellett. A régi rendszer az OTDK-szekciók szervezőinek kiszolgálását is nehezítette, hiszen csak hetekkel a nevezés lezárultát követően kaphatták meg a pályamunkák adatait.

A fejlesztéshez koncepció készült, amelynek egyeztetését követően alakult ki a végleges álláspont a fő elemekről, amelyek nélkülözhetetlenek voltak a nevezés és az OTDK lebonyolításának megújításához. A XXX. Jubileumi OTDK-t követően azonban a fejlesztés további folytatása szükséges, hiszen

lényeges elemek megvalósítására (például a szekciók rendezői számára az adatbázishoz való hozzáférési jogosultság stb.) sajnos még nem kerülhetett sor. E nélkül az országos fórumok korrekt szervezése már megoldhatatlan. A TDK-sok számának dinamikus növekedése pedig igényli a magas szintű informatikai támogatást.

A XXX. Jubileumi OTDK-t megelőző intézményi TDK-konferenciák

Az intézményi TDK-konferenciák célja, hogy a hallgatók a tudományos diákköri tevékenység keretében végzett kutatásaik eredményeit nyilvánosság előtt bemutathassák, azokról visszajelzést kapjanak, valamint a zsűritagoktól kapott észrevételek segítsék további szakmai tevékenységüket. Az intézményi TDK-konferenciákon a pályázók helyezéseket, díjakat nyerhetnek, továbbá a zsűri javaslatot tehet az OTDK-n történő bemutatásra. A konferenciákról jegyzőkönyvek készülnek, amelyeket az OTDT titkárságához kell megküldeni elektronikusan és hitelesítve postai úton is.

A XXX. Jubileumi Országos Tudományos Diákköri Konferenciára először még a XXIX. OTDK szekcióinak megkezdését megelőzően, 2009 márciusában szereztek jogosultságot hallgatók. Az intézményekben 1713 szekcióban rendeztek TDK-konferenciát, amelyeken 13 520 hallgató 11 651 pályamunkát mutatott be. Felkészülésüket 14 154 témavezető segítette. A XXX. Jubileumi OTDK intézményi összesített adatait az 1. sz. táblázat tartalmazza.

Határon túli hallgatók részvétele a tudományos diákköri munkában és az OTDK-n

Az Országos Tudományos Diákköri Tanács fontos célkitűzése volt a XXX. Jubileumi

OTDK-t megelőzően, hogy bővítse a határon túli magyar hallgatók részvételét. Az előző OTDK-k adatai azt mutatták, hogy egyre kevesebb nevezés érkezik ezekről a területekről. Annak érdekében, hogy ez a tendencia megforduljon, az OTDT a Magyar Rektori Konferenciával együttműködve nemzetközi megállapodásokat kötött. Így elsőként a romániai partnerekkel, a tudományos diákköri konferenciákat szervező Országos Magyar Diákszövetséggel, a Kolozsvári Magyar Egyetemi Intézettel, valamint az MTA Kolozsvári Akadémiai Bizottságával. A megállapodás értelmében az OTDT szakmai bizottságaiba a romániai aláírók meghívott tagot delegálnak az érdekképviselő ellátására, továbbá a megfelelő tájékozottság biztosítására. A szerződésben az OTDT Romániában az Erdélyi Tudományos Diákköri Konferenciát ismerte el első forduló TDK-konferenciának, amelyen a hallgatók jogosultságot szerezhetnek az OTDK-n történő részvételre. A megállapodást a Magyar Rektori Konferencia kolozsvári ülésén, 2010. június 11-én írták alá.

A romániai megállapodás megkötését követően 2011. február 4-én, Debrecenben került aláírásra a felvidéki, a kárpátaljai és a vajdasági együttműködési nyilatkozat. A szerződések aláírói magyar részről az OTDT, a Magyar Rektori Konferencia és a Felsőoktatási és Tudományos Tanács. A felvidéki partnerek: a Nyitrai Konstantin Filozófus Egyetem Közép-európai Tanulmányok Kara, Selye János Egyetem, a Selye János Egyetem Hallgatói Önkormányzata és a Diákhálózat. A kárpátaljai partnerek: a GENIUS Jótékonyági Alapítvány és az Ungvári Nemzeti Egyetem Magyar Tannyelvű Humán- és Természettudományi Kara. A vajdasági partnerek: a Vajdasági Magyar Felsőoktatási Kollégium, a Vajdasági Magyar Akadémiai Tanács, vala-

Intézmény	Intézményi konferencián bemutatott pályamunkák száma	A XXX. Jubileumi OTDK-ra javasolt pályamunkák száma	A XXX. Jubileumi OTDK-n bemutatott pályamunkák száma	A XXX. Jubileumi OTDK 1–3. helyezések száma	Pro Scientia, Pro Arte és Junior Pro Scientia Aranyérmes hallgatók száma
Általános Vállalkozási Főiskola	34	22	11	3	0
Apor Vilmos Katolikus Főiskola	6	6	4	0	0
Budapesti Corvinus Egyetem	568	398	210	89	7
Budapesti Gazdasági Főiskola	135	35	31	8	0
Budapesti Kommunikációs és Üzleti Főiskola	50	34	28	10	1
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem	1095	438	349	138	5
Debreceni Egyetem	1173	617	402	116	2
Dunaújvárosi Főiskola	80	21	13	2	0
Debreceni Református Hittudományi Egyetem	6	4	3	1	0
Eötvös József Főiskola	95	51	17	3	0
Eszterházy Károly Főiskola	309	202	133	32	0
Eötvös Loránd Tudományegyetem	843	734	543	231	13
Gábor Dénes Főiskola	34	8	6	0	0
Harsányi János Főiskola	10	8	4	0	0
Kaposvári Egyetem	80	52	36	15	0
Kecskeméti Főiskola	73	44	30	5	0
Kodolányi János Főiskola	86	36	12	2	0
Károli Gáspár Református Egyetem	124	106	64	14	1
Károly Róbert Főiskola	145	82	45	15	0
Kölcsey Ferenc Református Tanítóképző Főiskola	14	14	5	1	0
Liszt Ferenc Zeneművészeti Egyetem	4	4	4	1	0

Miskolci Egyetem	545	324	180	32	0
Magyar Képzőművészeti Egyetem	31	18	16	5	1
Moholy-Nagy Művészeti Egyetem	20	12	14	8	0
Mozgássérültek Pető András Nevelőképző és Nevelőintézete	7	4	4	0	0
Modern Üzleti Tudományok Főiskolája	29	10	4	0	0
Nemzetközi Üzleti Főiskola	6	4	2	1	0
Nyíregyházi Főiskola	168	82	44	8	0
Nyugat-magyarországi Egyetem	395	268	156	40	1
Óbudai Egyetem	256	108	54	12	0
Országos Rabbiképző - Zsidó Egyetem	3	2	2	0	0
Pannon Egyetem	265	211	147	38	0
Pécsi Püspöki Hittudományi Főiskola	1	1	1	0	0
Pázmány Péter Katolikus Egyetem	246	232	136	48	2
Pécsi Tudományegyetem	801	508	359	111	2
Rendőrtiszti Főiskola	144	108	58	24	0
Semmelweis Egyetem	903	178	98	39	5
Sola Scriptura Teológiai Főiskola	3	1	1	0	0
Sapientia Szerzetesi Hittudományi Főiskola	1	1	1	1	0
Széchenyi István Egyetem	489	152	73	17	1
Szolnoki Főiskola	50	26	16	0	0
Szent István Egyetem	523	340	181	61	0
Szent Pál Akadémia	3	3	3	1	0
Szegedi Tudományegyetem	1110	726	502	152	4
A Tan Kapuja Buddhista Főiskola	5	4	3	0	0
Tomori Pál Főiskola	7	4	0	0	0
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem	124	99	57	21	2
Zsigmond Király Főiskola	32	31	15	4	0
Határon Túli Intézmények	398	211	79	16	0
Középiskolás Diákkonferenciák	122	80	13	1	1
Mindösszesen	11 651	6664	4169	1327	48

1. táblázat • A XXX. Jubileumi OTDK összesített intézményi adatai

mint a Magyar Nemzeti Tanács Felsőoktatási és Tudományügyi Bizottsága.

Az együttműködések eredményeként a határon túli résztvevők száma az előző OTDK-hoz viszonyítva megduplázódott a XXX. Jubileumi OTDK-n. Emellett fontos szakmai párbeszédtek is megkezdődtek, amelyek meghatározóak lesznek a jövő szempontjából. A Fizika, Földtudományok és Matematika Szakmai Bizottság tervei között pedig az szerepel, hogy 2015-ben a szekciót Kolozsvárott rendezik meg.

A XXX. Jubileumi Országos Tudományos Diákköri Konferencia szekcióüléseiről

A XXX. Jubileumi Országos Tudományos Diákköri Konferencia szekcióüléseinek megrendezésére 2011. április 6. és 29. között került sor. A konferenciasorozatra 4470 pályamunkát neveztek be a szerzőik, amelyek közül a tizenhat tudományterületi szekció 410 tagozatában végül 4169-t mutattak be. A zsűrik 403 első, 481 második és 443 harmadik helyezést osztottak ki (a XXX. Jubileumi OTDK szekcióinak részletes adatait a 2. számú táblázat tartalmazza). A szekciók beszámolóit a rendkívül nagy érdeklődés mellett a magas szakmai színvonalat emelték ki. A rendező intézmények jó házigazdái voltak az eseménynek, biztosították a tudományos konferencia és a verseny feltételeit is. Lehetőséget teremtettek a különböző helyről érkező, hasonló érdeklődésű fiatalok számára a párbeszédre. A szakmai programok mindenhol kulturális rendezvényekkel egészültek ki, s ennek eredményeként a XXX. Jubileumi OTDK a tudomány és tehetség valódi ünnepévé válhatott.

A XXX. Jubileumi Országos Tudományos Diákköri Konferencián pályamunkát bemutató fiatalok 46%-a alapképzésben (BA, BSc) vett részt, a helyezést elérők esetében ez

az arány 41%. Mindez azt mutatja, hogy az osztott képzés nem okozott fennakadást a TDK-ban, a BA, BSc képzés integrációja sikeresnek tekinthető.

A konferenciasorozat összköltségvetése 2011-ben mintegy 300 millió Ft volt. Ennek biztosításához a Nemzeti Tehetség Programból nyújtott támogatás jelentős segítséget adott (60 millió Ft), amit azonban az intézményeknek további forrásokkal kellett kiegészíteniük.

Az OTDT XXX. Jubileumi Országos Tudományos Diákköri Konferencia alkalmából odaítélt kitüntetései

A XXX. Jubileumi Országos Tudományos Diákköri Konferenciát követően a tagozati első helyezettek pályázhattak a Pro Scientia Aranyéremre, valamint a felsőoktatási intézmények megküldhették felterjesztéseiket a Mestertanár Aranyérem kitüntetésre. A beérkezett Pro Scientia Aranyérem pályázatok száma 260 volt. A kitüntetés odaítélésének feltétele az OTDK-n elért első helyezés. A pályázók közül a teljes hallgatói életút figyelembe vételével történik meg a kitüntetettek kiválasztása. Először az OTDT szakmai bizottságai választották ki tudományterületük legjobbjait (legfeljebb öt hallgatót). Felterjesztéseiket a Pro Scientia Aranyérem Odaítélő Főbizottság három albizottsága véleményezte, a kitüntetettek személyéről pedig a Pro Scientia Aranyérem Odaítélő Főbizottság döntött. Összesen negyvenöt fiatal nyerte el a Pro Scientia Aranyérmet, ketten a művészetek területén elért kimagasló eredményekért Pro Arte Aranyérem, egy fiatal pedig a középiskolás korban nyújtott kiemelkedő kutatómunkájáért Junior Pro Scientia Aranyérem kitüntetésben részesült. Az Aranyérmek közül többen a Közigazgatási és Igazság-

ügyi Minisztérium, a Vidékfejlesztési Minisztérium, a Magyar Innovációs Alapítvány, valamint a Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatalának különdíját is elnyerték, továbbá vala-

mennyien megkapták Csányi Sándornak, az OTP Bank elnök-vezérigazgatójának pénzjutalmát, és immár másodízben a Tomcsányi Pál akadémikus által adományozott, a dokto-

Szekció sorszáma	Szekció	Helyezések				
		Bemutató pályamunkák száma	I. helyezett pályamunkák száma	II. helyezett pályamunkák száma	III. helyezett pályamunkák száma	külföldi pályamunkák száma
1.	Agrártudományi	325	29	32	37	33
2.	Állam- és Jogtudományi	267	31	32	14	49
3.	Biológia	268	29	34	32	19
4.	Fizika, Földtudományok és Matematika	313	39	41	28	70
5.	Had- és Rendészettudományi	126	19	21	11	30
6.	Humán Tudományi	483	45	60	48	11
7.	Informatika Tudományi	118	15	16	10	19
8.	Kémiai és Vegyipari	183	16	16	30	0
9.	Közgazdaságtudományi	494	43	56	56	51
10.	Műszaki Tudományi	381	32	41	53	48
11.	Művészeti és Művészet tudományi	269	25	26	25	1
12.	Orvos- és Egészségtudományi	216	18	29	25	38
13.	Pedagógiai, Pszichológiai, Andragógiai és Könyvtartudományi	260	20	31	35	28
14.	Tanulás- és Tanításmódszertani - Tudástechnológiai	77	9	10	7	22
15.	Társadalomtudományi	285	22	24	21	23
16.	Testnevelés- és Sporttudományi	104	11	12	11	15
	Összesen	4169	403	481	443	467

2. táblázat • A XXX. Jubileumi OTDK szekcióinak összesített adatai

ri iskolák számára írott *Általános kutatómódszertan* című tankönyvet.

A szekciókban a Pro Scientia Aranyéremmel kitüntetett fiatalok számának megfelelő arányban 47, a szakmai bizottságok által a felsőoktatási intézmények jelöltjeiből legfeljebb öt kiválasztott és rangsorolt oktató, kutató érdemelte ki a Mestertanár Aranyérem kitüntetését. Emellett az OTDT Elnöksége a Mestertanár Aranyérem Szabályzatban foglaltaknak megfelelően tovább hét kitüntetés odaítéléséről határozott.

Az Országos Tudományos Diákköri Tanács 2011-ben is odaítélte három professzornak legrangosabb elismerését, a Honoris Causa Pro Scientia Aranyérmet (amelyet minden alkalommal egy közéleti személyiségnek, egy természettudósnak és egy társadalomtudósunk adnak át). Az OTDT három szenior mester számára Máriás Antal Emlékérmet, TDK-t támogató munkájáért öt személynek OTDT Arany Kitűzött adományozott. Az OTDT Elnöksége 2011-ben megalapította a TDK-t segítő publicisztikai tevékenység elismerésére az OTDT Újságírói Díjat, amelyet 2011-ben első alkalommal ítéltek oda.

A kitüntetéseket a Magyar Tudományos Akadémia Dísztermében, 2011. november 23-án az OTDT-nek a XXX. Jubileumi OTDK befejezése alkalmából rendezett ünnepi ülésén adták át.

Az OTDT Elnöksége 2011-ben az ünnepi év alkalmából megalapította a XXX. Jubileumi OTDK Emlékérem kitüntetését, amellyel a TDK érdekében hosszú időn keresztül végzett eredményes oktatói, kutatói és közéleti tehetségszolgáltató tevékenységet ismertte el. Az odaítélés során az Országos Tudományos Diákköri Tanács 16 szakmai bizottsága összesen 140 főre tett javaslatot. A szakmai bizottsági hatáskörben odaítélt emlékérmeken túl

az OTDT Elnöksége további 60 elismerést adományozott. Az Emlékérmek átadására 2011. október 27-én került sor az Eötvös Loránd Tudományegyetem Gólyavár Rendezvényközpontjában. Erre az alkalomra jelentette meg a tanács *A magyar tudományos diákköri konferenciák története (1951–2011)* c. kötetet (szerkesztője Anderle Ádám professzor).

A Pro Scientia Aranyérem és a Mestertanár Aranyérem kitüntetettjeit az OTDT 2011-ben megjelent Almanach kötete részletesen bemutatja. Ugyanebben a kiadványban megtalálható a XXX. Jubileumi OTDK Emlékéremmel kitüntetettek listája is.

Az Országos Tudományos Diákköri Tanács újjáalakulása

Az Országos Tudományos Diákköri Tanács 2011 ősztén, a XXX. Jubileumi Országos Tudományos Diákköri Konferenciát követően újjáalakult. Tudományterületi szakmai bizottságaiban megújult az intézményi képviselet, emellett mind a tizenhat szakmai bizottság elnököt és elnökhelyettest választott, immár egységesen négy évre. A megválasztott elnökök és elnökhelyettesek megbízólevelüket a tanács 2011. november 4-i ülésén vették át. Az OTDT ugyanezen ülésen ismételt újabb öt évre megválasztotta elnökét (aki 1987-től tölti be ezt a pozíciót) és négy alelnököt, továbbá az elnökség tagjait (mandátumuk szintén öt évre szól). A választásoknak köszönhetően a folyamatos működés biztosított, hiszen a következő OTDK előkészítése már megkezdődött, így az újonnan megválasztott tisztviselők átgondoltan tervezhetnek.

Az OTDT jövőképe

Az Országos Tudományos Diákköri Tanács célkitűzése, hogy a hagyományok tiszteletben tartásával, az értékek megőrzésével és a szín-

vonat fenntartásával, sőt emelésével párhuzamosan fejlessze az intézményi tudományos diákköri tevékenységet, annak országos fórumát, az OTDK-t, és az ahhoz kapcsolódó szolgáltatásokat. Ennek jegyében 2010-ben, Kecskeméten megrendezte a *TDK–Felsőoktatás–Minőség* konferenciát, amelyen a felsőoktatási intézmények TDT-elnökei, titkárai, felelősei (mintegy 250-en) folytattak párbeszédet az aktuális kérdésekről. Ezen a rendezvényen fordult elő először az, hogy a tizenhat tudományterületi szakmai bizottság ugyanazon időpontban ülésezett. Itt tárgyaltak első alkalommal a TDK-eredményességi mutatóról, amelynek célja a felsőoktatási rangsorokban eddig használt torz mutatószám kiváltása. A konferencián elhangzottak alapján a TDK-eredményességi mutató kidolgozása folyamatban van.

Kiváló TDK-műhely elismerés

A tanács fontosnak tekinti az eredmények megfelelő visszacsatolását és nyilvántartását, ezért a jövőben bevezeti a *Kiváló TDK-műhely* címet, amellyel a felsőoktatási intézményekben és a kutatóintézetekben működő, bizonyítottan eredményes tudományos diákköri műhelyeket tervezi elismerni a szakmai bizottságok és az intézményi/kari TDK-tanácsok együttműködésével.

A Tehetségútlevél program

A közoktatásban bizonyítottan tehetséges fiatalok számára, annak érdekében, hogy mihamarabb bekerülhessenek a felsőoktatási tehetséggondozásba, az OTDT elindítja a Tehetségútlevél programot. Ennek keretében a végzős osztályok osztályfőnökei számára olyan online felület kialakítására kerül sor, amelyen lehetőségük lesz arra, hogy tehetséges tanítványaik számára útlevelet adjanak,

amely tanúsítja eddigi eredményeiket. Az útleveleket az OTDT online rendszerén keresztül megkapják az intézményi TDT-elnökök, akiknek a feladata az lesz, hogy mielőbb, már a beiskolázást követően felvegyék a kapcsolatot a hallgatókkal, és segítsék őket a TDK-munkába történő bekapcsolódásban.

A 2011. évben a Tehetségútlevél program pilot projektjeként az Oktatási Hivatal segítségével a 2011/12 évben tanulmányaikat megkezdő OKTV-döntősök listáját az OTDT eljuttatja az érintett felsőoktatási intézmények TDT-elnökeihez, kérve őket arra, hogy feltétlenül vegyék fel velük a kapcsolatot és segítsék őket.

A XXXI. Országos Tudományos Diákköri Konferencia

Az Országos Tudományos Diákköri Tanács 2011. november 4-én elfogadta a XXXI. Országos Tudományos Diákköri Konferencia központi felhívását. A hagyományoknak megfelelően a konferenciasorozat meghirdetésére a XXX. Jubileumi OTDK ünnepi zárásán került sor. Ugyanezen alkalommal a szekciók ügyvezető elnökeinek megbízólevelei is átadásra kerültek. A szekciók felhívásait 2012 februárjában fogadja el az OTDT. Ugyanakkor az intézményekben már tavasszal megkezdődött a helyi TDK-konferenciákkal a felkészülés.

Az Országos Tudományos Diákköri Tanács a tapasztalatok alapján jelentős változásokot vezet be, amelyeket a központi felhívás már tartalmaz is. A legjelentősebb ezek közül az, hogy a szekciók felhívásainak megjelenését követően a hallgatóknak fel kell tölteniük pályamunkáikat, ezzel biztosítva azt, hogy az OTDK-ra valóban azt a művet, alkotást nevezzék be, amellyel a jogosultságot megszerzték. Az online rendszer fejlesztése is folya-

matos. Az OTDT célja, hogy a szekciók munkáját segítse, ezért számukra is jogosultságot fog kialakítani, továbbá a pályamunkák bírálói és a zsűri tagjai is a rendszeren keresztül tudják majd a dolgozatokat, alkotásokat megtekinteni és értékelni.

A TDK jövője

A rendkívül sikeres XXX. Jubileumi OTDK iránti szakmai és társadalmi érdeklődés egyaránt azt bizonyítja, hogy az eltömegesedő felsőoktatásban egyre fontosabb szerepet kap a minőség kérdése, amelynek nélkülözhetetlen része a tehetséggondozás. A TDK kiépült

szervezeti keretei, hagyományokat megőrző fejlődése ehhez biztosítanak keretet. Szerepét az elfogadás előtt álló felsőoktatási törvény is kellő súllyal rögzíti. A TDK a felsőoktatás és a magyar tudományos élet szempontjából egyaránt kiemelt jelentőségű hungarikum. Hatása pedig az egész társadalomban érzékelhető.

Cziráki Szabina

az Országos Tudományos Diákköri Tanács titkára
OTDT.titkar@ofi.hu

Szendrő Péter

az MTA doktora, az Országos Tudományos Diákköri Tanács elnöke

IRODALOM

Anderle Ádám (szerk.) (2011): *A magyar tudományos diákköri konferenciák története (1951–2011)*. Oktatókutató és Fejlesztő Intézet Országos Tudományos Diákköri Tanács Titkársága, Budapest, 27–31.



Kitekintés

MOZGÁS HELYETT PIRULA?

Amerikai kutatók (Dana-Farber Cancer Institute) eredményei magyarázatot adhatnak a mozgásnak az egészségre gyakorolt jótékony hatására.

Bruce Spiegelman sejtbiológus és munkatársai az izomsejtekben felfedeztek egy olyan, a testedzés hatására beinduló jelátviteli útvonalat, amelynek eredményeként a zsírbontás fokozódik. A folyamat végén egy irisin nevű hormon keletkezik – a kutatók a görög istennek hírnökeként tevékenykedő Írisz istennő nyomán nevezték így el –, amely az energiaraktárként működő „rossz” fehér zsírt hőtermelő „jó” barna zsírrá alakítja.

A felnőtt emberi szervezetben igen kevés barna zsír van, a csecsemőkben több. A barna zsíroknak elsősorban olyan állatok életében van szerepük, amelyek téli álmot alszanak. A medvék testét például ez idő alatt a barna zsírok által termelt hő melegíti.

Spiegelmanék állatkísérleteik során glükóztoleranciában szenvedő kővér laboratóriumi egereknek injekció formájában irisint adtak be, és azt tapasztalták, hogy a zsírégetés fokozódása ugyanúgy bekövetkezett, mintha az állatok fizikai aktivitást fejtettek volna ki. Tíznapos kezelés során az állatok fogytak, és cukoranyagcseréjük is javult.

A kutatásokba egy bostoni gyógyszer cég is bekapcsolódott. Céljuk irisin-alapú szer fejlesztése a cukoranyagcseré-zavarok és az elhízás kezelésére. Az emberi klinikai vizsgálatok akár két éven belül elkezdődhetnek.

Spiegelman ugyanakkor hangsúlyozza: az irisin nem pótolhatja a mozgást sem gyógyszerként, sem táplálékkiegészítőként, már csak azért sem, mert az izmokat nem erősíti.

Pontus Boström, Jun Wu, Mark P. Jedrychowski et al.: A PGC- α -dependent Myokine That Drives Brown-Fat-Like Development of White Fat and Thermogenesis
Nature. DOI:10.1038/nature10777

KREATÍV SZABÁLYÉRTELMEZÉS

Amerikai kutatók szerint kimutatható, hogy a kreatív emberek hajlamosabbak csálni, becstelenségül viselkedni, mint a kevésbé kreatívak.

Vizsgálataikban először hagyományos pszichológiai tesztek segítségével felmérték a résztvevők kreativitását és intelligenciáját, majd öt különböző kísérletben lehetőséget adtak nekik etikuss és kevésbé etikuss viselkedési lehetőségek közül választani. Az etikátlan viselkedésre valamilyen anyagi előnnyel csábítottak. Például, általános kérdéseket tartalmazó kérdőívet kellett kitölteni – előtte a helyes válaszok számával növekvő pénzbeli ösztönzést ígértek. A kiértékelés közben aztán, már a jó válaszok ismeretében, látszólag véletlenül, lehetőséget adtak a résztvevőknek, hogy bejavítsanak a kérdőívbe.

A kutatók szerint mindegyik kísérletsorozat alátámasztotta, hogy a kreatívan gondolkozók kevésbé tisztességesek, hajlamosabbak

szabályszegésre, csalásra, és mindehhez mintegy felmentve magukat, magyarázatot és indokokat kreálnak.

Gino, Francesca – Ariely, Dan: The Dark Side of Creativity: Original Thinkers Can Be More Dishonest. *Journal of Personality and Social Psychology*. 28 November 2011. Online First Publication. DOI: 10.1037/a0026406

ÁTNEVELŐ ÖSSEJTEK

Az egyes típusú cukorbetegség kezelésének új lehetőségét ígéri amerikai kutatók (University of Illinois, Chicago; University of Miami School of Medicine, University of Miami).

Az egyes típusú diabétesz autoimmun kórkép, melynek lényege, hogy az immunrendszer sejtei megtámadják és működés-képtelenné teszik a hasnyálmirigy inzulintermelő sejtjeit. A betegek egész életük során külső hormonra szorulnak.

Yong Zhao és munkatársai azt állítják: a megtévedt fehérvérsejtek őssejtterápiával jó útra téríthetők, így a betegeknek kevesebb külső inzulinra van szükségük, s ez mérsékelheti a szövödmények súlyosságát.

A kutatók betegekből izoláltak limfocitákat, majd köldökzsínórvérből származó őssejtekkel hozták össze őket. A kezelt fehérvérsejteket visszaültették a páciensekbe, akik tizenöt-negyvenévesek voltak, és átlagosan kilenc éve szenvedtek cukorbetegségben. Tizenkét hét elteltével a betegek vércukorszintje javulást mutatott, így jóval kevesebb külső inzulinra volt szükségük, és ez még negyven héttel később, a vizsgálat befejezésekor is így volt. A kutatók a tesztlések során mértek olyan biokémiai markereket is, amelyek a hasnyálmirigysejtek működésének tényét jelzik, illetve azt, hogy egyáltalán van-e a

szervezetben inzulintermelés. A kezelt betegeknél ezekben a paraméterekben is jelentős javulás következett be.

Zhao és munkatársai szerint mindez azt jelenti, hogy az őssejtek átprogramozzák a limfocitákat, és azok már nem lépnek fel támadóan a hasnyálmirigy sejtjei ellen. Ennek eredményeként a korábbiakat túlélő sejtek, illetve a hasnyálmirigyben lévő előalak sejtek képessé válnak a hormontermelésre – mondják.

Az eljárás ötletesnek és ígéretesnek tűnik, más szakértők azonban hangsúlyozzák: egyrészt a vizsgálat csak negyven hétig tartott, így nem tudni, hogy hosszú távon mi történik, másrészt mindössze tizenöt beteg vett részt a tanulmányban. Egyesek azt is kifogásolják, hogy ezen betegek kínaiak voltak, és ebben a népességben az egyes típusú cukorbetegség némi képp más.

Zhao, Yong – Jiang, Zhaoshun – Zhao Tingbao et al.: Reversal of Type 1 Diabetes Via Islet Beta Cell Regeneration Following Immune Modulation by Cord Blood-Derived Multipotent Stem Cells. *BMC Medicine*. 2012; 10: 3 DOI: 10.1186/1741-7015-10-3

OLCSÓBB TERMOELEKTROMOS ANYAGOK

Termoelektromos tulajdonságú anyagok előállítására dolgoztak ki új, ígéretes módszert a Rensselaer Polytechnic Institute munkatársai. Az eljárás egyszerűbb, gyorsabb és olcsóbb, mint az eddigiek, a minimális kénnel szennyezett nanoszerkezetű anyagból egy pár perces kezeléssel közönséges mikrohullámú sütőben 10–15 grammot lehet gyártani.

A termoelektromos tulajdonság jellemzésére használt, úgynevezett ZP-mutatóval elérték a jónak számító 1-es értéket, mind p-,

mind n-típusú vezető esetében. Korábban ilyen magas ZP-értékkel csak p-típusú termoelektromos anyagot tudtak készíteni. A szerzők szerint módszerük még javítható, sokoldalú, és a már ismert termoelektromos tulajdonságú anyagok kezelésére alkalmazható, azok paramétereit tovább javíthatja. Elképzelhetőnek tartják, hogy gazdaságos, hűtőközeg és mozgó alkatrészek nélküli hűtőgépeket, légkondicionálókat vagy hulladékhőből elektromos energiát előállító berendezéseket lehet majd ilyen anyagok felhasználásával építeni.

Mehta, Rutvik J. – Zhang, Yanliang – Karthik, Chinnathambi et al.: A New Class of Doped Nanobulk High-figure-of-merit Thermoelectrics by Scalable Bottom-up Assembly. *Nature Materials*. Published online 10 Jan. 2012. DOI:10.1038/nmat3213

VILÁGCSÚCS ADATSŰRŰSÉGBŐL

A világ legkisebb mágneses adattárolóját készítették el laboratóriumi körülmények között német, svájci és amerikai kutatók. Egy bit információ tárolásához elegendő már tizenkét atom is, és kilencvenhat atom már 1 byte-ot (8 bit) képes elraktározni. A legújabb merevlemezekben ehhez körülbelül félmillió atomra van szükség.

A nano-adattárolót vasatomokból építették fel, alagútmikroszkóp segítségével, egyenként rendezve őket hatos sorokba. Az információ beírása (a lehetséges két mágneses állapot közötti váltás) és kiolvasása is alagútmikroszkóppal megy. Bitenként két hatos sor elegendőnek bizonyult – igaz, hogy mindez csak 5 Kelvin, azaz mínusz 268 Celsius fok hőmérsékleten működik. A kutatók úgy számolnak, hogy szobahőmérsékleten körül-

belül kétszáz atom szükséges ugyanehhez.

Ez az első eset, hogy antiferromágnességet használtak adattárolásra

Loth, Sebastian – Baumann, Susanne – Lutz Christopher P. et al.: Bistability in Atomic-scale Antiferromagnets. *Science*. 13 January 2012. 335, 6065, 196–199. DOI: 10.1126/science.1214131

A KÉZILABDÁZÓK ÉPSÉGÉÉRT

A kézilabdázók egyik leggyakoribb mozdulatsora, a felugrásból történő lövés közben elszenvedett bokasérülések okait vizsgálták három bécsi egyetem kutatói. A sportok között sérülésveszély tekintetében a kézilabda az élmezőnybe tartozik, ezen belül a boka kiemelten veszélyeztetett. A kutatás során a három külső bokaszalag mozgását és a rájuk ható terhelést elemezték.

A vizsgálatokban egy játékos mozgásáról egyszerre tíz gyors kamerával készült digitálizált felvételeket és egy mozgatható számítógépes anatómiai modellt használtak. Az elrugaszkodáskor és visszaérkezéskor fellépő erőket is mérték. Az eredmények szerint a talajt éréskor éri a szalagokat a legnagyobb terhelés, a felugrás kevésbé veszélyes. A kutatók megállapításai alapján olyan edzésprogramok kidolgozása kezdődhet, melyek remélhetőleg csökkentik a sérülésveszélyt.

Lindner, Matthias – Kotschwar, Alexander – Zsoldos R. et al.: The Jump Shot – A Biomechanical Analysis Focused on Lateral Ankle Ligaments. *Journal of Biomechanics*. 2012. 45, 202–206. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2011.09.012 • <http://www.mendeley.com/download/public/16359/4484093655/5e0d2cb3b1729d792efba9697b6001799512fc78/dl.pdf>

Gimes Júlia

Könyvszemle

Rendszer, egyensúly, érték:

régi-új kulcsfogalmak

*Kornai János új könyvében**

Kornai professzor gazdag életművének fontos új állomása ez a könyv. Azok közé tartozom, akik Kornai Jánosnak valószínűleg valamennyi munkáját olvasták. Ezért azt hiszem, hogy joggal mondhatom: egy hihetetlenül gazdag tudományos pályafutás újabb fontos eseményének részesei vagyunk.

Az életműről

A mű nem váratlanul és nem véletlenül került elénk, hanem nagyon is szerves átmenetek láncolatán keresztül. Kornai professzor évtizedek óta vizsgálja, elemzi a gazdasági rendszerek természetét. Ez életművének vezérfonala, és e folyamatban újabb és újabb fontos megállapításokra jut. A „túlzott központosítás” óta mind a mai napig, együtt haladva a történelemmel a szocializmus, az átmenet, a kapitalizmus, tehát a megtapasztalt rendszerek valamennyi változatának vizsgálatában, maradandót alkotott. Nagyon szívesen mennék bele munkásságának történeti elemzésébe. Szerettem ezt felidézni, néha szoktam a diákoknak beszélni a fejlődési vonalról, amelynek mentén Kornai publikációi egymást követték. Tehát arról, hogyan lehet levezetni, mondjuk,

* A Rajk László Szakkollégiumban 2011. szeptember 20-án tartott könyvbemutató elhangzott előadás szerkesztett változata.

A hiány-t az Anti-equilibrium-ból és így tovább. Ez egy szervesen alakuló tudományos mondanivaló, amivel most nyilván nem tudunk részletesen foglalkozni, de szeretném felhívni a figyelmet ezen belül három olyan jelenségre, az életmű három olyan tulajdonságára, amik véleményem szerint meghatározók.

Az egyik a gazdasági rendszerelméletre építés, az a felfogás, amely a maga egészében és komplexitásában rendszerként fogja fel a gazdaságot, a gazdaság jelenségeit, ezek változásait. Szemben a közgazdaságtan nagyon sok olyan szerzőjével, akik kétségtelenül maradandót alkothattak azzal, hogy egy-egy részterületnek vagy a gazdaság valamilyen jelenségének a vizsgálatával foglalkoztak, Kornai magát a komplexitást ragadja meg. Művei átfogó gondolkodási keretet adtak és adnak generációk számára arra, hogy elhelyezzék, összefüggésekbe ágyazzák azt, amit látnak, amit olvasnak. Ennek a keretadásnak, a belőle következő gondolkodási lehetőségnek aztán megvannak a gyakorlati és elméleti következményei a közgazdász társadalom számára.

Kornai János munkásságának egy másik fontos jellemzője számomra az egyensúly kérdésének középponti volta, ami akkor is érvényesül, amikor nem céltartan arról beszél. Az egyensúly általában véve is központi fogalma a közgazdaságtannak (ha nem „a” központi fogalma). Azok az állítások, tételek, amelyek Kornai életművében megfogalmazódnak, azt gondolom, nagyon fontosak

annak megértése szempontjából, hogy mi is ennek a központi fogalomnak a valódi helye és jelentősége a gazdaság rendszerében. Igen fajsúlyos az a megállapítás, ami lényegileg több helyen megjelenik a könyvben, de explicit módon is meg van fogalmazva: az egyensúlytalanság gerjeszti a fejlődést. Ez hallatlanul fontos akkor, amikor az a közkeletű felfogás, hogy az egyensúly lényegében önhelyreállító folyamatok sorozataként jön létre. Hogyan lesz ebből egy olyan fejlődés, amely a mindenkori kibillenésekből adódik, amely kibillenések – éppen ez az egyik lényeges mondanivalója Kornai munkásságának – nem hibái a rendszer működésének, hanem természetes tulajdonságai? Úgy vélem, hogy ez az egyik olyan része a Kornai-életműnek, amivel még sokat fognak foglalkozni a jövőben is, és azt is gondolom, hogy ennek kifejtése még mindig nem kapta meg azt az elismerést a nemzetközi irodalomban, amit megkaphatna, és megkaphatott volna.

A harmadik kiemelés Kornai életművének tartós jellemzői közül az etikai és az értékválasztási kérdések középpontba helyezése, amivel János nem mond sem többet, sem kevesebbet, de ez ugye nagyon sok, hogy a gazdaság a társadalom szerves része (sajnos, gyakran egyszerűsítik ezt sztereotípiává...). Tehát a gazdaságot önmagában vizsgálni, a gazdaságot csak „technikai” alapon elemezni bár nyilvánvalóan fontos, de csak részmegállapításokhoz vezet. Az etikai kérdéseknek és az értékválasztásnak a gazdasági kérdésekkel való összekapcsolása Kornainál nagyon izgalmas következtetésekkel jár. Kitér például a könyvben arra, hogy miért és mennyiben jelentette az átmenet az egyéni szabadság növekedését a volt szocialista országokban. Az a sok vita, ami folyt és folyik az átmenettel kapcsolatban, nagyon sokszor figyelmen kí-

vül hagy olyan jelenségeket, amelyek szinte meghatározóak. Kornai professzor bemutatja, hogy az átmenet egy fél kontinens számára az embereknek az élethez való viszonyát pozícionálta át. Így nyer új tartalmat a keresletkorlátos és az erőforráskorlátos rendszerek különbsége, hiszen ebből eltérő magatartásformák, más életérzések, emberi viszonyok következnek. Ettől kezdve világossá válik, hogy nem csak a gazdasági működés rutin-jait változtatja meg az, hogy az erőforrás- vagy a keresletkorlát határolja be a vállalatok tevékenységének bővülését.

Néhány módszertani sajátosság

A tanulmánykötet négy tanulmányt tartalmaz, amelyek nagyon sok szempontból erősen különböznek egymástól. Találtam azonban négy olyan módszertani jellemzőt, amely átvonul valamennyi tanulmányon, összefogja ezeket, amiknek köszönhetően az ember úgy érzi, hogy tényleg egy gondolati szempontból egységes egészet kapott.

Az első, hogy a felvetett kérdéseket János az elvi kérdésektől, az alapoktól kezdve teljes kifejtésre törekedve tárgyalja. Ez egyébként is sajátossága Kornai munkásságának. Mindig pontosan behatárolja azt, hogy mi lesz az, amivel foglalkozni fogunk. Ezzel világossá teszi, melyek a tárgyalás keretei, és ezeken a kereteken belül a kifejtésben teljességre törekszik. Az innovációs cikk, amelyik az első tanulmány a könyvben, erre kiváló példát ad, ahogyan bemutatja az elvi alapoktól a gyakorlati hatásokig az innovációnak a társadalmi fejlődésben betöltött szerepét.

Egy másik közös tulajdonsága a négy tanulmánynak, hogy következetes szigorúsággal vesz górcső alá olyan sztereotípiákat, amelyek nagyon praktikus módon megjelennek az életünkben, esetleg ökölszabályszerűen

segítenek eligazodni a dolgok menetét illetően, de azért az eltévedés veszélyét elkerülendő érdemesek megvilágításra. Érdemesek rá, hogy foglalkozzunk azzal, hogy azok a hétköznapi fordulatok, amiket ezekkel a jelenségekkel kapcsolatban alkalmazunk, mennyire megalapozottak, és mennyire állják meg a helyüket a valóságban? Ebből a szempontból, a példa kedvéért, a kínai fejlődés értelmezését emelném ki a könyvből. Kínával kapcsolatban ma szinte eláraszt bennünket a sok, nehezen ellenőrizhető és gyakran leegyszerűsített információ. A kínai változásoknak az elméletbe és a valóságba való beágyazását a könyv véleményem szerint nagyon tisztán és világosan tárja elénk.

A harmadik kiemelkedő jellemző az, hogy egzakt gondolkodás, pontosságra törekvés, tiszta logikájú kifejtések jellemzik a művet. Ez sem újdonság, hiszen Kornainál a korábbiakban is ezzel találkoztunk, de nagyon fontos példákat látunk itt is. Számomra nagyon fontos volt példának okáért, ahogyan a társadalmi-gazdasági rendszer tulajdonságainak „hajlamként” való értelmezése megjelenik a könyvben. Nagyon komoly és messzemenő elméleti, de akár gazdaságpolitikai következtetések levonására is alkalmas, ha elgondolunk azon, hogy amit látunk, az annak a valaminek egy határozott tulajdonsága vagy egy hajlama. E két jellemző egyáltalán nem ugyanazt jelenti, még akkor sem, hogy ha a következmény szemre, látszatra nagyon hasonló, hiszen például az érintett jelenségek befolyásolásának módja, lehetőségei nagyon eltérőek lehetnek.

Végül, de nem utolsósorban fontos tulajdonsága a kötetnek, hogy a tanulmányok nagyon gazdag tényanyagra épülnek. Rengeteg adattal, konkrét információval, tényleírással találkozunk, amelyek szemléletes tábláza-

tokban, ábrákban elrendezve remekül segítik a könyv mondanivalójának követését, a gondolatok megértését – és főként alátámasztják azt, amit korábban mondtam, hogy megalapoznak olyan állításokat, amelyekről sokszor csak sztereotípiákban beszélünk.

A módszertani sajátosságok után szeretnék öt tételt tartalmi szempontból kiemelni a könyvből.

Kiemelt tételek

Az első a kapitalizmus természetének, tényleges eredményeinek, korlátainak, realitásainak értelmezése. Napjainkban igen sok szó esik a világban arról, hogy tulajdonképpen mit is várhatunk a kapitalizmustól, mi az egyáltalán, mik azok a tulajdonságok, amelyeknek a fényében meg lehet ítélni a lehetőségeket. Gyakran kérdezzük, hogy mik azok a jelenségek, amelyek pillanatnyi hibáknak, eseményeknek, véletleneknek, és mik azok, amik a rendszer természetének vagy éppen hajlamának következtében állnak elő. Kornainál ezeknek a gondolatoknak a java a válság előtt már megfogalmazódott. Tehát tételei nem a válság hatására jöttek létre, de magukban foglalják a válságra adott válaszokat is, elfogulatlanok, nem a pillanat, hanem hosszú kutatási, megfigyelési folyamat szülte őket. Nagyon mély például az a gondolat (ami kifejezi Kornai vonzódását Joseph Schumpeterhez), hogy a társadalmi fejlődés motorja az innováció, és ez a kapitalizmus sajátja. Azt gondolom, hogy János ezzel a kapitalizmusnak azt a legfontosabb vonatkozását emeli ki, amelynek alapján a kapitalizmusnak mint társadalmi rendszernek az értékelése lehetővé válik. Hiszen ezzel végső soron nem mond kevesebbet, mint hogy mai tudásunk szerint ez az a társadalmi rendszer, társadalmi berendezkedés, amely a fejlődés hordozója, és amitől azt remélhetjük,

hogy a társadalmi folyamatok ezentúl (is) valami jobb irányba fognak menni. Világos, hogy nagyon sokféle módon lehet a mai folyamatokat meg azokat a közelmúltbeli jelenségeket, amelyeket tapasztalatból tanulmányozhattunk, értelmezni. De az olyan alapvető kérdések vizsgálata, mint hogy a technológiai innovációknak milyen szerepük volt a szocializmus bukásában, vagy az az állítás, hogy azt várhatjuk, hogy a technológia további fejlődése további decentralizációhoz vezet, nagyon fontos gondolkodási irányt jelöl ki, s végiggondolva megint az emberhez vezet el. Reményt keltő, hogy végső soron, hosszú távon mégis csak módunk, lehetőségünk lehet arra, hogy egyre jobban saját gondolataink, saját elképzeléseink szerint élhessünk. Nyilvánvaló, hogy ez nem egy olyan társadalmi elemzés, amely választ ad arra, hogy a műveltek és műveletlenek, a szegények és gazdagok viszonya hogyan alakul a társadalomban, kinek milyenek lesznek a lehetőségei – ezeket más munkákban lehet tanulmányozni. De ennek a gondolatnak az általános filozófiai mélysége, az emberi szabadság és a technikai fejlődés ilyen összekapcsolása számomra nagyon fontos.

Egy másik ilyen kiemelendő gondolat az, hogy Kornai a transzformációs recessziót (ez is az ő fogalma) mint teremtő rombolást fogja fel. Ezt a folyamatot mindannyian átértük, még a teremben jelen lévő legfiatalabbak is. Amikor végbement az átmenet, ami elé az első időszakban hatalmas várakozásokkal néztünk, gyorsan egy nagyon súlyos recesszióba, nagyon súlyos visszaesésbe és társadalmi, gazdasági problémák tömegébe került bele nemcsak Magyarország, hanem valamennyi volt szocialista ország; s többé-kevésbé azóta is csalódottak vagyunk. Ehhez képest más megközelítésben, számomra legalábbis nagyon

sok szempontból új gondolatokat adva fogalmazódik meg, értékelődik ez a szituáció, ha a teremtő rombolás gondolatára támaszkodunk. Hiszen visszaemlékezhetünk arra, amikor azon gondolkoztunk, hogy mit rontottunk el, hogy az első kormány mit csinált jól vagy rosszul, hogy fogalmunk sem volt róla, hogy hogyan kell privatizálni, hogy magyarázatként szoktuk mondogatni, hogy az emberi társadalom történetében még nem volt olyan eset, amikor egy többségében vagy döntően állami tulajdonra épülő gazdaságból átmentünk egy piacgazdaságba és így tovább. Rengeteg vélemény, értékelés hangzott el arra vonatkozólag, hogy miért történt, ami történt. Én azt hiszem, hogy a schumpeteri teremtő rombolás gondolatának bekapcsolása egy friss és új megközelítés. Különösképpen igaz ez annak fényében, hogy Kornai világosan megfogalmazza: perspektívából nézve, hosszabb távon gondolkodva a teremtés gyorsabb, mint a rombolás. Ez hallatlanul fontos, ha belegondolunk megintcsak abba, hogy tulajdonképpen mi is történik ma a világban.

Nagyon ide kapcsolódik a következő tétel, és azt a bizonyos hosszú távú pozitív várakozást erősíti az a gondolatmenet, az az okozati lánc, amelyben Kornai kifejti, hogy a kapitalizmus, a kapitalista rendszer szükségképpen többletgazdaságot generál. Tehát a többletgazdaság mint a kapitalizmus elválaszthatatlan velejárója, következménye jelenik meg. Nagyon érdekes számomra, aki *A hiány* megjelenését egy rendkívül fontos eszmetörténeti eseménynek tartottam, és tartom most is, hogy most az ott megfogalmazott gondolatmenetnek a tükörképét látjuk. Le van vezetve egy okozati lánc, aminek a segítségével világos, hogy amennyiben kapitalizmus, akkor többletgazdaság, amennyiben többletgazdaság, akkor fogyasztói szuvereni-

tás és így tovább. Tehát ez egy rendkívül fontos gondolatmenet. Tényleg nagyon sokat segít annak végiggondolásában, hogy mit is és hogyan kell újrateheríteni ebben a teremtő rombolásban, melyek azok a pozitív és negatív értékek, amelyek megjelennek, és hogyan lehet gondolkodni abban, tenni azért, hogy a pozitív értékek túlsúlyba kerüljenek.

A negyedik kiemelés: az én szívemhez, de főleg szakmai meggyőződésémhez nagyon közel álló megközelítés az, hogy Kornai János alapvetően a reálszférára épít a jelenségek magyarázatában. Ez számomra üdítő kivétel napjainkban, amikor szinte másról sem esik szó, csak a pénzügyi struktúrákról, amelyeknek a jelentőségét én természetesen nem kívánom vitatni, hiszen az egyszerűen butaság lenne. Tény viszont, hogy elképesztően kevés figyelem fordítódik arra, hogy mi is történik a reálgazdaságban. Mik azok a fejlemények, amelyek következtében, ahonnan a pénzügyi jelenségek egy része legalábbis kiindul, és ahova feltétlenül visszatér. Ha ebből indulunk ki, akkor sokkal gazdagabb magyarázatot tudunk adni a vizsgálható jelenségekre, sőt nagyon sok esetben a virtuális magyarázat helyett valódi magyarázatot adhatunk. Az a tény, hogy a reálgazdaság Kornainál ilyen mértékben előtérbe kerül, lényegesen bővíti számára, számunkra az elemzési lehetőségeket.

Az ötödik kiemelés az időszűrés. Ennek illusztrálására szeretnék megemlíteni két olyan gondolatot, amelynek nagyon nagy az aktualitása. A könyv természetesen nem a mai magyar vagy nemzetközi gazdaságpolitikáról szól. Nem lenne helyes, ha erre próbálnánk a gondolatmenetet kifuttatni. De azért két dologra szeretném felhívni a figyelmet, ami nagyon fontos, és aminek ilyen közvetlen jelentősége van számomra. Több is volna, de ezt a kettőt emeltem ki.

Az egyik a munkaképes népesség, a nem aktív népesség felfogása és kezelése. Kornai korábbi gondolatmeneteihez kapcsolódóan itt is megjelenik a foglalkoztatás kérdése, a foglalkoztatáshoz szokott népesség fogalma, tehát lényegében a népességnek a foglalkoztatás szempontjából történő strukturálása – ami fájdalmasan hiányzik abban az esetben, amikor tömeges új munkahelyteremtésről beszélünk, így, per „tömeg”. Nem látszik, hogy a deklarációk mögött a munkahelyteremtési célok úgy lennének megfogalmazva, hogy figyelembe vennék ezt a fajta strukturálást.

A másik aktuális téma, amit szeretnék kiemelni, ami számomra nagyon izgalmas volt, az, ahogyan Kornai a telítődő és nem telítődő igények kérdését vizsgálja, nem szembeállítva, de egymás mellé téve ezzel kapcsolatban az oktatásügy és az egészségügy kérdését. A gazdaságpolitikával foglalkozók gyakran – amikor ilyen szerepben vagyok, akkor bevallom, én is – ezt a két szférát párhuzamosan kezelik, mint a társadalom két olyan rokon alrendszerét, amelyik az emberi léthez (vagy szűkebben a társadalmi státuszhoz vagy épp a munkavégző képességhez) kapcsolódik, és egyúttal közösségi fogyasztást generál. Eközben nagyon fontos az, hogy amikor reformokban gondolkodunk, abban, hogyan lehet ezeket a nagy rendszereket gazdaságilag és társadalmilag kezelni, akkor lássuk azt, hogy ez a két rendszer egymástól nagyon különbözik abból a szempontból, hogy az oktatási igények (bizony sokszor elég hamar) telítődnek, az egészségügyi igények viszont gyakorlatilag nem. Azt gondolom, hogy az egész délelőttöt el tudnánk tölteni azzal, hogy ezt a kérdést, illetve következményeit vitatjuk.

Én tehát igen fontosnak tartom ezt a könyvet. Örövendesen sok új gondolatot

szolgált; nagyon örülök, hogy olvashattam. Zárásként még azt mindenképpen szeretném elmondani, hogy külön öröm és megtiszteltetés számomra, számunkra, hogy János a munkát a Rajk László Szakkollégiumnak ajánlotta, és hogy itt rendezhetjük meg ezt a

könyvbemutatót – ez kiemelkedően fontos esemény intézményünk életében. (Kornai János: *Gondolatok a kapitalizmusról*. Budapest: Akadémiai, 2011)

Chikán Attila

az MTA levelező tagja, közgazdász

Határtalan tudomány – a tudomány határai

A nagy fizikusok gyakran érdeklődtek a filozófia iránt. Így bizonyára megbocsátható, ha a recenzens mint fizikus vállalkozik ennek a tudományfilozófiai műnek az ismertetésére, amely egy 2008-ban tartott konferencia anyagát teszi közzé.

A „tudományfilozófia” különben nem a korszerű elnevezés, ma inkább a tudományok tudományáról beszélünk, ún. „tudománytanulmányokról” (*science studies*). A „határmunkálatok” ennek a része, amely elsősorban azzal foglalkozik, hogy meghúzza a határt a „tudomány” és „nem-tudomány” között (ez az ún. *demarkáció* problémája), de hasonlóan foglalkozik a tudományon belül az egyes szakterületek, irányzatok elhatárolásának kérdésével is.

A könyvben különben a bevezetőn kívül tizenhárom tanulmány található, köztük Thomas F. Gieryn a határmunkálatok fogalmát bevezető 1983-as cikkének újraközlése is. A következőkben végigmegegyek a könyv tanulmányain, mindegyik tartalmát egy-két mondatral ismertetve, jellemezve.

Gyimesi Júlia a pszichoanalízissel, pontosabban azzal a kérdéssel foglalkozik, hogy a pszichoanalízis mennyiben tudomány, illetve, hogy egyáltalán a tudományhoz tartozik-e. Ez a „tudományhoz tartozás” a biológián, pontosabban a szexualitáshoz kötődésen ke-

resztül valósul meg. „...ezt a feladatot látta el a szexualitás elmélete, amely a 'szexuális ösztön' fogalmának előtérbe állításával biztosította a pszichoanalízis által leírt tudattalan biológiai színezetét, és ezzel elkötelezte az elméletet az említett tudományos materializmus mellett.” „A kulcsot a tudattalan átfogó elméletének tudományos recepciójához a materialista, biológiai lehorgonyzás jelentette.” Ugyanakkor: „A biológiai magyarázat valójában sokkal inkább ígéretként, mint valóban működő keretként funkcionált a pszichoanalízis történetében.” Jung szerepe viszont az volt, hogy „...elszakította a pszichoanalízist és a tudományos materializmust összekötő szálakat...”

Timár Andrea tanulmánya az angol irodalomtudomány irányzatait, egymással folytatott vitáit mutatja be. Ezek egyike az ún. kultúrakutatás, amelynek egyik legfőbb jellemzője az interdiszciplinaritás, a legkülönbözőbb tudományterületek szempontjainak és ismereteinek figyelembevétele az irodalmi alkotások elemzésénél, értelmezésénél.

A határmunkálatokban előfordulnak ún. határtárgyak is, ilyen például a kutya, amely ténylegesen létezik, és olyan, amilyen (ez a „Reálkutya”), egy másik, ahogy a tudományban megközelítik („Szcientiokutya”) és végül van egy a népszerűsítő könyvekben, filmekben szereplő kutya, ez a „Popkutya”. Ezzel a kérdéssel foglalkozik *Mund Katalin*. A „határtárgy” különböző felfogásai, megközelítései természetesen átfedésben vannak egymás-

sal, ezek elhatárolása „tipikus” határmunkát. Például az etológusoknak fontos feladatuk, „... hogy különválasszák a kutyáról kialakult évszázados népi hiedelmet a tudományos tényektől.” „... elsősorban saját elméjükben kell különválasztaniuk tudományos és nem tudományos ismereteket, kérdésfeltevéseket.”

Az 1925-ös nevezetes daytoni majomper és az intelligens tervezésre vonatkozó 2005-ös Kitzmiller-per kapcsán *Kertész Gergely* a tudomány-nem tudomány, tudomány és vallás demarkációjának kérdését elemzi.

Napjainkban a távol-keleti orvoslás (akupunktúra!) és a tudomány kapcsolata, illetve ennek vizsgálata tipikus határmunkát. Erre a kérdésre összpontosít *Zemplén Gábor* tanulmánya. Többek között megállapítja, hogy: „Bár a keleti és nyugati orvoslás kapcsolatában általában a rivalizálást hangsúlyozzák, az utóbbi évtizedekben egyre több kutató számára a közeledés és kölcsönös megismerés vált kívánatossá.”

Szabadi Vera – miközben áttekinti a magyar szociológia történetét a huszadik század elejétől kezdve – az ún. burzsoá és marxista szociológia elhatárolásával foglalkozik. Hegedüs András szerepe nagyon fontos ebből a szempontból, az általa képviselt szociológia „... nagyon sérülékeny határral rendelkezett a történelmi materializmussal és a polgári szociológiával szemben...” Végül is ma „... természetesen nem beszélhetünk polgári vagy marxista szociológiáról, nem léteznek ezek a kategóriák.”

A „posztakadémikus” tudomány jellemzője, „... hogy a tudományos intézményektől egyre inkább gyakorlati problémák megoldását várja a társadalom.” „... úgy tekint a tudományos intézményekre, mint a többi szolgáltatóra, amelytől bizonyos fajta szolgáltatásokat lehet vásárolni. A diákok az egyete-

men oktatást vásárolnak, a cégek kutatási-fejlesztési megbízásokat adnak, és ugyanígy jár el az állam is: akadémiákon, kutatási alapokon keresztül...” Megjelenik a tudományban a megrendelő és a tulajdonos. Ezek szerepét vizsgálja a tudomány megbízhatósága szempontjából *Margitay Tibamér*. „... a tudomány az üzleti élet mintájára szerveződik...” „... vele szemben a kívülállók megrendelőként és tulajdonosként lépnek fel...” Ez „... elegendő, hogy a tudomány iránti bizalmat aláássa.”

A tudomány „létezősülségének”, támogatása indokoltságának, az alap- és alkalmazott tudomány egymáshoz való viszonyának kérdése, illetve az ezzel kapcsolatos viták hazánkat sem kerültek el. Ezt mutatja be *Sallay Zoltán*. Lényegében az utolsó évtizedre koncentrálna. A háttérben a fogalmak bizonyos fokú tisztázatlansága, „bizonytalan kontúrja” áll, és ezek elemzésével foglalkozik tulajdonképpen a tanulmány. „Az alap- és alkalmazott kutatás bizonytalan kontúrú fogalmainak az elterjedését az véglegesítette, hogy a K+F statisztikák alapkategóriáivá váltak.” Azonban napjainkban „... sem a tudomány elemzői, sem az indikátorok szakértői, sem maguk a kutatók már jó ideje nincsenek igazán megelégedve a felosztással...”

„... amit tudunk vagy tudni vélünk a világról, másoktól származik.” Ezért az emberiség története folyamán mindig igaz volt, de mai komplikált világunkban még inkább igaz, hogy „... rászorulunk arra, hogy az élet számtalan specializált területén szakértőkre hagyatkozzunk, de hogy mit jelent szakértőnek lenni, és hogy miként azonosíthatók a megbízható szakértők, arra vonatkozóan nem ismerünk megnyugtató választ.” Ezt – elsősorban a tudományos szakértelem kérdését – járja körül tanulmányában *Kutrovácz Gábor*.

Alapvető kérdés: „... hogyan tudjuk megítélni a szakértői vélemények megbízhatóságát?” Egyébként „... számtalan alkalommal elkerülhetetlen, hogy rivális szakértői álláspontok között kell döntenünk...” A szakértők, illetve a szakértelem megítélése, értékelése maga is egyfajta szakértelmet kíván, ez az ún. meta-szakértelem. Ennek bizonyos mértékű eljáratására mindnyájunknak szükségünk van, ezért fontos lenne a képzés, az oktatás során felkészíteni az embereket e feladatra.

Laki János tanulmánya, a kérdések, amelyekkel foglalkozik, bizonyára viszonylag közel áll az aktív kutatóhoz, a tudomány bármelyik területén is tevékenykedik. „A tudomány és nem-tudomány (demarkáció!), a tudomány megbízhatósága (kiválósága) egy rendszer évszázadok óta csiszolódó működés-módja.” „A kutatók olykor tévednek, elfogultak, dogmatikusak, néha kozmetikázzák az adatokat vagy vakká válnak a cáfoló adatok iránt, de a rendszer* úgy van felépítve, hogy minden elmélet, kísérleti vagy mérési adat ki legyen téve más részek általi ellenőrzésnek.” „Az egyes kutatók szándékos vagy szándéktalan torzításait a rendszer* egésze föltárja és helyesbíti, sőt, nem pusztán föltárja, de elretentésül újra meg újra a közösség elé tárja: akarva-akaratlanul, tudósnemzedékek sora találkozik morális példázatként, mondjuk, a piltowni lelet manipulálásának esetével.” Ezért végül is „... a tudomány más megismerő eljárásokkal szembeni fölényét is a tudástermelő folyamat megbízhatósága, az emberileg lehetséges legszigorúbb, legalaposabb eljárásokat alkalmazó masinéria működése biztosítja.”

Nehéz dolog a tudomány és nem-tudomány elhatárolása olyan területen, mint például

* A recenzens kiemelése.

dául a szociológia, ahol a nyilvánosság elve beleszólást biztosít a kívülállóknak is. Mint *Némedi Dénes* tanulmányában megállapítja: „A tudományos nyilvánosság tehát paradox, mert egyfelől a szabad vita a tudomány legitimálásának fontos eleme, másfelől minden határmunka arra irányul, hogy elválassza a legitim beszélőket és hozzászólókat az illegitiméktől, kialakítsa azt a zárt teret, amelyet az illetékes hozzászólások képeznek.” Vagyis: „Mindenképp kettős feladatot kell megoldani: egyfelől biztosítani kell a kommunikáció zárttságát, az illetéketlenek kizárását, másfelől erőforrásokat kell szerezni a 'határon' túl is, szövetségeseiket kell gyűjteni.”

Mint ismertetésünk elején említettük, a kötetben magyar fordításban közlésre került *Thomas F. Gieryn* 1983-ban megjelent cikke, ami bevezette és körüljárta a „határmunkálatok” fogalmát a tudományban, pontosabban a tudományfilozófiában. Eszerint a tudomány és nem-tudomány tudományos igényű elhatárolása valójában nem lehetséges, bár ez a gyakorlatban naponta megtörténik. Konkrét példákat is elemez, mint a frenológia esetét vagy a „nemzetbiztonság” és a tudomány kapcsolatát. Tárgyalja továbbá a fizikus John Tyndal kampányát a tudomány védelmében, aki Michael Faraday utóda volt a londoni Királyi Intézetben. A legfontosabb megállapításai a következők: „A határmunkálatok haszna nem korlátozódik a tudomány és nem-tudomány elhatárolására. Ugyanez [...] hasznos a diszciplínák, szakterületek vagy elméleti irányzatok tudományon belüli [...] elhatárolásához.” De ne felejtjük: „A tudomány határai nem egyértelműek; rugalmasak, változnak a történelem folyamán, az adott helyzet igényei szerint elmozdíthatók, egymáshoz képest következetlenek és olykor vitatottak.” A könyvet egy eredetileg a *Ma-*

gyar *Nanacsban* közölt interjú zárja, amelyet *Barotányi Zoltán* készített a kötet szerkesztőivel. A számos érdekes megállapításból itt kettőt idézünk: „...hívei vagyunk a tudománynak: azért kezdtük el vizsgálni a tudományt, mert szeretjük azt, mert van tudományos háttérünk, részt vettünk a tudományos képzésben. Ugyanakkor azt gondoljuk, nem szabad naiv módon isteníteni a tudományt, s nem szabad elvárni az emberektől, hogy olyan érvek alapján bízzanak a tudományban,

amelyek valójában nem megalapozottak.” És végül „...ha a tudomány társadalmi szerepét nézzük, akkor ez egy intézményrendszer, amelynek az a célja, hogy jó, megbízható tudást adjon nekünk a világról, és erre szükségünk van.” (*Kutrovácz Gábor – Láng Benedek – Zemplén Gábor szerkesztők: Határmunkálatok a tudományban. Budapest LHarmattan Kiadó, 2010, 241 p.*)

Berényi Dénes
az MTA rendes tagja



CONTENTS

Nuclear Radiation and Chemistry

Guest Editor: †Attila Vértes

†Attila Vértes: Introduction	130
Géza Tóth – Csaba Tömböly: Radioactive Tracer Systems	136
József Környei – Pál Mikecz: Radiochemistry in Servicing Healthcare	141
Tibor Kovács – János Somlai – Borbála Máté: Determination of ²¹⁰ Po and ²¹⁰ Pb Concentration in Tobacco and Mushroom Samples by Alpha-spectrometry	146
Mihály Molnár – †Ede Hertelendi – Mihály Veres: Radiocarbon: Application and Perspective in Environmental Protection and Industry	152
Zsolt Révay: Prompt Gamma Activation Analysis in Budapest	162
Zoltán Homonnay – Zoltán Németh – Ernő Kuzmann – †Attila Vértes: Shooting Sparrows with a Cannon? Investigation of the Chemical Fine Structure with Gamma Rays	168
Tamás Pintér – Enikő Elter: Radioanalytics in Nuclear Power Plant	178

Study

László Haszpra: 30 Years of Hungarian Atmospheric Carbon Dioxide Measurements	184
Dezső Horváth: Shall We Find the Higgs Particle at the LHC?	192
Károly Reményi: Oxygen, Carbon Dioxide and Energetics	198
Lajos Marton: Groundwater: Mineral Treasure of the Great Hungarian Plain	206
Andrea Karcagi-Kovács – István Kuti: General Theory of Stocks and Sustainable Development	216
Naciye Güngörmüş: Hungarian Aspects of Evliya Çelebi's Seyahatnâme	226

Discussion

Mihály Vajda: Answer to Bence Nánay	231
---	-----

<i>The Scientists of the Future</i>	235
---	-----

<i>Outlook (Júlia Gimes)</i>	245
------------------------------------	-----

<i>Book Review (Júlia Sipos)</i>	248
--	-----

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 könyvismertetőket, 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* füzetében); ha a tanulmány ábrákat, táblázatokat is tartalmaz, kérjük, arányosan csökkentsék a szöveg mennyiségét. Beszámolók, 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 kulsszót 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 érkehetnek papíron, lemezen vagy e-mail útján. Kérjük a szerzőket: tartsák szem előtt, hogy a folyóirat fekete-fehér; formátuma B5 – tehát ne használjanak színeket, és vegyék figyelembe a 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)tól 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 ügyeljének 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.

A lap ára 870 Forint