

Magyar Tudomány

VÍZ – HATÁROK NÉLKÜL
vendégszerkesztő: Szabados László

A filozófia és a tudományok
Az antipozitivizmus áramában
Liszt Ferenc heurisztikája
Mi a regionális tudomány?
A Magyar Tudomány Ünnepe

2011•12

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA FOLYÓIRATA. ALAPÍTÁS ÉVE: 1840
172. ÉVFOLYAM – 2011/12. SZÁM

Főszerkesztő:

CSÁNYI VILMOS

Vezető szerkesztő:

ELEK LÁSZLÓ

Olvasószerkesztő:

MAJOROS KLÁRA

Szerkesztőbizottság:

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

A lapot készítették:

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

Lapterv, tipográfia:

MAKOVECZ BENJAMIN

Szerkesztőség:

1051 Budapest, Nádor utca 7. • Telefon/fax: 3179-524

matud@helka.iif.hu • www.matud.iif.hu

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

Tel.: 2067-975 • akaprint@akaprint.t-online.hu

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

Előfizetési díj évre: 8064 Ft

Terjeszti a Magyar Posta és alternatív terjesztők

Kapható az ország igényes könyvesboltjaiban

Nyomdai munkák: Akaprint Kft. 26567

Felelős vezető: Freier László

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

HU ISSN 0025 0325

TARTALOM

Víz – határok nélkül

Vendégszerkesztő: Szabados László

Szabados László: Bevezető	1410
Somlyódy László: A világ vízdilemmája	1411
Somos Éva: A csőbe zárt ivóvíz... (vagy mégsem?)	1425
Radó János: Az ember vízháztartása	1440
Bonta Imre – Ujváry Katalin: Hidrológiai célú mennyiségi csapadék-előrejelzés hazánkban	1449
Baranyai András: A víz fizikai kémiája	1459
Sükösd Csaba: A nehézvíz	1467
Szabados László: Víz az Univerzumban	1480

Tanulmány

Nánay Bence: A filozófia és a tudományok – vitaindító	1493
Perecz László: Az antipozitivizmus áramában. A Böhm-iskola és a Lukács-kör a századelőn	1499
Bogoly József Ágoston: Liszt Ferenc heurisztikája	1508
Enyedi György: Mi a regionális tudomány?	1514

Tudós fórum

A Magyar Tudomány Ünnepe	
Pálinkás József köszöntője	1515
Kitüntetések	1517
Szubjektív tudománytörténet	
A biológiai kutatás különös kihívásai (<i>Sarkadi Balázs</i>)	1521
Egy intelligenciavizsga története (<i>Láng István</i>)	1522
Beavatás (<i>Falus András</i>)	1523
Paradigmaváltás a hidroeológiában: a mester házhoz jött (<i>Mádlné Szőnyi Judit</i>) ...	1524

<i>Kitekintés (Gimes Júlia)</i>	1527
---------------------------------------	------

Könyvszemle (Sipos Júlia)

A magyar helységnév-azonosító szótár margójára (<i>Klinghammer István</i>)	1529
Három új könyv (<i>Berényi Dénes</i>)	1531
Fiatal kutatók (<i>Konczos Géza</i>)	1534

Víz – határok nélkül

BEVEZETÉS

Szabados László

az MTA doktora, tudományos tanácsadó,
MTA KTM Csillagászati Kutatóintézet
szabados@konkoly.hu

A víz életünk nélkülözhetetlen kelléke, mindenütt jelen van, még ha nem is éppen a szükséges mennyiségben és formában. A víz léte az ember számára természetes, ám ezzel együtt vagy ennek ellenére a víz a tudósokat is foglalkoztatja. Más-más nézőpontból vizsgálja a mérnök, a vegyész, az orvos, a meteorológus, a fizikus vagy a csillagász. Az itt közreadott tematikus cikkgyűjtemény a víznek ezt a sokarcúságát és univerzalitását igyekszik bemutatni.

Somlyódy László áttekinti, hogy az emberiség vizigénye és a rendelkezésre álló víz egyenetlen eloszlása milyen társadalmi hatásokat válthat ki a következő évtizedekben. *Somos Éva* azzal szembesíti az olvasót, hogy – ha akaratlanul is – milyen pazarlóan bánunk

az ivóvízzel, azt is bemutatva, hogyan lehet csökkenteni a vízhálózatok vízvesztését. *Radó János* tanulmányából az emberi szervezet „vízhálózatának” normális és rendellenes működését ismerhetjük meg. Egy, a közelmúltban szélsőségesen bő csapadékkal járó hazai meteorológiai helyzetet elemez *Bonta Imre* és *Ujváry Katalin*. *Baranyai András* cikkéből megtudhatjuk, miért vannak különleges tulajdonságai a víznek, és melyek azok. Ennek a témának további árnyalása, egyben kiterjesztése *Sükköd Csaba* tanulmánya a nehézvízről. Hogy a H₂O molekula ilyen bőséges mennyiségben hogyan került a Földre, és merre felé található még víz a Világegyetemben, azt a záró tanulmányban foglalja össze a cikkgyűjtemény szerkesztője, *Szabados László*.

A VILÁG VÍZDILEMMÁJA

Somlyódy László

az MTA rendes tagja,
BMGE Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék
somlyody@vkkk.bme.hu

A közbeszédben, az írott és az elektronikus sajtóban egyre gyakoribbak az aggódó megjegyzések és kérdések a vízzel kapcsolatban. Sokan tartanak attól, hogy a vízdilemma valamilyen módon korlátozhatja a 21. század fejlődését. Mások a készletek fogyását emlegetik. Ismét mások feltételezik, hogy háborúk törhetnek ki a víz miatt. Vannak, akik az olajválsághoz hasonló vízválság rémképét vetítik elénk. Mi is tehát a helyzet? Megalapozottak-e az aggodalmak? És ha igen, mit tudunk tenni, mielőtt még késő lenne? Kérdések, amelyeket megkísérlünk – legalábbis részben – megválaszolni.

Globális készletek és igények

A vízzel való gazdálkodás első kérdése az, hogy a rendelkezésre álló készletekből ki tudjuk-e elégíteni a felmerülő igényeket. Nézzük ehhez a többé-kevésbé ismert tényeket és számokat! A Föld kis túlzással látszólag vízből van: felszíne 71%-át víz borítja (valójában a víz a Föld tömegének csak mintegy 1%-át teszi ki). A készlet (Q) teljes mennyisége *állandó* és rettenetesen nagy, mintegy 1400 millió km^3 (Papp – Kümmel, 1992) – összehasonlításképpen a Balaton térfogata 2 km^3 körüli. Az igényeket (I) sokan az ivóvízszükséglettel azonosítják, ami bölcs háziorvosunk ajánlása szerint 3 l/fő/nap , azaz 1 $\text{m}^3/\text{fő/év}$, a teljes népességre (6 milliárd 2000-ben) vetít-

ve pedig 6 $\text{km}^3/\text{év}$. Ez elenyészőnek tűnő mennyiség a készletekhez viszonyítva (amelyek 233 millió év alatt merülnének ki),

$$Q=1400 \text{ millió } \text{km}^3 \leftrightarrow I=6 \text{ km}^3/\text{év}, (1)$$

tehát nem egészen értjük az aggodalmakat.

Am okfejtésünk sajnos több szempontból is hamis. Emberi fogyasztásra csak az édesvíz alkalmas, ami a teljes készletnek mindössze 2,5%-a (35 millió km^3). Ugyanakkor a mérleg másik oldala súlyosabb: a 16. század felfedezése és a 19. század innovációja, az „áldásos” öblítéses toalett ún. fiziológiai vízigénye 40 l/fő/nap körüli: drága ivóvízzel felhígítva, pazarlóan távolítjuk el a sok hasznos anyagot tartalmazó fekáliát és vizeletet. Körülbelül 80 l/fő/nap megy el a konyhában és a fürdőszobában. Ezekhez adódik az elosztóhálózat helyfüggő vesztesége (ez jelenleg Szingapúrban a legalacsonyabb, a lakossági vízfogyasztás 5%-a körüli, míg Magyarországon az elöregedett vízi infrastruktúra miatt 20–30% lehet). Így az igény oldalon – a fejlett világban – kb. 50 $\text{m}^3/\text{fő/év}$ az eredmény, míg a globális átlag a nagyobb vízvesztés és a pazarló fogyasztás miatt magasabb, 60 $\text{m}^3/\text{fő/év}$, azaz a teljes népességre vetítve 360 $\text{km}^3/\text{év}$. Ez még mindig viszonylag kis hányada az édesvízkészletnek (a kimerülési idő kb. százezer év):

$$Q=35 \text{ millió } \text{km}^3 \leftrightarrow I=360 \text{ km}^3/\text{év} (2)$$

De valóban gazdálkodhatunk-e a 35 milliárd km^3 készlettel? És az igényt helyesen becsültük-e? Mindkét kérdésre nemleges a válaszunk.

Az első kérdés • Az édesvízkészlet kitermelésének korlátját a viszonylag gyors vízkörforgásban évről évre megújuló, dinamikus készlet határozza meg, nem pedig a lényegesen nagyobb statikus. Ha ezt túllépjük, a vízkészletek nem fenntartható változásokon mennek keresztül: a talajvízszint süllyed, a tavakban tárolt víz mennyisége csökken, és a tengerbe torkolló folyók nem biztos, hogy (az év egészében) elérik a torkolatukat. A folyamat végeredménye az *eltűnő vizek*. Hazai példaként a Dunántúli-középhegység karsztvízkészlete vagy a Duna–Tisza közti hátság említhető, ahol a bányászat hatása, illetve a túlzott mértékű kitermelés súlyos vízszintcsökkenéshez vezetett. Az első esetben ez az egész Dunántúli-középhegységre kiterjedt (hatott a Budai-hegységre és a Bakony délkeleti részére is), a regenerálódás húsz évvel a bányászat leállítását után sem fejeződött még be. *Eltűnő vizek* megfigyelhetők szinte az összes kontinensen, a leghíresebb/hírhedtebb példák közé tartozik az Aral- és a Csád-tó, a Sárga- és a Colorado folyó (Postel, 1992), a felszín alatti vizek sokasága Kínában, Indiában, Szaúd-Arábiában és USA-ban.

Folytassuk még mindig az első kérdéssel! A megújuló készlet a hidrológiai körforgás eredménye. Ez olyan óriási desztillációs folyamat, amelyet a Nap energiája hajt. A párolgás által a légkörbe lépő vízgőz mennyisége – az anyagforgalom jellemzője – valamivel 400 000 $\text{km}^3/\text{év}$ feletti (Papp – Kümmel, 1992), azaz két nagyságrenddel alacsonyabb érték, mint az édesvízkészlet. A további rossz hír, hogy e mennyiség jelentős hányada csapadék formájában az óceánokba hullik vissza

(az is lehet, éghajlattól függően, hogy a gleccsereket vagy a sarki jeget táplálva hosszabb időre kikerül a vízkörforgásból). Így a ténylegesen hasznosítható megújuló készlet a szárazföldi (felszíni és felszín alatti) lefolyás eredménye, mindössze $Q^* = 40\,000\ \text{km}^3/\text{év}$, azaz újabb nagyságrendet veszítettünk.²

A második kérdés • Globális szinten a teljes vízhasználatnak a lakossági csupán átlagosan és közelítően 10%-a, az ipari 20%-a, a mezőgazdasági – a legnagyobb vízfogyasztó – pedig 70%-ot tesz ki (UN Water, 2009). Ezekkel az egy főre vetített teljes vízigény kerékváltva 600 $\text{m}^3/\text{fő}/\text{év}$, ami globális igényre átszámolva 3600 $\text{km}^3/\text{év}$ körülüli.³ Az értéket más oldalról is ellenőrizhetjük. A fejlett világban a napi táplálékigény átlagosan 2000 kcal/fő lehet, aminek az előállítására leegyszerűsítve 2500 l/fő (másképpen, az irodalom szerint kb. 1000 $\text{m}^3/\text{fő}/\text{év}$) vízre van szükség (WPJ, 2009/2010). Ez tartalmazza a táplálékul szolgáló növények és az állatok természetes vízfelvételét, tehát a fenti két érték jó összhangban van egymással. A következőkben a fenntarthatóság szempontjából kifejezőbb, kerek 1000 $\text{m}^3/\text{fő}/\text{év}$ értékkel fogunk számolni.

A vízszükséglet nagyságrendjét jól érzékelhetjük a táplálékkosár főbb javainak magas vízigényéből – ezt az 1. táblázat foglalja össze (a fajlagos kcal értékek például az ENSZ *A víz a változó világban* című jelentésében [UN Water, 2009] található meg). Fontos látnunk tehát – és ez *első következtetésünk* –,

¹ A felszín alatti lefolyás a felszíninek mintegy 5%-a (UN Water, 2009).

² A legújabb becslések szerint 38 600 $\text{km}^3/\text{év}$ és 42 600 $\text{km}^3/\text{év}$ között van (UN Water, 2009).

³ A vízkivétel ENSZ által becsült legfrissebb értéke 3840 $\text{km}^3/\text{év}$ (UN Water, 2009). Megjegyezzük, hogy a többszöri felhasználás miatt valamely vízkivétellel annál nagyobb igény elégíthető ki.

Élelmiszer (kg)	Vízigény (l/kg)
rizs	3000
búza	1500
kukorica	1000
szója	1800
paradicsom	100
marhahús	16 000
csirke	4000
hal, tenyésztett	2000
tej	200
kávé, 1 csésze	150
tea, 1 csésze	40

1. táblázat • Táplálkozási javak előállításának vízigénye (átlagértékek, Chapagain – Hoekstra, 2004; UN Water, 2009)

hogy a vízprobléma fő kérdése nem elsősorban a lakossági vízellátás, hanem az annak sokszorosát igénylő táplálkozás biztonsága. Ennek előfeltétele a vízbiztonság.

A felismerés, hogy a termékekbe – beleértve a chipeket és a gépkocsikat⁴ – közvetve nagy mennyiségű víz „épül be”, vezet az ökológiai lábnyom mintájára a *vízlábnyom* (I^*) fogalmához. A vízlábnyom az a térfogatban kifejezett, egy főre eső vízmennyiség, amely nyit valamilyen termék előállításához és/vagy szolgáltatás elvégzéséhez évente felhasználunk.⁵ Egy ország esetében a vetítési alap az ország összes terméke és szolgáltatása. A lábnyom globális átlaga a jelenlegi becslések szerint $1240 \text{ m}^3/\text{fő}/\text{év}$ (UN Water, 2009). Az érték az USA-ban a legnagyobb ($2480 \text{ m}^3/\text{fő}/\text{év}$, ami mérhetetlen pazarlásra utal), Kínában $700 \text{ m}^3/\text{fő}/\text{év}$, míg Magyarországon némileg az átlag alatt van.

⁴ Egy átlagos gépkocsi egyenértéke kb. $200\,000 \text{ l}$ víz.

⁵ A víz természetesen nem vész el: részben beépül a termékekbe, részben pedig szenny- vagy használtvíz lesz belőle.

Az $1000 \text{ m}^3/\text{fő}/\text{év}$ körüli kerekített értéknek a gyakorlatban még egy jelentése van: úgy tartják, ez az a stresszhatár, amely alatt a vízgazdálkodás *a készletek fizikai szükségessége* miatt kezd igen nehézvé válni (egyre nehezebben, növekvő ráfordítással és súlyosbodó negatív következményekkel képes az igényeket kielégíteni). A vízhiány jellemzésére esetenként figyelembe veszik a készletek kihasználtsági fokát ($\text{igény}/\text{készlet} = I/Q$) is, és kritikusan általában a 40%-os korlátot tekintik. Olykor a két kritériumot együtt használják.

A kis kitérőt követően tehát a globális igény $6000 \text{ km}^3/\text{év}$ körüli, azaz a két szembeállítandó érték:

$$Q^* = 40\,000 \text{ km}^3/\text{év} \leftrightarrow I = 6000 \text{ km}^3/\text{év}, (3)$$

vagy egy főre vetítve és kerekítve

$$Q^* = 6700 \text{ m}^3/\text{fő}/\text{év} \leftrightarrow I = 1000 \text{ m}^3/\text{fő}/\text{év}, (4)$$

már nincsenek távol egymástól. A trend sem ad okot az optimizmusra: a 20. század elején a fajlagos készlet mintegy $27\,000 \text{ m}^3/\text{fő}/\text{év}$ volt, és ez 8,5 milliárd lakossal számolva 2035 körül lecsökkenhet $4700 \text{ m}^3/\text{fő}/\text{év}$ -re (URL1). Tehát nem a készlet, hanem annak egy főre jutó hányada csökken a népesség növekedése miatt, mégpedig vésszerűen. Tovább rontja a képet, hogy az igény növekedését egyelőre nem sikerült visszafogni: az elmúlt száz évben ennek értéke közel kétszeres mértékben növekedett a népesedéshez viszonyítva.

Ezzel azonban történetünket még nem fejeztük be, mivel vízrajzi, hidrológiai, szennyezési és ökológiai okok miatt a készletoldalon markáns redukáló tényezők jelentkeznek. Vegyük sorra ezeket! **Először:** a megújuló készletek mintegy 20%-a távoli, „eldugott” területen található, és aligha hozzáférhető – például az Amazonas óriási készlete. **Másodszor:** a fennmaradó fele – a vízfolyás méretét-

től függően – árvizekkel és monszonnal érkezik (McKinney – Schoch, 1996), vagyis gyorsan lefolyik, és csak egy kis része hasznosítható tározók⁶ építése révén (amelyek nem minden probléma nélküliek). **Harmadszor:** a készletek jelentős, de pontosan nem ismert hányada (legalább 30%-a) kiiktatódik az ökológiai vízigény és a legkülönbözőbb szennyezések (szerves- és tápanyagok, különféle mikroszennyezők, gyógyszermaradványok, szintetikus szteroidok stb.) következtében, hacsak költséges tisztítást nem alkalmaznak, ami sokfelé csak részlegesmó, vagy egyáltalán nem is létezik. Így a megújuló, hozzáférhető és hasznosítható készlet (Q^{**}) és az igény nagyságrendileg

$$Q^{**} = 2000 \text{ m}^3/\text{fő}/\text{év} \leftrightarrow I = 1000 \text{ m}^3/\text{fő}/\text{év}. \quad (5)$$

Érdemes megjegyezni, hogy

$$Q^{**} \geq I \quad (6)$$

reláció a fenntarthatóság fontos kritériuma (globális és lokális léptéken egyaránt).

A bemutatott nagyságrendi elemzésből megfigyelhetjük, hogyan lett a sokból kevés az egyik oldalon és a kevésből sok a másikon. Az eredmény nyugtalanító: globális szinten a (ténylegesen hasznosítható) készlet csupán mintegy kétszerese az igénynek. Másképpen fogalmazva: a kihasználtság⁷ 50% körüli,⁸ igen

⁶ A felszín alatti összegyűlekezésű rész időben kiegyenlítettebb járású, használata tározást nem igényel, „csak” víztermelő kutak létesítését.

⁷ Ennek analógiájára Ashok K. Chapagain és Arjen Hoekstra (2004) a Q^{**}/I^* vízhiány-indexszel jellemzi a készletek szűkösségét (az 1 feletti érték vízbőségre utal), és további két paramétert használ valamely ország vízimportjának függőségére, illetve vízfenntartó képességére.

⁸ A hangsúly a nagyságrenden (és persze a trenden) van. Lehet, hogy a feltevésektől függően a globális kihasználtság csak 30–40%, de ez is roppant magas érték.

magas érték (összehasonlításképpen Magyarországon 8%, augusztusi kisvízre vetítve pedig mintegy 20%). A globális helyzetkép tehát sötét, miközben eddig csupán négy gondot említettünk: a fizikai vízhiányt, az eltűnő vizeket, a szennyezéseket és az ökológiai vízigényt.

A regionális kép és érzékenység

Ha a készletek és az igények területi eloszlása egyenletes lenne, nem lenne okunk aggódalomra. Ez azonban nincsen így. A vízgazdálkodást nagy területi (és időbeli) változékonyság jellemzi, ami a népesség és a társadalmi-gazdasági fejlettségi szint mellett alapvetően az éghajlat területi változékonyságából fakad: változik a párolgás, a csapadék, a hóesés, a hóolvadás, az árvizek, az aszályos időszakok stb. A megújuló készleteket a hidrológiai körforgás részeként végső soron a csapadék és a párolgás együttesen határozza meg, ami pótolja a vízdő rétegek készleteit, és biztosítja a felszíni és felszín alatti lefolyást. A csapadék a párolgással együtt területileg erősen változik: Egyiptomban például ritkán tapasztalni esőt, de lefolyás-térképeket tanulmányozva feltűnő (UN Water, 2009) az Észak-Kína – Délkelet-Ázsia – Közel-Kelet – Észak-Afrika sáv, valamint Kalifornia és Ausztrália: az évi lefolyás sokfelé csupán 10 mm/év körüli (Magyarországon az átlag 50 mm/év, de az Alföld egyes térségeiben alig több 10 mm/évnél). Így elsősorban ezeken a területeken számíthatunk a készletek szűkösségére. Az eredmények ezt igazolják is: a vízben legszegényebb harminc ország itt található (például: Kuvait, Arab Emírátsok, Katar, Líbia, Szaúd-Arábia, Jordánia, Jemen, Izrael, Algéria, Tunézia, Egyiptom, Ciprus stb., URL2), a Közép-Keleten a készletek többnyire 100 m³/fő/nap alattiak. Másképpen jellemezve: az arab világban a

Föld népességének 5%-ára a készletek 1%-a jut, míg Kanada a másik véglet: a globális készletek 20%-ához a népesség csupán 0,2%-a tartozik.

Az igényeket alapvetően az emberi tevékenységek (lakossági, ipari, energetikai és mezőgazdasági vízfogyasztás stb.) határozzák meg. Ezek elsősorban a népességtől és annak területi eloszlásától függenek, ezért célravezető a készlet/népesség indikátor használata a fizikai stressz és/vagy a vízhiány jellemzésére. Fő kérdésünk az: mennyi ember érintett ma, illetve lesz érintett a jövőben? Megbízható válaszunk nincsen. Ennek oka egyszerűen az adathiány: hiába kiemelt téma a víz a különböző fórumokon és az ENSZ-en belül is, nem üzemel megbízható globális és regionális monitoring rendszer, az egyes országok adatszolgáltatása pedig hiányos. Mindenesetre a meglévő információ is elégséges a trendek érzékeltetésére. Suren N. Kulshreshtha (1993) elemzése szerint az országos átlagkészletek alapján 1990-ben a népesség 4–5%-a élt fizikailag vízhiányos területen. Ez az érték 2025-re, forgatókönyvtől függően, 40–50%-ra növekedhet, alapvetően a fejlődő világban, főleg a népesség gyarapodása és az éghajlati hatások⁹ miatt. Utóbbi területileg átrendezi a készleteket: leegyszerűsítve, csökkenti azokat, ahol eddig hiányosak voltak, és fordítva. Az igények is kedvezőtlenül módosulnak: a hőmérséklet emelkedése miatt növekednek az öntözésre berendezkedett területeken. Az igények más okok miatt is átrendeződhetnek: a városiasodás és a megavárosok elszaporodása, a migráció, a középosztály gazdaságtól függő területi fejlődése stb.

⁹ A népességnövekedés hozzájárulása a további vízhiány kialakulásához 70–80%, míg az éghajlatváltozásé 20–30%.

Kulshreshtha (1993) elemzését más források adataival összevetve látszik, hogy az információk ugyan nem teljesen konzisztensek, de a nyugtalanító trend egyértelmű. *Először* is az UNEP- (2000) jelentés 1990-re vonatkozó térképei szerint 200–300 millió ember él 1000 m³/fő/év alatti, vízhiányos területen (mintegy harminc országban). Hasonlóan nagy a 40% feletti vízkivétel/készlet aránnyal¹⁰ jellemezhető népesség (UNEP, 2000). *Másodsor*, a CIA adatbázisát (URLi) használva 2035-re az érintettek száma – csak a népesség növekedése miatt – eléri a 1000 milliót (nő a jelenlegi vízszegény területek népessége, és új országok is bekerülnek az 1000 m³/fő/év kritérium átlépése miatt). A helyzet komolyságát a 2. táblázat szemlélteti, ahol feltüntetjük a kritikus országokon túl a vízhiányossá váló Indiát és Kínát is, melyek 2035 után juthatnak a küszöbérték közelébe. Valójában a UNEP (2000) említett vízkivételi térképe szerint ez Indiára már 2025-re bekövetkezhet, azaz a népesség 20–25%-a eshet a kritikus 40% feletti kihasználtság kategóriájába,^{11,12} (az ökológiai vízigény és a szennyezések figyelembevétele nélkül). *Harmadsor*, a felvázolt trendet erősíti a UN Water (2009) jelentés, amely szerint a vízstressz és a vízhiány szinte

¹⁰ Ezt a (6) reláció kapcsán közöltek miatt tekintik kritikusnak.

¹¹ Már ma is mintegy 800 millió ember él olyan országokban, ahol az átlagos vízkivétel 250 m³/fő/év alatti szűkös érték (UN Water, 2009).

¹² Lester R. Brown (2003) szerint a probléma már ma is kedvezőtlenebb, és a népesség felét sújtja: Kína, India, az USA és tizenkét további vízben szegény ország termeli ki túlzott mértékben felszín alatti vizeit. Nováky Béla (2005) szerint a pakisztáni Punjab tartományban a víz kitermelése 27%-kal, Bangladesben helyenként 50%-kal haladja meg a természetes pótlás mértékét. Az USA-ban, Kaliforniában az évi vízkivétel 1,6 km³-rel több, mint a természetes utánpótlódás.

	Népesség, 2010 (millió fő)	Népesség, 2035 (millió fő)	Készlet, 2010 (m ³ /fő/év)	Készlet, 2035 (m ³ /fő/év)
Kuvait	3,1	4,5	10	7
EAE	4,7	7,0	58	39
Líbia	6,6	8,9	113	84
Szaúd-Arábia	26,3	36,7	118	85
Szingapúr	4,8	5,5	149	130
Jordánia	6,5	9,1	179	126
Jemen	24,3	43,1	223	125
Izrael	7,3	9,1	276	221
Algéria	35,4	46,3	478	366
Tunézia	10,4	12,4	482	404
Egyiptom	87,5	116,5	859	645
Marokkó	43,2	65,2	971	643
Kenya	40,9	68,94	985	584
India	1214,5	1527,9	1880	1494
Kína	1354,1	1462,4	2260	1545

2. táblázat • Néhány ország népessége és fajlagos megújuló vízkészlete (2010 és 2035, átlagos forgatókönyv, URL₁, URL₂)

mindenütt erősödik. *Negyedszer*, a becsléseknél nem számoltunk az éghajlatváltozás és a fejlett világon kívül általánosan romló vízminőség kedvezőtlen hatásaival. És *ötödször*, országos átlagokat használtunk, amelyek elmosják a kisebb léptékű változékonyságokat, azaz alulbecsléshez vezetnek.

A területi változékonyság bemutatására példaként Magyarországot említjük. Magyarországra – a Kárpát-medence mély fekvésű területén – sok felszíni víz (95%) érkezik külföldről (12 000 m³/fő/év). Így vízhiányos lakossága nincs, látszólag Európa vízben egyik leggazdagabb országa. Azonban az országon belüli lefolyásból származó saját készlete¹³ csupán 600 m³/fő/év, stresszküszöb alatti, az

egyik legalacsonyabb érték a kontinensen (2. táblázat). A problémához járul, hogy ez az alacsony érték az országban sokfelé ritka vízfolyáshálózattal párosul, márpedig a mesterséges elosztás nehéz és költséges. A helyzet még rosszabb a belső vízgűjtőkön, a homokhátságokon és az Alföldön. Az Alföldön a felszín alatti vizek kihasználtsága már most is 70%, és az éghajlatváltozás beszivárgást csökkentő várható hatása miatt a jelenlegi vízhasználatok mellett is könnyen meghaladhatja a 100%-ot.

Második következtetésünk az, hogy a népesség növekedése miatt bekövetkező vízhiány és az eltűnő vizek az emberiség jelentős részét érintik, elsősorban a fejlődő világban. A trendek egyértelműen negatívak. A bajok

¹³ Valamely ország vízkészlete a belső és a külső eredetű víz összege. Ha a csapadékból származó belső felszíni és felszín alatti hozzáfolyás a párolgásnál kisebb,

a belső készlet negatív, és az ország vízgazdálkodása kizárólag a külföldről érkező vizek mennyiségétől függ. Ilyen ország például: Kuvait, Egyiptom, Irak (URL₂).

a jövőben minden bizonnyal felerősödve jelentkeznek, más gondokkal kölcsönhatásban. Ezek közül Somlyódy László (2008) alapján

- (i) a városiasodást (a népesség növekedése ma már a városokra koncentrálódik, ez együtt jár az átláthatatlan vízi infrastruktúrák kialakulásával, továbbá a városi elszívás és vidéki taszítás számos következményével),
- (ii) a biztonságos ivóvízellátás és szennyezés-elhelyezés¹⁴ megoldatlanságát, ami a fejlődő világban 1,1 illetve 2,6 milliárd embert érint,¹⁵ és a fejlesztések messze nem követik a terveket,
- (iii) a sok meglepetést okozó szennyezéseket (beleértve a mikro- és nanoszennyezőket) és a vízminőségi bajokat,
- (iv) az éghajlatváltozás által befolyásolt, növekvő gyakoriságú szélsőségeket (árvizek és aszályok), valamint
- (v) a nemzetközi vizek (potenciális) konfliktusait (az emberiség fele él ilyen ún. osztott vízgyűjtőkön; lásd később) említjük.

Az első és a második következtetést összevonva, a népesedés és a fejlődés tendenciája fokozatosan rontja a víz- és a táplálkozásbiztonságot. Ez válságokhoz vezethet, előre nem láthatóan fékezheti a fejlődést, végső soron pedig súlyos fenntarthatósági zavarokat okozhat.

A vízhiány következményeiről

Napjainkban a vízhiány egyre több figyelmetető, időnként szokatlan jelével találkozunk. Így például Ciprus ivóvizet importál

Athénből (tankhajókon), de hasonló a helyzet Madridban vagy Szingapúrban is (utóbbi Malajziában működtet vízművet, majd csövön pumpálja át a vizet a szigetországba). A másfél milliós Quito, Ecuador fővárosa (Sullivan, 2009/2010) nem rendelkezik saját ivóvízbázissal. Évi 250 millió liter vizet az Andokból szállítanak, a gleccserek megfigyelt fogyása miatt (éghajlatváltozás) azonban a készletek gyorsan karcúsodnak. Mexikóváros süllyed a túlzott talajvíz-kitermelés következtében (URL3). Hasonló jelenséget figyeltek meg az USA-ban, Ogellala térségében (Nováky, 2005). Máltát a tengervízszint emelkedése fenyegeti: a veszély a sós víz beszívargása az alig magasabban fekvő rétegvízbe (Sullivan, 2009/2010). Ez már bekövetkezett Izraelben: a túlzott kitermelés miatt a talajvízbe tengervíz tört be a Földközi-tengerből, aminek eredményeként az egykori édesvíz kezelésére sótalanítási technológiákat alkalmaznak¹⁶ (Sullivan, 2009/2010). Az Izrael és Palesztina közötti feszültség jelentős részben a talajvíz mennyiségéhez és minőségéhez kapcsolódik, az előrelépés és a béke pedig nemcsak a területi, hanem a vízkészletekre vonatkozó kiegyezésen kell, hogy alapuljon.

Szaúd-Arábia közel 2 millió ha területen öntöz mezőgazdaságra alkalmatlan sivatagban (Sullivan, 2009/2010). Folyóik szinte mind időszakosak, a villámzaporok vizeit kétszáz körüli, nem túl nagy duzzasztóval fogják fel. Így évi 1 km³ vizet tudnak kinyerni, miközben a vízhasználatuk 24 km³, nagyrészt öntözési célú. A vízkivétel az Arab-félsziget alatti óriás

¹⁴ A WHO (2004) szerint Ázsiában, Dél-Amerikában és a Szub-Saharai Afrikában a szennyvizek 65, 86, illetve 100%-a marad tisztítás nélkül. Itt helyesebb a fekáliaelhelyezés szóhasználat, miután a fejlődő világban viszonylag kevés helyen használnak öblítéses WC-t.

¹⁵ Gazdasági vízhiány.

¹⁶ A Kína gabonatermésének közel felét adó észak-kínai síkság nagy részén, India nyugati partján, Mehana államban a víztartó rétegek lényegében kimerültek, emiatt a sós tengervíz betört az édesvizet tároló rétegekbe. A sós víz hatása szinte visszafordíthatatlan (Nováky, 2005).

si felszín alatti vízbázisból történik. A kitermelés messze meghaladja a beszivárgást, és így a becslések szerint a készlet 25–30 év alatt kimerül. Ezért a kormány korlátozta a gabonatermesztést, és egymillió ha földet bérelt mezőgazdasági termelésre vízben gazdag országokban, Tanzániától Indonéziáig. Azaz: a vízhiányt nem víz behozatalával, hanem lényegesen kisebb tömegű áru importjával pótolta. Mára az ország a világ legnagyobb tengervíz-sótalanítója, és biztosítja Katar, Bahrein, Kuwait és Jordánia ivóvízellátását is. Látjuk, hogy a szaúdiak számára a legértékesebb természeti erőforrás nem feltétlenül az olaj, hanem a víz. Azt is tapasztaljuk, hogy a víz miatt új típusú, határokon átnyúló kapcsolatok alakulnak ki.

Háború vagy béke

A víz és a vízhiány velejárai a különböző konfliktusok (Gleick, 2008), amelyek célja mások vagy más országok vizeinek birtoklása, szabályozása. Ilyen szempontból a víz lehet politikai és/vagy hadászati cél. Máskor a vizet a háború eszközeként használják. A vizek egyenlőtlen és igazságtalan elosztása – például valamilyen fejlesztés eredményeként – stratégiai ellentétekhez és vitákhoz vezethet (erre példa a Duna egyoldalú elterelése Szlovákia által). A konfliktusok között napjainkra az egyik leggyakoribb a terrorizmus (beleértve a biológiai és kibertámadások fenyegetettségét is), ami alatt egyének vagy csoportok kormányokkal vagy hivatalos szerveikkel szembeni erőszakos cselekedeteit értjük. A konfliktusok léptéke változó lehet (lásd Glied, 2008 is): kitörhet farmerek között, valamely vízgyűjtőn, allokációs problémák esetén (Colorado-folyó), tartományok között (például Spanyolország, Glied, 2008), vagy országok (például Izrael és szomszédai) között. A konfliktusok gyarapodása riasztó: míg a 19. században,

majd a 20. század első felében tíz körüli eseményt jegyeztek fel, addig ezt követően számuk szinte exponenciálisan nőtt: 1985 és 2005 között elérte a nyolcvanat (a fegyveres konfliktusok száma a második világháború óta mintegy negyven [Havasi, 2010]).

Az általános hiedelemmel szemben vízárt országok sosem háborúztak: mindig győzött a bölcsesség. Napjaink nagyobb válságvezeterei (ezek a fejlődő világban találhatóak) azokon a határokon átnyúló nemzetközi vizeken találhatóak vagy alakulhatnak ki, ahol valamely felvízi, vízhiánnyal küszködő ország a készleteket egyoldalúan, a maga javára akarja kisorsoztatni (a legtöbbször duzzasztás révén öntözési célra). Az irodalom a legkritikusabb válságvezetnek a Nílus és az Aral-tó térségét tartja. További problematikus nemzetközi vizek a Csád-tó, a Jordán folyó, a Tigris és az Eufrátesz, a Gangesz, a Mekong, a Sárga-folyó és így tovább. Ezek a régiók akkor válhatnak veszélyessé, ha a vízválság egyéb válságokkal (szegénység, alultápláltság, energiakrízis, állandó politikai ellentétek stb.) eszkalálódik.

A felsorolt példák felvetik azt a kérdést, hogyan is állunk a nemzetközi vizekhez tartozó országok együttműködésével. Rövid válaszuk az, hogy lehetne jobb a helyzet: a jogi keretek hiányoznak vagy gyengék. Létezik nemzetközi vizekre vonatkozó, korlátozott hatáskörű egyezmény (*Helsinki Konvenció*, 1992), amit aláírtak ugyan, de sok országban nem ratifikáltak. Az osztott felszín alatti vizek jogilag nem szabályozottak. Ugyanakkor az 1820 óta megszületett, mintegy négy száz, államok közötti szerződés mégis sokfelé elősegítette a béke fenntartását. Ez azonban aligha lesz elég a jövő súlyosbodó problémáinak kezelésére. Fokozott *hidroszolidaritásra*, *nemzetközi törvényi szabályozásra* és annak hatékony alkalmazására van szükségünk.

Kína: az óriás

Kína sok ok miatt víznagyhatalom. Az ország mérete és népessége, a megoldandó feladatok sokasága és sokszínűsége, a hazai és külföldi beruházások nagysága, a haladás a kutatások területén mind az érvek közé tartoznak. Mára Kína hatszáz feletti nagy projektet valósított meg (Varis – Vakkilainen, 2001), köztük 170 000 MW-nyi vízerőművet¹⁷ (Bosshard, 2009/2010 – ez a paksi erőmű kapacitásának 85-szöröse). Vezeti a globális duzzasztóműpiacot: a nyugati technológiákat átveve és továbbfejlesztve legalább kétszáz erőmű építésében és finanszírozásában vesz részt kb. ötven fejlődő országban (Bosshard, 2009/2010). Hatszáz nagyvárosban intenzíven fejleszti a vízi infrastruktúráját. A beruházások nagyságrendje ezermilliárd USD nagyságrendű lehet. Várható, hogy ezen a területen is vezető szerepre törnek.

De Kína a problémák okán is nagyhatalom. Az ország megújuló vízkészlete roppant egyenlőtlen eloszlású.¹⁸ A teljes készlet valamivel 3000 km³/év alatt van (Varis–Vakkilainen, 2001), azaz 1354 millió lakossal (a Föld népességének ötöde) számolva átlagosan 2260 m³/fő/év (a vízfogyasztás a készlet mintegy 20%-a – 500 km³/év, ennek 90%-a az öntözést szolgálja). Az északi síkság a Sárga-folyóval (ahol a mezőgazdaság négyötöde található [Wilson, 2002]) és a déli Jangce népessége azonos, 400 millió (Varis–Vakkilainen, 2001), ezzel szemben a készletek aránya 1:6 körüli, azaz északon a hozzáférhető készlet nem több, mint 400 m³/fő/év, aminek a kihasználtsága

60% feletti. Kevés és csökkenő fajlagos készlet (2. táblázat) magas és növekvő kihasználtsággal jár együtt. Ez a felszín alatti vizek túlzott kitermelését eredményezi: a városok fele vízhiánnyal küzd, a talajvízszint évente átlagosan 1,5 métert süllyed. Az eltűnőben lévő Sárga-folyóba és Peking térségébe a vizet a bő Jangcéból tervezik átvezetni (Wilson, 2002). A mennyiségi bajokat tetézik a minőségiek. Az 50 000 km hosszú, főbb vízfolyásokból álló hálózat 80%-ából kipusztultak a halak (Wilson, 2002), a Sárga-folyó jelentős része halott, alkalmatlan emberi fogyasztásra és öntözésre (bakteriológiai, nehézfém- és egyéb mikroszennyezők miatt).

Kína vízdilemmája nem kezelhető elszigetelten vízimérnöki problémaként. Azt szélesebb kontextusban szükséges elemezni, a nagy és növekvő népsűrűséggel,¹⁹ a gyors városiasodással, az éghajlatváltozás bizonytalanul becsülhető hatásaival, a nagy környezeti szennyezéssel, az élelmezés biztonságával, a gazdasági és társadalmi egyenlőtlenségekkel és az intézmények bajaival együttesen (Varis – Vakkilainen, 2001). És persze nem kerülhető meg a kérdés: mi Kína hatása a világra? És fordítva, hogy fest az „egyenlet”? Példaként a gabonakereskedelmet említjük, természetesen a vízzel összefüggésben.

Kína mezőgazdasága és a jövő

A felismerés nem régi (Allan, 1993), hogy a globális kereskedelem – elsősorban a mezőgazdaság területén – a termékekbe beépülve, óriási mennyiségű, virtuális vizet szállít a határon keresztül. A hatás egyaránt lehet pozitív és negatív. Pozitív, ha az áruk vízbő területről vízhiányosra történő exportjáról van szó

¹⁷ Ez a jelenlegi globális kiépítettség 20%-a.

¹⁸ Kína legbővizűbb folyói a Tibeti-fennsíkrol erednek. Vízellátás szempontjából az ország számára nem mindegy, hogy Tibet hová tartozik: máris komoly politikai és stratégiai kérdést érintettünk.

¹⁹ Az 1990-es évek végén a kínaiak fele élt olyan területen, ahol a népsűrűség 750 fő/km² volt. A megfelelő érték Hollandiára 450 fő/km².

és negatív a fordított esetben. Jelenleg a teljes virtuális vízkészlet évente a vízfogyasztás 40%-át teszi ki (lásd UN Water, 2009), ami évente nyolcszáz Balatonnak felel meg. A mezőgazdaság területén legnagyobb bruttó vízimportőr az India–Kína-térség (Chapagain – Hoekstra, 2004) 200 km³/évvel, miközben az export is nagy, 50 km³/év. Nyugat-Európára a régió belüli kereskedelem a jellemző, aminek a mértéke 180 km³/év körüli, a negyven balatonnyi import pedig Dél-Amerikából és Észak-Afrikából származik. A legnagyobb exportőr az USA (200 km³/év).

A mezőgazdaság és az óriási népesség élelmezésbiztonsága Kínában nagymértékben a víztől függ. A gabonafogyasztás 380 millió tonna/év (Brown, 2006), az ország a természetőképessége határán van, pedig Kína a világon a legnagyobb termelő (talán az USA mellett). Elemzések szerint 2030-ra évente további mintegy 200 millió tonnát lesznek kénytelenek megtermelni vagy importálni²⁰ (Brown, 2006), az ennek megfelelő virtuális víz mennyisége nagyságrendileg 200 km³/év.

Kína alapvetően két stratégiát folytathat. *Előszőr:* a vízgazdálkodási és hidraulikai rendszerét gigantikus projektekkel folyamatosan fejlesztve kísérli meg az öntözési kapacitását növelni, saját termelését fokozni, és önfenn tartónak maradni. Ennek következménye az egyébként is sokfelé súlyos vízhiány növekedése és a komoly környezeti hatások. A forgatókönyv együtt jár számos további, bonyolult hatással. A gazdaság fejlődésével a jövedelmek nőnek, a középosztály erősödik,²¹ a

fogyasztás általában és az élelmiszer-fogyasztás különösen nő, fokozva a vízigényeket. A mezőgazdasági vízhasználat azonban nem túl gazdaságos, 1000 m³ víz hozama 1 tonna gabona (*i. táblázat*) vagy mintegy 200 USD, aminél – szabad kereskedelmet feltételezve – nagyságrendekkel több hozható ki az iparban (Wilson, 2002). Így az élelmiszerárak még inkább emelkednek, hacsak a vízhasználatot mesterségesen nem támogatják.

Másodszor: Kína feladja önfenn tartó voltát, és importál, ha van honnan. A hatás ezúttal kettős: az ismeretlen exportáló országban nő a vízkivétel (ennek mértéke a meglévő készletektől függ, a felvázolt arányok alapján például az USA virtuális vízexportját duplázni kellene), Kínában pedig a gabona és víz importfüggősége fokozódik. A dilemma további dimenzióját jelenti az, hogy kérdéses, rendelkezésre áll-e majd egyáltalán annyi szabad gabonakészlet a piacon, amennyire Kínának szüksége lesz, figyelembe véve a nemzetközi trendeket (átállás az extenzív gazdálkodásra – az USA-ban és Európában is). Persze a vízgazdálkodás (itt elsősorban az öntözés) hatékonyságán sokat lehet javítani (Postel, 1992), és a tudomány is sokat segíthet. Kérdés, hogy eleget-e. És meddig képes Kína ellátni saját magát? Mi történik utána Kínával és a földgolyóval? Még nehezebb spekulálni a válaszon, ha Indiát és a többi feltörekvő országot is bevonjuk a képbe.

Érzékeljük, hogy az élelmezési probléma kettős: a globális piacon korlátozottan rendelkezésre álló gabona (tágabb értelemben élelmiszer, olaj és egyéb erőforrások) és az egyre szűkösebben rendelkezésre álló víz, a népeseledés, az éghajlatváltozás és a szennyezések miatt. A kettő erősödő kölcsönhatásban áll egymással: *a víz a globalizáció szorításában és a Föld a víz szorításában*. Vajon az emberiség

²⁰ A fajlagos fogyasztás (jelenleg 450 kg/fő/év, a fele, mint az USA-ban) és a népesség egyaránt nő.

²¹ A Merrill Lynch (2008) elemzése szerint 2005 és 2015 között a 300–600 USD jövedelmek kategóriába eső népesség gyarapodása a legnagyobb a Földön, számuk közel duplázódik.

meg tud birkózni a feladattal? Általánosabban, mi lesz a következménye, ha Kína (India és a többi feltörekvő, nagy szaporodási rátájú ország) mondjuk huszonöt-harminc év múlva a nyugati világ mai színvonalán kíván/fog élni? Ha a jelenleg alacsony vízlábnyom értéke csupán megduplázódik? Milyen modell mentén halad majd? Ha van sikeres, fenntarthatóságot eredményező modell, ez alkalmazható-e a ma fejlődőnek nevezett világra?

Olajválság után vízválság?

Láttuk, hogy a víz rengeteg konfliktus okozója lehet. Ezek között új típusú krízisek csírái is megjelennek, amelyeket a víz virtuális kereskedelme tovább erősíthet. Sokak szerint az olajválságot ahhoz hasonló vízválság követi majd a 21. században. De helytálló-e a hasonlóság feltételezése? Nézzük ehhez a fő jellemvonásokat, mi a hasonló és mi az eltérő?

A kőolajtermelés (és -fogyasztás) 2009-ben 4400 milliárd barrel körül volt, aminek az értéke 2400 milliárd USD, óriási summa. A vízbiznisz nagyságát már bonyolultabb megbecülni. Ha csak a fejlett világ meglévő városi szolgáltatásait tekintjük (kb. 1 milliárd fő), az évente 100 milliárd USD-t tesz ki. Ehhez adódnak a szolgáltatások a fejlődő világ városai, továbbá a vidéki népesség egésze részére, ami, ha nem létezik, beruházásokat igényel. További tétel az árvízvédelem, az itt gyakran emlegetett öntözés és vízenergia-termelés. Így a nagyságrend biztosan több ezer milliárd USD. Somlyódy László és Olli Varis (2006) szerint az elfogadható vízminőség elérése 2000 milliárd USD beruházást igényelne (főként a fejlődő világban), a teljes vízgazdálkodás pedig ennek háromszorosát. Tehát a két „szektor” nagysága gyakorlatilag azonos.

Az olajnak van világpiaci ára, ám a víznél ez egyelőre nem merül fel. Kivételt jelentenek

a tengerközeli édesvízszegény területek, ahol a sótalanítás iránti növekvő igény az ivóvíz-előállítási költségek alapján versenyt alakított ki. A fajlagos készletek csökkenésével és a virtuális vízkereskedelem fokozódásával mindenesetre elképzelhető, hogy a termékek árképzésében megjelenik egy egységesített, szabályozást szolgáló tényező.

Az olaj véges, helyhez kötött, nem megújuló erőforrás (Quinn, 2009). A tengervíz-készlet – nagysága miatt – gyakorlatilag korlátlan mennyiségben rendelkezésre áll. Az édesvíz állandóan mozgásban van. Mennyisége – ahogyan láttuk – korlátozott és megújuló. Nagy különbség, hogy az olaj szállítása gazdaságos, a vízé pedig nem az. Az olajat elfogyasztjuk (hővé alakítjuk), ez a vízhasználatoknak csupán egy hányadára igaz (öntözés révén). *Az energiatermelés szempontjából az olaj számos alternatíva révén helyettesíthető, a víz az élet sok területén semmivel nem váltható ki.* Talán ez a legnagyobb különbség, és ez teszi a vizet a legfontosabb erőforrássá. Hosszú távon elkerülhetetlen az olaj lecserélése megújuló energiaforrásra. A víz lokálisan lehet ugyan korlátozottan rendelkezésre álló, de globálisan nem az, hiszen – ahogyan arra már utaltunk rá – óriási tengervíz-készlet áll rendelkezésre. Így pusztán a sótalanítás gazdaságossága a kérdés (a fejlesztések és az alkalmazások ígéretesek, lásd később).

Összefoglalóan: az olaj és a víz mint erőforrás tulajdonságai inkább eltérőek, mint hasonlóak. Ezért ha lenne vízválság, amit nem kívánunk, azt a korábban említettek alapján inkább eszkálaródó regionális konfliktusok és azok esetleges összefűződése jellemezheti.

Merre haladjunk?

Ahogyan érzékeljük, a vízzel összefüggő problémák ma sokkal összetettebbek, mint egy-

két évtizede voltak. A UN Water (2009) szerint jellemzőjük, hogy a kiváltó okok gyakran (egyre inkább) kívül esnek a hagyományos vízgazdálkodáson – politikaiak, gazdaságiak, társadalmiak, döntéshozásiak, intézményiek stb. –, és ennek megfelelően a megoldást is részben „a külső szférában” kell keresnünk. A régi receptek már nem működnek, újakat kell kitalálni (Gleick, 2009/2010). *Először:* a készletek és az igények kapcsolatát szükséges újragondolnunk a *termékek és szolgáltatások biztosítása szempontjából*. Az igény oldalon rendkívüliek a spórolási lehetőségek. Elégéséges a mezőgazdaságban a mikro- és az ökológiai öntözésre, az iparban a tiszta technológiákra, a zárt víz- és anyagforgalmakra, a többszöri vízfelhasználásra, az újrahasznoztatásra stb. utalni (Somlyódy, 2003), amelyek célszerűen párosítandók hatékony jogi és gazdasági szabályozókkal. Példák sokasága ismert (Postel, 1992), amelyek 50–90%-os vízfogyasztás-csökkenést eredményeztek, miközben a korszerűsítések egy-két éven belül megtérültek. Hasonló a tendencia a háztartások területén, ahol a sárga, fekete és szürke²¹ szennyvizek szétválasztása és külön kezelése²² vezethet komoly víztakarékossághoz és a hasznos tápanyagok (P és N) kinyeréséhez is (Somlyódy, 2003). Ehhez kapcsolódhat például a tetőről lefolyó csapadékvíz összegyűjtése (rainwater harvesting) és felhasználása locsolásra vagy a WC öblítésére.

Másodszor: az elmondottak előnyösen befolyásolják a készletoldalt is. Nagytérségi,

zárt körforgások alakíthatók ki: például a tisztított városi szennyvizet a mezőgazdaságban, majd ezt követően a maradékot az iparban hasznosíthatják, miközben csak olyan mértékben tisztítják, amelyet a következő igény kielégítése szükségessé tesz (ez a kaszkád elv). Másik példa a különböző eredetű vizek elegyítése révén a hasznosítható készlet növelése. Ilyen a tisztított szennyvíz felszín alatti befogadóba történő szivárogtatása. Említést érdemel a Szingapúrban alkalmazott eljárás. Itt négy „csapból” származó vizet: a Malajziából jövő kezelt vizet, a lefolyásból eredő természetes vizet, az ultratisztaságú szennyvizet és a sótalánított tengervizet²³ „érellek” tározókban, majd osztják szét a hálózatba. A tiszta víz és szennyvíz fogalma szinte ismeretlen, ezek helyett – az óvodás kortól induló oktatási programokra alapozva – a használt víz az elfogadott norma. A szingapúri stratégiát két elv vezérli: a vízzel való fenntartható gazdálkodás megvalósítása kivételosen szűkös körülmények között²⁴ (a ciklusok zárása révén) és a malájoktól történő vízfűggőség csökkentése.

Könnyen belátható, hogy az újrafelhasználás és a körforgások zárása a kulcsa a jövő vízkészlet-gazdálkodásának: ebben az esetben ugyanis csupán a termékekbe beépülő vízmennyiséget és a veszteségeket kell pótolnunk. Erre a technológiai megoldások – noha költségesek – a fejlett világban túlnyomóan rendelkezésre állnak. A kérdés tehát a fejlődő és a feltörekvő világ: a helyi viszonyoknak

²¹ Vizelet, fekália és a háztartásban keletkező többi, híg szennyvíz.

²² Ez persze együtt jár a kettős vízvezetékrendszer alkalmazásával.

²³ Ez önmagában is hatékony készletnövelő, hacsak nem kell messzire szállítani a vizet. Az előállítási költségek a membrántechnológia robbanásszerű fejlődése

következtében az elmúlt évtizedben nagyságrendet csökkentek. A világon ma már mintegy 100 millió ember nyer ily módon a hagyományossal versenyképes szolgáltatást. Sokak szerint a membrántechnológia lesz a kulcs a különböző léptékű zárt víz- és anyagforgalmak megvalósításához (Somlyódy, 2008).

²⁴ Lásd a 2. táblázatot.

megfelelően a zárt körforgások hogyan való-
síthatók meg elviselhető áron?

Harmadszor: a készleteket az azokhoz
legjobban illeszkedő igények kielégítésére
célszerű használni. Ennek jegyében okos
gondolat az alkalmazkodó mezőgazdaság,
adott esetben a migráció vagy éppen a sósvíz-
alapú táplálkozás elősegítése (például tengeri
haltenyésztés) és tágabb értelemben a tenger-
víz-gazdálkodás. **Negyedszer:** a globalizációval
növekvő virtuális vízkereskedés szabályozása
igényel növekvő figyelmet (akár a szaúd-ará-
biai példát követve). **Ötödször:** vizeinket
jobban kell védeni a szennyeződésektől. A 21.
században „elvetemült” ötlet ivóvízzel mű-
ködtetni toaletteinket, locsolni kertjeinket
vagy a golfpályákat. A vízminőség iránti na-
gyobb figyelem nemcsak az élővilágot óvja
meg, hanem a hasznosítható készletet is nö-
veli. **Hatodszor:** az – itt alig érintett – éghajlat-
változást szem előtt tartva vizeinkkel a jövő
klímájának megfelelően kell gazdálkodnunk.
És végezetül: minden terv az intézményi
rendszeren keresztül valósul meg. Ha valami-
lyen problémát nem tudunk megoldani, az
végső soron mindig a „kormányzás” hibája
vagy csődje, amit gyakran tapasztalunk. Nem

véletlen, hogy az irodalom sokszor az intéz-
ményi „szennyezést” tartja a legfőbb gondnak.
Minden szinten kulcskérdés az intézményi
reform.

Mit hoz a jövő? Növekvő számú és kiter-
jedésű konfliktusokat? Háborúkat? Nem
tudjuk. Az azonban biztos, hogy a népesség
növekedésével, az éghajlatváltozással, a glo-
balizáció számos következményével, a soka-
sodó szennyezési bajokkal egyre közelebb
sodródunk a fejlődés korlátaihoz. Új gondol-
kodásmódra van szükség. Az édesvíz korlátos,
semmit sem helyettesíthető, értékes erőfor-
rás. Használatát a fenntarthatóság, a megfon-
toltság és az átgondolt tervezés kell hogy
jellemesse. Késésben vagyunk.

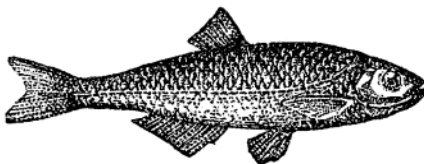
Hálásan köszönöm Gayer József, Mészáros
Ernő, Nováky Béla és Simonffy Zoltán gon-
dolatébresztő észrevételeit, amelyek nagyban
segítették munkámat a kézirat véglegesítésé-
ben és új kérdések felvetésében.

Kulcsszavak: *megújuló vízkészletek, vízigények,
vízhiány, stressz, népesedés, éghajlatváltozás,
szennyezések, globalizáció, vízlábnyom, virtuá-
lis víz, Kína, fenntarthatóság*

IRODALOM

- Allan, Tony [J. Anthony] (1993): Fortunately There Are
Substitutes for Water Otherwise Our Hydro-
Political Futures Would Be Impossible. In: *Priorities
for Water Resources Allocation and Management*.
ODA, London • <http://www.greenstone.org/greenstone3/nzdl?a=d&c=hdl&d=HASH18430b64ccdf12afd60ed4.3.2&sib=1&p.a=b&p.sa=&p.s=ClassifierBrowse&p.c=hdl>
- Bosshard, Peter (2009/2010): China Dams the World.
World Policy Journal. Winter 2009/10, 26, 43–51. •
http://www.cdca.it/IMG/pdf/China_Dams_the_World.pdf
- Brown, Lester R. (2006): *PLAN B 2.0 Rescuing a Planet
Under Stress and a Civilization in Trouble*. Earth Policy
Institute. W.W. Norton & Company, New York
- Chapagain, Ashok K. – Hoekstra, Arjen Y. (2004):
Water Footprints of Nations. Vol. 1. *Research Report
Series* No. 16, UNESCO-IHE, Paris • <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report16Volt.pdf>
- Gléick, Peter H. (2008): *Water Conflict Chronology*.
Pacific Institute, • <http://www.worldwater.org/conflictchronology.pdf>
- Gléick, Peter H. (2009/2010): Facing Down the Hydro-
Crisis. *World Policy Journal* Winter 2009/10, 26,
17–23. • <http://www.worldpolicy.org/blog/facing-down-hydro-crisis>
- Glied Viktor (2008): *Vízkonfliktusok – küzdelem egy
pohár vízért*. Publikon Tud. Portál és Kiadó, Pécs
- Havasi Eszter (2010): A vízhiány szerepe a nemzetközi
konfliktusokban. *Biztonságpolitikai Szemle*. Háttér-

- anyagok. Corvinus Külügyi és Kulturális Egyesület • http://bizpol.playhold.hu/?module=hatteranyagok&module_id=2&page=0&type=all&reszletek=56
- Kulshreshtha, Suren N. (1993): *World Water Resources and Regional Vulnerability: Impact of Future Changes*. RR-93-10, IIASA, Laxenburg • <http://www.iiasa.ac.at/Admin/PUB/Documents/RR-93-010.pdf>
- McKinney, Michael L. – Schoch, Robert M. (1996): *Environmental Science, Systems and Solutions*. West Publishing Company, New York
- Merill Lynch (2007): *Water Scarcity: A Bigger Problem Than Assumed*. (kézirat). Extract • <http://www.ml.com/media/86941.pdf>
- Nováky Béla (2005): A víz és a mezőgazdaság. In: Szabó Lajos et al. (szerk.): *A mezőgazdaság földrajza*. Szaktudás, Budapest
- Papp Sándor – Kümmel, Rolf (1992): *Környezeti kémia*. Tankönyvkiadó. Budapest
- Population data: *The World Factbook*. • <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2119rank.html>
- Postel, Sandra (1992): *Last Oasis. Facing Water Scarcity. The Worldwatch Environmental Alert Series*. W. W. Norton & Company, New York
- Quinn, James (2009): *Fresh Water Crisis*. • <http://www.financialsensearchive.com/editorials/quinn/2009/0831.html>
- Somlyódy László (2003): Az értől az óceánig – a víz: a jövő kihívása, *Mindentudás Egyeteme 1*, Kossuth Kiadó, Budapest
- Somlyódy László (2008): Töprengések a vízről: lépés-kényszerben. *Magyar Tudomány*. 4, 462–473. • <http://www.matud.iif.hu/08apr/09.html>
- Somlyódy László – Varis, Olli (2006): Freshwater under Pressure. *International Review for Environmental Strategies*. 6, 2,
- Sullivan, Paul (2009/2010): Hidden Water: Crouching Conflict. *World Policy J.* Winter 2009/10, 26, 4,
- UNEP (Diop, Salif – M'anyi, P. – Lisbjerg, D. – Johnstone, R.) (2000): *Vital Water Graphics. An Overview of the State of the World's Fresh and Marine Waters*. Nairobi • <http://books.google.com>
- UN Water (2009): *Water in a Changing World. The United Nations World Water Development Report 3*, UNESCO Publishing, Earthscan, Paris • <http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr3/>
- Varis, Olli – Vakkilainen, Pertti (2001): China's 8 Challenges to Water Resources Management in the First Quarter of the 21st Century. *Geomorphology*. 41, 93–104. DOI: 10.1016/S0169-555X(01)00107-6
- Wilson, Edward O. (2002): The Bottleneck. *Scientific American*. February, 82–91. • http://www.brown.edu/Courses/B10020_Miller/week/14/bottleneck.pdf
- Water Availability Data: *FACTS & STATISTICS*. • http://www.nationmaster.com/graph/hea_wat_ava-health-water-availability
- WHO (Gordon, Bruce – Mackay, R. – Rehfuess, E.) (2004): *Inheriting the World: The Atlas of Children's Health and the Environment*. WHO, Geneva • <http://www.who.int/ceh/publications/atlas/en/>
- WPJ (2009/2010): Water Wars? A Talk with Ismail Serageldin. *World Policy Journal*. Winter 2009/10, 26, • <http://www.thefreelibrary.com/Water+wars%3F+A+talk+with+Ismail+Serageldin.-a0214998651>
- URL1: <https://www.cia.gov/library>
- URL2: <http://www.nationmaster.com>
- URL3: www.whyfiles.org



A CSŐBE ZÁRT IVÓVÍZ... (VAGY MÉGSEM?)

Somos Éva

okl. építőmérnök, környezetvédelmi szakmérnök, ügyvezető,
AquAcust Kft.
aquacust@hu.inter.net

Ebben a cikkben a vízgazdálkodásnak egy parányi szeletével foglalkozunk. Közeledni látszik az idő, amikor minden csepp víz kincsét fog jelenteni számunkra.

Az egészséges ivóvíz szerepe századunkban

Éltető kincs; víz nélkül nincs élet; az élet forrása...
– megannyi mondás, szókapcsolat fejezi ki a vízzel kapcsolatos érzéseinket, sejteinkben hordozott (a szó szoros értelmében is!) ösztöneinket, tudatunkat, tudásunkat, hogy életünk – a földi élet – alapja a víz, minden élő szervezet legfontosabb eleme.

Gyakran használjuk a legfontosabb élelmiszerünk kifejezést is, miközben tudjuk, hogy ennél sokkal összetettebb a szerepe: öntözünk vele, hűtésre, fűtésre használjuk, alapvető tisztítószerünk, ipari technológiák épülnek rá, és hosszan sorolhatnánk alkalmazásának nélkülözhetetlenségét.

A Föld édesvízkészletei azonban korlátozottak. A teljes készletnek csak 2,5%-a édesvíz, aminek 79%-a hó és jég, azaz felhasználói szempontból számunkra nem hozzáférhető.

Századunkra jelenlétének fontossága a korábbiakhoz képest is lényegesen megnőtt az életünk minden területét felölelő fejlődés miatt, ellenőrizetlen környezeti változásokat

elindítva (a Föld túlnépesedése, urbanizáció, globális felmelegedés, szélsőséges időjárási viszonyok, az egészséges vízkészletek elszennyződése és fogyása).

A területenként eltérő természeti körülmények és gazdasági lehetőségek következtében jelenleg a Föld népességének ötöde, 1,4 milliárd ember egy napi járóföldnyi távolságon belül nem talál egészséges ivóvizet. 2025-re várhatóan a lakosság egyharmadát fogja érinteni a vízhiány. Sok gyermek és felnőtt halálát okozza a fertőzött víz, és már az 1990-es években nemzetközi szakmai konferenciákon sokan jelezték érvekkel alátámasztott előadásaikban, hogy a 21. század a víz évszázada, a vízért folyó háborúk korszaka lesz.

A víz útja a fogyasztóig

A közműves ivóvízellátásban (a „civilizált” világban) a víz hosszú utat tesz meg a kitermeléstől a fogyasztóig. Útja során számos költséges technológiai folyamaton megy át. A vizet különböző mélységű vízadó rétegek kútjaiból, élővizeink parti szűrűsű kútjaiból vagy közvetlenül a felszíni élővizekből nyerik, ezután – minőségi paramétereitől függően – mechanikai, kémiai, biológiai tisztítási eljárásoknak vetik alá. A megtisztított, így már emberi fogyasztásra alkalmas ivóvizet ugyancsak

költséges szivattyúzással zárt csőhálózatokba juttatják. Ezek a vízelosztó rendszerek hivatottak a vizet a fogyasztóhoz az igényeknek megfelelő mennyiségben és nyomással eljuttatni. A fogyasztók eltérő magassági helyzete – domborzati viszonyok, toronyházak – miatt többszöri átemelésre (szivattyúzásra) is szükség lehet. Az elosztórendszer részeit képezik még az üzembiztonsági és gazdasági szempontból hasznos, de a működéshez nem feltétlenül szükséges magas- és mélytározók.

A fentiekben leírt rendszer megtervezése, kiépítése, zökkenőmentes üzemeltetése és karbantartása bonyolult műszaki feladat, amely tetemes beruházási és fenntartási költségeket emészt fel, a csőbe zárt ivóvíznek tehát minden cseppje érték.

De eljut-e minden csepp a fogyasztóhoz?
Nézzük a magyarországi adatokat a víziközmű-szolgáltatást közel 100%-ban lefedő MAVÍZ 2009. évi statisztikája alapján:

- a vízellátásban részesülő lakosság száma: 8,902 millió fő,
- az ellátott terület összes lakossága: 9,457 millió fő,
- a vízhálózat hossza: 58 330 km,
- termelt ivóvíz: 553 272 m³/nap,
- értékesített ivóvíz: 441 720 m³/nap,
- nem értékesített ivóvíz (NRW): 111,552 millió m³/év.

A hálózatba juttatott ivóvíz több mint 20%-a, azaz évente 111,55 millió m³ „útközben” elvész. Ennek értéke 300 Ft/m³ átlagos vízzárral¹ számolva évente 33,465 milliárd Ft.

A hálózati veszteség fogalma, nagyságrendje

A vízellátó hálózatok veszteségén tágabb értelemben és a köznapi szóhasználatban a

hálózatokba betáplált és az értékesített vízmennyiségek különbségét értjük, de a veszteségek értelmezése szakmai körökben ennél összetettebb. A fentiekben definiált vízmennyiség ugyanis számos olyan összetevőt tartalmaz, amely nem tekinthető műszaki, gazdasági vagy környezetvédelmi szempontból veszteségnek: például a technológiai vízfelhasználások (medencemosás, hálózatöblítés stb.), a tűzoltásra használt vízmennyiségek, a vízlopások, a mérőpontatlanságból és mérőleolvasási hibákból eredő veszteségek, vagy a nem mért fogyasztások becslési hibái.

A szakirodalom tehát meghatároz értékesítési különbözetet (nemzetközileg elfogadott fogalma: NRW – Non-revenue Water – lásd az 1. táblázatot) és ezen belül *hálózati veszteséget* (Waterloss). Az NRW fentiekben sorolt összetevőinek többsége a szó műszaki értelmében nem vízvesztés, hiszen hasznosul, csak nem fizetnek érte.

A Nemzetközi Vízellátási Szövetség (International Water Association – IWA) Vízvesztés munkacsoportja 2000-ben az 1. táblázatban közölt módon foglalta össze a rendszerbe táplált vízmennyiség összetevőit.

A nem értékesített vízmennyiség összetevőinek megoszlása a magyarországi vízműveknél az elmúlt tizenöt évben végzett veszteségmérések adatai alapján:

- rejtett vízfolyások: 41%
- csőtörések: 7%
- jóváírások: 4%
- illegális fogyasztás: 7%
- mérési pontatlanságok: 16%
- saját felhasználás: 2%
- egyéb veszteségek: 21%.

A hálózati veszteség tehát 48%-a a teljes értékesítési különbözetnek (Somos, 2009).

Az 1. táblázatban valós veszteségnek nevezett vízmennyiség részét képezik ugyan az

¹ A lakossági vízdíj 249–274 Ft/m³, a közületi vízdíj 310–410 Ft/m³ közötti összeg.

A rendszerbe betáplált vízmennyiség [m ³ /év]	Engedélyezett fogyasztás [m ³ /év]	Számlázott, engedélyezett fogyasztás [m ³ /év]	Számlázott, mért fogyasztás (beleértve a víz exportját) [m ³ /év]	Értékesített víz [m ³ /év]
		Számlázatlan, engedélyezett fogyasztás [m ³ /év]	Nem számlázott, mért fogyasztás (beleértve a víz átadását) [m ³ /év]	
	Vízvesztesség [m ³ /év]	Látszólagos veszteség [m ³ /év]	Engedélyezetlen fogyasztás [m ³ /év]	NRW – nem értékesített víz [m ³ /év]
			Mérési pontatlanságok [m ³ /év]	
		Valós veszteség [m ³ /év]	Hálózati szivárgások [m ³ /év]	
			Csőtörés okozta vízfolyások [m ³ /év]	
		Üzemeltetési hibákból adódó vízvesztések [m ³ /év]		

1. táblázat

üzemeltetési hibákból adódó vízfolyások (medencetúlfolyások, gondatlan vezetékzárások, -ürítések), de egy elvárható szinten üzemeltetett hálózat esetén ezek nem számottevők, illetve egyszerű adminisztratív intézkedésekkel teljesen kiküszöbölhetőek.

Jelen cikk a *hálózati veszteségek* témakörére fókuszál, a *rejtett szivárgások* és a *csőtörések* okozta vízfolyásokra, melyek valóban a vezetékhálózat – beleértve a csöveket, csőköteket, házi bekötővezetékeket, szerelvényeket (tűzcsapok, tolózárak, ürítők, légtelenítők stb.) – műszaki állapotát minősítik.

A hálózati veszteség két megjelenési formája a *csőtörés* és a *rejtett szivárgás*. Ezek kiváltó okai között az alábbi tényezők szerepelnek:

- csőanyag,
- a vezetékek életkora,
- a csőkötések fajtája,
- nyomásviszonyok,

- a csőanyag tárolásának és szállításának körülményei,
- a csőfektetés körülményei, szakszerűsége (homogén ágyazat a cső körül!),
- fektetési mélység,
- domborzati és talajviszonyok a cső környezetében,
- talajvíz rendszeres vagy időszakos jelenléte,
- üzemeltetési körülmények,
- forgalmi terhelés a vezetékek felett,
- károkozások egyéb közmű létesítése vagy más építkezés során,
- talajmozgások (barlangos, üreges területek jelenléte vagy földrengéses zónák).

A hálózati veszteség két megjelenési formája közül vízvesztései szempontból a rejtett szivárgások okozta kár a nagyobb. Csőtöréskor a cső hirtelen, robbanásszerű tönkremenetele következtében nagy mennyiségű, magas nyomású víz tör a földfelszínre. A csőtörések

gyakorisága alacsony, de intenzitásuk nagy, viszont rövid időtartamúak. A rejtett szivárgások gyakoriak, kis intenzitásúak, de tartósak. A szivárgások vízhozama ugyan két-három nagyságrenddel kisebb, mint a csőtöréseké, ám a vízkiáramlás tartóssága négy-öt nagyságrenddel nagyobb, így a veszteség döntő hányadát a rejtett szivárgások teszik ki (Becker – Somos, 1990).

A hálózati veszteség csökkentésére irányuló tevékenység az egész világon egyre nagyobb jelentőségű, amit jelez az e tárgyban megrendezett nemzetközi konferenciák sora is. Néhány adat Földünk vezetékes vízhálózatának veszteségeiről (Liemberger, 2009):

- A városi vízhálózatokon évente >32 milliárd m³ kezelt víz szivárog el.
- A fejlődő országokban az NRW jóval 30% felett van, esetenként eléri a 80%-ot is!
- Az NRW értéke évente -15 milliárd USD.
- Az NRW 50%-os csökkentésével 130 millió embert juttathatnánk friss, tiszta vízhez.

A 2. táblázat jól szemlélteti a hálózati paraméterek és egyéb befolyásoló tényezők hatását a veszteségszámokra néhány kiragadott ország példáján.

A hálózati veszteség értékét – a szakma kifejezett törekvései ellenére – a mai napig rendszerint az éves betáplálás %-ában adják meg. A százalékos érték azonban – tekintettel

a hálózatok időben és térben eltérő fogyasztási viszonyaira – nem alkalmas viszonyítási alap sem a vízművek egymás közötti, sem egy adott vízmű adatainak évenkénti összehasonlítására. Azonos veszteségnagyság (m³/év) mellett a %-os értéket erősen torzíthatja például az időjárás: száraz, meleg vegetációs idő a sok locsolás miatt kedvező, míg esős tavasz–nyár kedvezőtlen irányba befolyásolhatja a veszteségszázalékot. Ugyanígy lényeges eltérést okoz az értékben a megnövekedett vízárak miatti fogyasztáscsökkenés vagy a nagyfogyasztók be- vagy kilépése.

A DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches) már évtizedekkel ezelőtt szorgalmazta a fajlagos veszteségindexek bevezetését. A legkézenfekvőbb és a legszemléletesebb a hálózathosszra vetített mutató:

$$q_v = \frac{Q_v}{8760 \times L} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h} \times \text{km}} \right]$$

ahol q_v a vízveszteségindex, Q_v az éves vízveszteség (m³), L a csőhálózat hossza (km), 8760 pedig egy év óraszám (365×24).

Létjogosultsága lenne számos egyéb mutatószám bevezetésének is, hiszen ezek évenkénti összehasonlítása hű képet adna a vízmű állapotáról, a változások trendjéről és a fejlesztési intézkedések eredményességéről. Francia vízműveknél számos hálózati teljesítmény-

Ország	NRW	A hálózat jellemzői
Japán	11,9%	Fiatal, jól karbantartott hálózat, 52,2% gömbgrafitos öntöttvas, 31,4% műanyag vezetékekkel
Svájc	12,0%	Jó állapotú hálózat, 40% gömbgrafitos öntöttvas, 40% öntöttvas vezetékekkel
Dél-Korea	28,2%	Nagyon olcsó víz, kis ráfordítási költség
Németország	8,0%	Jól karbantartott hálózat, szigorú veszteségszabályozás, folyamatos veszteségcsökkentési tevékenység

2. táblázat

mutatószám alkalmazása kötelező, ilyenek a bekötések számát is figyelembe vevő vonalmenti veszteség- és fogyasztásmutatók, a hálózat belső felületére vonatkoztatott veszteség-index, a vonalmenti javítás- és a demográfiai fogyasztásmutató (Rendement... , 1990). Hazánkban néhány vízműtől eltekintve a szakemberek körében már a vonalmenti – hálózat-hosszra vetített – index elfogadtatása és bevezetése is jelentős előrelépés lenne, természetesen fajlagos értékesítési különbözet és fajlagos hálózati veszteség megkülönböztetéssel.

A rejtett szivárgások kifürkészhetetlen útjai

A hálózaton folyamatosan képződnek apró sérülések: korróziós lyukadások, toklazulások, szerelvényhibák, bekötés-sérülések, melyek a környező talajviszonyok függvényében rövidebb-hosszabb ideig (akár évekig) rejtve maradhatnak. Az apró sérüléseken magas nyomás mellett kiáramló víz rezgésbe hozza a csőfalat és a környezetét (talajszemcsék, közeli objektumok, üregek, aknák, kábelek, egyéb közművezetékek). Ez egy láthatatlan folyamatot indít el, amelynek jellemzői:

- önmagát erősíti, hiszen egy apró sérülés a víz kitaró, folyamatos munkája következtében egyre nagyobbá válik (időtartamban és morfológiában csőanyagfüggő, de megállíthatatlan folyamat),
 - a nyomás alatt kilépő víz megbontja az ágyazatot,
 - kiszámíthatatlan folyamat, amelynek csak a víz a tudója (jobban ismeri a hidraulikát, sőt a hidrológiát is nálunk),
 - a kiszámíthatatlanságban az egyetlen kiszámítható út a legkisebb ellenállás útja.
- A legkisebb ellenállást választó vízfolyás útjára a következő teóriáink lehetnek:
- a csőfal mentén indul el – az esetek többségében ugyanis itt lazább az ágyazat, hiszen

a cső a benne áramló víz dinamikus hatására kis mozgásokkal tágítja maga körül az ágyazatot;

- hat a gravitáció is, hiszen a nyomás a kiléptéstől távolodva folyamatosan csökken, ami különösen érdekes lehet hegyvidékes környezetben, ahol a vezeték maga sem vízszintes vonalvezetésű, s így a két hatás összegződhet.

Idővel a talajban haladó víztömeg elérheti a 10 vagy akár az 1000 m³-t, és megállíthatatlannul nő a mennyisége. Erre vonatkozó tapasztalataink szerint:

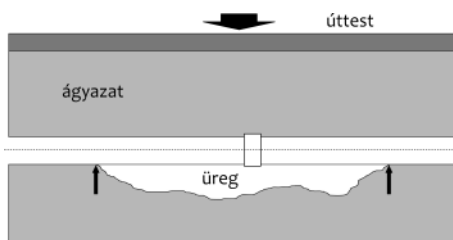
- a laza feltalaj vagy burkolathibák miatt a víz megjelenik a felszínen (nyomás-, talaj-, burkolat- és domborzati viszonyoktól függően a sérüléstől különböző távolságokban),
- pincevizeket okoz,
- épületsüllyedések, falpedések jelennek meg,
- talajvízszint-emelkedést eredményez,
- utat talál a gyakran sérült csatornahálózatokba,
- aláüregeli az útburkolatokat – süllyedéseket és beomlásokat okozva,
- aknákat, közmű- és kábelalagutakat önt el,
- extrém (de megtörtént) esetben hegyvidéki forrásként jelenik meg.

A rejtett sérülések tehát csőtöréseket okozhatnak!

Földalatti útjuk során ugyanis – a talajviszonyoktól függően – kiüregelhetnek egyéb, akár távoli és nagy átmérőjű vezetékeket is.

Kialakul a *kéttámaszú tartó*, amely a terhelések – elsősorban a külső terhelések – hatását mintegy felerősíti (*1. ábra*).

Következésképpen csőtörés keletkezik. Még egyébként megfelelő szilárdságú csővezeték esetében is gyakran előfordul ilyen típusú meghibásodás.



1. ábra

A csőtörés valódi okára általában nem derül fény, mert a csőtörés következtében előálló intenzív vízkitörés az eredendő okot, a szivárgás okozta üregelődést „eltünteti” (Somos – Tolnay, 2009).

A vízvesztések csökkentésének leghatékonyabb, de a legnagyobb műszaki felkészültséget igénylő módszere tehát a rejtett szivárgások felkutatása és megszüntetése.

Szivárgáskutatás

A hálózati hibák felderítésének története a vízellátással rendelkező ókori kultúrákig nyúlik vissza. Az ókori Róma vízvezetékeinek felügyelője, Sextus Julius Frontinus hétszáz főnyi személyzettel végeztette a vízellátó rendszer fenntartását. A hálózati hibák felderítési módszere a ma alkalmazott leghatékonyabb akusztikai eljárások alapelveire épült. Felismerték, hogy a hibahelyeken kiáramló víz a hiba azonosítására alkalmas zajt okoz. A „hálózatkerülők” a vezetékhez érintett vagy a vezeték feletti talajba nyomott keményfa-pálcák hangvezető, rezgésátadó képességét kihasználva észlelték a sérüléseken kiáramló víz keltette zörejeket, azaz a hiba jelenlétét.

A hibahelyeken nyomás alatt kiáramló víz ugyanis energiát szabadít fel, a csőben áramló víz nyomásingadozását és a csőfal radiális vibrációját okozva. Ez a vibráció az a hangrezgés, amelynek érzékelésén az akusztikus módszerek alapulnak (Heim, 1979).

A rómaiak által alkalmazott hibakeresési módszer kétezer esztendőn át alig változott: a 19. század közepéig csak a fapálcát váltotta fel a fémrúd, és kiegészült a Thomas Alva Edison által akkor feltalált mikrofonnal.

A tudományos kutatások és az elektronikai ipar ugrásszerű fejlődése azonban megnyitották az utat a hibakutatás fejlődéséhez is. A zajkutatás és a számítástechnika eredményei elősegítették a magas műszaki színvonalú elektroakusztikus műszerek kifejlesztését.

Szivárgások elektroakusztikus kutatása, a szivárgási zaj keletkezése és tulajdonságai. • A szivárgás okozta zaj lefutási görbéje szabálytalan, pillanatonként változó akusztikai jel, tekintettel a kilépő víz, a sérült csőfal és a környező talajszemcsék együttrezgésének esetlegességére és folyamatos mozgására. (A később ismertetendő korrelációs eljárás éppen e véletlenszerűen változó jelek hasonlóságát – korrelációját – vizsgálja az ismeretlen hibahelytől különböző távolságra lévő mérési pontokon.) A szivárgási zaj kialakulását és időbeli változását több tényező alakítja, elsősorban geológiai és strukturális tényezők, de függ az uralkodó üzemi nyomástól, a cső anyagától, a fektetési mélységtől stb. Külön jelentőséggel bír maga a hiba fajtája – a sérülés mérete és alakja – is. Egy nagyobb és sima felületű törés általában alacsony frekvenciájú, alig észlelhető zajt okoz egy nagyobb átmérőjű csőben, míg egy parányi hiba, kis átmérőjű csőben egyszerű eszközökkel is észlelhető, nagy intenzitású, magas frekvenciájú hangot ad (Iann, 1971).

A Hannoveri Műszaki Egyetem kísérleti mérései alapján a közlekedési zajok többsége a 400 Hz frekvencia alá esik, így ezek kiszűrésével a forgalom zavaró hatása a méréseknel kiküszöbölhető.

600 és 1000 Hz közötti frekvenciatartományba esik az a vibráció, amelyet a szűkület-

ben nyomás alatt kiáramló víz okoz a csőfalban, illetve a csőben áramló vízben. Ebben a tartományban működnek az előzetes hibabehatárolásra készülő és a csőfal anyagával való közvetlen kontaktus révén a szerelvényeken használható kontaktmikrofonok.

400–600 Hz frekvenciatartományú a víznek a talajba történő kilépésével létrejövő alapzaj, amely kúpszerűen terjed a hiba környezetében. Ilyen frekvenciájú zajok felvétele talajmikrofonokkal történik.

A talajban nagyobb ellenállással találkozó, vagy a csőfal mellett kialakult üregben örvénylő víz okozta zörejek kisebb, 20–250 Hz frekvenciájúak, és nehezen mérhetőek.

A zaj terjedése • A hangrezgés a vízben, a csőfalban és a talajban továbbterjed. A terjedési sebesség függ:

- vízben: a hőmérséklettől, csőanyagtól, csőátmérőtől, a cső életkorától, azaz a csőfal tulajdonságaitól (lerakódások, beárteredések stb.);
- csőfalban: a cső anyagától, átmérőjétől és a környező talajviszonyoktól;
- talajban: a talaj fajtájától, tömörségétől, homogenitásától, a kiüregelődésektől és a talajvíztől.

A hangrezgés terjedési sebességét leginkább a csőanyag befolyásolja. A különböző csőanyagoknál mért átlagos sebességek: fémanyagú vezetékeknel 1300 m/s, azbesztcement csöveknél 800 m/s, műanyag vezetékeknel 400 m/s (Hammerer, 1983).

A hangterjedés sebességét befolyásoló másik lényeges tényező a csőátmérő. Az átmérőváltozás hatása sokkal szembeutóbb a csőfalban terjedő hangrezgések érzékelésénél (Berge – Laske, 1982).

Rezgéscsillapítás • A csekély csillapítás miatt a fémes vezetékek jól vezetnek a hangot, a hiba jelenléte könnyen felismerhető, de a pontos

helybehatarolás bizonytalanabb. A rossz hangvezető azbesztcement és műanyag vezetékeknel a helyzet fordított, itt erős a csillapítás. A hangtovábbítást a csőben lévő lerakódások, a korrózió és a gumigyűrűs kötések is erősen lerontják. A hangintenzitás a talajban megtett távolsággal is erősen csökken, és a nagyobb frekvenciák csillapodása gyorsabb. A különböző talajfajták eltérően vezetnek a hangot: jó hangvezető a homok és a kavics, rossz hangvezető az agyag, az iszap és a termőföld.

A rezgések érzékelését még nehezíti a talajvíz, a talajban lévő üregek és a csőtakarás megváltozása. A burkolat fajtája szintén befolyásolja a hangtovábbítást. Az akusztikus lehallgatás kedvező eredményeket ad aszfalt és makadám burkolatoknál. A monolit burkolat (például beton) nagy felületen azonos zajszinteket produkál, ami a helykijelölést bizonytalanná teszi (Echeverri, 1983).

A zajhullámok terjedés közben átalakulnak, aminek okai

- a diszperzió, mert a különböző frekvenciák terjedési sebessége nem azonos;
- a reflexió, mert a csőfalról, légbuborékokról visszaverődő rezgések egymásra halmozódnak;
- a csillapítás, amely különböző mértékű azon rétegekben, melyeken áthalad.

A magas műszaki színvonalú, érzékeny elektroakusztikus műszerek alábbi tulajdonságai megkönnyítik a szivárgás pontos felde-
rítését:

- az erősítés több lépcsőben milliószorosra növelhető;
- szétválasztott erősítővel működnek a fülhallgató és a kijelző számára;
- lehetővé vált a frekvenciaanalízis;
- különböző frekvenciaszűrők szolgálnak a zavaró egyéb zajok leválasztására;

- a mérési adatok tárolása, feldolgozása, továbbítása automatikus.

Az akusztikus szivárgáskutatás az elmúlt évtizedekben két úton fejlődött: a zajintenzitás mérésén alapuló *lehallgatás* és a zaj terjedési sebességének mérése alapján történő *korreláció* irányában.

Az *elektroakusztikus lehallgatás* (ami a már említett ókori módszerek elvére épül) műszerei a zajszint mérésének közege szerint három fő csoportba sorolhatók:

- *kontaktmikrofonok*, melyek a csőfalban történő hangterjedés alapján, a hibahelyek előzetes behatárolására szolgálnak;
- *talajmikrofonok* (geofonok) a talajban terjedő szivárgási zajok észlelésével, a vezeték nyomvonalán haladva, a földfelszínen teszik lehetővé a hibahelyek pontos behatárolását;
- *hidrofonok*, melyek a vízben történő rezgések mérése alapján működnek.

Ám az elektroakusztikus lehallgató műszerek sok előnyük mellett nem alkalmasak a hibák teljeskörű feltárására, mert részben a környezeti zajok, részben a lehallgatást végző személy idővel csökkenő összpontosító képessége zavarhatja, gyakran lehetetlenné teszi a mérést.

Az *akusztikus korreláció* a hang terjedési sebességének ismeretében időmérésre alapoz-

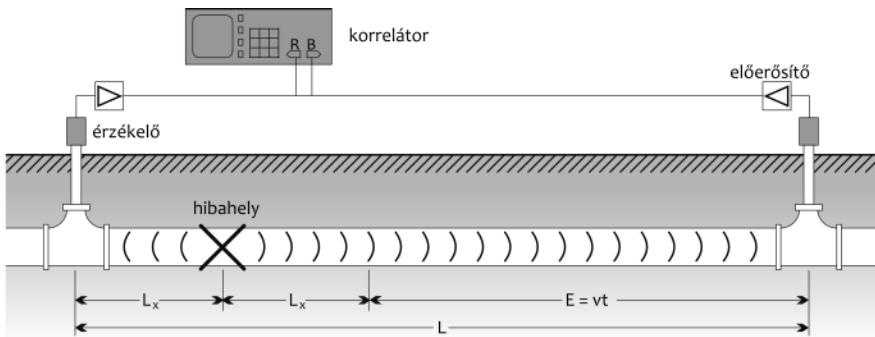
va teszi lehetővé a hiba helyének meghatározását. A feltételezett hibahelytől a cső mentén két irányban elhelyezett szenzorok rögzítik és továbbítják a kiáramló víz keltette rezgéseket. A zajlefutási görbék vezetékes vagy URH-kapcsolattal a korrelátor központi egységébe kerülnek, ahol a beérkező jelek összehasonlítása, elemzése történik (2. ábra). Ha a szenzorok hibahelytől való távolsága különböző, akkor egy adott pillanatban keletkezett rezgést a távolabbi érzékelő Δt idővel később érzékeli (Δt időre van szüksége a hangrezgésnek, hogy az érzékelők távolságkülönbségének megfelelő utat megtegye). A korrelációs függvény maximális értéke így ennél a késleltetési időnél jelentkezik (Ironmonger, 1985).

Az érzékelők közti távolságnak és a zajhullámok terjedési sebességének ismeretében így a zaj keletkezési helye (a hibahely) érzékelőktől való távolsága számítható:

$$L_x = (L - v \cdot t) / 2,$$

ahol L az érzékelők közti távolság, v a hang terjedési sebessége az adott csőanyagban, t pedig a késleltetési idő.

Minden korrelációs mérés pontossága a betáplált adatok pontosságától függ, szükséges tehát a hibás vezeték nyomvonalának és anyagának (anyagainak) ismerete ahhoz, hogy a műszer központi egysége meghatározza a



2. ábra • Korrelációs hibahely-kijelölés

maximális korrelációhoz tartozó késleltetési időt és a hiba pontos helyét.

Egyéb hibakereső módszerek

Egyszerűségük és hatékonyságuk miatt a fenti akusztikus eljárások uralják a rejtett csőtörés kutatását. Ám emellett más módszerek irányában is történtek fejlesztések, melyek – korlátozottabb alkalmazhatóságuk mellett – ugyancsak figyelmet érdemelnek.

Infravörös mérési eljárás • A módszer a hibahely környezetében átnedvesedett talaj hőmérséklet-változásának észlelésén alapul. Az érzékeny termokamerákkal történő vizsgálat homogén, burkolatlan földfelszíneken alkalmazható, elsősorban távvezetékek és kútgyűjtő vezetékek esetében, beépített, települési környezetben azonban nem. Gyakran vizenyős terep vagy nehéz megközelíthetőség teszi indokolttá alkalmazását, amelyet többnyire kis magasságban (10–20 méterrel a terep fölött) repülő helikopterről hajtanak végre.

Légnyomásos módszer • Alapelvét tekintve az akusztikus módszerek rokona, ritka alkalmazása miatt az egyéb kategóriába soroljuk. A sérüléseknél nyomás alatt kiáramló levegő a víznél jellegzetesebb, erősebb hangot ad, ezért alkalmanként használják a vezeték leürítését és sűrített levegővel történő feltöltését az akusztikus lehallgatás előtt. Esetenként előfordul a kombinált alkalmazás is, a vízzel feltöltött vezetékbe nyomás alatt történő levegőbevitel, de az esetleges hidraulikai problémák miatt nem gyakori módszer.

Nyomjelző gáz alkalmazása • A hibahely behatárolása gázérzékeléssel történik, a hibás vezeték szakasz leürítése, gázzal való feltöltése és nyomás alá helyezése után. Ivóvízvezetékéről lévén szó, az alkalmazandó gáznak íz-, szag- és egyéb egészségügyi követelmények tekintetében kifogástalannak kell lennie. Nyomjelző

(tracer) gázként többnyire hélium-levegő, vagy metán-argon keveréket alkalmaznak. Az eljárás igen költséges a leürítés, kiszáritás és nagyobb csőátmérők esetén a gázköltség miatt.

Izotópos módszer • Hazánkban nem engedélyezett módszer, amelynek lényege, hogy a vizsgálandó vezeték szakaszba radioaktív izotópot juttatnak, mely a hibahelyen kilépő vízben megjelenve detektálható.

Talajradar • Elsődleges alkalmazási területe a vezetékek nyomvonal-meghatározásában van, hibahelykeresésre csak kiterjedt kiüregelődés esetén használható. Nagy szakértelmet igénylő, drága módszer.

Préslég-dugattyús módszer • A hibás szakasz két végének megbontásával felfújható dugattyúkat helyeznek el a vezetéken, melyek között préslég-bevezetéssel nyomáspróbát tartanak. A dugattyúk fokozatos előretolásával és ismételt nyomáspróbákkal közelítik meg a szükséges hibajavítás helyét. Időigényes, költséges és bonyolult eljárás, szükséges a vezeték üzemén kívül helyezése, eredményességet pedig ronthatja a dugattyúk elégtelen tömítő hatása, amit a cső belső felületén lévő lerakódások okozhatnak.

A hálózati veszteség csökkentése

Az előzőekben leírt módszerek a rejtett sérülések helyének meghatározását szolgálják, de nem adnak információt a hibahelyeken elszivárgó vízmennyiségekre. A rejtett sérülések gyakran a hibahelytől távol „mutatják meg magukat” pincevíz, épületsüllyedés, útburkolat-beszakadás vagy csőtörés formájában. Ilyen esetekben a károkozások környezetében keresni a hibát nem mindig célravezető. A hibahelyek behatárolását a teljes hálózat átvizsgálásával végezni szintén gazdaságtalan megoldás, hiszen így elkerülhetetlen a hibátlan szakaszok időt rabló, költséges mérése.

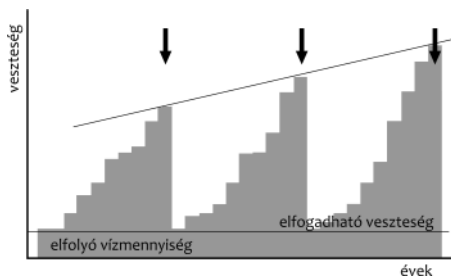
A hálózati veszteség csökkentése a jó tervezéssel, kivitelezéssel (a célnak legalkalmasabb csőanyagok, szerelvények kiválasztásával és szakszerű beépítésével) kezdődik, rendszeres karbantartással, hozzáértő üzemeltetéssel folytatódik, és folyamatos hálózatdiagnosztikai vizsgálatok alapján történő, megfelelő ütemű rekonstrukciós tevékenységgel zárul.

A veszteségcsökkentésre irányuló diagnosztikai vizsgálatok akkor lehetnek hatékonyak, ha pontos veszteségmérésen alapulnak, vezeték szakaszokra lebontva megjeleníthetők az elszivárgó vízmennyiségek, és a hibakeresés csak a gazdaságilag indokolt, magas veszteségtértékű szakaszokra korlátozódik.

A veszteségmérés leghatékonyabb módszere az ún. „nulla-fogyasztás” mérésen alapuló vízvesztés-elemzési eljárás, mely nagy pontosságú nyomás- és átfolyásmérők adatainak folyamatos regisztrálásával és feldolgozásával történik. A mérésre a kis fogyasztású éjszakai órákban kerül sor, a vizsgálandó hálózat rész kiszakaszolásával és a mérőkön (vagy mérőkocsin) keresztül történő vízellátással. Így a vizsgálat a fogyasztók megzavarása nélkül hajtható végre.

A mérés során – célszerűen választott körzet nagyság esetén – rövid mérési időszak alatt elérhető a folyamatosan változó vízfogyasztás többszöri nulla vagy következetesen azonos minimumértékének regisztrálása. Előbbi a hibátlan, utóbbi a sérült vezeték szakaszt determinálja, a következetesen azonos minimumérték pedig a szakaszon lévő állandó fogyasztást, azaz a szakasz veszteségtértékét jelzi. (Folyamatos fogyasztó jelenléte az üzemeltetővel történő előzetes egyeztetéssel, vagy a méréskor végzett helyszíni ellenőrzéssel kizárható.)

Az ilyen mérések lehetnek a mobil mérőkkel vagy mérőkocsikkal történő *periodikus* vagy hálózatba beépített műszerekkel történő

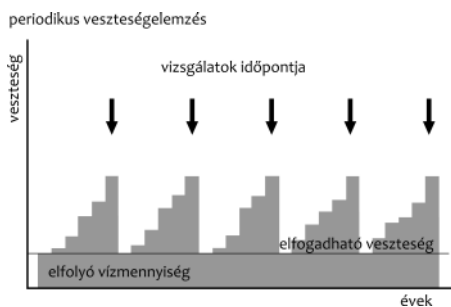


3. ábra • Veszteséggörbe hosszú periódusidő esetén

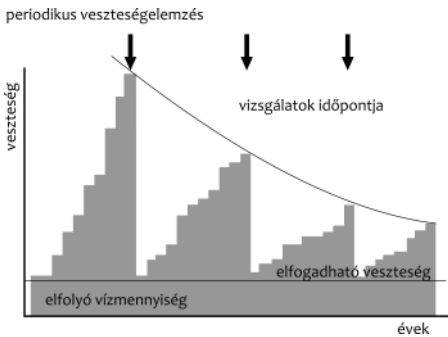
folyamatos mérések. *Periodikus* méréseknél a vizsgálatok közötti időszakokban keletkező szivárgások a következő mérésig fokozatosan növelik a veszteséget.

A mérések közötti periódusidő kellő megválasztásával és/vagy a hálózat rekonstrukciós ütem növelésével elérhető a veszteségtértékek csökkenése. A periodikus veszteségmérés hatékony, egyszerű módszer, amelynek alapján elkülöníthetők a hibátlan és sérült vezeték szakaszok, és pontos információt kapunk a hibás szakaszok veszteségtértékére. Ez lehetővé teszi, hogy a sérülések pontos lokalizálására a korábban említett eljárásokkal csak a veszteséges vezeték szakaszokon kerüljön sor.

A 3–5. ábrákon látható, hogy két vizsgálat között eltelt időben keletkező szivárgások a következő vizsgálatig fokozatosan emelik a



4. ábra • A veszteségek alakulása rövidebb periódusidő esetén



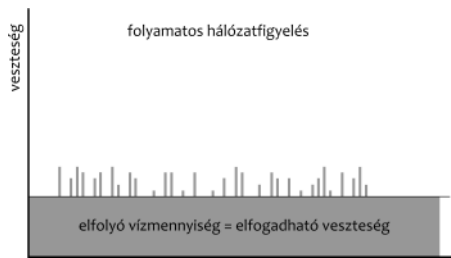
5. ábra • A veszteségek alakulása jól megválasztott periódusidő esetén

veszteséget, míg a *folyamatos hálózatfigyelés* lehetővé teszi a szivárgások azonnali felismerését, és azok gyors elhárítása esetén állandó, alacsony szinten tartható a veszteség (Somos, 1999) (6. ábra).

Folyamatos hálózatfigyelésnél a szivárgások észlelése a hálózat megfelelően kiválasztott pontjain mérhető áramlási sajátosságok megváltozása alapján történik. A felderítendő szivárgások kezdetben rendszerint csekély vízhozama miatt a megfigyelt körzetnek (zónának) elegendően kis mértékű fogyasztása szükséges ahhoz, hogy a szivárgás okozta változás felismerhető legyen.

Eredmények, tapasztalatok

Sajnos Magyarországon (és a világ számos helyén még inkább) a ma üzemeltetett háló-



6. ábra • A veszteségek alakulása folyamatos hálózatfigyelés esetén

zatok többsége nagyon rossz állapotú, és anyagi források hiányában a rekonstrukció üteme nem megfelelő.

Németországban, ahol az európai átlaghoz képest lényegesen kedvezőbbek a hálózati állapotok, ennek ellenére (vagy éppen ezért) komoly gondot fordítanak a veszteségcsökkentési tevékenységre. A DVGW szabályozta, majd újabb átdolgozásában tovább szigorította az ajánlásait, melyek az elfogadható fajlagos veszteségmutatókra és a magasabb mutatószámok esetén teendő intézkedésekre vonatkoznak (3. táblázat).

Angliában egy hatóság (OFWAT – Office of Water Services) ellenőrzi a huszonhárom legnagyobb víziközmű-szolgáltatót. Az évek során a Londont is ellátó Thames Water fajlagosveszteség-mutatója a többszöröse volt a többi vízműének (hálózat-kilométerenként

vízvesztési kategóriák	nagyváros	község	vidéki terület	átvizsgálási időszak
	m ³ /h/km			
alacsony (<8%)	< 0,13	< 0,07	< 0,05	elhagyható
közepes (8–15%)	0,13–0,25	0,07–0,15	0,05–0,1	3 évente
magas (>15%)	> 0,25	>0,15	> 0,1	évente

3. táblázat • Az ajánlott átvizsgálási időszak a fajlagos veszteség alapján

település	mért hossz (km)	fajlagos hibaszám (db/km)	Fajlagos veszteség (m ³ /h/km)
Alsószolca	47	0,30	0,33
Budapest	4 650	0,40	0,43
Debrecen	110	1,15	1,09
Diósd	52	0,50	0,19
Dombóvár	68	0,73	0,48
Dunakeszi	183	0,60	0,42
Eger	137	1,25	0,97
Érd	42	0,69	0,13
Felsőtárkány	45	0,46	0,14
Győr	15	1,47	1,67
Kecskemét	23	0,30	0,13
Makó	156	0,57	0,28
Miskolc	39	0,55	0,35
Nagykanizsa	136	0,88	0,69
Nógrád	40	0,32	0,14
Pásztó	22	0,74	0,44
Pécs	298	0,64	0,55
Pomáz	22	1,10	1,14
Rétság	41	1,00	0,28
Solymár	98	0,64	0,30
Sopron	353	0,48	0,48
Székesfehérvár	689	0,69	0,63
Szentendre	374	0,61	0,57
Szolnok	70	0,43	0,57
Szombathely	294	0,94	0,76
Üröm	74	0,56	0,58
<i>Marosvásárhely</i>	<i>20</i>	<i>1,52</i>	<i>2,45</i>
<i>Székeljudvarhely</i>	<i>68</i>	<i>1,82</i>	<i>3,63</i>
Átlag		0,76	0,71

4. táblázat

28–30 m³/nap), ezért a hatóság 2007-ben komoly bírságot rótt ki a veszteségcsökkentés elmaradása miatt. Hazánkban nincs hatósági szabályozás, ajánlás vagy ellenőrzés a veszteség elfogadható értékére, ezért a veszteség mérése és csökkentése a tulajdonosok és üzemeltetők műszaki-lelkiismereti kérdése.

A 4. táblázat az AquAcust Kft. tizenöt éve történő mérései alapján készült, összesítve az általuk vizsgált települések fajlagos hibaszámait és fajlagos veszteségeit.

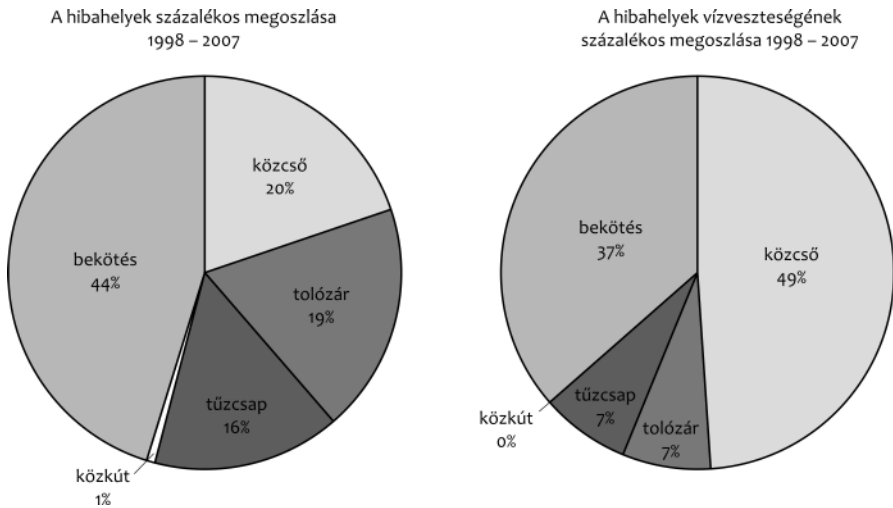
A táblázatból kitérünk, hogy a mért adatok mindenütt meghaladják a német DVGW elfogadható veszteségértékeit, de a Magyarországon mért veszteségadatok még így is lényegesen alacsonyabbak a két erdélyi városban tapasztalt értékeknél.

A vízvesztéssel járó leggyakoribb hibafajták a házi bekötés-sérülések, a közcsőhálózati hibák és szerelvények (tolózárak és tűzcsapok) meghibásodásai. A veszteségek és hibaszámok százalékos megoszlását mutatja hibafajtanként a 7. ábra.

Hogyan tovább?

Természetesen felmerül a diagnosztika gazdaságosságának kérdése is: a vizsgálatok költség-hason elemzése. Az előzőekben már többször szerepelt az elfogadható (még eltűrhető) veszteségérték, aminek további csökkentése már gazdaságilag indokolatlan. A vízvesztések megítélésénél gazdasági, műszaki, politikai, közegészségügyi és környezetvédelmi szempontok egyaránt szerepet játszanak.

A rejtett szivárgások okozta gazdasági kár alapja elsősorban az elvesztett ivóvíz kitermelésének, tisztításának, hálózatba juttatásának (szivattyúzás, tárolási kapacitás, hálózati kapacitás) költsége. Nem elhanyagolhatóak a járulékos károk sem, melyeknél a szivárgás eredete gyakran rejtve marad. Ilyenek az útburkolat-süllyedések, -beszakadások, pincevizek, épületkárok, csőtörések. Műszaki kárként jelentkezik a csövek, szerelvények tönkremenetele, a javítási vagy rekonstrukciós költségek, a hálózatüzemeltetési problémák (hid-



7. ábra • A hibaszám és vízvesztés százalékos megoszlása hibafajtanként (1998–2007 között, az AquAcust Kft. mérései alapján)

raulikai változások, üzemkiesés a javítás idejére stb.).

Ezek a gazdasági és műszaki károk értelem szerűen az üzemeltető vízmű iránti fogyasztói megítélés romlását okozzák, hiszen a feleslegesen megtermelt víz árát, a javítási és egyéb költségeket a fogyasztó fizeti meg (beleépítve a mindenkori vízdíjba). Ugyancsak érzékenyen érintik a fogyasztókat és a vízműtulajdonosokat a javítások okozta kellemtelenségek: útlezárások, burkolatbontások és a vízellátás átmeneti zavarai (vízhiány, vízminőségi problémák).

Közegészségügyi gondokat is előidézhetnek a hálózat rejtett sérülései. Normál üzemi állapotban a csövekben uralkodó nyomás meggátolja a kívülről történő szennyeződést, előfordulhatnak azonban olyan üzemeltetési körülmények vagy hibák, melyek helyi nyomáscsökkenést vagy vízhiányt okoznak. Ilyen esetekben fennáll a rejtett hibahelyeken keresztül az ivóvíznek a környező talajból való szennyeződése. Az esetleges fertőzések eredetének felderítése – éppen a hibaforrás rejtett volta miatt – bonyolult feladat.

A szivárgások környezetvédelmi károkozásai a korábban említettek miatt kiemelt figyelmet érdemel:

- az egészséges vízkészletek felesleges terhelése;
- a talajvízszint megemelkedése;
- értékes természeti képződményekben történő károkozások (például a budapesti József-hegyi barlangrendszer fölött be-

épített utcákból gyakran beszivárgó, beömlő hálózati vizek a barlang természeti kincseit rombolják, állagát veszélyeztetik);

- az épített környezetben okozott olyan visszafordíthatatlan változások, melyek a gazdasági kár mellett eszmei értékek tönkremenetelét is jelentik (példaként a budai várrendszer alatti többszintes természetes és épített pincerendszer említendő, melynek egyes részei mára már beomlottak és eltömődtek);
- a gyakran sérült csatornahálózatokba történő vízbetöréssel a szennyvíztisztító kiterheltségének növelése.

A hálózati veszteségek elfogadható szintre csökkentése és szinten tartása tehát a környezettudatos vízellátás elengedhetetlen feladata, a növekvő ütemű, megalapozott rekonstrukció hiánya tovább rontja a vízhálózatok állapotát, és emeli a fogyasztói vízdíjakat.

Századunk talán legértékesebb kincse, a tiszta ivóvíz, amely az ivóvízhálózatok zárt rendszeréből kizárólag az e célra szolgáló kifolyóhelyeken léphet ki, de csak folyamatos diagnosztikai vizsgálatokkal akadályozható meg az ellenőrizhetetlen szivárgások.

„Mindig megengedheted magadnak!” – így szól a Magyar Víziközmű Szövetség mottója –, de meddig...? Találó az ősi kínai mondás: *a kiömlő vizet nehéz összeszedni.*

Kulcsszavak: *víz, vízellátó hálózat és diagnosztikája, hálózati veszteség, rejtett szivárgás*

IRODALOM

- Becker Károly – Somos Andrásné (1990): *A vízelosztó rendszerek hálózati veszteségének csökkentése*. KGI Informatikai Intézet, Budapest
- Berge, H. – Laske, C. (1982): *Korrelationsverfahren zur Wasserverlustminderung*. GWF, H. 6

- Echeverri, A. A. E. (1983): Water Loss through Leakage. *World Water*. 11,
- Hammerer, M. (1983): Wasserverlustbekämpfung. *GWV*. 12,
- Heim, Paul M. (1979): Conducting a Leak Detection Search. *Journal of the American Water Works Association*. 2, 66–69.

- Iann, H. (1971): Wasserverlust-bekämpfung durch Lecksuche. *Wasser. Luft und Betrieb.* 2,
- Ironmonger, Roger C. (1985): Advances in the Leak Noise Correlation Method. *Water Services.* 1074,
- Liemberger, Roland (2009): Performance Based Service Contracts for Reducing Non-Revenue Water. IWA Konferenz Water Loss, Súdafrika
- Rendement... (1990): Rendement des réseaux d'eau potable. *Techniques sciences méthodes.* 4,
- Somos Éva (1999): Műszeres vizsgálatok a vízellátó rendszerek hálózati veszteségének csökkentése érdekében. *Vízmű Panoráma.* 7, 2, 9–11.
- Somos Éva (2009): *Szőkésben az ivóvíz.* 3. Ivóvíz-ágazati Konferencia, Tiszafüred
- Somos Éva – Tolnay Béla (2009): *A csőtöréshez vezető út, különös tekintettel a rejtett szivárgásokra. Problémafelvetés.* kézirat



AZ EMBER VÍZHÁZTARTÁSA

Radó János

az MTA doktora,
Virányos Klinika
janosrado@t-online.hu

Az emberi szervezet vízforgalma

Az emberi test nagyobbrészt (50–70%-ban) vízből áll. Az egyes szervek víztartalma azonban nem azonos. A zsírszövetben kevesebb, az izomszövetben több víz van. Ezért a nők szervezetének víztartalma alacsonyabb (50%), mint a férfiaké (60%). A kövér egyéneknél is viszonylag kevesebb a víz. Az agyokban is, de bennük az izomszövet sorvadása miatt. A csecsemők szervezetének 70%-a víz.

A megivott napi minimális vízmennyiség átlagosan 650 ml, a táplálékban lévő (preformált) víz 750 ml, az anyagcsere-folyamatokban felszabaduló (oxidatív) víz 350 ml, összesen 1750 ml a *napi (minimális) vízszükséglet* (Weitzman – Kleeman 1979).

A víz a *tápcsatornán* át kerül a szervezetbe. Felszívódva a keringésbe, majd a hajszálereken át a szövetközi nedvbe és onnan a sejtekbe jut. Gyógyászati beavatkozás (intravénás infúzió, szubkután intramuszkuláris és intraszcélis injekció, beöntés és hólyagkatéter, művesekezelés stb.) útján is juthat folyadék a szervezetbe.

A víz elsősorban a *vizelettel* távozik a szervezetből (700 ml). De van vízvesztés a széklet útján (150 ml), a kilégtett levegővel (400 ml) és a bőrön keresztül is (500 ml). A *napi (minimális) vízvesztés* 1750 ml (Weitzman – Kleeman, 1979).

A *vízforgalom* pontosan szabályozott. A szervezet a vízbevitel és -kiadást tekintve egyensúlyt tart: finom mechanizmusok útján érzékeli a vízhiányt, illetve a víztöbbletet, és életbe lépteti a különböző korrigáló működéseket, amelyekkel helyreállítja az egyensúlyi (alap)állapotot.

A *vízvesztés* leggyakoribb oka a vizeletmennyiség felszaporodása különféle okok miatt. Így az agyfűggelékben a hátsólebeny vízvisszatartó (antidiuretikus) hormon (vazopresszin) elégtelen termelése vagy hatása következtében, vesebetegség révén, ún. ozmotikus diurezisben (cukorbetegségben a magas vércukor, vesebetegségben a vér megemelt húgany [urea] szintje útján, illetve bizonyos mérgezésekben), gyógyszeresedés (vízhajtók) miatt stb.

Kóros állapotokban vízvesztésbe kerülhet a szervezet: a *légutak* útján (szapora, nagy volumenű lélegzés), a *bőrön keresztül* (verejtékezés, izzadás, például melegen végzett izommunka következtében), a *bélcsatorna* rendellenes működése által (nagy mennyiségű hasmenés), gyomor-bél fistula révén, mellkasi vagy hasi folyadék lecsapolása után, húgyúti elzáródás megoldását követően.

A vízvesztéshez vezető legegyszerűbb okok az elégtelen vízfelvétel, vízhiány vagy a víz szervezetbe való bejutásának képtelensége (tápcsatorna elzáródása vagy más betegsége,

hányás, idegrendszeri betegség, vízundor következtében).

A gerincesek közül csak az emlősök (közte az ember) és bizonyos mértékig a madarak képesek arra, hogy a káros vízvesztésüket elhárítsák azzal, hogy *tömény* (*hiperozmotikus*) *vizeletet* képeznek, és ezzel vizet takarítanak meg a szervezet számára. Az emlős vese e képessége fontos szerepet játszott a dinoszauruszok és hüüllök fölötti dominanciánk kialakításában (Weitzman – Kleeman 1979).

A víz és a szárazanyagok megoszlása a szervezetben

Tiszta víz mint olyan nemigen fordul elő a szervezetben. A testfolyadékok szárazanyagokat is tartalmazó vizes oldatok. A testvíz egyharmada a sejteken kívüli (*extracelluláris* = EC), kétharmada a sejteken belüli (*intracelluláris* = IC) vízteret alkotja. A víz – az ún. *ozmotikus egyensúly* mentén – szabadon mozog a sejthártyán át az EC-térből az IC-térbe és viszont. Egy átlagos ember 70 kg-os szervezetének víztartalma 45 liter. Az EC-térben 15 liter, az IC-térben 30 liter víz van. A 15 literes EC-térből (a testsúly 20%-a) 12 liter a sejt közötti (*intersticiális*) folyadék (a testsúly 16%-a), míg 3 liter a *vérplazma térfogata* (a testsúly 4%-a). Utóbbi a 2 litert kitevő vörösvérsejtmasszával együtt a szervezet 5 liter térfogatú *vérmennyiségét* alkotja. A vérplazma fehérjementes ultrafiltrátuma a hajszálerek membránján át a szövetközi nedvbe kerül. Ezt a *hidrosztatikus nyomás* hozza létre. Az ellenkező irányú változásért viszont a plazmafehérjék (elsősorban az albumin) által fenntartott ún. *kolloidozmotikus nyomás* a felelős. Kóros körülmények között „víz” (=vérplazma ultrafiltrátum) szaporodhat fel a hasüregben, a mellüregben és a szövetek között (vizenyő, *ödéma*). Utóbbi elhelyezkedését – amennyiben meny-

nyisége túllépi a szövetközi fehérjék vízkötő képességét és a nyirokhajszálerek szállító kapacitását – többnyire a gravitációs erő határozza meg (például bokaödéma).

A fő (oldott) szárazanyag az EC-térben a *nátrium* (2250 mmol Na), az IC-térben a *kálium* (4500 mmol K). Az IC-térben igen kevés (300 mmol) Na van, míg az EC-térben 60 mmol K. Az utóbbi – csekély mennyisége ellenére – vitális funkciókat teljesít. Az extra- és intracelluláris tér eltérő ionösszetételének legfontosabb oka, hogy a sejtmembránban elhelyezkedő *pumpa* ($\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATP-áz}$) folyamatosan kifelé hajtja a sejtből a Na^+ iont. Az EC-térben a Na^+ ion klór- és bikarbonát anionokkal együtt fordul elő, míg az IC-térben a K^+ ion fehérjeszerű anyagok által képezett (ún. *makromolekuláris*) anionokkal együtt szerepel (Halperin – Goldstein 1999).

A víz- és nátriummérték az ozmotikus egyensúly

A *víz mérleget* elsősorban a szomjazási reflex és az antidiuretikus hormon (vazopresszin) vesehatása közötti kölcsönhatás határozza meg. A *nátriummérleget* viszont elsősorban a vese működése, amely visszatart vagy eltávolít nátriumot. Míg a víz létrehozza az ozmotikus egyensúlyt azáltal, hogy szabadon közlekedik az EC- és IC-tér között, a Na az EC-térre korlátozott. Ezért a Na *effektív ozmolként* meghatározza az EC-tér nagyságát. Ezzel szemben a hugyanynak nincs a Na-hoz hasonló korlátozottsága, vagyis szabadon mozog a két folyadékter között.

Az ozmotikus egyensúlyt az „effektív ozmolalitás” (*tonicitás*) határozza meg. Az ozmolalitást az oldószer, a mi esetünkben a víz 1 kg-jában lévő oldottanyag-részecskék száma határozza meg, az EC-tér ozmolalitását pedig döntően a plazma nátriumszintje. *Hiponatré-*

mia többnyire hipoozmolalitással, *hipernatrémia* többnyire hiperozmolalitással jár. A hiponatrémia és hipernatrémia legtöbbször a szervezet víztöbbletére, illetve vízdeficitjére utal. (Ritkább esetben nátriumvesztés, illetve -többlet idézi elő.) A plazma Na-koncentrációja az IC-tér nagyságát határozza meg. Hiponatrémiában a víz beáramlik a sejtekbe, azok *megduzzadnak*, hipernatrémiában (az EC-tér ozmolalitásának növekedésekor) pedig a víz kiáramlik a sejtekből, azok *zsugorodni* fognak. A sejtvolumen akut változását sejtadaptációs mechanizmusok követik (Halperin – Goldstein 1999).

A vízfelvétel és -kiválasztás szabályozása

Ha a szervezet víztartalma lecsökken, *szomjászérzés* alakul ki, ami vízivásra késztet. A plazma ozmolalitásának 280 mOzm/kg fölé emelkedésekor már enyhe szomjúságot érzünk, 295 mOzm/kg értéknél pedig kifejezetten szomjazunk. Ugyanakkor életbe lép egy mechanizmus, amely a vesében *vízvisszatartásra* vezet. A vízszükségletet egy tonicitást érzékelő rendszer, az ún. ozmoreceptorok közvetítik az agyban az agyfüggelék (hipofízis) felé. A vízvisszatartó *vazopresszin* a hipofízis hátsó lebenyéből szabadul fel, kerül a keringésbe, és jut el támadáspontjára, a vesébe, ahol a kéregállománybéli és velőállománybéli gyűjtőtubulusokban fejti ki hatását. A vazopresszin-kiválasztás normális körülmények között csekély mértékű hiperozmolalitás (a plazma ozmotikus koncentrációjának mindössze 1%-os emelkedése) következtében indul el, amit a hipotalamusz elülső részén elhelyezkedő ozmoreceptorok közvetítenek. Egészséges egyénben 295 mOzm/kg feletti ozmolalitáskor a szérumvazopresszin eléri az 5 pg/ml koncentrációt, ami maximálisan koncentrált vizeletet eredményez, ez fiatal emberekben

1200–1400 mOzm/kg körüli érték. A szabályozás érzékenységét jelzi, hogy viszonylag csekély, 3 mOzm/kg szérumozmolalítás-változásra jelentősen, 1 pg/ml-t változik a szérumvazopresszin szintje. Vazopresszin azonban *nem ozmoláris okból* is felszabadulhat, például émelygés vagy hipovolémia (vérzés, extracelluláris tér vesztése) miatt. Maga a vazopresszin és a *sejten belül* számára védelmet nyújtó hordozója, a neurofizin II, a hipotalamuszban termelődik nagy molekulaként (a 164 aminosavból álló pre-pro-vazopresszint a 20p13 kromoszóma régióban elhelyezkedő arginin-vazopresszin [AVP] gén kódolja), majd a hipofízisnyélben a hátsó hipofízislebenybe való vándorlása során – enzimátikus hasítás útján – kialakul belőle a végleges, *nyolc aminosavat tartalmazó hormon*. Ha ez a vazopresszin hormon hiányzik (vagy rendellenes), akkor *sok vizelet kiválasztásával járó állapot* keletkezik, amelyet („valódi” vagy neurohipofízis, illetve célzással a központi idegrendszeri eredetre centrális vagy neurogén) diabetesz insipidusznak nevezünk (Radó, 2007).

Az arginin vazopresszin peptid hormon az egészséges egyénben és állatban úgy csökkenti a diurézist, hogy a vese gyűjtőcsatornáiban a *vazopresszin receptorn*a (AVPR₂) hatva fokozza a vízvisszaszívódást. A V₂-receptor vazopresszin általi aktivációja serkenti az adenilcikláz enzimet, ezáltal elősegíti a ciklus adenoszin-monofoszfát (cAMP) mediálta vazopresszin-érzékeny vízcsatorna (*aquaporin-2*) képződését. A vesetubulus fősejtjeiben, bizonyos sejtalkotórész szervecskékből, az ún. endoplazmás retikulumból a normális érési csavarodásokon átesett fehérjék, amelyek funkciójukban vazopresszin-érzékeny aquaporin-2 vízcsatornák, a sejtmembránba illeszkednek, ezáltal a sejt víz iránti permeabilitása fokozódik. Az aquaporin-2 vízcsatorna lehe-

tővé teszi a csatornasejteket üregei (luminális) oldalán a víz visszaszívódását a lumenből a vese-csatornacsákkákat körülölelő peritubuláris erek vérébe. Az aquaporin-2 tulajdonképpen egy *fehérjemolekula*, mely a lumenbe kerülve kiürülhet a vizelettel. Egészséges egyének szomjaztatásban bőségesen ürítettek aquaporin-2-t a vizeletükben, míg a vazopresszin-hiányos „valódi” diabétesz inszpidusban szenvedők vizeletében aquaporin-2 nem jelent meg. *Veseeredetű* (nephrogen) diabétesz inszpidusban aquaporin-2 nem volt a vizeletben, illetve egyes nephrogen diabétesz inszpidusos betegekben nem működő „mutáns” aquaporin-2-t találtak (Fujiwara – Bichet 2005).

A vizelet koncentrálásához azonban a vese velőállományának (medulla) magas ozmotikus koncentrációja (hipertonicitása) is nélkülözhetetlen, mivel a tubuláris folyadék és a medulláris kötőszöveti állomány ozmolalitásának különbsége határozza meg a vízvisszaszívást. *A medulláris hipertonicitás* létrejöttéhez az elsődleges tényező a Henle-kacs vastag felszálló szárában zajló aktív Na-visszaszívódás, és még az urea tubuláris visszaszívódása is szükséges.

Ha viszont az adott érési fehérje csavarodása hibás, akkor nem képződik egészséges vazopresszin receptor a vazopresszin molekula fogadására, vagy nem képződik ép aquaporin-2 molekula a vízreabszorpció kivitelezésére. Ezen esetekben a *veseeredetű diabétesz inszpidus veseszületett formája alakul ki*. A vazopresszin receptort és aquaporin-2-t kódoló fehérjék DNS-einek klónozása lehetővé tette a fenti eseménysorozat kezdeti és végző lépéseinek megértését, rávilágítva arra, hogy akár az AVPR2-receptorban, akár az aquaporin-2-ben bekövetkező genetikai hiba megakadályozza a tubuláris vízpermeabilitás

fokozódásának létrejöttét *nemhez kötött, illetve autoszomális nephrogen diabétesz inszpiduszt* okozva (Fujiwara – Bichet, 2005).

Poliuriás szindrómák

Legalább három olyan megbetegedés létezik, melyben az egész napos vizelet mennyisége akár 10–20 liter is lehet. Ezeket a „klasszikus rendellenességeket” a poliuriás szindrómák csoportjába soroljuk (*pszichogén polidipszia, diabétesz inszpidus, veseeredetű diabétesz inszpidus*). A polidipsziával (fokozott szomjúsággal) és poliuriával (megnövekedett vizeletmennyiséggel) járó három kórkép, a „valódi” diabétesz inszpidus, a veseeredetű diabétesz inszpidus és a primer (pszichogén) polidipszia a kórokok jelentős különbsége miatt jól megkülönböztethetőek. A „valódi” diabétesz inszpiduszt az antidiuretikus hormon hiánya okozza, veseeredetű diabétesz inszpidusban a vese érzéketlen az antidiuretikus hormon iránt, míg a pszichogén polidipsziában az antidiuretikus hormon termelése és annak hatása is ép, de a beteg mégis szomjazik (Radó, 2007). A gyakorló orvos által látott diabétesz inszpidus-szerű rendellenességek, a „valódi” diabétesz inszpidus és a veseeredetű diabétesz inszpidus mindössze 10%-a örökletes eredetű. Három gén mutációja okozza: az arginin vazopressziné (AVP-gén), a vazopresszin V2 receptoré (AVPR2-gén), illetve az aquaporiné (AQP2-gén). Vannak továbbá *komplex poliuro-polidipsziás veseszületett rendellenességek* (például a Bartter- és Gitelman-szindrómák), melyeket egy-két évtizede még nem soroltunk volna ebbe a fejezetbe. A diabétesz inszpidus-szerű megbetegedésekben kizárólag a víz ürítése fokozott, míg a komplex poliuro-polidipsziás rendellenességekben a nátriumé, kloré, káliumé, kalciumé és magnéziumé is

fokozott lehet (Fujiwara – Bichet 2005). Klinikailag a megbetegedések közül a legproblematisabb a veseeredetű diabétesz inszpidusz, mely újszülött korban végzetes kiszáradást okozva, életveszélyes lehet, és túlélése esetén még felnőttkorra is gyakran mentális defektus marad vissza.

Aszerzett veseeredetű diabétesz inszpiduszt okozó különböző kórfolyamatok közül a legjelentősebbek a tubulointersticiális betegségek és a húgyúti elzáródások, valamint a káliumvesztéses és hipercalcémiás állapotok. A gyógyszerek közül kiemelendő a lítium, a glibenklamid, methoxyflurán, a demeklociklin, a difenilhidantoin, kalcitonin és az amfotericin B. A mániás depresszió (psychosis maniaco-depressiva) miatt tartósan lítiumot szedő betegekben a pszichiátriai gyógyszer mellékhatásaként a vesekárosodás (a veseeredetű diabétesz inszpidusz) szinte szabályszerű. A lítium hatását ellensúlyozzák a nem szteroid gyulladáscsökkentő vegyületek [Radó – Zdravkova, 1991] vagy/és a dezmpresszin (Radó, 2007). Ha a dezmpresszinnel egyidejűleg kalcitonint is kell adnunk, akkor számolnunk kell azzal, hogy az utóbbi gyógyszer felfüggeszti az előbbi hatását (Radó – Zdravkova, 1993). A glibenklamid hasonló mellékhatása jól kimutatható, bár szerényebb (Radó – Borbély, 1971). Mindenesetre, a glibenklamid és a vazopresszin kompetitív antagonizmusát (dezmpresszin alkalmazásával) bizonyítottuk (Radó et al., 1974).

Egyre sűrűbben találkozunk olyan veleszületett vagy szerzett, veseeredetű diabétesz inszpiduszban szenvedő beteggel, akiben a vese antidiuretikus hormon iránti érzékenysége valamilyen mértékben megtartott, tehát *részleges vazopresszin-rezisztencia* áll fenn. A veseeredetű diabétesz inszpiduszos betegek kiszűrésének esélye javult, amióta a Carter-

Robbins- és Miller-próbák mellett *vizelet- és vérvazopresszin-meghatározások* is lehetségesek, és ezeket a vér- és vizeletozmolalítás-vizsgálatok eredményeivel összevetve elemzik. Magunk is kidolgoztunk egy ún. *dDAVP-koncentrációs próbát* a vizeletozmolalításra alapozva (Radó, 1978). További javulást jelent a vizelet *aquaporin-2* ürítésének nemrégiben leírt vizsgálata. A diabétesz inszpiduszos családokban végzett *génmutációs analízis*, a *molekulárgenetika* használata a korábban elképzeltékhez képest hihetetlenül megjavította a felderítést (Fujiwara – Bichet 2005).

A poliuriás szindrómák kezelésében használatos gyógyszerek

Vizhajtó (diuretikum), hidroklorotiazid adása fokozza a vesecsatornákban a vízreabszorpcióért felelős aquaporin-2 képződését (Kim et al., 2004). Ez a mechanizmus szerepet játszik a diabétesz inszpidusz javulásában, és egyik magyarázata annak a paradox jelenségnek, hogy a só- és víziürítés fokozása céljából adott diuretikumok vízmérgezést is képesek létrehozni.

Előrehaladást jelentett a centrális diabétesz inszpidusz *orális kezelésének* megvalósulása a vazopresszin-szerű, szájon át (per os) adható vegyületek bevezetésével (Radó, 1974). A betegek elégedettek voltak a *per os* adható vegyületek, a *klorpropamid* (antidiabetikum), a *karbamazepin* (antiepileptikum) és a *klofibrát* (antilipid) bevezetésekor, mert ezekkel egymagukban vagy egymással kombinációban, illetve még a diuretikumokkal is kombinálva igazán jól hatottak a diabétesz inszpiduszos poliuriában (Radó, 2007). Sokkal kényelmesebb volt a gyógyszerelés, mint a szippantópor használata idejében.

A természetes arginin és lizin vazopresszin hormonok molekulájának szerkezeti változ-

tatásaival a szintetikus analógok hosszú sorát állították elő, így számos csökkent vazopresszor aktivitású, megnövekedett antidiuretikus képességű és hosszú hatástartamú vegyülettel rendelkezünk. Az egyik előállított analóg a *dezmopresszin* (*l*-deamino-8-*D*-arginin-vazopresszin – *dDAVP*) antidiuretikus és vazopresszor tulajdonságainak aránya különösen kedvező. A *dezmopresszin* a természetes vazopresszineknel jóval hatékonyabb, rendkívül hosszú hatástartamú, könnyen és pontosan adagolható, az ornyálkahártyáról jól és megbízhatóan felszívódó vegyület, azzal a kiemelkedő előnnyel, hogy nincs vazopresszor és simaizom mellékhatása. A *dezmopresszin* rendkívül hatékony gyógyszernek bizonyult. Ezt alátámasztották az igen alacsony (0,04 µg) és az igen magas (24 µg) egyszeri *intravénás adagok* időgörbéi és dózishatás-összefüggései. Az 5 µg és 320 µg határok között változtatva az *orrceppként* alkalmazott *dezmopresszin* adagokat, hatásai az intravénás és szubkután adagoláshoz hasonlóak voltak. Azokban a diabétesz inszipidusos betegekben, akik a szájon át adható gyógyszerekkel súlyos eseteknek bizonyultak, a napi *dezmopresszin-szükséglet* is fokozott volt (Radó et al., 1976). Érdemes adagot növelnünk bármely *dezmopresszinre* rezisztens állapotban (Radó, 2007).

Újabbán a diabétesz inszipidusz *per os* *dezmopresszin* kezelését is kidolgozták. Nagy adagokat használva (0,1 és 0,2 milligrammos *tablettában*, illetve legújabbán szájban elolvadó *ostya* formában hozták forgalomba) antidiuretikus hatását kifejti, és a kezelésben – a diabétesz inszipidusos betegek örömeire – jól használható (Vande Walle et al., 2006). A *dezmopresszin* a *neurohipofizeális diabétesz inszipidusz kezelésének ideális gyógyszere* (Radó, 2007).

Veseeredetű diabétesz inszipiduszban a csecsemők vízzel való ellátása a legfontosabb. Nappal és éjjel kétóránként itatni kell, szükség esetén kórházban gyomorszondán át. A későbbiekben sótan, fehérjeszegény étrend is szükséges. Gyógyszeresen diuretikum, nem szteroid gyulladáscsökkentők, nagy adag *dezmopresszin* (Moses et al., 1984) és *karbamazepin* különböző kombinációi jönnek számításba.

Vízmérgezés

A hiponatrémia klinikai megnyilvánulása a *vízmérgezés* (vízintoxikáció) (Radó, 1973). A vízintoxikációval kísért hiponatrémia nem jár szükségképpen az EC-tér megnagyobbodásával (hipervolémia), bár szíveredetű, májeredetű vagy veseeredetű ödémában ez előfordul. Hipovolémia sincs feltétlenül jelen, mint a probléma első megközelítésekor, amikor a „cerebrális sóvesztést” leírták. Vízintoxikációval leggyakrabban a túlzott antidiuretikus hormonképződés tünetcsoportjában (*SIADH – syndrome of inappropriate ADH*) találkozunk, amelynél a szervezet víztérfogatai nem emelkednek jelentősen, és a nátriumkészletei sem csappannak meg kifejezetten, noha a szérumnátriumszint alacsony, a vazopresszinszint pedig magas. Tudnunk kell azonban, hogy legújabbán felismertek egy veseeredetű *SIADH-t*, vagyis igazából egy *NIADH-t* (*nephrogenic inappropriate ADH syndrome*), amikor is minden ugyanolyan, mint a valódi *SIADH*-ban, de a vazopresszinszint alacsony, mert a vesetubulusok vazopresszin-receptorainak túlérzékenysége miatt történik a túlzott vízvisszaszívás.

Hogy milyen fokú hiponatrémia mikor idéz elő vízintoxikációt, számos körülmény függvénye. *Rengeteg gyógyszer okozhat vízmérgezést*: barbiturátok, bromokriptin, karbama-

zepin, klorpropamid, klofibrát, ciklofoszfamid, antidopaminerg szerek, fenotiazinok, tioridazin, flufenazin, trifluoroperazin, haloperidol, nikotin, morfin, fluoxetin, paroxetin, szertalin, tri- és tetraciklikus antidepresszánsok, vinblasztin, nem szteroid gyulladásgátlók, ACE-gátlók stb. (Haris – Radó, 2008).

Végzetes kimenetelű lehet, *ha a vízvisszatartáshoz súlyos nátriumvesztés* is társul, ami szerencsére csak ritkán fordul elő. Tragikus iatrogen ártalom, ha – a vízmérgezés fel nem ismerése esetén – a zavart tudatállapotú beteg „rutinkezelése” infúziós folyadékbevitellel történik. A vízmérgezéses kórképek viszonylagos gyakoriságára és a diagnózishoz szükséges laboratóriumi eljárás, az *ozmometria* (a halhatatlan felfedező, *Korányi Sándor* által használt fagyáspontcsökkenéses módszer gépesített eljárása) mellőzésének veszélyeire ismételten rámutattunk (Radó, 2005). A vízmérgezés régebben irodalmi ritkaságnak számított. Ma már nem az, és hazánkban is egyre többen foglalkoznak a kérdéssel. *Vízintoxikációt magunk is észleltünk* több betegnél; infúziók után, bronchuskarcinóma jelenlétében, dDAVP-kezelés során, koponyatrauma esetében, klórtalidon-kezelés alatt, pszichotrop gyógyszerek alkalmazását követően, koponyaalapi aneurizmában, valamint aspergilloszisszal szövődött tüdőtuberkulózisban (Radó, 2005). S a publikációk számának emelkedése ellenére okunk van feltételezni, hogy a vízmérgezés sok esete felderítetlen. A vízintoxikáció diagnózisának felállítását igazán érdemessé teszi a hatásos és egyszerű kezelés is (folyadékmegszorítás, hipertóniás só infúziója, és ma már elérhető az igen hatásos vazopresszin-antagonista gyógyszerek is). Fontos, hogy az orvosok gondoljanak a vízintoxikáció lehetőségére, használják a tisztázásához szükséges diagnosztikus eszközöket és kezelési lehetőségeket.

A vese és a vízajtók

Az emberi vese kétmillió egységből (*nefron*) áll, melyek szűrőből (*glomerulusz*) és a hozzá csatlakozó csatornákból (*tubulus*) tevődnek össze. A vérplazma ultraszűrlete a glomerulusz szűrőn át kerül a tubulusokba, ahol nagyrészt visszaszívódik, és sokféleképpen módosul. A *vízajtók* a visszaszívódást gátolják, és a folyadék elektrolit összetételét (nátrium, kálium, klór stb.) közvetlenül vagy másodlagosan befolyásolják. Hatásukat elsődlegesen az elektrolitszállító (ún. transzport) mechanizmusokat gátolva fejtik ki. A vízajtók tubuláris hatásának helyén az adott szakasz *helyi* működése is befolyásolja a hatás mértékét és a képződő vizelet összetételét. E funkcionális szempontból jelentősebb helyek a nefronban a felső (proximális) szakasz, egy megközelítőleg középső hely, az ún. Henle-kacs és az alsó (disztális), illetve végső (gyűjtő) tubulus.

A felső szakaszra ható vízajtók az ún. karboanhidraze-gátlók (acetazolamid), ezeket ma már kevésszer adjuk. A kacs leszálló szára hatnak az ún. *ozmotikus vízajtók*. Nagy mennyiségű oldott anyagként akadályozzák a tubuláris vízvisszaszívódást. Különleges jelentőségűek a kacs „felszálló szára” ható „*kacs-vízajtók*” (furoszemid és etakrisav), a lentebbi (*distális*) tubulusszakaszon ható *tiazid vegyületek* és a gyűjtőtubuláris hatású „*káliummegtakarítók*” (spironolakton, triamteren és amilorid). A *kacs-vízajtók* nagyhatásúak (a szűrlet több mint 25%-ának kiürítésére képesek), és gyorsan kialakuló, illetve lezajló hatásúak, a vese koncentráló és hígító mechanizmusát egyaránt felfüggesztik.

A *tiazid vegyületek* a világ leggyakrabban használt vízajtói. A legelsőként felfedezett klorotiazidról kapták a nevüket. Rendkívül sok hasonló és kémiailag alig hasonló mole-

kulát állítottak elő, melyek mind mérsékelt hatásúak, a koncentrációt nem érintik, de a hígítást rontják, és gátolják az alsóbb vesecsatornákban a nátrium és klór együttes transzportját.

A *káliummegtakarítók* gátolják a nátriumnak káliumra való kicserélését (innen a neviük). A spironolakton *antialdoszteron*, vagyis az aldosteron (mellékvesekéreg-hormon) által stimulált nátrium–kálium-cserét függeszti fel, míg a másik kettő (a triamterén és amilorid) az aldosterontól függetlenül hat (Haris – Radó, 2008).

A *szívelégtelenség enyhe eseteiben*, normális vesefunkció esetén a tiazid vegyületek a választandó vízajtók (diuretikumok). Magasabb adagokban célszerű adnunk, mint az esszenciális hipertóniában, hogy leküzdjék a só és a víz normálisnál fokozottabb visszaszívódását a disztális tubulusban. *Súlyosabb esetekben* inkább a *kacs-diuretikumok* használendók. Mivel ilyenkor a diuretikumok hatékonysága kb. negyedére csökkent, négyeszer nagyobb adagok használendók.

Ha a kacs-diuretikum hatására sem ürül ki az ödéma, a hatás drámai fokozódása

várható a tiazid vegyülettel való kombinációtól. A vízajtók kombinálásának élettani alapja, hogy a nátriumreabszorpciót kivitelező és az ödémáért felelős, egymás után következő nefronszakaszok (Henle-kacs, disztális és gyűjtőtubulusok) egyidejű blokkolása összeadódó, megnövelt eredményt hoz. Ez az eljárás megakadályozza, hogy egy magasabb nefronrészen (Henle-kacsban) elért eredményt egy alacsonyabb szakasz (disztális tubulus) „lenyeljen”. Ugyanez az elve a káliummegtakarító szerek (spironolakton, triamterén, amilorid) bekapcsolásának is (Haris – Radó, 2008).

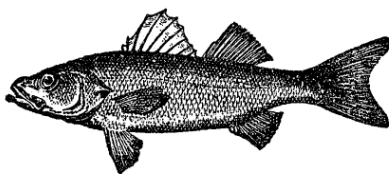
A májzsugorodással járó hasvízkór eseteiben és a különböző vesebetegségekhez társuló ödémában, valamint számos egyéb – vize nyövel nem is járó – rendellenességekben is használatosak a vízajtók. Az ezekkel kapcsolatos részletek azonban már kívül esnek e cikk témakörén.

Kulcsszavak: *emberi szervezet, vízfelvétel, vízkiválasztás, vízvesztés, vízmérgezés, poliuriás szindrómák, vazopresszin, antidiuretikus gyógyszerek, vizenyő, vízajtók*

IRODALOM

- Fujiwara, Mary T. – Bichet, Daniel G. (2005): Review: Molecular Biology of Hereditary Diabetes Insipidus. *Journal of the American Society of Nephrology*. 16, 2836–2846. • <http://jasn.asnjournals.org/content/16/10/2836.long>
- Halperin, Mitchell L. – Goldstein, Marc B. (1999): Sodium and Water Physiology. In: Halperin, Mitchell L. – Goldstein, M. B. – Kamel, L. S.: Fluid, Electrolyte, and Acid-base Physiology. A Problem-based Approach. 3rd ed. W. B. Saunders Company, Philadelphia, 227–282.
- Haris Ágnes – Radó János (2008): *A víz- és elektrolitháztartás zavarai*. Medicina, Budapest
- Kim, Gheun-Ho – Lee, J. W. – Oh, Y. K. et al. (2004): Antidiuretic Effect of Hydrochlorothiazide in Lithium-Induced Nephrogenic Diabetes Insipidus Is Associ-
- ated with Upregulation of Aquaporin-2, Na-Cl Co-Transporter and Epithelial Sodium Channel. *Journal of the American Society of Nephrology*. 15, 2836–2843. • <http://jasn.asnjournals.org/content/15/11/2836.full>
- Moses, Arnold M. – Scheinman S. J. – Openheim A. (1984): Marked Hypotonic Polyuria Resulting from Nephrogenic Diabetes Insipidus with Partial Sensitivity to Vasopressin. *Journal of the Clinical Endocrinology and Metabolism*. 59, 1044–1049. doi: 10.1210/jcem-59-6-1044
- Radó János (2004): Nephrogen Diabetes Insipidus. In: Kakuk György (szerk.): *Klinikai nephrologia*. Medicina, Budapest, 375.
- Radó János (2005): A fagyásponcsökkenéstől az ozmolalitásig. *Hypertonia és Nephrologia*. 9, 4–13. •

- <http://www.elitmed.hu/upload/hypertoniapdf/hypertonia-2005-01.pdf>
- Radó János (2007): Humán farmakológiai kutatásaink desmopressinnel és más készítményekkel neurohypophyseális és nephrogen diabetes insipidusban: I. Neurohypophyseális diabetes insipidus és II. nephrogen diabetes insipidus. *Hypertonia és Nephrologia*. 11, 181–198., 244–256. • <http://www.elitmed.hu/upload/hypertoniapdf/hypertonia-2007-4%20internetre.pdf>
- Radó J. P. (1973): Water Intoxication During Carbamazepine Treatment. *British Medical Journal*. 3, 479. • <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1586609/?page=1>
- Radó János P. (1974): Combination of Carbamazepine and Chlorpropamide in the Treatment of “Hyporesponder” Pituitary Diabetes Insipidus. *Journal of the Clinical Endocrinology and Metabolism*. 38, 1–7. doi: 10.1210/jcem-38-1-1
- Radó János P. (1978): 1-desamino-8-D-arginine Vasopressin (DDAVP) Concentration Test. *The American Journal of Medical Sciences*. 275, 1, 43–52.
- Radó János P. – Borbély Lajos (1971): Enhancement of Polyuria by Glibenclamide in Diabetes Insipidus. *The Lancet*. 2, 216. doi:10.1016/S0140-6736(71)90928-7
- Radó János P. – Marosi J. – Fischer J. (1976): Shortened Duration of Action of 1-Deamino-8-D-Arginine Vasopressin (Ddavp) in Patients with Diabetes Insipidus Requiring High Doses of Peroral Antidiuretic Drugs. *Journal of Clinical Pharmacology and New Drugs*. 10, 518–524.
- Radó János P. – Marosi J. – Fischer J. (1977): Comparison of the Antidiuretic Effects of Single Intravenous and Intranasal Doses of DDAVP in Diabetes Insipidus. *Pharmacology*. 15, 40–45.
- Radó János P. – Szende L. – Marosi J. (1974): Influence of Glyburide on the Antidiuretic Response Induced by 1-Deamino-8-D-Arginine Vasopressin (Ddavp) in Patients with Pituitary Diabetes Insipidus. *Metabolism*. 23, 1057–1063.
- Radó János – Zdravkova, Sznecska (1991): Lithium által okozott maradandó vízanyagszerezevar (nephrogen diabetes insipidus). *Orvosi Hetilap*. 132, 1987–1990.
- Radó János – Zdravkova, Sznecska (1993): Effect of Indomethacine and Calcitonin During Administration of 1-Deamino-8-D-Arginine-Vasopressin (Ddavp) on Free Water Clearance in Nephrogenic Diabetes Insipidus (NDI). XIIth International Congress of Nephrology. June 13–18, Jerusalem, Israel
- Vande Walle, Johan G. J. – Bogaert, G. A. – Mattsson, S. Desmopressin Oral Lyophilisate PD/PK Study Group (2006): A New Fast-Melting Oral Formulation of Desmopressin: A Pharmacodynamic Study in Children with Primary Nocturnal Enuresis. *British Journal of Urology International*. 97, 603–609. DOI: 10.1111/j.1464-410X.2006.05999.x • <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1464-410X.2006.05999.x/pdf>
- Weitzman, Richard E. – Kleeman, Charles R. (1979): The Clinical Physiology of Water Metabolism. I: The Physiologic Regulation of Arginine Vasopressin Secretion and Thirst. *Western Journal of Medicine*. 131, 373–400. • <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1271864/pdf/westjmedo0243-0021.pdf>



HIDROLÓGIAI CÉLÚ MENNYISÉGI CSAPADÉK-ELŐREJELZÉS HAZÁNKBAN

Bonta Imre

PhD, osztályvezető,
Országos Meteorológiai Szolgálat
Időjárás-előrejelző Osztály
bonta.i@met.hu

Ujváry Katalin

meteorológus, vezető főtanácsos,
Országos Meteorológiai Szolgálat
Időjárás-előrejelző Osztály

Az emlékezetes 1970-es tiszai árvíz után lépett fel az igény a két fő folyó, a Duna és a Tisza árhullámainak meteorológiai és hidrológiai tanulmányozására. Az 1974-ben az Országos Vízügyi Hivatal (OVH) által támogatott kutatások az árhullámkeltő csapadéktevékenység időjárási típusait vizsgálták. A kutatások kitértek a típusok éven belüli eloszlásának várható valószínűségére és 24 órás maximális csapadékhozamaira. Már ekkor felmerült a várható csapadékmennyiség előrejelzésének igénye, hiszen a vízhozam és vízállás előrejelzéséhez igen fontos információ a mennyiségi csapadék-előrejelzés. A nagy meteorológiai központok dinamikai modelljeinek csapadék-előrejelzési produktumai inkább csak a 80-as évek elejétől álltak rendelkezésre, így az 1978-ban megindult mennyiségi csapadék-előrejelzés kombinált módszereken alapult; a csapadékfolyamatok egyszerűsített közelítéseit szinoptikai feltételekkel, statisztikai eljárásokkal kombinálták. Az előrejelzés alapját az ún. *találkozási modell* képezte. A következőkben röviden bemutatjuk a találkozási modellt, az arra alapozott előrejelzési technikát, majd a jelenlegi gyakorlat fő irányvonalait vázoljuk fel.

Találkozási modell

A hidrológiai célú mennyiségi csapadék-előrejelzés operatív bevezetésére 1978. július 1-jén került sor. Az előrejelzés alapját a *csapadékfolyamatok találkozási modelljének* nevezett eljárás szolgáltatta (Bodolainé Jakus, 1976). A modell közelítése szerint a csapadékmennyiséget a légkörben potenciálisan rendelkezésre álló kihullható vízmennyiség, a vertikális mozgás és a telítési viszonyok határozzák meg.

A potenciálisan rendelkezésre álló vízmennyiség egy adott légoszlopon belül az a vízmennyiség, amely kihullna, ha a légoszlopban lévő összes vízgőz kondenzálna. A valóságban azonban annak csak egy része kondenzálódik. A légkör potenciális vízgőzkészletéből az emelő mozgások a kondenzációs folyamatok során attól függően realizálnak többet vagy kevesebbet, hogy az adott kihullható vízmennyiség mellett a légkör milyen közel van a telített állapothoz. A telítési állapot mértékét az ún. dinamikus telítési hiány fejezi ki. A csapadék kialakulásában, valamint mennyiségének eloszlásában fontos szerepet játszanak a vertikális mozgások. Meghatározásuk igen nehéz feladat, mivel a kü-

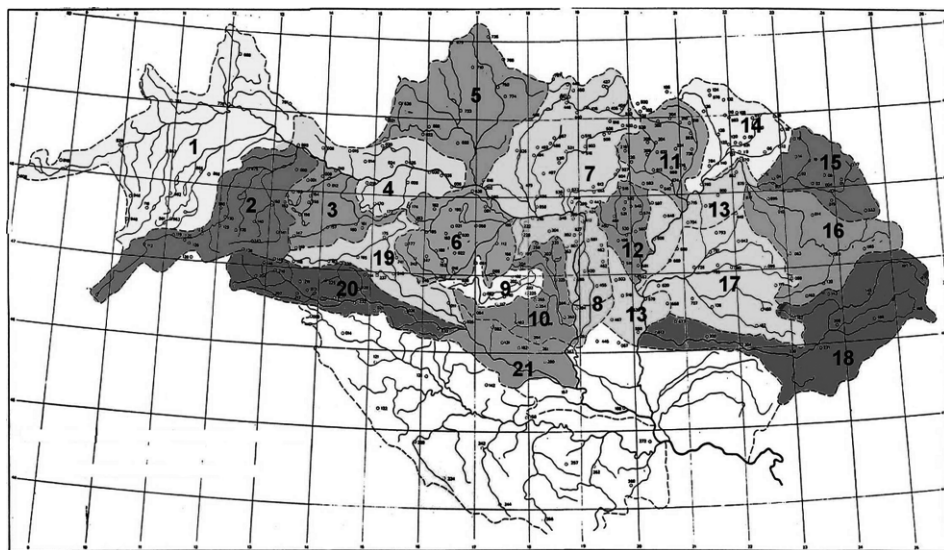
lönféle nagyságrendű függőleges mozgások mérése a gyakorlatban megoldhatatlan. Változékonyságukat az őket létrehozó időjárási rendszerek léptékének különbözősége okozza. A feláramlás változékonysága a csapadék intenzitásának térbeli és időbeli változékonyságát vonja maga után. A modellben használt vertikális sebesség a 850 hPa-os felületre vonatkozott. A p csapadékmennyiséget meghatározó általános egyenlet

$$p = \frac{w_p w}{RT - RT_t}$$

ahol w_p a potenciálisan kihullható vízmenyiség, w a vertikális sebesség, $RT - RT_t$ pedig a dinamikus telítési hiány. Ez a modell a csapadék létrehozásában legfontosabb három fizikai mennyiség térbeli és időbeli találkozásán alapul, erre utal az elnevezése is.

A csapadék mennyiségét meghatározó paramétereket eleinte az európai rádiószondás állomások mérési adataiból állapították meg. A karakterisztikák előre jelzett értékeinek számítása a 700 hPa-os felület (kb. 3000 m magasság) előre jelzett trajektóriáival, tehát advektív technikával történt.

A jelenlegi és a várt szinoptikus helyzet, a kiszámított, kézzel térképre vitt, majd analízis mezők elemzése, valamint a trajektória módszer felhasználásával vízgyűjtőként kiszámított csapadékmennyiségek együttes értelmezésével született meg az elkövetkező 24 órára várt csapadékmennyiség előrejelzése 12 órás bontásban. Az 1. ábrán annak a huszonegy részvízgyűjtőnek az elhelyezkedése és megnevezése látható, amelyekre az előrejelzés szól. Az egyes vízgyűjtőkön a számított és a tényleges területi csapadékatlagok mene-



1. ábra • A Duna és a Tisza részvízgyűjtőinek elnevezése és elhelyezkedése

(1 – Felső-Duna; 2 – Inn; 3 – Traun, Enns; 4 – Bécsi-medence; 5 – Morava; 6 – Mosoni-Duna, Rába; 7 – Vág, Garam, Ipoly; 8 – Közép-Dunavölgy; 9 – Zala, Balaton; 10 – Kapos, Sió; 11 – Sajó, Hernád; 12 – Zagyva; 13 – Közép-Tiszavölgy; 14 – Bodrog; 15 – Felső-Tisza; 16 – Szamos, Túr, Kraszna; 17 – Körösök, Berettyó; 18 – Maros; 19 – Mura; 20 – Dráva felső; 21 – Dráva alsó)

te általában párhuzamosan haladt, tehát a folyamat közelítése jó volt, és a köztük lévő eltérés sem volt jelentős. 10 mm-nél nagyobb területi átlagok esetén az alábecslések száma jelentősebben nőtt, ami a modell szinoptikus léptékéből következett, hiszen nagy csapadékmennyiségek rendszerint mezoléptékű (50–100 km méretskálával jellemezhető) folyamatokkal magyarázhatók, amelyeket a modell nem tudott figyelembe venni. Az alkalmazott közelítésből kimaradtak a csapadékfolyamatokban fontos olyan mechanizmusok is, mint a konvekció, a sűrűlódási réteg mechanizmusai, az *orográfia*¹ hatása.

Több kísérlet történt e folyamatok figyelembevételére is (pl.: Bodolainé Jakus, 1977, 1985). Ezek közül a vízgyűjtő terület nagyobb hegységeinek csapadékmódosító hatása körében szerzett tapasztalatokat foglaljuk össze röviden (Bodolainé Jakus – Homokiné Ujváry, 1984). Az Alpok és a Kárpátok térségében végzett vizsgálatok a csapadékmennyiség magassággal való eloszlását kutatták, illetve meghatározták azokat a szinoptikus helyzeteket, amelyekben az orográfia hatása maximálisan érvényesül. Az Alpok térségében posztfonális, ciklon hátoldali, vagy anticiklon előoldali helyzetekben még kicsi nagytérségű feláramlás és kevés nedvesség esetén is jelentős lehet az orografikus csapadékképződés, ha a légállapot telített és az alsó troposzférában erős az északi-északnyugati szél. Az Alpok a szervezett rendszerek csapadékhatékonyosságát is jelentősen növeli, különösen, ha az alsó troposzférában az áramlásnak északnyugati

komponense van. Igen intenzív az orografikus hatás abban az esetben is, ha a ciklon okklúziója² során a meleg, nedves szállítószalag a ciklon hátoldalára visszahajlik. Az Északi- és Északkeleti-Kárpátok, valamint a Bihar-hegység orografikus csapadéktöbbletét a meleg, nedves szállítószalag iránya szabályozza. A Kárpátok gyűrűje az előoldali csapadékfordozó rendszereket erősíti. A hegységekben megjelenő nagyobb csapadék a nyári időszakban az instabilitás növekedésével is kapcsolatban van, az orográfia a potenciális instabilitás realizálásához, erősítéséhez járul hozzá.

Az orografikus csapadéktöbblet jobbra tartós csapadékfolyamat során alakul ki. Ez valósul meg a regionális ciklonok, a hosszan elnyúló meleg- és hidegfrontok és a rajtuk kialakuló mezoörvények esetében is, amelyek állandósítják a tartós csapadékképződés feltételeit. Ez esetekben az orografikus csapadék a meleg szektorban képződik.

Az árhullámkeltő időjárási típusok alapos elemzése, típusok ismerete szintén segítette a későbbi mennyiségi csapadék-előrejelzést, illetve az árvizeket okozó csapadékfolyamatok jobb megértését. Az árhullámokat kiváltó csapadékos periódusok időjárási rendszereinek tipizálására Bodolainé Jakus Emma (1983) hét típust határozott meg (zonális, west, west-peremháborgási, vonuló mediterrán, centrum, hideg légcsepp és nyugati ciklon típus), és megadta e típusok éven belüli gyakorisági eloszlását, csapadékhatékonyosságát. A nagy csapadékos típusok közül különösen a vonuló mediterrán, west-peremháborgási,³

¹ Orografia: hegyrajz, a földrajznak a föld felszíni formáit leíró ága; a cikkben az orografikus hatások alatt a hegyek áramlásmódosító és így a csapadékeloszlást befolyásoló szerepét emeltük ki.

² Okklúziós front: két front összezáródásával jön létre, amikor a hidegfront utoléri a melegfrontot. A frontok

cikloncentrumhoz közelebbi felén alakul ki, és legtöbbször jelentős csapadékot okoz. Mögötte általában hidegfrontszerű hideg beáramlás kezdődik.

³ A nyugatról közeledő hidegfront déli részén önálló ciklonális hullám jön létre, a csapadékképződésnek kedvező áramlási és nedvességi viszonyokkal.

centrum típusok esetén számolni lehet a Kárpátok mentén jelentősebb csapadéktöbblettel. A kutatási eredmények egyik fő haszna mindenesetre az a felhalmozódott tapasztalat, amelyeket a feldolgozások során a szinoptikusok nyertek.

Numerikus modellek

A numerikus modellek elterjedéséig a csapadék-előrejelzés szinte egyedüli eszköze a csapadékfolyamatok empirikus, szinoptikai közelítése volt. A 80-as évektől azonban egyre nagyobb számban jelentek meg numerikus előrejelzések, amelyek minőségi változást hoztak az előrejelzési munkában. 1979-től rendelkezésre állt a Svéd Hidrometeorológiai Intézet 24 órára előre jelzett csapadékképe 12 órás bontásban, amely facsimile térképen érkezett. 1982-től a Frankfurti Regionális Időjárás Központ három napra előre 24 órás bontásban, 1983-tól pedig az angol szolgálat hatórás bontásban 36 órára előre adott csapadékmennyiséget. A kiadott csapadékmennyiség-előrejelzések a csapadék-előrejelző szinoptikus döntésén alapultak, aki a szinoptikus és mezoléptékű időjárás folyamatok diagnózisa után hozta meg döntését, figyelembe véve a modellek által szolgáltatott numerikus értékeket, és felhasználva a szinoptikus tapasztalatait. E technikában egészen a 90-es évek végéig nem történt minőségi változás.

Fordulópontot jelentett 1995, amikortól már rendelkezésre állt az ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*), az Európai Középtávú Időjárás-előrejelző Központ determinisztikus modellje. Az előre jelzett csapadékmennyiséget kezdetben csak hét, majd tíz napra előre, 12, majd 6 és 3 órás bontásban adta a modell. A modell alkalmazása szolgálatunknál kezdetben „csak” annyit jelentett, hogy egy megbízható, jó beválású

modellre alapozhattuk akár tíz napra előre a csapadékfolyamatok megítélését. A vízügyi ágazatok részére azonban ekkor is még csak 24 órára készült mennyiségi csapadék-előrejelzés. Jelentős technikai és tartalmi változást 2002 hozott, amikortól kezdve már a modellből táblázatos formátumú mennyiségi csapadék-előrejelzést továbbítottunk a vízügyi felhasználónak, amely ma már naponta kétszer frissül a modell 00 UTC-s és 12 UTC-s⁴ futtatásából. A csapadék mennyisége 48 óráig 6 órás, azután egészen 240 óráig 12 órás bontásban áll rendelkezésre. A vízügyi ágazatok részére készített mennyiségi csapadék-előrejelzések alapját tehát az az ECMWF-modell szolgáltatja, amelynek beválása jelenleg a világon a legjobb. Ennek ellenére az előrejelző szakember a modell előrejelzéseit időnként korrigálja, főleg az első 24 órás mennyiségeket, a sok év alatt szerzett szinoptikus tapasztalat és az OMSZ által használt más modellek alapján. Az ECMWF-modell determinisztikus változatának horizontális felbontása jelenleg 16 km, és 91 vertikális szintet tartalmaz. Az OMSZ által használt másik alapmodell, a korlátos tartományú ALADIN-modell peremfeltételeit az ECMWF-modellből kapja, horizontális felbontása az ECMWF-modellnél is finomabb, jelenleg 8 km. Miközben az ALADIN-modell csak két napig szolgáltat előrejelzéseket, az ECMWF-modellből ma már tíz napig rendelkezésre állnak az előrejelzések. Az ötödik napot követően azonban a determinisztikus modell helyett célszerű inkább az *ensemble előrejelzésekre* alapozni.

⁴ UTC: a greenwichi középídiót (GMT) felváltó koordinált világidő (*Universal Time Coordinated*), amelyhez a földi időzónákban mért időt viszonyítják. Az UTC-t a nemzetközi atomidőből (TAI) származtatják, de a Föld forgásának lassulása miatt időnként szökőmásodpercet iktatnak be.

Ensemble előrejelzések

1972-ben Edward Lorenz a figyelemfelkeltő *Kivált-e egy braziliai pillangó szárnycsapása tornádót Texasban?* címmel tartott előadást. Óvakodott a kérdésre feleletet adni, azt azonban hangsúlyozta, hogy amennyiben a válasz igen, akkor egy lepke szárnybillentése ugyanígy meg is akadályozhatja egy tornádó kialakulását. Lorenz metaforikus gondolatfelvetése *pillangóhatás* néven vált közismertté (és sokak szemében egy szkeptikus nézet, a „minden mindennel összefügg, tehát semmi nem lehet biztos” állítás bizonyítékává), míg számunkra a meteorológiai prognosztikának azt a bizonytalanságát szimbolizálja, hogy két igen hasonló időjárási helyzet, amely mindössze egyetlen pillangó közvetlen hatásában különbözik egymástól, elegendően hosszú idő elteltével lényegesen eltérő időjárási helyzetté fejlődhet.⁵

E tény elismerését fejezte ki 1986-ban az ECMWF-ben három holland kutató, Henk Tennekes, Fons Baede és Theo Opsteegh a következő találó szavakkal: egyetlen prognózis sem tekinthető teljesnek a prognózis bevalási valószínűségének egyidejű prognosztizálása nélkül. A bizonytalanság objektív előrejelzésének lehetőségét az ún. együttes előrejelzések módszere (*ensemble* prognosztika) teremtette meg. Bár bevezetése az operatív gyakorlatba a számítástechnika fejlődésével csak 1992 végére vált lehetővé, elméleti alapját Lorenz évtizedekkel korábban felvázolta.

A számszerű előrejelzések alapjait a légkör hidro-termodinamikai egyenletrendszerei jelentik. Ezeket az egyenletrendszereket azonban nem tudjuk pontosan megoldani, azo-

⁵ Lorenz munkásságával a *káoszelmélet* egyik megalapozója, róla nevezték el a Lorenz-attraktort is (*a szerk. megjegyzése*).

kon különböző közelítéseket kell alkalmaznunk. A legfőbb gond azonban az, hogy a számszerű előrejelző modellek legfontosabb részét, a modell kiindulási állapotát sem tudjuk pontosan meghatározni. Ennek oka elsősorban az, hogy a rendelkezésre álló információk száma (elsősorban a ritka mérőhálózat következtében) kisebb, mint a modellváltozókra vonatkozó rácsponti értékek száma. Európában és részben az USA területén, valamint Ázsia egyes fejlettebb részén viszonylag sűrű a hálózat, de például Afrikában közel Európa nagyságú területen alig van egy-két megfigyelőállomás. A műholdadatok ugyan egyre nagyobb mértékben kerülnek be a modellekbe, de a radarinformációk továbbra is csak korlátozott mértékben alkalmazhatók. Az adathiány, a hibás vagy nem reprezentatív adat alkalmazása, a kerekítések, a közelítések a középtávú előrejelzések esetén már igen jelentős bizonytalanságot okoznak a kiindulási mezőkben. E problémákra megoldást jelenthet az ensemble előrejelzés, amelynek lényege szerint a különböző kezdeti feltételekkel többször futtatják le a modellt úgy, hogy szimulálják a kezdeti (analízis) hibákat, és ezáltal módosítják a kezdeti mezőket. Ha a módosítás után az egyes futtatások között az eltérés többé-kevésbé kicsi marad, akkor nagy lesz az előrejelzés megbízhatósága. Ha pedig az eltérés nagy lesz, vagyis az eredmények teljesen szétartóvá válnak, kicsi lesz az előrejelzés megbízhatósága.

Ensemble előrejelzések használata az operatív munkában

A középtávú előrejelzések készítésénél évről évre nagyobb figyelmet fordítunk az ensemble előrejelzésekre, különösen azokban az esetekben, amikor a determinisztikus modell eredményei jelentősen eltérnek az ensemble

előrejelzések átlagától (EPS-átlag). A Magyarország több körzetére vonatkozó *fáklyadiagramok* és a csapadékvalószínűségi mezők ma már elengedhetetlen kellékei a többnapos előrejelzéseknek. (A fáklyadiagramon egy adott rácsponton, egy kiválasztott elem előrejelzéseinek időbeli menete látható.) A külföldi tapasztalatok szerint is a 4–6. napot követően a prognózisokat célszerű az ensemble átlagra alapozni, annak ellenére, hogy a determinisztikus modell felbontása jelenleg finomabb, mint az ensemble tagoké.

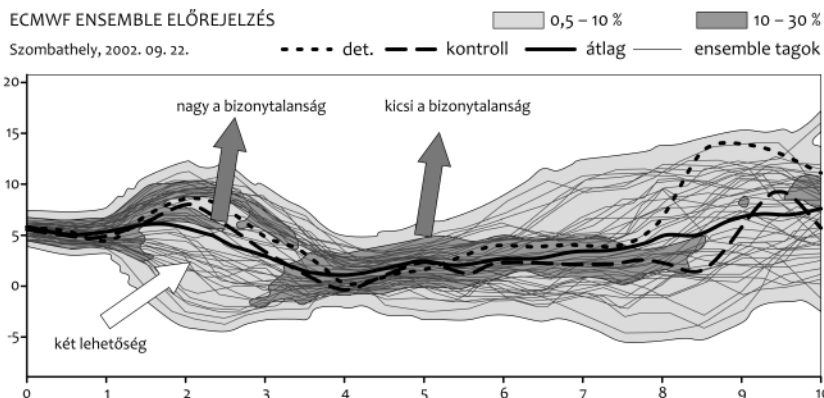
Az ECMWF-nél az EPS- (*ensemble prediction system*) rendszer összesen ötvenkét tagból áll. Ebből ötven az ún. *ensemble tag*, ezek felbontása jelenleg 25 km. Ezeket különböző kezdeti feltételekkel futtatják. Az ötvenegyedik tagnak, a determinisztikus modellnek a horizontális felbontása finomabb (16 km), mint a többi EPS tagé, a modell kezdeti feltétele ugyancsak különbözik az EPS-tagoktól. Az ensemble átlagot az EPS-tagokból számolják.

Az EPS-előrejelzések halmaza alapján előre jelezhető a prognózisok megbízhatósága, figyelembe véve a fáklya szélességét, valamint a determinisztikus modell és az EPS-átlag viszonyát.

Általában véve igaz, hogy a rövid távú előrejelzéseknél – leszámítva azokat az eseteket, amikor már a néhány napos előrejelzésnél is nagy a bizonytalanság – a kiemelt, determinisztikus futtatás eredményeit célszerű elfogadni, mivel ennek finomabb a felbontása. A középtávú előrejelzéseknél azonban ma már nélkülözhetetlen az ensemble produktumok figyelembevétele. Az ensemble előrejelzések használatának egyik legnagyobb problémája, hogy nehéz ötvözni az ensemble előrejelzések által nyújtott információkat a determinisztikus szemlélettel.

Az ensemble technika alkalmazása teljesen új szemléletet nyitott, főként a középtávú előrejelzések készítésében. Segítségével nemcsak megbízhatóbb előrejelzések készíthetők, hanem előre jelezhető prognózisaink megbízhatósága is, ami ugyanis nemcsak attól függ, hogy hányadik napra vonatkozik az előrejelzés. A különböző EPS-produktumok szemléletesen mutatják be, hogy mely időszaktól és milyen térségben, vagy melyik elemre vonatkozóan válik bizonytalanná az előrejelzés. Az EPS-technika további alkalmazási területe az extrém időjárási helyzetek (például heves csapadéktevékenység) előrejelzése.

Az EPS-produktumok közül ki kell emelnünk a fáklyadiagramot (2. ábra), amely szemléletesen mutatja, hogy mely időszaktól, melyik elemre vonatkozóan, illetve az előrejelzési tartomány melyik részén válik különösen bizonytalanná az előrejelzés. A 2. ábrán a 850 hPa-os szint hőmérsékletének előrejelzése követhető nyomon mind az ötven ensemble tag (vékony vonalak), valamint a determinisztikus modell (vastag, pontozott görbe) esetén. A bemutatott fáklyadiagram arra példa, hogy az előrejelzések megbízhatósága nem csökken egyenes arányban az előrejelzés hosszával. A konkrét esetben látható, hogy már a második napon nagy az eltérés az egyes futtatások között, jelen esetben van olyan ensemble tag, amely a térségre 12, és van olyan, amely mindössze -4 fokot prognosztizál erre a szintre. Az ábrán jól megfigyelhető, hogy a második napra vonatkozóan két lehetőséget (klaszter) ad a modell, a futtatások többsége (beleértve a determinisztikus modellt) a melegebb változatot támogatja, de az ensemble tagok jelentős része az alacsonyabb hőmérsékletet prognosztizálja. A nagy bizonytalanságot az okozta, hogy a Kárpát-medence térségében egy markáns frontzóna húzódott, amelynek hideg és



2. ábra • Fáklyadiagram: A vastag pontozott vonal a determinisztikus tagokat, a vékony vonalak az ensemble tagokat mutatják.

meleg oldalán igen eltérő hőmérsékletű levegő halmozódott fel. A front lassan helyeződött délkelet felé, bizonytalan volt, hogy Szombathely térsége két nap múlva a front hideg vagy meleg oldalára kerül. A harmadik naptól kb. a hatodik napig azután a front átvonulását követően a fáklyadiagram szerint csökken az előrejelzések bizonytalansága, mivel minden futtatás jelentős hideg advekciónál⁶ számol. A hatodik napot követően természetesen ismét növekszik az eltérés az egyes futtatások között, vagyis csökken a 850 hPa-os szint hőmérséklet-előrejelzésének megbízhatósága. Az összes elem közül talán a csapadékmenyiség előrejelzése a legérzékenyebb a kiindulási feltételekre. A 2010. májusi Zsófia-ciklont bemutató részben erre is látunk példát.

Gyakorlati példa az alkalmazott módszerekre

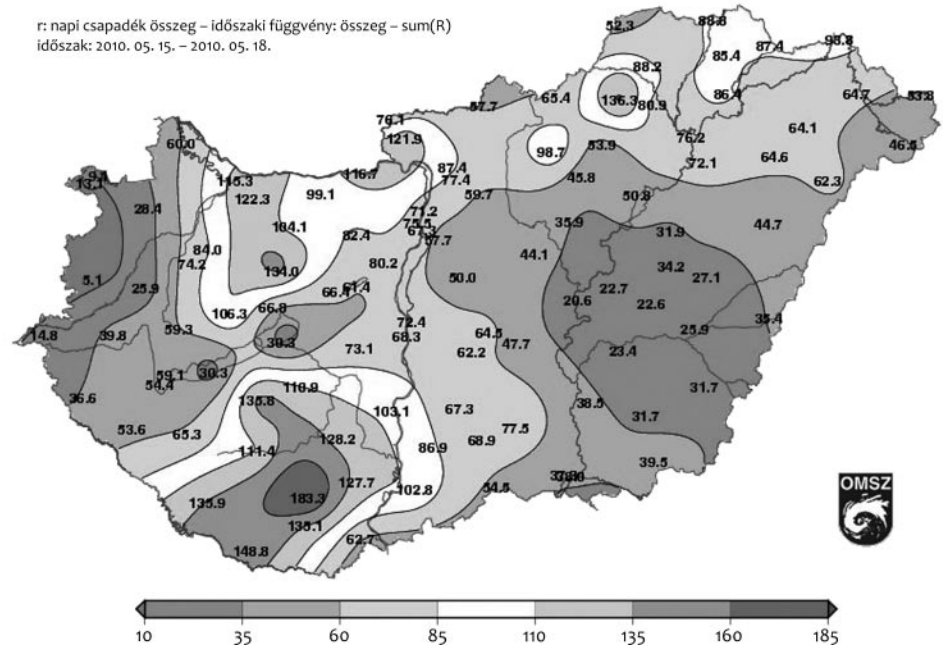
2010. május 15–18. között egy lassan mozgó mediterrán ciklon alakította a Kárpát-medence időjárását. Május 15. 06 UTC-től 18. 06 UTC-ig jelentős mennyiségű csapadék hullott (3. ábra), a Dunántúlon nagy terüle-

ten a 100 mm-t is meghaladta. Májusban az átlagos országos csapadékösszeg egyébként 62 mm, így e napokban egyes területeken a havi csapadékhozam két-háromszorosát is mérték. A háromnapos csapadékhozam rekordot hozott: a Bakonyban több helyen mérték 200 mm feletti mennyiséget.

A háromnapos időszak időjárási helyzete egy intenzív mediterrán ciklonhoz köthető. A nagy csapadékokat okozó időjárási helyzetek tipizálása alapján (Bodolainé Jakus, 1983) M (vonuló mediterrán ciklon), majd C típusba (cikloncentrum Magyarország felett) sorolható, amelyek bizonyítottan térségünk legcsapadékosabb időjárási helyzetei. M típus jelentette a kiindulást (máj. 15.), a ciklon május 16-ra már a Kárpát-medence fölé helyeződött, C centrum helyzet, és még napokig meghatározta hazánk időjárását.

A rendkívül gyorsan kialakuló mediterrán ciklon középpontja május 15-én 00 UTC-kor Olaszország déli része felett helyezkedett el, majd az intenzíven mélyülő ciklon centruma 12 órával később már az Adriai-tenger fölé került. A csapadékhullás a Dunántúlon már 15-én délelőtt megkezdődött. Május 16. 00 UTC-re a ciklon centruma Magyarország

⁶ Advekciónál: légtömegek túlnyomórészt vízszintes áramlása, például a térség fölé magasabb hőmérsékletű levegő áramlása a meleg advekciónál.



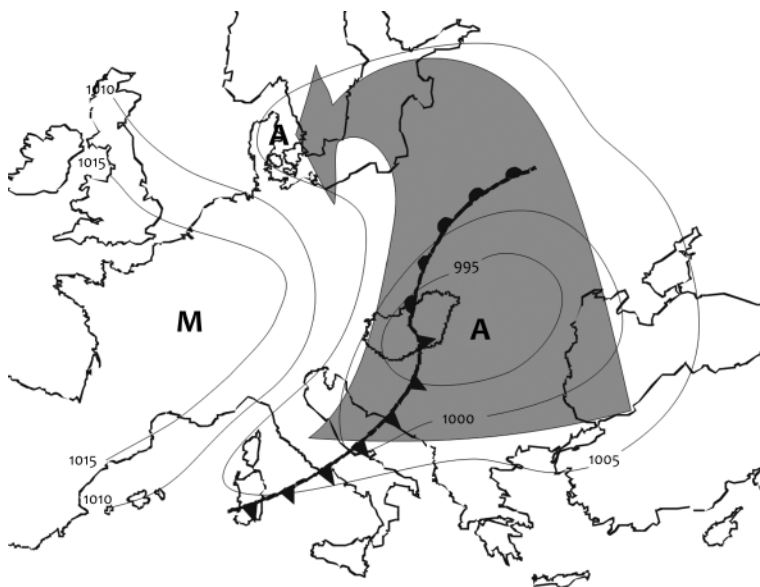
3. ábra • A 2010. május 15. 06 UTC és május 18. 06 UTC között lehullott csapadék összege

főle helyeződött át, tovább mélyült, de az át-helyeződés lelassult. A szinoptikus helyzet sematikus képét a 4. ábra mutatja. A ciklon a Földközi-tenger medencéjéből nagyon nedves levegőt szállított északi irányba. A nagy nedvesség ellenére hazánkban a 15-én estefelé keleten kialakuló egy-két zivatartól eltekintve nem volt zivatar, ami részben a konvektív szempontból nem túlságosan instabil rétegződésnek, részben pedig a mély ciklonban a talajközelségben uralkodó igen erős szélnek tudható be. A csapadék intenzitása ugyanakkor hosszabb időszakon keresztül „felhőszakadás” méretű volt. A csapadékfolyamatok erősödéséhez vezetett, hogy a ciklon központi részén az alacsony szinteken tartós volt az összeáramlás. A jelentős csapadékmennyiségek kialakulásához a Bakonyban, a Mecsekben és az Északi-középhegység területén az orográfia csapadéknövelő szerepe is

hozzájárult; nem véletlen például Bakonybél vagy Kőröshegy kiugró csapadékkértéke. Ám hangsúlyozni kell, hogy az erőteljes ciklogenezis keltette szinoptikus léptékű folyamatok erőssége volt ebben az esetben a meghatározó, ehhez az orográfia csak hozzájárult.

Előrejelzések a Zsófia-ciklon esetén

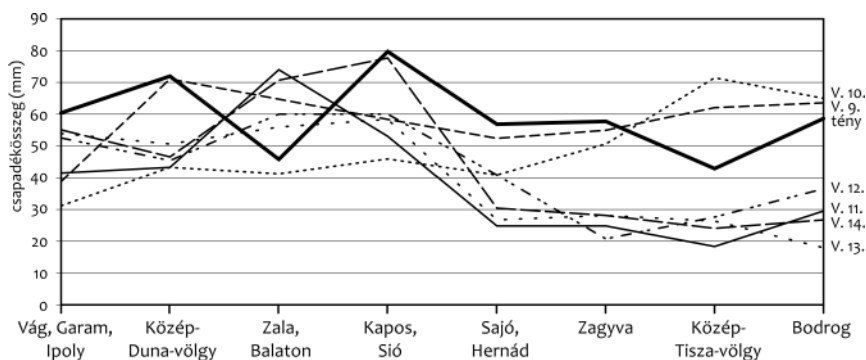
A különböző nyomás- és csapadékmező-előrejelzések a ciklon kialakulása előtt már négyöt nappal meglepően egyöntetűen és viszonylag stabilan számoltak a mediterrán ciklon megjelenésével és jelentős csapadékaival. Természetesen a csapadék maximális tengelyének megadásában mutatkoztak eltérések, hiszen a ciklon pályájának igen kis módosulása csapadék mennyiségének egy adott területen való akár jelentős megváltozását is okozhatja, de a nagy csapadék, a dunántúli viharos szél mindegyik futtatásban szerepelt.



4. ábra • A május 16. 00 UTC-s időjárási helyzet sematikus képe

A mennyiségi csapadék-előrejelzésektől természetesen teljesen pontos egyezést nem várhatunk el. Az ECMWF-modellnek a vízgyűjtőkre vonatkozó, a vízügyi ágazatoknak naponta továbbított előrejelzései már a május 9. 12 UTC-s anyagból jelentős mennyiséggel számoltak több vízgyűjtőre. A dunántúli nagy csapadékot napokon keresztül viszonylag stabilan adták az előrejelzések. A vízügyi szempontból kritikusnak tartott észak-magyaror-

szági vízgyűjtők esetén sajnos jóval nagyobb volt az ingadozás. A május 15-i csapadékot a Sajó, Hernád, Zagyva térségére a május 14. 12 UTC-s, a 16-i csapadékot pedig a május 15. 12 UTC-s futtatás adta a legjobban, ami nem meglepő, hiszen a csapadékfolyamatok természete miatt a 24 órás mennyiségi csapadék-előrejelzések a legmegbízhatóbbak. Érdekes, hogy a május 16-i csapadékot a május 9. 12 UTC-s futtatás is jobban közelítette, mint



5. ábra • A 2010. május 15–16-ra szóló csapadék-előrejelzés és a tényleges csapadékátlag

több, az eseményhez közelebbi előrejelzés. Az 5. ábrán a május 9–14. között naponta készült csapadék-előrejelzéseket láthatjuk néhány vízgyűjtőre (12 UTC-s futtatások alapján). A kétnapos előrejelzett csapadékösszegek a dunántúli területekre többnyire 40–70 mm között változtak, ami figyelemreméltó. Ha belegondolunk, hogy 20 mm feletti napi csapadékátlag az esetek elenyésző százalékában fordul elő, akkor a napokon keresztül stabilan prognosztizált 40 mm feletti előrejelzésnek

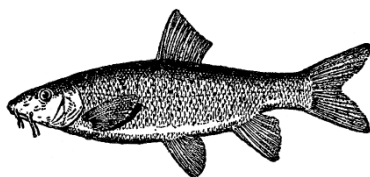
nagy a jelentősége. A tiszai területekre előrejelzett kisebb csapadékmennyiségek okát valószínűleg abban is kereshetjük, hogy a modell az orográfia hatását alábecsülte. Az ECMWF május 14. 00 UTC-s futtatása alapján előállított összegzett (78 órás időtartamra szóló) csapadékmező a vízgyűjtők nagyobb részén már szép egyezést mutat a ténylegessel.

Kulcsszavak: *előzmények, numerikus modellek, ensemble előrejelzések, esettanulmányok*

IRODALOM

- Bodolainé Jakus Emma (1976): *Mennyiségi csapadék-előrejelzés a Duna és a Tisza vízgyűjtő területére a csapadékok létrehozó folyamatok találkozási modellje alapján*. Az OVH számára benyújtott kutatási jelentés. Kézirat. OMSZ Könyvtár
- Bodolainé Jakus Emma (1977): *A találkozási modellel előrejelzett csapadékmennyiség módosítása konvekciós paraméterrel*. Az OVH számára benyújtott kutatási jelentés. Kézirat. OMSZ Könyvtár
- Bodolainé Jakus Emma (1983): *Árhullámok szinoptikai feltételei a Duna és a Tisza vízgyűjtő területén*. OMSZ Hivatalos Kiadványai LVI. Budapest
- Bodolainé Jakus Emma (1985): *A sűrűlési réteg vertikális vízgőzátvitelének hatása a csapadékmennyiség eloszlására*. *Időjárás*. 89, 208–218.

- Bodolainé Jakus Emma – Homokiné Ujváry Katalin (1984): *A csapadékmennyiség előrejelzése az orográfikus többlet figyelembevételével*. OMSZ Kiseb Kiadványai 57. Budapest. 45.
- Bonta Imre (2010): *A rövid- és középtávú időjárás-előrejelzés gyakorlati módszertana*. 34. *Meteorológiai Tudományos Napok*. • http://www.met.hu/pages/seminars/metnapok/34.2008/10_bonta.pdf
- Ujváry Katalin (2008): 30 éves a hazai hidrológiai célú mennyiségi csapadék-előrejelzés. *Léggör*. 53, 4. • <http://www.met.hu/legkot/legkor200804.pdf>
- Ujváry Katalin (2010): *Zsófia-Angéla-ciklon csapadék-szinoptikai közelítése és előrejelezhetősége*. • <http://www.met.hu>



A VÍZ FIZIKAI KÉMIÁJA

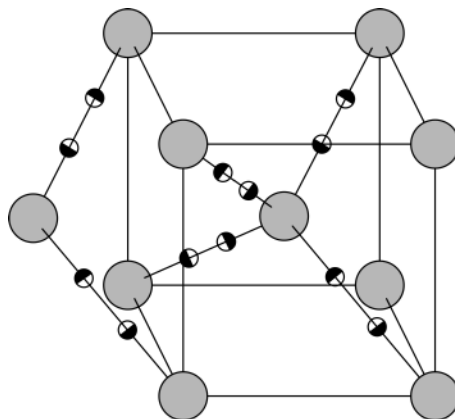
Baranyai András

egyetemi tanár, a kémiai tudomány doktora,
Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar Kémiai Intézet
bajtony@chem.elte.hu

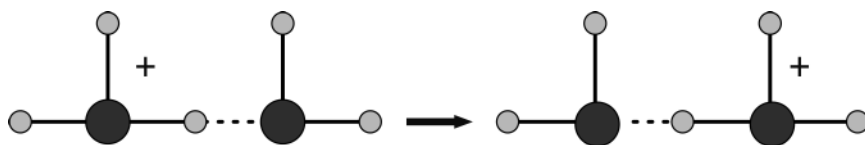
Nincs még egy kémiai anyag, amely annyira jelen lenne hétköznapi életünkben, mint a víz. Ezért nem is gondolunk arra, hogy mennyi különleges tulajdonsága van ennek az egyszerű molekulának, illetve a belőle felépülő gáz, folyékony vagy szilárd halmazállapotú fázisoknak.

A vízmolekula különlegessége néhány viszonylag egyszerű tulajdonságára vezethető vissza. A kovalens kötésben lévő hidrogén kapcsolódni képes nagy elektronegativitású atomokhoz (ilyen például a nitrogén, az oxigén és a fluor atomja). Ez a kölcsönhatás a kovalens kötésnél jóval gyengébb, de a különálló molekulák elektronfelhőjének kölcsönös polarizálhatósága miatt keletkező van der Waals-erőknél jóval erősebb. A vízben található hidrogénkötések erőssége optimális abból a szempontból, hogy nagy kohézióval tartják össze a szilárd- vagy folyadékfázisokat, mégis, szobahőmérsékleten a hidrogénkötések felszakadnak, és újraképződnek. Fontos sajáttság, hogy a molekula elektronszerkezete a tetraédes elrendezést preferálja, azaz, ha lehetséges, minden vízmolekula négy hidrogénkötésben vesz részt, kettőben mint hidrogénion, azaz protondonor, kettőben mint protonakceptor (1. ábra). Ez következik a molekula geometriájából. Gázfázisban a HOH szög $104,52^\circ$, amely alig kisebb a tetraédes elrendeződés szögénél, $109,47^\circ$ -nál.

A víz további kedvező tulajdonsága, hogy a molekula kismértékű disszociációra képes. Szobahőmérsékleten minden tízmilliomodik molekula van disszociált állapotban, azaz felszakadt O-H kötéssel. Így a víz protonok átadásával, illetve elvételével is részt vehet a hidratációban. A protonátadási folyamat több molekulára is kiterjedhet, lehetővé téve a töltésvándorlást a vízben anélkül, hogy a levált proton érdemben elhagyná molekuláris környezetét. Ezért a hidrogén-, illetve a hidroxidionok mozgékonyasága vízben egy nagyságrenddel nagyobb, mint a hasonló méretű, egységnyi töltésű ionoké (2. ábra).



1. ábra • A diagram a jég VII fázis tércentrált köbös szerkezetét mutatja. Jól látszik rajta a tökéletes tetraéder megszerkesztése.



2. ábra • A protoncsere-reakció sematikus ábrája

Vizes oldatban azok a molekulák tartózkodnak a felszín közelében, amelyek a víz szerkezetét legjobban megbontják. Érdekes, hogy a hidratált proton kevésbé illeszkedik a víz szerkezetébe, mint a hidroxidion, ezért a folyadék-, illetve jégfázisok felületén nagyobb a hidrogénionok koncentrációja. Ha képesek lennénk egy rétegni vizet lenyalni egy jégkockáról, akkor emiatt olyan savasgot éreznénk, mintha szódavizet innánk.

Meglepő, hogy ezek az egyszerűen leírható tulajdonságok milyen változatos viselkedést biztosítanak: *a víznek jelenleg tizenöt szilárd kristályos és három rendezetlen üveges fázisa ismert.* Az üveges fázisok gyors hűtés vagy összenyomás hatására keletkeznek. A részecskék egymás potenciálterében mozognak, de ha hirtelen elveszük a mozgási energiájukat, vagy összenyomás által megnöveljük a potenciálvölgyek körüli gátakat, akkor a molekulák nem tudnak kimozdulni potenciálüregükből, s így nincs lehetőségük kristályos fázisba rendeződni. A megszilárdult fázis a folyadék *inherens* szerkezetét őrzi meg. Ez minden anyagra végrehajtható, ha elegendően gyors a hűlvonás vagy az összenyomás.¹

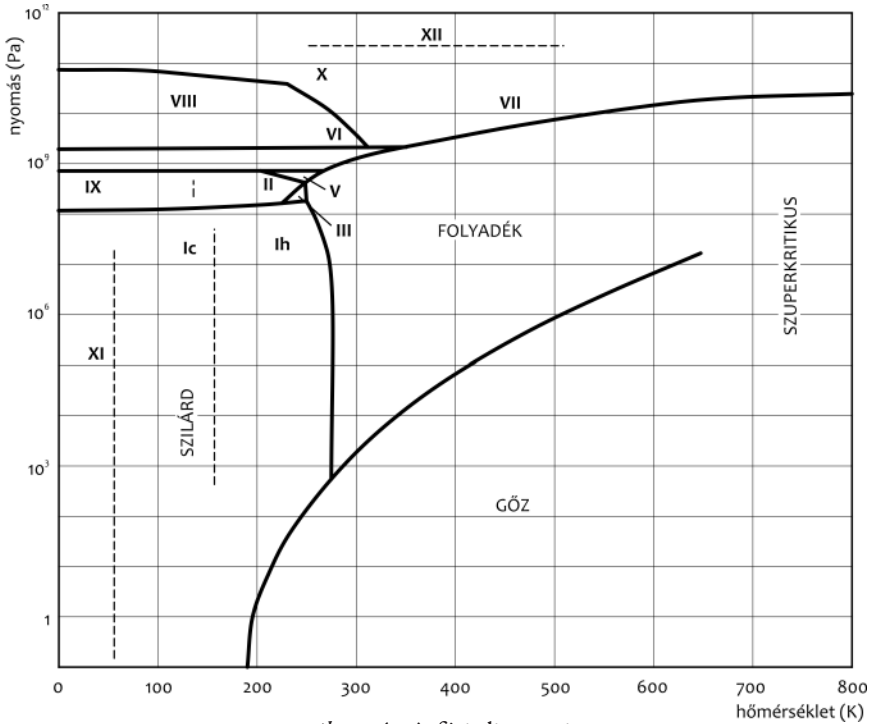
A 3. ábrán a víz fázisdiagramjának nyomás-hőmérséklet vetületét mutatjuk. A nyomás logaritmikus skálán látható. A hőmérséklet-skála az abszolút hőmérsékletet jelenti kelvinben. A vonalak fázisátarókat jelentenek. Folyadék-gőz átmenet csak a *hármasponttól*,

¹ Innen jön az elnevezés is: az olvasztott üveget nagyon lassan kell hűteni, hogy rendezett szerkezetű kvarckristály keletkezzen belőle.

ahol a jég, folyadék és gőz fázis egyszerre jelen van, a *kritikus pontig*, a folyadék-gőz fázishatár végéig figyelhető meg. A kritikus pont felett a vízmolekulák hőmozgása már olyan intenzív, hogy a vonzóerők nem tudják összetartani a folyadékállapotot, a rendszer az ún. *szuperkritikus állapotba* kerül, ami végső soron sűrű, magas hőmérsékletű és nagy nyomás alatt álló gáz.

A kristályos fázisokat azonosító római számoknak nincs kapcsolatuk a fázis szerkezetével, mindössze a kísérleti azonosítás sorrendjére utalnak. A szerkezetek azonosítása röntgen- vagy neutronszórás segítségével történt. A nagy nyomás alatt mért kristályos módosulatokat neon- vagy héliumgáz bevezetésével nyomják össze, feltételezve, hogy ezek a nemesgázok nem épülnek be a kristályok rácsaiba. A kristály szimmetriáját az *elemi cella* szerkezete jellemzi. Elemi cella a kristálynak az a legnagyobb szimmetriájú, legkisebb egysége, amelynek a tér három irányába való eltolásával a végtelen kristály reprodukálható. A 4. ábrán látható a hétköznapi, hexagonális jég szerkezete. A szűrkével jelzett négy oxigénatomból és a hozzájuk tartozó hidrogénekből eltolással a teljes kristály létrehozható.

A fázisdiagramon megkeresve a hétköznapi körülményeknek megfelelő állapotot (10⁵ Pa és ~300 K), látható, hogy innen a hőmérsékletet csökkentve csak egy jégfázis érhető el, ez az I_h-val jelölt hexagonális szimmetriájú, hétköznapi jég. Azok a csodálatos hópiheformák, amiket meg lehet figyelni,



3. ábra • A víz fázisdiagramja

	Stabil					Metastabil		
Proton rendezetlen	Ih	III	V	VII	–	Ic	IV	XII
Proton rendezett	XI	IX	XIII	XV	II	–	–	XIV

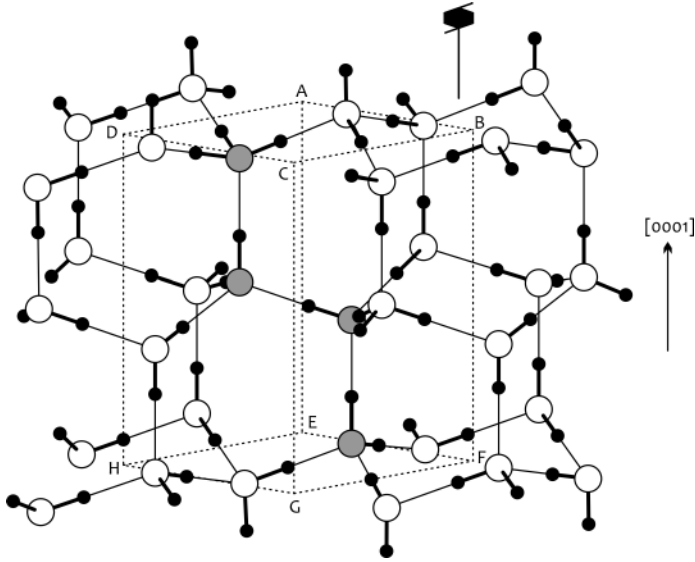
1. táblázat

mind ennek a kristálynak az aktuális körülmények közötti növekedését mutatják.

A jég kristályos fázisai az 1. táblázat szerint lehetnek stabilak vagy metastabilak.² A fázisokban a hidrogénkötés protonjai lehetnek rendezettek vagy rendezetlenek. Ennek a

² Ez azt jelenti, hogy speciális körülmények között keletkezhetnek, és huzamosabb ideig fennmaradhatnak, de az adott nyomáson és hőmérsékleten van olyan fázis, amely termodinamikai értelemben alacsonyabb potenciálon található, vagyis „normális” esetben a stabil fázis keletkezik.

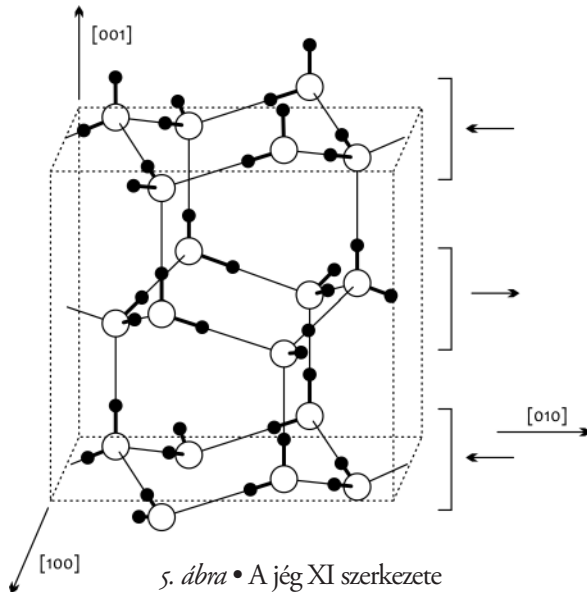
példáját a 4. és az 5. ábra szemlélteti. A 4. ábrán bemutatott Ih jégtől a XI jég annyiban különbözik, hogy az utóbbiban az azonos pozícióban elhelyezkedő hidrogénkötések egy irányba mutatnak. A jég II kivételével a protonrendezett fázisok kálium-hidroxiddal történő fagyasztás során keletkeznek. A lúg hozzáadása a fagyás kezdetén protonhiányt okoz, ami lehetővé teszi a rendeződést. A rendezett fázisok alacsony hőmérsékleten valamivel stabilabbak, mint rendezetlen párjaik.



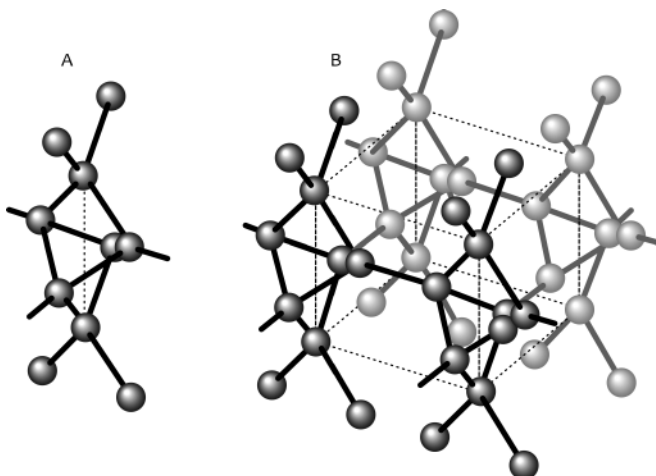
4. ábra • A hétköznapi, hexagonális jég térszerkezete. A szürkével jelölt oxigének határozzák meg az elemi cella négy molekuláját.

A táblázatban egy oszlopban vannak azok a szerkezetek, amelyek lényegében azonosak, csak a protonok rendezettségében különböznek. A táblázatból hiányzik a jég X, amely

500–600 ezer atmoszféra nyomáson keletkezik a jég VII fázisból, megtartva annak szimmetriáját. A jég X-ben már nincsenek intakt molekulák, oxigén- és hidrogénionok kristályrácsáról lehet csak beszélni.



5. ábra • A jég XI szerkezete



6. ábra • A jég VI térszerkezetének értelmezése.

A gömbök az oxigénatomokat jelölik. A hidrogének nincsenek bejelölve.

A hexagonális jég alacsony sűrűségű, nem túl kemény szerkezet, ezért a nyomás növelése újabb fázisok létrejöttéhez vezet (3. ábra). A tetraéderez elrendeződés megőrzése azonban kulcsfontosságú, hiszen ez biztosítja a legnagyobb kötési energiát. A keletkező fázisok egyre sűrűbbek, de próbálják megőrizni a tetraéderez elrendeződést. A hexagonális jég sűrűsége $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on $0,917\text{ g/cm}^3$, a jég X pedig $2,8\text{ g/cm}^3$ fölötti sűrűségeket stabil. Ennek az eredménye, hogy egészen különleges szerkezeteket képeznek.

A hexagonális jég 4. ábrán bemutatott szerkezetét felülről elképzelve szabályos hatszögeket kapunk. A kapcsolat a jég II és az Ih jég között úgy képzelhető el, hogy kiválasztjuk a hexagonális Ih gyűrűket, az eredeti síkból fel-, illetve letoljuk a szomszédosakat, elfordítjuk őket 30° -kal, és összekapcsoljuk a hidrogénkötéseket. Ez a szerkezet $1,16\text{ g/cm}^3$ körüli sűrűséget ad. A további szerkezetek egyre bonyolultabban magyarázhatók el. A jég III esetében öt tagból áll a gyűrű, a jég IV esetében tizennégy, a jég V esetében

pedig már huszonnyolc molekulát tartalmaz az elemi cella. A jég V módosulatban már nem is ekvivalens a vízmolekulák helyzete, a hidrogénkötések szögei is változnak. A jég VI forma 6. ábrán látható vetületének sajátja, hogy a hidrogénkötések már nem tetraéderez ($109,47^{\circ}$), hanem 60° -os szöget zárnak be. Az Ih esetében egy vízmolekulát mint egy tetraéder középpontját tekinthetjük, amelyből a tetraéder négy csúcsa felé működtek a hidrogénkötések. A jég VI esetében a molekulák csak a tetraéderek csúcsán vannak. Ez az utolsó fázis, ahol még nincsenek ún. kontakt párok, azaz olyan vízmolekula-szomszédok, amelyeknél az oxigén–oxigén távolság azonos a hidrogénkötésben lévő és nem lévő szomszédokra is.

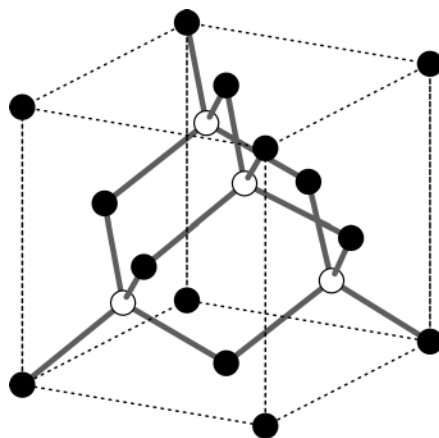
A jég VII nagyon nagy nyomásokon stabil. Itt már az anyag sűrű ($1,4\text{--}2,8\text{ g/cm}^3$), és ahogyan az 1. ábra mutatja, a kocka közepén elhelyezkedő vízmolekula szabályos tetraéderez hidrogénkötésekkel kapcsolódik négy szomszédjához. Van azonban további négy, kölcsönhatási szempontból előnytelen

kontakt molekula is.³ Ha összehasonlítjuk a jég VII szerkezetét a szintén köbös szimmetriájú Ic módosulatával (7. ábra), akkor látható, hogy utóbbiban az üres gömbként jelölt oxigénatomok a nyolc kis kockából csak minden másodikban fordulnak elő, és ugyanaz a kapcsolódási viszonyuk, mint a hexagonális jégé. Nem véletlenül, az Ic módosulat az Ih metastabil párja, a sűrűségük is közel azonos.

A jég kristályos módosulatainak sokfélesége is jól mutatja a víz rendkívül változatos viselkedését. Ez a rendkívüliség azonban a víz szinte minden tulajdonságában jelen van. Ha egy „rendesen” viselkedő analóggal, a metánnal vetjük össze, akkor több mint hatvan tulajdonságáról mondhatjuk el, hogy anomális. A „normális” viselkedésű anyagokban ugyanis a tulajdonságok a hőmérséklet vagy a nyomás függvényében monoton csökkennek, vagy nőnek, szemben a víz számos szélsőértéket (maximumot vagy minimumot) mutató viselkedésével. Közismert a két legszembetűnőbb sűrűséganomália: a víz 4 °C-on a legsűrűbb, és a fagyáskor keletkező kristályos fázis, a hexagonális jég sűrűsége jóval kisebb, mint a vízé. (Ezért tud kitelelni a tavak élővilága.)

A további anomáliákra csak néhány példát említünk. Az XH_2 illetve YH_4 típusú molekulák egy atmoszférán mért olvadás- és forráspontja, valamint a kritikus hőmérsékletük a molekula atomi tömegének növekedésével általában emelkedik (például a szénoszlop esetében). Eltérő azonban a víz viselkedése. A vízre mind a három hőmérséklet drasztikusan nagyobb, mint amekkorát a molekulatömege alapján várhatnánk.

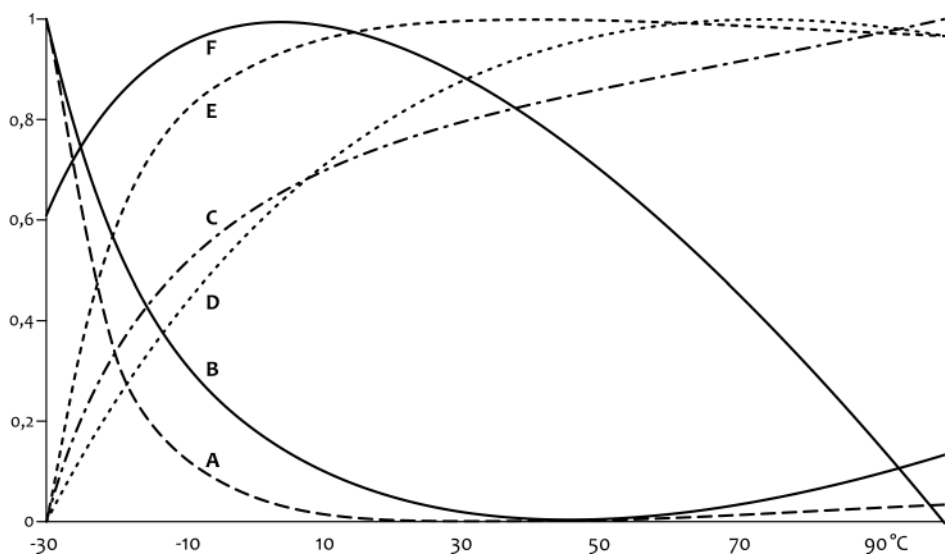
³ A félig befestett kis gömbpárok arra utalnak, hogy egy rendezetlen fázis esetén a mérés alapján a proton 50%-os valószínűséggel kapcsolódhat mindkét hidrogénkötésben lévő molekulához.



7. ábra • A jég Ic módosulatának a szerkezete olyan, mintha az oxigéneket egy gyémántrács pozícióiba helyeztük volna. A kockán belüli oxigéneket üres gömbbel jelöltük. A hidrogéneket nem mutatjuk.

A 8. ábrán egy sor tulajdonságot ábrázoltunk a hőmérséklet függvényében, kiterjesztve a skálát a víz túlhűtött tartományára is.⁴ A függőleges tengelyen nincs se mérőszám, se mértékegység, mivel különböző mennyiségeket vetünk össze, és csak a relatív változásokra vagyunk kíváncsiak. Úgy transzformáltuk a tulajdonságok számértékeit, hogy -30° és 100 °C között a legmagasabb érték 1, a legalacsonyabb pedig 0 legyen. A vékony, folytonos vonal (F-jelű görbe) jelzi a víz sűrűségének változását. Jól megfigyelhető a 4 °C-nál tapasztalt maximum. Valójában 0 és 100 °C között a víz sűrűségének változása mérsékelt, az ebben az ábrázolásban egynek látszó különbség mindössze ~4%, ami igen előnyös a mindennapi életben (például hőcserélők, főzés). Az A-val jelölt szaggatott görbe jelzi

⁴ A folyadékok túlhűthetők, ha megakadályozzuk a kristálygócok keletkezését, amelyen a kiválás elkezdődne. Ekkor a folyadék metastabil állapotban van.



8. ábra • A víz néhány tulajdonságának relatív diagramja

az izobár hőkapacitás függését.⁵ Ennek a mennyiségnek minimuma van 40 °C körül. A vastag, folytonos vonal (B görbe) az izoterm kompresszibilitás (összenyomhatóság) relatív viselkedését mutatja. A görbének minimuma van 50 °C közelében. A C-vel jelölt szaggatott görbe a hőtágulást ábrázolja, ami ebben az ábrázolásban telítési görbe szerint viselkedik. A vastag pontozott vonal (D görbe) a hangsebesség maximumát jelzi 70–80 °C környékén. A vastag szaggatott vonal (E görbe) a viszkozitásnak a nyomással való változását mutatja.⁶ Ez a görbe telítési jellegű.

A fentiekén túlmenően lényeges, hogy a víznek nagy a *hőkapacitása*, ami stabilizálja a testhőmérsékletet, továbbá nagy a dielektromos állandója, ami erőteljesen árnyékolja a

szervezetben lévő sok-sok ion hosszú távú kölcsönhatását. Enélkül a töltések közötti távolra ható erő mindenképpen a lokális és érzékeny molekuláris történések gátja lenne.

E néhány példából is látható, hogy a víz számos tulajdonsága különleges karaktert kölcsönöz ennek az anyagnak. A legújabb elmélet szerint a víz üveges fázisainak a tanulmányozása értelmezhetővé teszi ezeket a szélsőértékeket. A feltevés szerint a víznek *túlhűtött állapotban* van egy további kritikus pontja, ahol két folyadékfázis van egyensúlyban. Mivel a feltevés szerinti körülmények között (–(90–50) °C és 2000–3400 atm) a víz nem állítható elő, a 0,94 g/cm³ sűrűségű és az 1,17 g/cm³ sűrűségű üveges fázisok keletkezési helyében látják a bizonyítékot. Az üvegek ugyanis a túlhűtött víz inherens szerkezetét mutatják, tehát a második kritikus pont helye az üvegek keletkezési tartományából megállapítható. Az elméletnek nemcsak az az érdekessége, hogy a második kritikus pontig húzott görbék mintegy értelmeznék

⁵ A hőkapacitás azt méri, hogy egységnyi hőmérséklet-emelkedéshez mennyi hőt kell közölni a rendszerrel.

⁶ Viskozitás a folyadékok vagy gázok ellenállása nyírófeszültséggel szemben. Nem keverendő össze a sűrűséggel. A méz például nem nagyon sűrű, folyása mégis nagyon viszkozus a vízhez képest.

a sok, most speciálisnak tűnő viselkedést, hanem maga az a feltételezés is, hogy egyetlen kémiai anyagnak folyadékállapotban van folyadék–folyadék egyensúlya. A kémia eddig ilyen példával még nem találkozott, egy adott hőmérsékleten és nyomáson minden egykomponensű folyadék egyetlen fázist alkot.

Bár a vízről nagyon sok kísérleti információval rendelkezünk, még mindig vannak megválaszolatlan kérdések. A víz szerkezetéről készült neutron-, illetve röntgenszórás kísérletek alapján csak O-O, O-H és H-H pártávolság statisztikák ismeretesek elég nagy bizonytalansággal. Nem ismert a molekulák folyadékfázison belüli dipóluselozlása és polarizálhatósága.

Nélkülözhetetlenek azok az elméleti módszerek, amelyek kísérleteket tudnak kiváltani. A kvantumkémiai programok – egy ilyen kis

molekulára – már nagy pontossággal számítják a molekula gáz állapotú energiaszintjeinek értékeit kísérletileg hozzáférhetetlen hőmérséklet-tartományokban is. A klasszikus mechanikán és elektrosztatikán alapuló modellezési eljárások egyre pontosabban írják le a vizes molekulák halmazainak viselkedését. Megfelelő paraméterezéssel a polarizálható molekulák a híg gőztől a nagynyomású jégfázisokig adnak igen jó közelítéseket. A modellezés nemcsak a víz tulajdonságainak megértése szempontjából fontos, de lehetővé teszi, hogy a molekula viselkedésének jóslása változatos körülmények (biomolekulák, ásványok) között is megbízható legyen. Így bonyolult rendszerek viselkedése is érthető lesz.

Kulcsszavak: *víz, jég, fázisdiagram, anomális viselkedés, második kritikus pont*



A NEHÉZVÍZ

Sükösd Csaba

a fizikai tudomány kandidátusa, egyetemi docens,
BME Nukleáris Technikai Intézet Nukleáris Technika Tanszék
sukosd@reak.bme.hu

A mindössze 80 éve felfedezett nehézvíz a tudományos és műszaki élet sok területén forradalmi változásokat okozott, és bármilyen kis hányadban fordul is elő a természetes vizekben, mégis nagyban hozzájárul világunk alakításához.

Felfedezése

A nehézvíz története szorosan összekapcsolódik a nehézhidrogén – deutérium – felfedezésével. A történet száz éve, 1911-ben kezdődött, amikor *Ernest Rutherford* munkatársa, *Frederic Soddy* bevezette az *izotóp* kifejezést azoknak az elemeknek a jelölésére, amelyeknek azonosak a kémiai sajátosságaik, de különböző a tömegszámuk. Akkoriban vetődött föl, hogy a víz – mint mindenütt könnyen hozzáférhető anyag – megfelelő lenne szabványosításra, ezért 1913-ban *Arthur Lamb* és *Richard Lee* olyan módszert dolgoztak ki, amellyel a víz sűrűségét nagy (200 ppb, 200 milliárdod rész) pontossággal meg tudták határozni (Lamb – Lee, 1913). A különböző helyekről származó vízminták sűrűsége azonban a mérési hibánál jóval nagyobb – akár 800 ppb –, szignifikáns eltérést is mutatott. A víz sűrűségét standardként használó koncepciót végül fel kellett adni. Ugyanakkor észrevétlenül elmentek a nehézvíz – és a nehézhidrogén – felfedezése mellett, mert nem keresték tovább a sűrűségeltérések igazi okát.

A következő években mind több elem izotópját fedezték fel tömegspektroszkópiai módszerekkel. Az atomi tömegegységnek az oxigén atomtömegének 1/16 részét választották. 1929-ben azonban *William Giauque* és *Herrick Johnston* felfedezte az oxigén ^{17}O és ^{18}O izotópját. 1931-ben *Raymond T. Birge* és *Donald H. Menzel* rámutattak, hogy az ^{17}O és ^{18}O jelenléte miatt a tömegspektroszkópiai és a kémiai módszerekkel történt hidrogéntömeg-méréseknek ellentmondásban kellene lenniük (Birge – Menzel, 1931). A kémiai méréseknél ugyanis a természetes oxigén tömegét vették 16 egységnek, míg a tömegspektroszkópiai méréseknél az ^{16}O izotópét. Ugyanakkor a hidrogén kémiai módszerekkel meghatározott tömege $1,00777 \pm 0,00002$ volt, ami megdöbbentően közel esett Francis Aston tömegspektroszkópiai értékéhez ($1,00778 \pm 0,00015$). Ez a jó egyezés csak úgy magyarázható, ha az oxigén nehezebb izotópjainak a jelenlétét a hidrogén nehezebb izotópjainak jelenléte kompenzálja. Számításaik szerint a ^2H előfordulási gyakoriságának a könnyű, ^1H izotóphoz 1:4500 körül kell lennie ahhoz, hogy ez az egyetlen nehezebb izotóp kompenzálni tudja a nehezebb oxigénizotópok okozta eltérést. Ugyanebben az évben *Harold Urey* már táblázatban foglalta össze az ismert és a „hiányzó” izotópokat. A táblázatbeli hézagok alapján következtetett a ^2H , ^3H és

³He izotópok létezésére.

Urey és George Murphy keresni kezdték a ²H vonalát a természetes hidrogén spektrumában. Az energiaszintekben az atommag-elektron rendszer redukált tömege szerepel. A kettő aránya:

$$\left(\frac{m_e \cdot m_p}{m_e + m_p} \right) \approx +m_e = \frac{m_e}{2m_p} = 1 + 2.74 \cdot 10^{-4} \quad (1)$$

$$\left(\frac{m_e \cdot 2m_p}{m_e + 2m_p} \right)$$

Itt m_e az elektron, m_p pedig a proton tömegét jelenti. Ez az eltérés mindössze 1,8 Å-öt jelent a hidrogén 6565 Å-ös Balmer-alfa vonalánál. A mért spektrumban azonban csak nagy jóindulattal lehetett volna látni a várt vonalat, ezért Urey és Murphy elhatározták, hogy folyékony hidrogén desztillációjával megpróbálják feldúsítani a nehezebb izotópot, azt remélve, hogy a könnyebb izotóp valamivel hamarabb elpárolog, és így a maradékban feldúsul a nehezebb izotóp. A szerencse sem szegődött melléjük, mert Ferdinand Brickwedde, aki a részükre a mintát előkészítette, „nagyon tiszta” hidrogént akart adni a kísérletekhez, és elektrolízissel előállított hidrogénből készítette a mintát – nem tudván, hogy az elektrolízis az egyik legjobb módszer a két hidrogénizotóp szétválasztására. Emiatt azonban a Brickwedde által készített minta deutériumban erősen „szegényített” volt. Ám amikor a „hibát” felfedezték, és rájöttek arra, hogy az elektrolízissel a két izotóp jól elkülöníthető egymástól, a deutérium spektrumvonala előbukkant (Urey et al., 1932), és hamarosan az izotóparányt is meghatározták: 1:6500, ami nagyon közel van a ma elfogadott értékhez. Nem sokkal később a felfedezett elektrolízis módszert használva előállították az első nehésvízmintákat (Washburn – Urey, 1932; Lewis, 1933; Lewis – MacDonald, 1933).

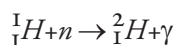
Történeti érdekesség: Urey-nak problémát okozott anyagi támogatást szereznie arra, hogy az Amerikai Fizikai Társaság 1931-es ülésére Tulane-ba utazzon és bemutassa tudományos eredményeit. Két évvel később pedig megkapta a kémiai Nobel-díjat.

A tudománytörténet fintora, hogy 1935-ben Aston hibát fedezett fel a hidrogén tömegére vonatkozó méréseiben (Aston, 1935). Az új tömegspektroszkópiai mérési eredmény – a mérési hibán belül – tökéletesen összhangban lett volna a kémiai eredményekkel, a deutérium nélkül is! A korábbi hibás mérési eredmény nélkül a nehézhidrogén-izotópok tovább maradtak volna rejtve. De Aston későn „lépett vissza”: a deutériumot addigra már felfedezték.

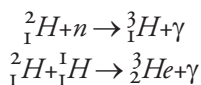
A deutérium eredete és gyakorisága

Természetesen két deutériumatom is alkothat molekulát (D₂), ám ennél sokkal gyakoribb az, hogy egy deutériumatom egy könnyűhidrogénnel egyesül: HD. Egy olyan szobahőmérsékletű gázban, amelyben a deutériumatomok aránya 50%, a gázmolekulák kb. 50%-a HD, 25%-a H₂, és 25%-a D₂ formájában lenne jelen, mivel a kémiai kötés energiájában az izotópeffektus miatt meglévő kis különbség ezen a hőmérsékleten elhanyagolható, és így a „találati valószínűség” szabja meg a molekula összetételét.

A deutérium eredetének megmagyarázása régóta tudományos viták tárgya. A problémát az okozza, hogy azok a magfizikai reakciók, amelyek a deutérium létrejöttét megmagyaráznák, a deutérium szinte azonnali eltűnéséért is felelősek. Az egyik legnyilvánvalóbb ilyen reakció a proton és a neutron (*n*) egyesülése:



A proton és a neutron egyesülésekor fel szabaduló $2,2$ MeV kötési energia gammasugárzás formájában szabadul fel. Ez a reakció nyilván olyan környezetben mehet végbe, ahol protonok és neutronok is vannak. Az ősrobbanás modellje szerint az univerzum születésekor volt olyan rövid korszak, amelyben a nukleonok már összeálltak – azaz voltak protonok és neutronok –, és így a protonok és neutronok egyesülése is beindulhatott. Ilyen környezetben azonban a deutérium szinte azonnal el is tűnik egy újabb neutronnal vagy protonnal egyesülve:

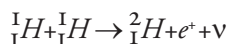


Sőt, a reakciólánc tovább folytatódik, míg végül a neutronok legnagyobb része ${}^4\text{He}$ formájában talál menedéket.

Richard Epstein és munkatársai (1976) szerint a deutérium léte és az Univerzumban megfigyelt koncentrációja az egyik döntő bizonyíték az Univerzum ősrobbanásban történt eredetére. A jelenleg megfigyelt koncentráció csak olyan körülmények között alakulhatott ki, amikor az anyagsűrűségben és a hőmérsékletben bekövetkezett gyors változások miatt a létrejött deutérium-atommagok egy részének már nem volt lehetősége a fenti reakciókkal tovább fuzionálni. Ilyen gyors változások a jelenlegi modelljeink szerint csak közvetlenül az ősrobbanás után uralkodtak. Akkor ugyanis az Univerzum gyors tágulása hirtelen annyira lehűtötte a forró anyagot, hogy a héliummá történő fúzió már nem mehetett végbe; az atommagba be nem fogódott neutronok pedig 614 másodperces felezési idővel protonná, elektronná és antineutrínóvá bomlottak. Az univerzum első néhány percében zajlott le a könnyű elemek egy részének szintézise – köztük a

deutériumé is. Ennek következtében már röviddel az ősrobbanás után kialakult az Univerzum kezdeti anyagösszetétele. A modellek szerint a deutérium végső koncentrációja az akkori folyamatok nagyon fontos mutatója, mert keletkezése és eltűnése függ a körülményektől (sűrűség, hőmérséklet stb.).

A csillagokban, így Napunkban sincsenek szabad neutronok, ezért ott csak a gyenge kölcsönhatás segítségével keletkezhet deutérium a fúziós folyamat kezdő lépésében:



Ám a Napban sem „él” sokáig a deutérium, hiszen elegendően magas a hőmérséklet a fúzióhoz, ezért szinte azonnal ${}^3\text{He}$ -maggá egyesül egy protonnal. A csillagok a fúzió során jobban „fogyasztják” a deuteronokat, mint termelik.

A jelenleg leginkább elfogadott álláspont szerint az Univerzumban megfigyelt deutériumkoncentráció az ősrobbanáskor alakult ki, azóta lényegében változatlan, kivéve a csillagok deutériumfogyasztása miatt bekövetkezett kis változást.

Külön figyelmet érdemel az a tény, hogy földi környezetben lényegesen más a deutérium aránya, mint az univerzumbeli átlag. A Földön minden deutériumatomra kb. 6400 könnyűhidrogén-atom jut. A deutérium „bedúsulásának” mechanizmusa a kis tömegű bolygókban – ilyen a Föld is – még ma sem teljesen tisztázott. A dúsulás egyik oka lehet az, hogy a kis tömegű égitestek gyenge gravitációja az égitest kialakulásakor nem tudta megtartani a könnyűhidrogén-molekulákat. A könnyű molekulák hőmozgásának sebessége meghaladta az első kozmikus sebességet, ezért legnagyobb részük megszökött az égitestről. A földi atmoszférában sem találunk hidrogént gáz halmazállapotban, a földi

hidrogén vízmolekulákban vagy egyéb vegyületekben van kötve. Ez az oka annak is, hogy a Földön a hidrogén gyakorisága sok nagyságrenddel kisebb, mint az univerzumban. A kétszer akkora tömegű – s ezért lassúbb – D_2 molekuláknak (vagy a másfélszer akkora tömegű HD molekuláknak) azonban csak kisebb hányada szökött meg a Föld vonzasköréből, így a deutérium aránya a könnyűhidrogénéhez képest nőtt. Ez a folyamat biztosan hozzájárult ahhoz, hogy a deutérium a Földön gyakoribb, mint általában az Univerzumban. Azonban a kvantitatív modellek szerint egyedül ez a folyamat nem tudja megmagyarázni a megfigyelt dúsulást.

A nehézvíz biológiai hatása

A kémiai elemek nehezebb izotópjainak általában alig észrevehető hatásuk van az illető elem metabolizmusára, mivel az atomtömeg relatív megváltozása általában kicsi. A kémiai kötések energiájában a kvantummechanika szerint az atommag és az elektronok redukált tömege szerepel.

$$\bar{m} = \frac{m_N m_e}{m_N + m_e} = m_e \left(\frac{1}{1 + \frac{m_e}{m_N}} \right) \quad (2)$$

Itt m_e az elektron tömege, m_N pedig az atommagé. Ennek a relatív megváltozására kapjuk:

$$\frac{\Delta \bar{m}}{\bar{m}} \approx \left(\frac{m_e}{m_N} \right) \cdot \left(\frac{\Delta m}{m_N} \right) \quad (3)$$

Látható, hogy minél nagyobb egy atommag tömege (m_N), annál kisebb lesz az első zárójel értéke, és természetesen annál kisebb lesz a második zárójel értéke is (azonos Δm_N esetén). Emiatt használhatók a nehezebb elemek radioaktív izotópjai jó nyomjelzőként. A nehézhidrogén (deutérium) esetében

azonban a helyzet egészen más. Ez az egyetlen olyan elem, ahol az izotópeffektus lényeges szerepet kap, mivel itt a deutérium tömege kétszerese a könnyű izotópénak, azaz a

$$\frac{\Delta \bar{m}}{\bar{m}} \approx 1, \text{ és az } \left(\frac{m_e}{m_N} \right)$$

hányados is a lehető legnagyobb.

A biológiai rendszerek általában igen érzékenyek a víz – mint oldószer – egyes fizikai, fiziko-kémiai jellemzőire. Ezért a nehézhidrogén fenti izotópeffektusához hozzájárul még a biológiai rendszereknél a nehézvíz egyes oldószer-tulajdonságainak a megváltozása is.

Bizonyított tény, hogy a nehézvíz szignifikánsan meghosszabbítja az élőlények napi életritmusát – szinte lelassítja a biológiai órát. Ezt a hatást egysejtűeknél éppúgy megfigyelték, mint növényeknél, rovaroknál, madaraknál és rágcsálóknál. Ma sem tisztázott azonban, hogy a hatást milyen mechanizmussal fejti ki (Pittendrigh et al., 1973).

Egy másik igen fontos különbség, hogy a deuterizált hidrogénhidak valamivel erősebbek, mint a könnyűhidrogénnel alkotott kötések (Katz, 2008). A biológiai makromolekulák működésében, feltekeredésében, harmadlagos struktúrájuk kialakításában viszont a hidrogénhidaknak döntő szerepük van.

Az eukarióta szervezetek mitotikus sejtosztódásában jelentős szerepet játszó „húzófonalakat” (mitotikus osztódási orsókat) a nehézvíz jelenléte különösen megzavarja. A kizárólag nehézvízzel locsolt növények növekedése megszűnik. A magok nem csíráznak ki, mivel a nehézvíz megakadályozza az eukarióta sejtek osztódását. Prokarióta szervezeteknél – például baktériumoknál – a mitotikus problémák nem lépnek fel: növekedni és szaporodni képesek teljesen deuterizált környezetben is, miközben a fehérjéik és a DNS-

ük hidrogénatomjait teljes egészében deutériumatomokra cserélik (Richet et al. 1977).

Bár egyértelműen bizonyított, hogy az eukarióta szervezetekre a nehézvíz nagy dózissal ártalmasak – akár halálosak is – lehetnek, ugyanakkor az öregedés biológiáját kutató moszkvai intézet kísérletek során úgy találta, hogy a nehézvíz kis dózissal akár 30%-kal is megnövelhetik a gyümölcslegyek várható élettartamát (Shchepinov, 2007).

Állatkísérletek

Egerek, patkányok és kutyákon végzett kísérletek (Kushner et al. 1999) bizonyítják, hogy 25%-ot meghaladó mértékű deuterezáció gyakran visszafordíthatatlan sterilitást okoz. Emlősök elpusztulnak, ha a testben lévő víz fele nehézvízre cserélődik le (ez bekövetkezik, ha kb. egy hétig csak nehézvizet isznak). A deutériummal mérgezett emlősök csontvelő-elégtelenségben (vérzékenység, fertőzések), valamint bélrendszeri zavarokban (hasmenés, folyadékvesztés) halnak meg. A halál bekövetkezésének módja nagyon hasonló, mint a sejtmérgezésben (például kemoterápia) vagy akut sugárbetegségben elhunytak esetében (annak ellenére, hogy maga a deutérium nem bocsát ki radioaktív sugárzást, hiszen stabil). Ennek az az oka, hogy a deutérium általában meggátolja a sejtosztódást. A nehézvíz erősebb hatást fejt ki a rosszindulatú sejtekre, mint az egészségesekre, emiatt – elvileg – citosztatikumként is használható lenne, ám a terápiás használatához szükséges dózissal túl nagyok, és ezért az egészséges sejtek pusztulása is túl erős.

Egyes sugárkezelési kísérletekben (bőrbe-fogásos neutronterápia) is használnak nehézvizet, azonban itt a nehézvíz biológiai hatása nem közvetlen, hanem a terápiában használt neutronok hatékonyságát növeli azok lelassí-

tása által (Kushner et al. 1999). A nehézvíz ugyanis az egyik legkiválóbb neutronlassító (moderátor) anyag (lásd később).

Hatása emberekre

Az emberi test víztartalma kb. 70 tömegszázalék, ezért nagy mennyiségű nehézvizet kellene bevinni a testben lévő víz felének-nyegyedének a lecseréléséhez. Emiatt nehézvíz-mérgezési baleset vagy akár szándékos mérgezés is gyakorlatilag elhanyagolható valószínűségű. A mérgezéshez sok napon keresztül kellene folyamatosan nehézvizet fogyasztani, normál (könnyű-) víz bevitelle nélkül. Miután átlagosan minden 6400 hidrogénatomra jut egy deutérium, egy 50 kg-os emberben annyi deutériumatom van, mint kb. 5,5 g nehézvízben. Úgyhogy kb. ennyi tiszta nehézvíz bevitelle kétszerezi meg a testben természetes körülmények között is található deutériumatomok számát. Egyes anyagcserezavarok vizsgálatánál néhány grammnyi nehézvizet rutinszerűen itatnak betegekkel. Ekkora mennyiségnek még nincs mellékhatása. Ilyen szempontból a nehézvíz kevésbé veszélyes, mint az alkohol.

A nehézvíz előállítása

Az igen alacsony deutériumkoncentráció miatt a földi vizekben a nehézvíz csaknem kizárólag HDO-molekulák formájában van jelen. Átlagosan minden 3200. vízmolekula tartalmaz egy deutériumatomot is.

A nehézvíz bedúsítására négy fő módszert használnak. Ezek hatékonysága különbözőképpen függ a kiindulási anyag koncentrációjától, ezért általában kombinálják a módszereket.

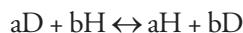
Víz elektrolízise • Lúgos közegben (NaOH jelenlétében) a könnyűhidrogén-ionok valamivel hamarabb leválnak elektrolíziskor,

mint a deutériumionok, ezért megfelelő paraméterek beállításával a könnyűvíz elbontható, és a nehézvíz ott marad. Természetes vizekből ilyen módon nehézvizet előállítani csak több fokozatban lehet. Energiaigényessége miatt ezt a módszert ma már inkább csak egyéb módszerekkel kombinálva, a dúsítás végső lépéseiben – amikor már csak kevés könnyűvizet kell eltávolítani – használják. Az első nehézvízgyártó üzem – a norvégiai Norsk Hydro – azonban ilyen módon állított elő nehézvizet 1936-tól kezdve.

Folyékony hidrogén vagy víz desztillálása • Természetes vizekből vákuumdesztillációval közvetlenül is előállítható nehézvíz, ám ipari méretekben jobb hatásfokú termelés érhető el, ha először hidrogéngázt dúsítunk fel deutériumban. A frakcionált desztillációhoz felhasználható akár az, hogy a nehézvíz forráspontja magasabb (101,4 °C), mint a könnyűvízé (100 °C), akár az, hogy a folyékony deutérium forráspontja magasabb (-249,7 °C), mint a folyékony hidrogéné (-252,5 °C). A cseppfolyós hidrogén desztillálása valamivel jobb hatásfokú, ott azonban a folyékony hidrogén kezelése jelent technológiai kihívást. Nagy mennyiségű nehézvíz előállításának utolsó lépcsői általában frakcionált desztillációval történnek. A természetes vízben található igen kis mennyiségű nehézvíz, valamint a víz magas forráshője a közvetlen frakcionált desztillációt nagyon energiaigényessé teszi, mivel a víz legnagyobb részét el kell forralni ahhoz, hogy a nehézvíz bedúsuljon. Ezért a szétválasztás kezdeti lépéseiben más – kevésbé energiaigényes – kémiai folyamatokat szoktak használni.

A következő két módszer izotópcserén alapul, ezért célszerű előbb egy általános ismertetés erről. Legyen aH és bH két különböző, hidrogéntartalmú vegyület (a „H” betű

jelzi a hidrogént). Mindkét vegyületben a H-atomok valamekkora hányada nehézhidrogén (deutérium, D). Tekintsük a következő izotópcserre-folyamatot:

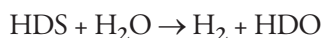


Erre vonatkozóan a „dúsítási paraméter”, azaz a két hidrogéntartalmú reagensben lévő deutériumatomok hányadainak aránya a következő:

$$f_{a \rightarrow b} = \frac{(D/H)_b}{(D/H)_a}$$

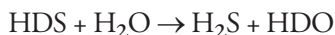
A termodinamikai egyensúly beállta után az egyensúlyi dúsítási paraméter azt fejezi ki, hogy a deutériumatomok mennyire vándoroltak át az „a” vegyületből a „b” vegyületbe. Nyilvánvaló, hogy ha $f > 1$, akkor a „b” vegyület dúsul be deutériumban, $f < 1$ esetén pedig az „a” vegyület. Az egyensúlyi dúsítási paraméter általában függ a hőmérséklettől is (Richet et al., 1977). Ezek után tekintsük át a további két nehézvízdúsítási módszert.

A Trail-módszer • hidrogéngáz és folyékony víz közötti – nikkelkatalizátorral elősegített – izotópcserén alapul. Nevét onnan kapta, hogy az eljárást először a Trailben (Brit Columbia, Kanada) épült nehézvízgyártó üzemben alkalmazták. Az izotópcserre-reakció:



Itt az egyensúlyi dúsítási paraméter akár a 3–4-es értéket is elérheti, azaz izotópegyensúlyban a víz fázis 3–4-szer olyan koncentrációban tartalmaz deutériumot, mint a gáz fázis. A Trail-módszert sok lépcsőben kell alkalmazni ahhoz, hogy megfelelően dúsított nehézvizet kapjunk. Az egyes lépcsőfokokat magas tornyokba építették. A Trail-eljárással bedúsított nehézvizet még vagy frakcionált desztillációval, vagy elektrolízissel kell végleges tisztaságúra alakítani.

A *GS-eljárás* • 1940-es felfedezése *Karl Hermann Geib* és *Jerome S. Spevack* nevéhez fűződik. Ezt gyakran *Girdler-Sulfid* (ugyan-csak GS) eljárásnak is nevezik, mivel ezt az eljárást használta a Girdler cég, az első nehézvízdúsító építtetője az Egyesült Államokban. Ebben az eljárásban a két hidrogéntartalmú molekula a kénhidrogén (H_2S) és a víz (H_2O). Az izotópcserereakció:



Az eljárás azon alapul, hogy különböző hőmérsékleteken a fenti reakció egyensúlya különböző irányba tolódik el. Alacsony hőmérsékleten a kénhidrogénből megy át több deutérium a vízbe, a víz feldúsul deutériumban. Magas hőmérsékleten pedig éppen fordítva: a vízből megy át több deutérium a kénhidrogén gázba.

Az ipari megvalósításban kénhidrogén gázt keringetnek két különböző (30 °C, illetve 130 °C) hőmérsékletű térrész között. A kénhidrogén felveszi a deutériumatomokat a magasabb hőmérsékletű vízből, és leadja az alacsonyabb hőmérsékletűnek, tehát tulajdonképpen a deutérium „hordozója”. Megfelelő kaszkád-kapcsolással elérhető, hogy néhány ilyen fokozattal a deutérium aránya jelentősen (15–20%) feldúsuljon. További – például atomreaktorbeli – alkalmazáshoz elegendő dúsítású nehézvizet ebből már vákuumos desztillációval, illetve elektrolízissel állítanak elő. A GS-eljárásban szereplő nagy mennyiségű kénhidrogéngáz komoly környezeti kockázatot jelent.

Nehézvízgyártás világszerte

Nagyobb mennyiségű előállítása a nukleáris láncreakció felfedezése és az atomfegyverkezési verseny kapcsán kezdődött el. 1934-ben a Norsk Hydro építette az első nehézvíz-elő-

állító üzemet Vermorkban (Norvégia), egy vízerőmű villamos energiáját használva. Az üzem kezdeti kapacitása mindössze 20 liter volt évente, de a németek Norvégia megszállása (1940. április) után a kapacitást megemelték egy tonna/évre. 1942 végén a nehézvíz-üzem elleni brit támadás még meghiúsult, ám 1943. február 27-én a szövetségesek norvég partizánok segítségével sikeres támadást hajtottak végre, súlyos csapást mérve a német nehézvíz-utánpótlásra.

A kanadai Trailben 1943-ban helyeztek üzembe egy nehézvízgyárat, amely az amerikai Manhattan-programhoz szükséges nehézvizet állította elő a róla elnevezett eljárással. Kanada máig a világ egyik legnagyobb nehézvíz-előállítója, mivel a kanadai CANDU (Canada Deuterium Uranium)-atomreaktorok nehézvizet használnak moderátorként. Az 1979-ben üzembe helyezett Bruce (Douglas Point, Ontario) Nehézvízgyár volt a világ legnagyobb ilyen létesítménye. A GS-eljárást használta, amellyel 700 tonna nehézvizet állított elő évente. Egy tonna nehézvíz előállításához 340 000 tonna tápvizet kellett elhasználni. A Bruce-nehézvízüzem telephelyén nyolc CANDU-reaktor működött, amelyek a nehézvíz előállításához szükséges ipari hő és villamos energiát szolgáltatták. A csernobili baleset hatására a kilencvenes években lecsökkent az atomerőművek iránti kereslet, és lényegesen megjavították az atomerőművi nehézvíz visszanyerési technológiáját is. Ezek miatt világszerte nagyon lecsökkent a nehézvízigény, a Bruce-üzem termelése feleslegessé vált, így az üzemet 1997-ben leállították, és leszerelték.

Nehézvizet a világon még sokfelé állítanak elő, például Argentínában, Indiában, Iránban és Romániában is. Feltehetően az atomhatalmak mindegyike állít elő nehézvizet is.

Néhány alkalmazás

Izotópos nyomjelzés • Nem sokkal a felfedezése és előállítás után, 1934-ben Hevesy György már izotópos nyomjelző gyanánt használta a nehézvizet, a víz emberi testben való körforgásának vizsgálatára. A nehézvíz nyomjelzőként való alkalmazása azóta széles körben elterjedt. Mivel a hidrogén nagyon sok szerves molekula alkotóeleme, a deutériummal való nyomjelzés sok molekula metabolizmusának vizsgálatában fontos szerepet játszik. Ilyen alkalmazás a „kettősen nyomjelzett víz” (doubly labeled water) nevű eljárás, amelynek az a lényege, hogy a vizsgált szervezetnek beadott vízmintában nemcsak a könnyűhidrogént cserélik ki deutériumatomokra – részben vagy teljesen –, hanem az oxigénatomot is ^{18}O -ra. Ezt követően bizonyos idő elteltével vizsgálják a szervezetből kiürült vízben (vizelet, izzadság) a nyomjelző atomok arányát. A szervezet energiamérlegében nagy szerepe van az oxigén metabolizmusának. Mivel az oxigén a szervezetből vízhez kötve, illetve CO_2 formájában is távozik, az energia-háztartáshoz pedig csak a CO_2 formájában történő kibocsátásnak van köze, fontos lenne a két távozási út kvantitatív szétválasztása. Erre ad lehetőséget a kettősen nyomjelzett víz. A hidrogén csak vízhez kötve távozik, ezért a kiürülés vizsgálatokor a távozó vízben a deutérium és az ^{18}O arányából meghatározható az, hogy a bevitt (jelzett) oxigén hanyadrésze távozott CO_2 formájában.

Neutronszórás • Neutronszórásos kísérletekben a neutronok az atommagokon szórnak, ezért a különböző izotópok – eltérő magfizikai tulajdonságaik miatt – különbözőképpen lépnek kölcsönhatásba a neutronokkal. Emiatt neutronszórásos kísérletekben – elsősorban biológiai minták vizsgálatánál –

fontos szerepet kap a nehézvíz, illetve a hidrogénatomok deutériumatomokra való cserélése. Esetünkben különösen érdekes, hogy míg a deuteron szórási hossza $+0,6671 \times 10^{-12}$ cm, addig a protoné $-0,3742 \times 10^{-12}$ cm. Azaz a két hidrogénizotóp szórási hossza ellenkező előjelű, ezért szórásuk nagyon különböző. Ez komplex biológiai mintákban lehetővé teszi a különböző komponensek szétválasztását a neutronszórás során. Ezt a technikát kontrasztváltoztatásnak vagy kontrasztillesztésnek hívják. Az oldószerben változtatjuk a nehézvíz (deutérium) koncentrációját, ennek következtében az egyes biológiai komponensekben is lecserélődik a protonok egy része deuteronokra. Ezáltal elérhető, hogy egyes biológiai komponensektől eredő szórás egyezzen meg az oldószertől eredő szórással, azaz az illető komponens kontrasztja „eltűnik”. Például egy DNS-t, proteineket, lipideket tartalmazó biológiai mintánál a fehérjék kontrasztja 40–45%-os nehézvíz-koncentrációjú oldatban „tűnik el”. Ilyen oldószert alkalmazva csak a DNS és a lipidek lesznek „láthatók”.

Magmágneses rezonancia (NMR) • Az NMR a molekulaszervezet-vizsgálat egyik fontos eszköze. Alapja az, hogy az atommagok mágneses momentuma a külső mágneses térhez képest különböző irányokba „állhat be”, s ez a mágneses térrel való kölcsönhatás miatt különböző energiájú állapotokat jelent. A lehetséges állapotok számát az atommag impulzusmomentuma határozza meg, az egyes állapotok közötti energiakülönbséget pedig az atommag mágneses momentuma, kémiai környezete és az alkalmazott mágneses tér. Ezen állapotok között elektromágneses gerjesztéssel az energiakülönbségnek megfelelő – általában rádiófrekvenciás – térrel átmeneteket lehet létrehozni. Ezek segítségével nemcsak a molekulában lévő – NMR-

jelet adó – atomok számáról, hanem azok kémiai környezetéről is információ nyerhető. A deuteron mind impulzusnyomatékában, mind mágneses momentumában különbözik a protontól (lásd táblázat), ezért az NMR szempontjából egészen másképpen viselkedik. Protonokra hangolt NMR-készülék számára a deuteronok láthatatlanok.

	Impulzusmomentum	Mágneses momentum
proton	$1/2 \hbar$	$1,410\ 606\ 633\ (58) \cdot 10^{-26}\ \text{J/T}$
deuteron	$1 \cdot \hbar$	$0,432\ 852\ 123\ (67) \cdot 10^{-26}\ \text{J/T}$

Biológiai molekulákban lévő protonok helyzete NMR-rel általában nehezen vizsgálható, mert az oldószerként használt vízben lévő protonok NMR jele elnyomja a molekula protonjainak a jelét. Ilyen esetekben az oldószer nehézvízre cserélése segít a vizsgálat elvégzésében, amelynek során az is nyomon követhető, hogy a molekulában lévő protonok milyen ütemben cserélődnek le az oldószerben lévő deuteronokra.

Neutrínódetektor • A legnagyobb mennyiségű nehézvizet az atomenergia-ipar használja (lásd a következő pontot). Különösen kiemelkedik Kanada, ahol a hazai felhasználásra és kereskedelmi forgalomra is gyártott CANDU-reaktorokban több tonna nehézvíz végzi a neutronok lassítását és a reaktor hűtését. Az 1986-os csernobili reaktorbaleset után az atomerőmű-építés világméretű lendülete megtorpant – a nyugati államokban szinte teljesen leállt –, és így a CANDU-reaktorokhoz már előállított és raktárakban felhalmozott rengeteg nehézvízre megszűnt az atomenergia-ipar igénye. A részecskefiziku-

sok – kihasználva ezt az időszakot – a nehézvíz egy részecskefizikai tudományos kísérletben való felhasználásával álltak elő, amelyhez megszerezték a kanadaiak támogatását is.

A Napban – több részfolyamat során – négy proton ${}^4\text{He}$ atommaggá fuzionál. A standard napmodell szerint ez a folyamat szolgáltatja a Nap energiáját. E folyamatban neutrínók keletkeznek – a különböző részfolyamatokban különböző energiával, illetve energiaeloszlással. A neutrínók parányi, semleges részecskék, és csak a gyenge kölcsönhatásban vesznek részt. A három leptoncsaládhoz egy-egy neutrínó is tartozik, külön az elektronhoz, a müonhoz és a tau-mezonhoz. A Napban elektron-neutrínók keletkeznek.

A standard napmodell elég jó becslést ad arra vonatkozólag, hogy a Naptól a Földre milyen fluxusú és energiaeloszlású elektron-neutrínóknak kellene érkezniük. Már az 1960-évektől kezdve komoly fejtörést okozott az, hogy a Nap-neutrínók észlelésére készült, s azóta is tökéletesített kísérletek jóval kevesebb neutrínót detektáltak, mint amennyit a standard napmodell jósolt.

A Nap-neutrínók rejtélyének egyik megoldását a neutrínó-oszcilláció hipotézise kínálta, amely szerint a háromféle neutrínó egymásba át tud alakulni. E modell szerint mire a Nap-neutrínók a Földet elérik, egy részük már átalakul müon- vagy tau-neutrínóvá, az elektron-neutrínók észlelésére érzékeny kísérletek pedig ezeket nem tudják detektálni.

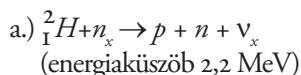
A hipotézis igazolására a 90-es években újabb, más alapelveken működő neutrínódetektorok épültek. Ezek egyike volt a kanadai Sudbury Neutrino Observatory (SNO). 1984-ben *Herb Chen* vetette fel, hogy a nehézvíz alkalmas lehet a probléma tisztázására, mivel a nehézvízben – szemben a korábban alkal-

mazott anyagokkal – olyan reakciók is végbemehetnek, amelyek különbséget tesznek a különböző neutrínók között, lehetővé téve az oszcilláció közvetlen megfigyelését. A kísérlet céljára még 1984-ben kiválasztották az egyik legmélyebben fekvő bányát, a mintegy 2 km mélyen fekvő Creighton Mine-t (Sudbury, Kanada). Ilyen mélyre semmilyen kozmikus részecske nem tud már lehatolni, csak a neutrínók. A projekt 1990-ben kapta meg a hivatalos zöld jelzést.

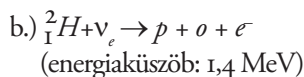
A detektor 6 m sugarú, gömb alakú, átlátó akriltartályában 1000 tonna (!) nehézvíz van (URL). A tartály körüli üreget könnyűvízzel töltötték meg, amelynek a felhajtóereje nagyrészt tehermentesíti az akriltartály tartószerkezetét, valamint árnyékolja a közet radioaktív anyagaiból esetleg jövő sugárzást.

A neutrínók érzékelése a gyenge kölcsönhatás segítségével történik. A nehézvízzel – egyedülálló módon – mérni lehet az elektron-neutrínók ν_e fluxusát és energiaeloszlását, valamint az összes neutrínó ν_x fluxusát.

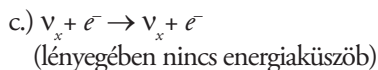
A detektorban lezajló három reakció:



A deuteron szétbontása. Ezt mindhárom fajta neutrínó meg tudja tenni. A standard napmodell szerint az SNO-detektorban naponta 30 neutronnak kellene keletkeznie.



Mivel itt egy neutron protonná és elektronná alakul, ezt a reakciót csak az elektron-neutrínó tudja létrehozni. Ez is a nehézvízre jellemző reakció, amellyel mérhető az elektron-neutrínók fluxusa. A standard napmodell szerint az SNO-detektorban naponta 30 ilyen eseménynek kellene bekövetkeznie.



Ez tulajdonképpen rugalmas szóródás elektronon, amire mindhárom neutrínó képes, bár az elektron-neutrínó kölcsönhatásának valószínűsége kb. hatszor akkora, mint a másik két neutrínóé. A standard napmodell szerint az SNO-detektorban naponta mindössze három ilyen eseménynek kellene bekövetkeznie.

A detektor vizében a nagy sebességű elektronok Cserenkov-sugárzást bocsátanak ki, a detektor körül gömbszimmetrikusan elhelyezett tízezer fotoelektron-sokszorozó ezt a sugárzást észleli.

Az a.) reakcióban nem keletkezik nagy sebességű elektron, ott a keletkezett neutronokat kell észlelni. A nehézvízben – mivel jó moderátor – a neutronok lelassulnak, termalizálódnak. A termikus neutronok észlelésére két módszert is alkalmaztak.

– 2001 júniusában kb. két tonna szupertiszta konyhasót (NaCl) oldottak a nehézvízben. A termikus neutronok nagy hatáskeresztmetszettel befogódtak a klóratommagokba, gammasugárzást bocsátva ki. A nehézvízben terjedő gammasugarak elektronokat löktek meg Compton-effektussal, a meglökött gyors elektronok Cserenkov-sugárzását pedig a fotoelektron-sokszorozókkal már mérni lehetett.

– 2003 szeptemberében kivonták a sót a nehézvízből, és 2004 elején 11 m hosszú láncokban ${}^3\text{He}$ töltésű proporcionális kamrákat „lógattak be”, összesen mintegy 800 m hosszúságban. Ezek igen jó hatásokkal detektálják a termikus neutronokat. Ezzel a NaCl-os méréseket más – közvetlenebb – neutrondetektálási módszerrel is megerősítették.

A NaCl-os első mérés után, 2001-ben adták ki az első tudományos közleményt arról, hogy sikerült igazolni a Nap-neutrínóknál is a neutrínó-oszcillációt (a légköri eredetű neutrínókra a japán Super-Kamiokande-detektor már valamivel korábban kimutatta ezt – Ahmad et al., 2001).

Atomenergetika • A nehézvíz nagy mennyiségben történő első felhasználója az atomenergetika volt. A maghasadás felfedezése csak néhány hónappal előzte meg a II. világháború kitörését. Ezért szinte azonnal nagy erővel indult meg az atomenergia makroszkopikus felszabeditásért folyó verseny. Hamarosan nyilvánvalóvá vált, hogy a rendelkezésre álló természetes urán nem alkalmas atomfegyver előállítására, mivel robbanásszerű önfenntartó láncreakcióra csak igen magas ^{235}U koncentráció mellett van esély. A két uránizotóp szétválasztása nem lehetetlen, de nagyon nehéz, sok energiát és időt igénylő folyamat, hiszen kémiai módszerek nem használhatók. Egy másik út, amely az atomreaktor megvalósításán keresztül vezetett, akkor egyszerűbbnek tűnt. Az atomreaktorban lévő neutronok egy része a ^{238}U -ba befogódva azt – két béta bomlás után – ^{239}Pu -má alakítja. A plutónium kémiaiilag könnyebben elválasztható az urántól, hiszen más a rendszáma, és magfizikai szempontból majdnem ugyanolyan jó bombakészítésre, mint a tiszta ^{235}U . (Később viszont kiderült, hogy bár a tiszta plutónium előállítása atomreaktorral valóban nem nagyon nehéz, de szerencsére plutóniumból sokkal nehezebb bombát készíteni).

Az akkor rendelkezésre álló természetes urán üzemanyaggal lényegében csak nehézvíz vagy szupertiszta grafit moderátorral lehetett önfenntartó láncreakcióra képes atomreaktor építeni. A németek – Walter Bothe kísérletei alapján – a grafitot nem is találták alkal-

masnak, ezért a hitleri Németország atomprogramját kizárólag a nehézvízre alapozták.

A moderátor azáltal segíti a láncreakciót, hogy a neutronokat termikus energiára lassítja le, a lassú neutronok pedig sokkal nagyobb valószínűséggel – a sebességükkel fordított arányban álló hatáskeresztmetszettel – hoznak létre maghasadást. Azt, hogy egy anyag milyen „jó” moderátor, lényegében három paraméter szabja meg:

- A rugalmas neutronszórás hatáskeresztmetszete (Σ_{es});
- Az átlagos logaritmikus energiavesztés (ζ), amely az egy ütközésben átlagosan átadott energiahányaddal arányos;
- A neutronelnyelés hatáskeresztmetszete (Σ_a).

Egy moderátoranyag annál jobb, minél nagyobb az első két paraméter, és minél kisebb a harmadik. A moderátor „jóságát” ezért legjobban a

$$\gamma = \frac{\zeta \cdot \Sigma_{es}}{\Sigma_a}$$

dimenzió nélküli szám fejezi ki. Az alábbi összehasonlítás néhány moderátoranyagra mutatja ezeket az értékeket.

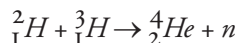
anyag	γ
nehézvíz (D_2O)	7760
grafit (C)	234
könnyűvíz (H_2O)	149
berillium (^9Be)	146

Látható, hogy a nehézvíz sokkal jobb moderátor bármely más anyagnál. Nehézvíz moderátorral több kísérleti atomreaktor működött, és működik jelenleg is a világon. Villamos energia termelésére szolgáló, nagy teljesítményű, nehézvízzel és természetes urán üzemanyaggal üzemelő atomreaktorokat Kanada fejlesztett ki. A típus neve: CANDU (CANada Deuterium Uranium). Közelünk-

ben Romániában (Cernavodă) üzemelnek ilyen atomerőművi blokkok.

A nehézzvízzel moderált rendszerek plutónium-előállítás szempontjából is különösen kedvezőek. Az ún. *konverziós faktor*, amely azt mutatja, hogy a reaktorban egységnyi elhasznált hasadóanyaggal mennyi „új” hasadóanyagot (pl. plutóniumot) lehet előállítani, a nehézzvizes reaktoroknál sokkal magasabb, mint a könnyűvízzel moderált reaktoroknál. Ezért – megfelelő reaktor konstrukció és üzemeltetési paraméterek mellett – a nehézzvizes reaktorok jó hatásfokkal lehet plutóniumtermelésre is használni. A nemzetközi közvélemény ezért kíséri megkülönböztetett figyelemmel és aggodalommal a politikailag instabil régiókban és országokban (Észak-Korea, Irán) épülő, illetve üzemelő, nehézzvízzel működő kísérleti vagy energiatermelő reaktorokat.

Fúzió • A nehézzvíz kapcsán nem maradhat említés nélkül a jövő egyik ígérete, a fúzió. A jelenlegi elképzelések szerint a jövő fúziós erőműveiben a



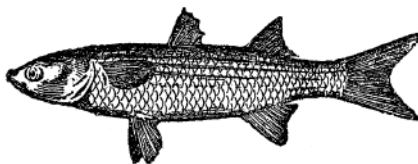
folyamat fogja termelni az energiát. A reakcióhoz szükséges tríciumot (a hidrogén 3-as tömegszámú izotópja) lítiumból neutronokkal lehet majd előállítani, de a deutériumot természetesen nehézzvízből nyerik. A nehézzvíz tehát a maghasadáson alapuló energiatermelés mellett a fúziós energiatermelésben is központi szerephez jut.

Kulcsszavak: *nehézzvíz, eredete, felfedezése, biológiai hatása, alkalmazásai, deutérium kozmikus eredete, atomenergetika, SNO-neutrínódetektor*

IRODALOM

- Ahmad, Q. Rushdy et al (2001): Measurement of the Rate of $\nu_e + d \rightarrow p + p + e^-$ Interactions Produced by ${}^8\text{B}$ Solar Neutrinos at the Sudbury Neutrino Observatory. *Physical Review Letters*. **87**, 071301 DOI: 10.1103/PhysRevLett.87.071301
- Aston, Francis W. (1935): Masses of some Light Atoms determined by a New Method. *Nature* **135**, 3414, 541.
- Birge, Raymond Thayer – Menzel, Donald H. (1931): The Relative Abundance of the Oxygen Isotopes, and the Basis of the Atomic Weight System. *Physical Review*. **37**, 1669–1671. DOI:10.1103/PhysRev.37.1669.2
- Epstein, Richard I. – Lattimer, J. M. – Schramm, D. N. (1976): The Origin of Deuterium. *Nature* 263, No. 5574, 198–202. <http://books.google.com>
- Katz, Joseph J. (2008): *Chemical and Biological Studies with Deuterium*. 39th Annual Priestly Lecture. Pennsylvania State University, Univ. Park, PA. 1–110.
- Kushner, D. J. – Baker, A. – Dunstall, T. G. (1999): Pharmacological Uses and Perspectives of Heavy Water and Deuterated Compounds. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*. **77** (2): 79–88. DOI: 10.1139/y99-005
- Lamb, Arthur Becket – Lee, Richard Edwin (1913): The Densities of Certain Dilute Aqueous Solutions by a New and Precise Method. *Journal of the American Chemical Society*. **35**, 1666–1693. DOI: 10.1021/jao2200a003
- Lewis, Gilbert N. (1933): The Isotope of Hydrogen. *Journal of the American Chemical Society*. **55**, 3, 1297–1298. DOI: 10.1021/jao1330a511 • <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jao1330a511> • <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jao1330a078>
- Lewis, Gilbert N. – MacDonald, Ronald T. (1933): Concentration of H² Isotope. *The Journal of Chemical Physics*. **1**, 341. doi:10.1063/1.1749300
- Pittendrigh, Colin S. – Caldarola, P. C. – Cosbey, E. S. (1973): A Differential Effect of Heavy Water on Temperature-dependent and Temperature-Compensated Aspects of Circadian System of *Drosophila pseudoobscura*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. **70**, 7, 2037–2041. • <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC433660/?tool=pubmed>
- Richet, Pascal – Bottinga, Y. – Javoy, M. (1977): A review of hydrogen, carbon, nitrogen oxygen, sulphur, and chlorine stable isotope fractionation among gaseous molecules. *Annual Reviews Earth and Plan-*

- etary Sciences*. **5**, 65–110. DOI: 10.1146/annurev.
ea.05.050177.000433
- Shchepinov, Mikhail S. (2007): Reactive Oxygen Species, Isotope Effect, Essential Nutrients, and Enhanced Longevity. *Rejuvenation Research* **10**, 1, 47–60. doi:10.1089/rej.2006.0506
- Urey, Harold C. – Brickwedde, F. G. – Murphy, G. M. (1932): A Hydrogen Isotope of Mass 2. *Physical Review* **39**, 164–165. • <http://web.ihep.su/dbserv/compas/src/urey32/eng.pdf>
- Washburn, Edward W. – Urey, Harold C. (1932): Concentration of the H² Isotope of Hydrogen by the Fractional Electrolysis of Water*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. **18**, 7, 490–496. • <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1076263/>
URL: <http://www.sno.phy.queensu.ca/>



VÍZ AZ UNIVERZUMBAN

Szabados László

az MTA doktora, tudományos tanácsadó,
MTA KTM Csillagászati Kutatóintézet
szabados@konkoly.hu

Bevezetés

A Föld bolygóként csupán parányi része a Világegyetemnek. Tulajdonságaira és azok változásaira egyaránt lényeges hatása van a kozmikus környezetnek. Ebbe a kozmikus környezetbe nemcsak a földi élet számára meghatározó Nap tartozik bele, hanem a Naprendszer többi kisebb-nagyobb égitestje, továbbá a Naprendszert is magában foglaló Tejútrendszer egykori és jelenlegi csillagai és azok sugárzási tere is.

A Föld naprendszerbeli bolygótársaival és a Nappal együtt kb. 4,6 milliárd éve alakult ki a csillagközi anyagból. A Naprendszert szülő csillagközi felhő már tartalmazta azokat a kémiai elemeket, amelyekből a bolygók, kisbolygók, üstökösök felépülnek. A Napra ez nem érvényes: a Nap ugyanis csillag. A csillagok legfőbb ismérve pedig az, hogy bennük atommagfúziók során alacsonyabb rendszámú kémiai elemekből a forró és nagy nyomású környezetben magasabb rendszámú elemek épülnek fel. Az Univerzum egészen fiatal korában, 13,5 milliárd évvel ezelőtt csak a hidrogén és a hélium atommagjait tartalmazta (és valamennyi lítiumot). A periódusos rendszer minden nehezebb eleme csillagok belsejében vagy a csillagok végállapothoz vezető kataklizmák során alakult ki. Tehát környezetünk minden anyaga, sőt, sa-

ját testünk atomjai is valamikor csillagok részei voltak. Ugyanígy a vízmolekula egyik alkotóelemétől szolgáló oxigénatom is a csillagok belsejében zajló magfúzió terméke. A víz tehát végső soron kozmikus eredetű.

Az univerzumban a kisebb rendszámú (könnyebb) elemek gyakoribbak, mert azok kialakulásához a csillagok belsejében alacsonyabb hőmérséklet elegendő, mint a nehéz elemek atomjainak felépüléséhez. Ezért a hidrogén és hélium mellett a szén, a nitrogén és az oxigén a leggyakoribb elemek. E három elem hidrogénnel alkotott legegyszerűbb molekulái a víz (H_2O), az ammónia (NH_3) és a metán (CH_4). Csökkenő hőmérséklet esetén először a víz alakul jéggé, az ammónia és a metán megszilárdulásához még hidegebb környezet kell. A víznek emiatt fontos szerepe volt a bolygók kialakulása során.

A Földön kívüli víz kimutatásának nehézségei

A víz annyira közönséges anyag, hogy a csillagászok már évszázadokkal ezelőtt is természetesnek tartották a víz jelenlétét más égitesteken. A távcsöves csillagászat úttörője, Galileo Galilei a holdfelszín sötétebb árnyalatú részét *tengereknek* nevezte el abbéli meggyőződésében, hogy ott tényleg víz található. S bár magát a tenger elnevezést az utókor megtartotta Galilei iránti tisztelete jeléül, a Holdon nem ennyire nyilvánvaló a víz előfordulása.

Mégis, hogyan lehet távolról kimutatni a víz jelenlétét az égitesteken? A csillagászati kutatások során az egyik fő nehézség az, hogy a kiszemelt égitestet vagy jelenséget olykor csak roppant nagy távolságból lehet vizsgálni. E tekintetben csak néhány naprendszerbeli égitest – bolygó, hold, kisbolygó, üstökös – képez kivételt, amelyeket űrszondákkal megközelítettek, esetleg mérőműszereket is juttattak már a felszínükre. A Naprendszer térsége viszont elenyészően kicsiny tartomány a csillagok világában.

Az anyag vizsgálatára a spektroszkópiát alkalmazzák a csillagászatban is. Mint minden anyagnak – legyen az kémiai elem vagy molekula –, *a vízmolekulának is jellegzetes színképi sajátosságai vannak*, amelyek jelenléte a spektrumban víz előfordulására utal.

A helyzetet azonban nehezíti, hogy egy földi távcsőre szerelt spektrográfba érkező fény elkerülhetetlenül áthalad a földi atmoszférán, a légköri vízpára pedig szintén nyomot hagy a színképben. Így tehát a földfelszínről nincs esély kozmikus vízmolekulák kimutatására. Mivel a légkör páratartalma felfelé haladva csökken, magas hegyekre telepített obszervatóriumokban végzett spektroszkópiai észlelések már alkalmasak lehetnek a Földön kívüli víz észlelésére. Az ilyen célú megfigyeléseket azonban legjobb a légkörön kívülről – azaz űreszközökről – végezni. Annál is inkább, mert a vízmolekula kimutatásához az elektromágneses színkép infravörös tartományát kell vizsgálni. Ez pedig újabb nehézség, mert ebben a színképtartományban bocsátják ki hőmérsékleti sugárzásuk túlnyomó részét az alacsony hőmérsékletű testek. Az infravörösben történő megfigyeléshez ezért az észlelőberendezés minden elemét (távcső, spektrográf) az abszolút 0 fok (0 K) közelébe kell hűteni, hogy ne a közvetlen környezet

sugárzását észleljük a kozmikus forrástól származó jel helyett. (Földi infravörös méréseknél még a távcső közelében elrepülő madár hősugárzása is zajforrás.)

Miért éppen a színkép infravörös része lényeges a víz detektálásához? A különféle kémiai elemekre jellemző színképvonalak a spektrum optikai és ibolyántúli tartományába esnek. A vonal hullámhosszát az adott elem atomjában bekövetkező elektronátmenetnek megfelelő energiakülönbség szabja meg. A molekulákat alkotó atomok „lázában” kapcsolódnak egymáshoz, mint az elektronok az atomhoz, ezért a molekuláris eredetű színképvonalak kisebb energiaközlés vagy -felszabadulás hatására alakulnak ki. Mivel a színképvonalnak megfelelő sugárzás E energiája a ν frekvencia és a h hatáskvantum szorzata ($E=h\cdot\nu$), a molekuláátmenetek jellemzően az optikainál kisebb frekvenciájú, azaz hosszabb hullámhosszú infravörös és mikrohullámú színképtartományba esnek. Az energiaváltozáshoz pedig a molekula forgási, rezgési, megnyúlási vagy elcsavarodási állapotában bekövetkezett változás vezet. Rengeteg ilyen állapotváltozás lehet, ezért a molekuláktól származó spektrális jegyek széles molekulasávok. A különféle molekulákra jellemző sávok a molekula felépítésétől és atomi összetételétől függő hullámhosszakon lépnek fel. Földi laboratóriumi vizsgálatok alapján a víz legerősebb molekulasávjainak hullámhossza kb. 2,7 mikrométer (megnyúlási deformáció) és 6,3 mikrométer (elcsavarodási deformáció). A 40 μm körüli hullámhosszú rotációs átmenetek pedig a mikrohullámú tartományba esnek. (Mikrohullámú sütő használatakor éppen az ételben levő vízmolekulákat gerjesztjük magasabb rotációs energiájú állapotba.) A kristályos vízjégnek jellegzetes elnyelési sávja van 1,6 μm -nél. A jég

képződésekor uralkodó fizikai és kémiai viszonyoktól függ, hogy a jég melyik fajtája alakul ki: egészen alacsony (például a csillagközi tér anyagára jellemző) hőmérsékleten amorf jég képződik, megfelelően magas hőmérsékleten pedig jégkristályok. A kozmoszban előforduló vízjég színképvonalait (-sávjait) földi spektrográfokkal is észlelni tudják a felhők fölé telepített magashegyi obszervatóriumokból.

A vízmolekula más szempontból is változatos lehet: *orto* és *para* állapotú. Ez a megkülönböztetés a H_2 -molekula két hidrogénatomjában levő proton „forgására” jellemző spin értékén alapul. A paravíznél a két proton spinje egymással ellentétes, míg az ortovíznél azonos előjelű. Az orto- és paravíz molekuláinak rotációs és vibrációs-rotációs átmeneteire jellemző energiakülönbségek kissé eltérőek, ezért a megfelelő színképvonalak hullámhossza is eltérő. Az orto állapot gyakoribb, mint a para állapot, ami a színképvonalak erősségében is megnyilvánul. Az orto és para állapotú vízmolekulák számaránya a molekulák kialakulásakor érvényes hőmérséklettől függ, és a kialakult állapot végleges, a körülmények későbbi változása már nem módosít azon. Az orto/para gyakorisági arány így közvetlenül jelzi a vízmolekula kialakulási hőmérsékletét.

A víz változatainak számbavétele nem lenne teljes a hidrogén és az oxigén különböző izotópjait tartalmazó molekulák említése nélkül. Az oxigénnek a 16-os tömegszámú ^{16}O változata mellett létezik két nehezebb izotópja, a ^{17}O és a ^{18}O , amelyek rendre 2700-szor, illetve 500-szor ritkábbak, mint a „közönséges” ^{16}O . Ezek alapján a természetben előforduló négyféle vízmolekula: $H_2^{16}O$ (ez a leggyakoribb), HDO (nehézvíz, lásd *Sükösd Csaba* tanulmányát e cikkgyűjtemény 1467. oldalán), $H_2^{17}O$ és $H_2^{18}O$.

Vizes helyek a Naprendszerben

Mielőtt a csillagok világában a víz keresésére indulunk, érdemes körülnézni a Föld „szűkebb” környezetében, a Naprendszerben.

Hold • A Hold a Föld anyagából alakult ki, amikor 4,5 milliárd éve egy nagyjából Mars méretű test csapódott a Földnek. Ha tartalmazott is vizet a Földből (főleg annak köpenyéből és kérgéből) kiszakadt anyag, az a kataklizma hatására hirtelen megnövekvő hőmérséklet közepette elillant, legfeljebb a kőzetekben kötött víz maradhatott meg molekuláris formában, illetve a kőzetalkotó hidroxil-molekulák. Ha a Hold anyagából valamilyen módon a felszínre kerül a vízmolekula (vagy kívülről érkezik a Holdra), ott nem tud tartósan megmaradni. A Földnél 81-szer kisebb tömegű Hold gyenge gravitációja nem képes atmoszférát tartani maga körül, a felszíni gázok hamar elillannak. Ráadásul a Nap erős sugárzásának hatására a vízmolekulák atomjaikra bomlanak, megkönnyítve a gázok elszökését.

Űrszondákon elhelyezett műszerekkel végzett vizsgálatok viszont kiderítették, hogy vízjég lehet a felszín alatti kőzetekben, különösen a Hold pólusainak vidékén, ahol a hőmérséklet örökké a víz fagypontja alatt van. A felszín alatti jeget közvetett módon, neutronspektrométer segítségével sikerült kimutatni. A légkör nélküli Hold felszínét szabadon bombázzák a kozmikus sugárzás részecskéi, közte protonok és nehezebb atommagok. Ezek a nagy energiájú részecskék a laza felszíni rétegbe (a regolit nevű holdkőzetbe) csapódva képesek kilökni egy neutron az eltalált atomból vagy molekulából. A kiszabadult neutron energiája ugyancsak nagy, ezért a részecske gyorsan mozog. A gyors neutronok egy része még a felszínre jutás előtt további

ütközések hatására energiát veszít, lelassul. A neutronspektrométerrel meg lehet határozni mind a gyors, mind a lassú neutronok gyakoriságát egy-egy terület fölött elhaladva.

A Hold körüli pályára vezérelt amerikai Lunar Prospector szonda 1998-ban végzett mérései szerint a Hold északi és déli pólusa környékéről egyaránt több lassú neutron kerül ki a világűrbe, mint más holdi tájakról. Az eredetileg gyors neutronok lassítására pedig legalkalmasabb közeg a víz, mert a vízmolekulában található protonok tömege majdnem azonos a neutron tömegével, ezért hatékony az ütközéssel történő energiaátadás. Bár a lassú neutronok többsége a Hold pólusvidékein csupán a protonok bőséges előfordulását jelzi, ez a többlet valójában vízmolekulák jelenlétére utal, mert a holdi környezetben hidrogén nem képes szabadon megmaradni. A Lunar Prospector mérései alapján 100 millió tonna nagyságrendű víz lehet jégkristályok formájában a Hold poláris vidékein a felszín alatt.

A másfél évig a Hold körül keringő Lunar Prospector pályáját végül úgy módosították, hogy a szonda a Holdba csapódjon, mégpedig azért, hogy a 6000 km/óra sebességű ütközés hatására a becsapódás helyén (egy kráter árnyékos oldalán) az ütközés hevétől a vízjégből kialakuló gőzfelhőt spektroszkópiai úton kimutassák – innen a Földről. Vízgőzre utaló nyomokat akkor nem sikerült felfedezni.

A közelmúltban a japán Kaguya és az indiai Csandraján–1 (Chandrayaan-1) űrszonda, valamint az amerikai LCROSS- (Lunar Crater Observation and Sensing Satellite) és LRO- (Lunar Reconnaissance Orbiter) szondapáros keresett vizet a Holdon. Az indiai szonda amerikai gyártmányú M³ (Moon Mineralogy Mapper) műszere a Hold felszínének nagy részét vizsgálva különösen a pólusok környékén detektált vízre utaló nyomokat: hidrogén, illetve hidroxil jelenlétét mutatta ki. Ez a víz más eredetű, mint a felszín alatt a holdi regolitba fagyott jég. Víz ugyanis folyamatosan képződhet a Hold felszínén a napszéllal (a Napból kirepülő töltött részecskék árama) érkező protonok közreműködésével. A Hold felszínét fékeződés nélkül, nagy sebességgel elérő protonok a kőzetalkotó ásványok oxigénjével vízmolekulává állnak össze. Az ásványokban kötött víz azonban a Hold napsütötte féltékéjén fotodisszociációval elbomolhat, és a hidrátált ásványból hidrogénatom és hidroxil-gyök szabadul ki. Az indiai szonda spektrométere az ezektől származó infravörös sugárzást érzékelte a 3 mikrométeres hullámhossz körül.

Az LCROSS továbbfejlesztett formában leutánozta elődje, a Lunar Prospector végső kísérletét. Mielőtt magát az LCROSS-t a Hold felé térítették 2009 októberében, leválasztották róla a kiégett hordozórakétát, és előbb azt irányították a Hold felé, hogy az olyan helyre (a Cabeus-kráter örökké árnyékban levő belsejébe) csapódjon, ahol a holdkőzet a korábbi gyanú szerint vizet tartalmaz. A 2,3 tonnás lövedék becsapódásának hatására kirobbant törmelékfelhőt az LCROSS fedélzeti kamerái és spektrométere néhány kilométerről tudták vizsgálni. Már az első eredmények megerősítették, hogy a kirobbantott holdkőzet vizet is tartalmaz.

A víz előfordulása a Holdon azért is fontos, mert a Föld kísérőjén majdan létesítendő űrbázisok lakóinak vízellátása nagyon költséges lenne a Földről odaszállított vízzel. Úgy tűnik azonban, hogy a Hold vízkészlete csekély: egyetlen szétterítve egyetlen molekulányi réteget képezne kísérőnk felszínén.

A Naprendszer bolygoi • A Naptól távolabbi óriás gázbolygók sok szempontból hason-

lítanak egymásra, viszont a négy belső bolygó – a kőzetbolygók – mindegyike egymástól eltérő, sajátos világ. Hogy a bolygófejlődés során ez miért így alakult, azt itt nem részletezzük, de megemlítjük, hogy a bolygók tömege és felszíni hőmérséklete (ez utóbbi a Naptól való távolság következménye is) közötti különbségek lényegesek e tekintetben. A víz előfordulását illetően is a Merkúr, a Vénusz és a Mars egyaránt alapvetően különbözik a Földtől – és egymástól is. Ebben szintén az eltérő hőmérséklet és felszíni nyomás játszik közre, mert ezektől függ, hogy a H_2O melyik módosulata van jelen.

A *Merkúr* felszínén szélsőséges a hőmérséklet változása: a nappali oldalon $450\text{ }^\circ\text{C}$ -ra is felmelegszik a felszín – emiatt nem is lehet atmoszférája a Naphoz legközelebbi bolygónak –, az éjszakai oldalon pedig $-180\text{ }^\circ\text{C}$ -ra csökken a hőmérséklet. Légkör híján a Merkúr felszínére fékeződés nélkül csapódnak be a kisebb-nagyobb kozmikus testek, ezért a bolygó felszíne kráterektől sebhelyes, leginkább holdi tájra emlékeztet. Mivel a Merkúr pólusa környékén levő kráterek aljzatát sosem éri napfény, a becsapódott égitestek által odaszállított víz fagyott állapotban tartósan megmaradhat ott. A poláris vízjég létét a Merkúron a Földről végzett radarvisszhang-mérések is alátámasztják.

A *Vénusz* mérete és tömege ugyan alig tér el a Földétől, de a bolygót körülvevő sűrű (főként szén-dioxidból álló) atmoszféra és felhőburok keltette üvegházhatás miatt a Vénusz felszínén a hőmérséklet meghaladja a $400\text{ }^\circ\text{C}$ -ot. Űrszondákkal közelről is részletesen vizsgálták a Vénuszt, sőt a bolygó felszínére is leszálltak automatizált kutatószondák. Jelenleg a 2006 óta a bolygó körül keringő Venus Express szonda végez méréseket Földünk belső szomszédjáról. A Vénusz atmo-

szférájában a Földéhez képest elenyészően kevés vízgőz található. Spektroszkópiai mérésekből viszont az is kiderül, hogy a vízmolekulák között rendkívül gyakori – legalábbis a földi izotópgyakorisági arányhoz viszonyítva – a molekula egyik közönséges hidrogénatomja helyett deutériumot tartalmazó nehézvíz (HDO). Egy korábbi Vénusz-szonda, a Pioneer Venus fedélzetén elhelyezett tömegspektrométer mérései alapján megállapították, hogy a Vénuszon a D/H gyakorisági arány kb. százszor nagyobb, mint a Földön. Az elképzelések szerint régebben sokkal több víz lehetett a Vénusz légkörében, de a könnyűhidrogént tartalmazó közönséges víz a forróság hatására elillan, a nehezebb HDO-módosulat így relatíve feldúsult. A Nap fiatal korában a jelenleginél több nagy energiájú sugárzást bocsátott ki. Az ultraibolya fotonok nagy energiája a vízmolekulát atomjaira bontja, a gázállapotú hidrogén és oxigén pedig elillan.

Ha a Vénusz jelenlegi vízkészlete egyenletesen fedné a bolygót, az mindössze 3 cm-es vízréteget képezne a felszínén. Ezzel szemben a Földön hasonló gondolat kísérlet 3 km mély, összefüggő világtengert eredményezne. Régebben a Vénusz felszínén is sokkal több víz lehetett, akár óceánok is. A magas felszíni hőmérséklet hatására azonban a víz gyorsan párolgott, megnövelve a légkör vízgőztartalmát. A vízgőz viszont elnyeli a felszín felől érkező infravörös (hő-)sugárzást, azaz fokozza az üvegházhatást, tovább növelve a felszín hőmérsékletét és az egykor lehetséges óceánok elpárolgását.

A Föld külső bolygósomszédja, a *Mars*, a víz szempontjából a legalaposabban vizsgált égitest, de még így is sok a bizonytalanság. A Mars a 19. század végén vált izgalmas égitestté, amikor a felszínén csatornákat véltek látni.

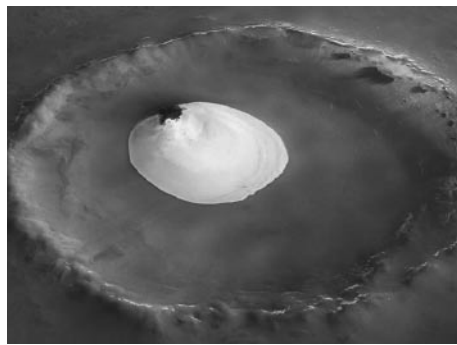
Ahol csatorna van, ott víz is van, ahol pedig víz van, ott élet is van – a túlságosan leegyszerűsített gondolatmenet szerint. A Marsot elsőként az 1960-as években megközelítő Mariner-szondákról készített fotókon viszont nem látszottak a Földről látni vélt csatornák. Ám az 1972-ben a Mars körül keringési pályára állt Mariner-9 már olyan képeket közvetített, amelyeken kiszáradt, kanyargós folyómedrek is láthatók. A Viking-szondák keringőegységein elhelyezett műszerekkel 1976-ban kimutatták, hogy a Mars pólusainál levő jég nemcsak megszilárdult szén-dioxidból (szárjazégből) áll, hanem vízjeget is tartalmaz. Az egyik legsikeresebb Mars-kutató szonda, a Mars Global Surveyor (MGS) kamerái által készített nagyfelbontású felvételeken 2000-ben egészen friss folyásnyomokra bukkantak, jelezve, hogy a közelmúltban is volt folyékony víz a Marson. Sőt, az MGS kamerája a huzamos működés során olyan folyásnyomot is megörökített, amelyik még nem volt ott a néhány évvel korábban ugyanarról a területről készített felvételen.

Hogy a Mars felszínén tartósan nincs víz, az nem meglepő. A bolygó kis tömege, a ritka atmoszféra és a napsugárzás hatására felmelegedő felszín nem teszi lehetővé cseppfolyós halmazállapotú víz tartós jelenlétét. De a folyómedrekre emlékeztető képződmények (amelyek persze nem azonosak a Földről egykor látni vélt csatornákkal) arra utalnak, hogy korábban folyhatott víz a Marson. A Mars felszínén az északi és déli jégsapkában levő vízjég feltűnő, de a víz mennyiségét tekintve nem számottevő. Az 1200 km átmérőjű és 1 km vastag északi jégsapkába fagyott víz mennyisége legfeljebb Grönland jegével egyenértékű, földi analógiával élve. Ha egykor óceánok is voltak a Marson, azok szinte nyomtalanul eltűntek. Márpedig különféle

mérési eredmények szerint valaha sok víz volt a Marson. A marsi domborzat és a víz előfordulásának érdekes kapcsolatát is tárgyalja Kereszturi Ákos (2006) tanulmánya.

A Mars felszínén működő kutatószondák is keresték/keresik a marsi víz nyomait. Az *Opportunity* marsjáró olyan ásványt talált, amelyik csak vizes környezetben alakulhat ki. A Phoenix-leszállóegység pedig mintát is vett az északi pólussapka jégéből, amelynek elemzése során perklorátot találtak a jégben. Ez a vegyület fagyáspontcsökkentő hatása, jelenlétében ezért a víz cseppfolyós halmazállapotban is előfordulhat. 2008 novemberében az Európai Űrügynökség (ESA) Mars Express szondája speciális műszereivel a Mars egyenlítője közelében a felszín alatt eltemetett gleccsért mutatott ki, 2009-ben pedig a Mars Reconnaissance Orbiter egy 3,5 milliárd éves tó maradványait fedezte fel, amelyben még akkor is víz lehetett, amikor a feltételezések szerint már kiszáradt a Mars.

A Mars tehát „vizes” bolygó, de a víz jelenleg zömmel a felszín alatt található, halmazállapota pedig egyaránt lehet szilárd és cseppfolyós (*1. ábra*). A marsi élet lehetősége így továbbra is izgalmas és fontos kutatási téma marad.



1. ábra • Vízjég egy marsi kráter belsejében (az ESA Mars Express szondájának felvétele)

A négy külső gázbolygó a rajtuk előforduló víz szempontjából együtt tárgyalható, bár a *Jupiter*, a *Szaturmusz*, az *Uránusz* és a *Neptunusz* eltérő tömege és (részben a Naptól való távolsága következtében) különböző átlaghőmérséklete miatt az együttes említés kissé leegyszerűsíti a tényleges helyzetet. A gázbolygók átlagsűrűsége a Föld típusú bolygóktól eltérően egészen alacsony: 0,7–1,7 g/cm³. Legkülső rétegeiket atmoszférának tekintik, amelynek szilárd felszín híján nincs éles alsó határa. Az atmoszférát főként hidrogén és hélium alkotja, de kisebb mennyiségben metán, ammónia és vízgőz is jelen van benne. Ezek a nagyobb molekulatípusú gázok az atmoszféra mélyebb rétegeiben felhőket is képeznek. A vízpárából képződő felhők az ammóniafelhők alatt találhatók, ahol a hőmérséklet a bolygó belső hője miatt magasabb, mint az ammóniafelhők szintjén.

Az óriásbolygók gyorsan forognak a tengelyük körül, emiatt az atmoszféra egyes rétegeiben örvénylő mozgás figyelhető meg. Mivel a vízmolekula poláris, képes elektromos töltést hordozni, az óriásbolygók atmoszferikus viharai során bekövetkező kisülések pedig villámokat keltenek. A Jupiteren és a Szaturmuszon meg is figyeltek villámlást.

Holdak és gyűrűk az óriásbolygók körül • A Naprendszer valamennyi óriásbolygóját gyűrűrendszer veszi körül. Legismertebb a Szaturmusz körüli rendszer, de kevésbé feltűnő gyűrűket találtak a Jupiter, az Uránusz és a Neptunusz körül is. Ezek a gyűrűk egykori holdakból keletkeztek, amikor azok olyan közel (a Roche-határon belülre) kerültek az anyabolygóhoz, hogy annak gravitációs terében az árapályerők darabjaikra szakították azokat. Az egykori hold pályája mentén szétoszló kisebb-nagyobb darabok pedig egymással ütközve tovább aprózódtak. A gyűrűket

alkotó részecskék kémiai összetétele mindenestre utal az egykori hold összetételére.

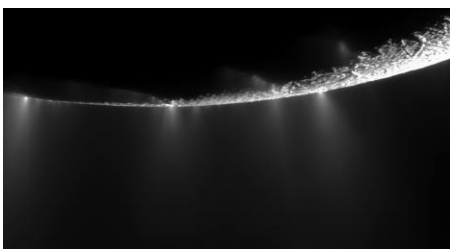
A Szaturmusz gyűrűi és holdjai a bolygó egyenlítői síkjában találhatóak. A gyűrűrendszer roppant nagy kiterjedésű ebben a síkban: a bolygótól 7000 km-re kezdődik, és még 100 000 km távolságban is tart. Erre merőlegesen viszont meglepően kis kiterjedésű: legfeljebb néhány száz méter. Vékonyágánál csak az összetétele meghökkentőbb – a gyűrű anyagának 93%-a vízjég, a többi főleg amorf karbon. Eszerint azok a holdak, amelyek szétaprózódásából a gyűrűk keletkeztek, *jégholdak* voltak. Ilyenek szép számmal akadnak az óriásbolygók holdjai, főleg a kisebb méretűek között. Éppen a jég nagy fényvisszaverő képessége miatt olyan feltűnőek a Szaturmusz gyűrűi. A másik három gázbolygó körüli gyűrűk anyaga közettörmelék, ami sokkal sötétebb.

A Szaturmusz gyűrűinek további furcsasága, hogy még atmoszférájuk is van. Ezt úgy kell érteni, hogy a gyűrűrendszer síkjának mindkét oldalát hidrogén- és oxigénatomokból álló, ritka réteg borítja. A Napból származó ultraibolya fotonok energiája ugyanis elég nagy ahhoz, hogy alkotóelemeire bontsa a gyűrűket képező jégzemcsék felületén levő vízmolekulákat. A molekula kötélekéből fotodisszociációval kiszabaduló gázatomok pedig elillannak, és a gyűrűkből távozó gáz átmeneti atmoszféraként figyelhető meg. A szilárd halmazállapotból közvetlenül gázművé válás, a szublimáció egyre csökkenti a gyűrűket alkotó vízjég mennyiségét, ám ezt ellentételezi a gyűrűk anyagát gyarapító friss víz. Hogy honnan érkezik oda friss víz? A Szaturmusz *Enceladus* nevű holdjáról.

Az 500 km átmérőjű Enceladus anyagnak kb. fele vízjég. Ez a jéghold a legkülső gyűrűk tartományában kering a Szaturmusz

körül, ahol tekintélyes árapályerő hat rá az anyabolygó gravitációja következtében, de a kritikus távolságon kívül keringő Enceladus nem esik darabokra. A Szaturnusz egy másik holdja, a Dione viszont olyan pályán kering, hogy e két hold keringési idejének aránya 2:1. Ez a rezonancia erős árapály-deformációkat okoz az Enceladus belsejében, amelyektől a hold anyaga felmelegszik, és a folytonos alakváltozással együtt járó kéregrepedések mentén a felhevült anyag ki is spriccelhet (2. ábra). A Szaturnuszt és környezetét vizsgáló Cassini-űrszonda műszereivel elemezték az Enceladus gejzírjeinek kémiai összetételét: a percnként 9 tonna kilövellt anyag 90–94%-a vízgőz és még meg nem olvadt vízjégzemcsék. E kriovulkanizmus következményeként kap tehát vízjégutánpótlást a Szaturnusz gyűrű-rendszere. De abból, hogy szinte csak víz és vízjég spriccel ki az Enceladus folyton változó felszíni repedésein, az is következik, hogy az Enceladus szilárd kérge alatt nagy kiterjedésű óceán található. Ilyenre földi analógiát is ismerünk: az Antarktisz jégkérgé alatt cseppfolyós vízzel telt tavak vannak. A több mint száz szubglaciális tó legnagyobbika, a Vostok-tó a jeges felszín alatt 4 km-rel kezdődik, és a vízréteg vastagsága 350 m. Az Enceladus felszín alatti óceánjainak kiterjedése azonban jóval nagyobb ennél.

Az Enceladus igazi „párja” az *Europa*, a Jupiter egyik legnagyobb holdja. A mi Holdunknál kisebb, 3120 km átmérőjű Europa vastartalmú magját szilikátköpeny burkolja, amely felett majdnem 100 km vastag vízréteg található, azt pedig a ráeső fény kétharmadát visszaverő, 10–20 km vastag jégkéreg fedi. A jégtakaró alatt azért cseppfolyós a H_2O , mert a hold közel kering a Jupiterhez (3,5 nap alatt végez egy keringést a Jupiter körül), és a bolygó, valamint a szomszédos holdak tömeg-



2. ábra • Az Enceladus felszíne alól víz lövell ki. (NASA Cassini-szonda felvétele)

vonzása által keltett árapályerők a vizet a fagyponthoz közel melegítik. A vízen úszó fagyott jégkéreg helyenként megreped. Ezek a rianások jól kivehetők űrszondákról készített felvételeken. A jeges felszín alatti „óceánban” mozgó oldott ionok változó mágneses teret generálnak. Mivel a Jupiter két másik nagy holdja, a Callisto és a Ganymedes esetében is kimutatható a mágneses tér, azt gyanítják, hogy e két hold felszíne alatt is jelentős mennyiségű folyékony víz van, amelyben képesek mozogni az oldott ionok. Közetholdakban a belső mozgás hiánya miatt nem alakul ki mágneses tér.

Az óriásbolygók többi holdja közül is soknál gyanítják, hogy anyaguk tekintélyes része (15–50%-a) vízjég.

Üstökösök és kisbolygók • A Naprendszer apró, de lényeges alkotóelemei a kisbolygók, a Kuiper-övbeli objektumok és az üstökösök. A kisbolygók (aszteroidák) többsége (több százszázernyi) a Mars és a Jupiter pályája között húzódó fő kisbolygóövben kering. Ettől eltérő helyeken is mozognak kisebb létszámú kisbolygócsaládok, amelyek némelyike a Földre is veszélyt jelenthet. Jelenleg nagyon kicsi egy néhány kilométeres méretű kisbolygó Földbe csapódásának valószínűsége, de röviddel a Föld kialakulása után, az ún. késői nagy bombázás (Late Heavy Bombardment)

során rengeteg kisbolygó találta el a Földet, saját anyagával növelve bolygónk tömegét – és vízkészletét, mivel az aszteroidák egyik fontos alkotóeleme a víz. A kisbolygók víztartalma ugyanakkor csekély a Kuiper-övbeli kis égitestekéhez képest.

A Kuiper-öv a Neptunusz távolságában, a Naptól 30 csillagászati egységre kezdődik, és nagyjából még egyszer ekkora távolságig húzódik kifelé a bolygók pályasíkjában, az ekliptika mentén. Becslések szerint 70 000, legalább 100 km-es méretű objektum mozog e térségben, össztömegük pedig kb. százszor nagyobb, mint a főövbeli kisbolygóké. Ahogy a Naptól való távolsággal változik a bolygók jellege (belső kőzetbolygók, kívül pedig gázbolygók keringenek), a kis égitestek összetétele is függ a központi csillagtól való távolságtól: a Mars és a Jupiter közötti aszteroidaövből kősziklák alkotta kisbolygók találhatóak, a Neptunuszon kívüli térségben keringő testeket pedig főként vízjég és fagyott gázok (például: ammónia, metán) alkotják. A Kuiper-övhöz tartozó első objektumot 1992-ben fedezték fel, és azóta ezernél is többet találtak. A legnagyobbak infravörös színképében sikerült kimutatni a kristályos és amorf vízjégre utaló spektrális jegyeket.

A Naprendszer kifelé a Kuiper-övvől még nem ér véget. A legkülső (kb. 50 000 csillagászati egység sugarú) tartományban, az Oort-felhőben található a hosszú keringési periódusú üstökösök. A belső Naprendszer égitestjeitől eltérően az üstökösfelhő gömbszerűen veszi körbe a Napot, és kb. öt földtömegnyi anyagában milliónyi lehet az 1 km-t meghaladó méretű üstökösök száma. Ilyen távolságból a Naptól a közeli csillagok gravitációs hatása is megzavarhatja egy-egy üstökösök mozgását, és ha a kis test befelé térül el, akkor rövid periódusú üstökössé válik.

Ezek az égitestek a Nap közelébe érve látványosak, és alaposan vizsgálhatók. Sőt, úrszondákkal már közelről is tanulmányozták néhány üstökös tulajdonságait, összetételét, viselkedését.

Amíg elegendően távol vannak a Naptól, az üstökösök magokat legfeljebb a pályájuk alapján lehet megkülönböztetni a „közönséges” kisbolygóktól. Az üstökösök pályája ugyanis jóval elnyúltabb ellipszis, mint a kisbolygóké, és nem is koncentrálódik az ekliptika síkjába. Az üstökösök magjai kövek, jégek és fagyott gázok konglomerátuma, amelyet többnyire poros burok vesz körül. Találhatóan piszkos hógolyókhoz hasonlítják az üstökösöket. A hógolyóval ellentétben azonban az üstökösök magjai szabálytalan, jellemző mérete néhány kilométer.

A Naprendszer belsejébe tartó üstökösököt egyre jobban melegíti a Nap sugárzása. A Jupiter pályáján belülré kerülve a Nap felőli oldala annyira felmelegszik, hogy a porózus felszínen a különféle jégek gáz halmazállapotúvá szublimálva távoznak az üstökösből. Az elillanó gáz sok port is magával sodor. Előbb a kóma alakul ki az üstökösök körül, majd a Nap sugárnyomásának hatására a gáz és a por a Nap irányával ellentétesen húzódó, kiterjedt csóvát alkot.

Mivel az üstökösök anyaga megőrizte a Naprendszer kialakulásának idejére jellemző kémiai összetételt, a csillagászok nagy figyelmet fordítanak az időnként feltűnő égi jövevényekre. A 76 éves periódusú Halley-üstökösöt legutóbbi, 1986-os napközelsége idején több úrszondával közelről is megvizsgálták. A Halley-üstökös színképében a vízgőzre utaló 2,7 mikrométeres hullámhosszú vibrációs sávokat mégis először a Földről sikerült kimutatni, mégpedig egy repülőgép fedélzetén működő infravörös-observatóriumból (Kui-

per Airborne Observatory – KAO). Abban a magasságban, 14 km-rel a földfelszín fölött, ahol a KAO az észleléseket végezte, a légkör páratartalma már egészen alacsony, de a vízgőz még ott is zavaró színeképvonalakat kelt a spektrumban. Az üstökösbeli vízgőztől származó színeképvonalakat úgy sikerült egyértelműen megkülönböztetni a földi légköri vízpára keltette vonalaktól, hogy az üstökös színeképet olyankor vették fel, amikor nagyon gyorsan mozgott a Földhöz képest. Ilyenkor a sebesség látóirányú komponense a közismert Doppler-effektus miatt más hullámhosszhoz „tolja” a színeképvonalakat, emiatt jól szétválnak a földi eredetű és az üstököstől származó vízgőzvonalak. A 20. század végének látványos üstökösét, az 1997-ben napközbe került Hale–Bopp-üstököst már az időközben pályára állított Infrared Space Observatory (ISO) műszereivel vizsgálták. Az ISO spektrográfjaival készített színeképek megerősítették az üstökösök vízbőségét: tömegük 80%-át ez a molekula alkotja.

A Halley-üstökös óta más üstökösöket is felkerestek űrszondákkal. A Deep Impact-



3. ábra • Por és gőz szabadul ki a Hartley-2-üstökösből (NASA EPOXI szonda felvétele)

szonda kristályos vízjeget észlelt a Tempel-1-üstökösben. Legutóbb 2010 novemberében a Hartley-2-üstökös magjáról készített látványos felvételeket a NASA EPOXI szondája. A 3. ábrán látszik a heves anyagkiáramlás az üstökös magjából, és meglepetésre, nem csak a Nap felőli oldalon.

Űrszondák tömegspektrométereivel, illetve földi spektroszkópiával meghatározták a deutérium és hidrogén arányát üstökösökben. A D:H arányra 0,0003 értéket kaptak, ami kétszer nagyobb a földi óceánok vizére jellemző értéknél. Ez arra utal, hogy a Földre nem kizárólag üstökösök becsapódásával került víz.

Az üstökösök spektroszkópiai méréseiből meghatározták az orto- és paravíz gyakoriságát is, abból pedig a vízmolekulák keletkezésekor uralkodó hőmérsékletet. Az eredményül kapott 25–35 K azt jelzi, hogy az üstökösök a csillagközi térben vagy az ősi Naprendszer legkülső régióiban alakultak ki.

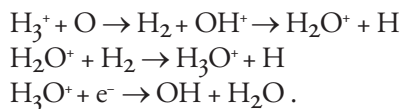
Túl a Naprendszeren

Exobolygók • Jelenleg a csillagászat egyik legeredményesebb területe a Naprendszeren kívüli bolygók, bolygórendszerek kutatása. Naphoz hasonló csillag körül keringő bolygót (exobolygót) először 1995-ben találtak, napjainkban pedig már félezernél többet ismernek. Eleinte főleg a bolygónak a gazdacsillagra gyakorolt gravitációs hatására fellépő Doppler-effektust vizsgálva keresték az exobolygókat a gazdacsillag színeképeiben fellépő vonalak hullámhosszát mérve. A szuperponnos fényességmérést lehetővé tevő fotometriai űrtávcsövek (elsősorban a Kepler-űrszonda 1,4 m átmérőjű távcsöve) segítségével ma már az olyan parányi fényességsökkenést is észlelni lehet, amelyet egy exobolygónak a gazdacsillag korongja előtti átvonulása okoz.

A csillaguk előtt rendszeresen (a keringési periódusuk szerinti időközönként) áthaladó bolygók alkalmasak az exobolygók légkörének tanulmányozására is. A gazdacsillag színeképét össze kell hasonlítani egy olyankor készített spektrummal, amikor a csillag fénye áthaladt az előtte átvonuló bolygó légkörén is, és a két színekép különbségéből meg lehet állapítani az exobolygó légkörének kémiai összetételét. Az infravörös tartományban felvett spektrumokból vízgőzt sikerült kimutatni a HD 189733 és a HD 209458 csillagoknak a Jupiterénél nagyobb tömegű (és a gazdacsillaghoz egészen közel keringő, azaz nagyon forró) bolygóinak atmoszférájában. A víz jelenléte tehát az idegen naprendszerekben is természetes.

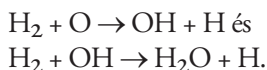
Víz a csillagokban és a csillagok között

A csillagközi anyagban az alacsony hőmérséklet miatt főként olyan kémiai reakciók mennek végbe, amelyekhez nem kell energiát betáplálni. A bőségesen jelen levő hidrogén egyes atomjait a nagy energiájú kozmikus sugárzás ionizálja, az elektronját veszett hidrogénatom (proton) pedig egy hidrogénmolekulával egyesülve H_3^+ iont képez. Ez a nagyon reakcióképes ion kölcsönhat az atomos oxigénnel, és a következő reakciósor zajlik le:



A csillagközi anyag sűrű molekulafelhőkben egészen alacsony a hőmérséklet. Az ott levő szén- és szilíciumtartalmú porszemcsék felületén megtapadó hidrogénatomok kémiai reakcióba léphetnek a porszem külsején levő oxigéntartalmú molekulákkal, ennek hatására pedig H_2O keletkezik, ami a mindössze néhány kelvin hőmérsékleten rögtön

jégbevonatot képez a porszemcsén. Ahol a hőmérséklet meghaladja a 300 K-t, egyszerűbb kémiai reakciók során is képződhet vízmolekula:



Hogy ezek a lehetséges reakciók valóban végbemennek, azt az Európai Űrügynökség ISO (Infrared Space Observatory) nevű űrszondája igazolta. Az 1995–1998 között működött szondán 60 cm átmérőjű távcsővel és az arra szerelt négy különféle érzékelővel (kamera, fotométer és spektrográfok) vizsgálták a kozmikus eredetű infravörös sugárzást. S hogy miért csupán ilyen viszonylag rövid ideig, amikor például a Hubble-űrtávcső már több mint két évtizede van üzemben? Az infravörös tartományt vizsgáló űrszondák működési idejének tartamát az szabja meg, hogy mennyi időre elegendő a hűtésre használandó cseppfolyósított gáz (például hélium), amelynek párolgása tartja alacsonyan az észlelőberendezés hőmérsékletét. Hűtés nélkül a távcső és a detektor saját hőmérsékleti sugárzása jóval erősebb, mint a keresendő kozmikus jel.

Az ISO leglényegesebb felfedezése, hogy amerre csak vizsgálódott, mindenütt talált vizet – a Naprendszeren belül és jóval azon kívül is: csillagok légkörében, a csillagközi térben és távoli extragalaxisokban is. Az ISO által észlelt széles (2–200 μm) spektráltartományba a gőz vagy jég állapotú víznek olyan sok színekvonalja esik, hogy a víz egyértelmű kimutatása nem ütközött nehézségbe.

Sőt a színeképi jegyek alapján még azt is meg lehetett állapítani, hogy a jég a vizsgált helyen amorf vagy kristályos állapotú-e. A hideg csillagközi porszemcséken általában amorf vízjég képződik. Meglepő, de bizonyos

csillagok légkörében is találtak vízjeget. Ezek vagy egészen idős, vagy rendkívül fiatal csillagok, amelyek mindegyike alacsony felszíni hőmérsékletű, ennek megfelelően vörös színű. Az ilyen csillagok körül vízgőzt is kimutattak, ahol a jég már szublimál a környezet hőmérséklete miatt. Másfajta megfigyelésekből tudni lehet, hogy a csillagfejlődés végénél tartó vörös csillagokat néhány száz K hőmérsékletű burok veszi körül, amelynek anyagát molekulák és porszemek képezik.

Az egészen fiatal csillagok és a még csillaggyá sem vált protocsillagok környezetében levő vízgőz azt is jelzi, hogy a csillagképződés környezetében is gyakori a vízmolekula. Az Orion-ködre meghatározták a benne levő víz összetömegtét is: a Föld teljes vízkészletének egymilliószorosát tartalmazza ez a csillagképző csillagközi felhő molekuláris formában.

Ezek után már az sem meglepő, hogy a mi Napunk légkörében is kimutattak vizet. Illetve mégis meglepő! A Nap felszínének tekinthető réteg, a fotoszféra hőmérséklete 5600 K. Ilyen forróságban a vízmolekulák atomjaira esnek. A fotoszféra alacsonyabb hőmérsékletű helyei a napfoltok, ahol „csak” 3200 K körüli a hőmérséklet, és éppen a napfoltokat vizsgálva észlelték a vízmolekulák jellegzetes rotációs vonalait a mikrohullámú tartományban. A Nap kutatásával foglalkozó SOHO-űrszonda (1995 óta működik) megfigyeléseit elemezve még találgatni se kellett, hogy honnan kerül a víz a Nap felszínére: a Napba zuhanó üstökösök szállítják oda – hente átlagosan két ilyen kozmikus szikladarab (vagy inkább hógolyó) találja telibe a Napot.

Az idős csillagoknál kimutatott vízgőz egy része is eredhet üstökösbecsapódások alkalmával felszabadult vízmolekuláktól. De az idős óriáscsillagok környezetének fizikai vi-

szonyait elemezve egy másik magyarázat is elképzelhető. A vörös óriáscsillagok körüli porburok inhomogén, ezért a környező csillagok nagy energiájú sugárzása át tud hatolni a burok ritkább részein, és az ibolyántúli sugárzás fotonjai szétbontják a porszemcsék szilícium- és széntartalmú molekuláit, az ezekből kikerülő oxigénatomok pedig a csillagkörüli anyag hidrogénatomjaival vízmolekulát képeznek. Ezt már a 2009-ben felbocsátott Herschel-űrszonda mérései alapján vélik a szakemberek.

Túl a Tejútrendszeren • Érzékeny műszerekkel már jóval a Tejútrendszeren túl, nagyon távoli galaxisokban előforduló vizet is ki lehet mutatni. Ezt elősegíti, hogy az Univerzum tágulása miatt fellépő vöröseltolódás (a jól ismert Doppler-effektus) következtében a vízmolekula rotációs eredetű színképvonalainak hullámhossza a Földről nem tanulmányozható színképtartományból a milliméteres hullámhossztartományba kerül, ha a vizsgálandó galaxis nagyon távol van, ezek a vonalak pedig rádiótváncsövel a földfelszínről is észlelhetők.

Sőt, a vízgőz bizonyos körülmények között kialakuló mézerhatásra gerjesztett sugárzását is detektálták extragalaxisokat vizsgálva. A mézerjelenség a mikrohullámú színképtartományba eső stimulált emisszió, a látható fényt kibocsátó lézer hosszabb hullámú rokona.

A legtávolabbi hely, ahol eddig vízgőz jelenlétét sikerült kimutatni, egy 11 milliárd fényévre levő galaxis ún. *kvazártevékenységet* folytató magja. Ennek detektálásához a véletlen szerencse is hozzájárult: pontosan a távoli kvazár látóirányában, az előtérben (tőlünk 8 milliárd fényévre) egy másik galaxis van, amelynek tömege gravitációs lencseként felerősíti a háttérben levő objektum sugárzását. Így a legnagyobb földi rádióteleszkóppal,

a 100 m átmérőjű effelsbergi (Németország) antennával mindössze 14 órán át kellett gyűjteni a kvazárról érkező sugárzást a mézer eredetű vízgőzvonala detektálásához. Ha nem lépett volna fel ilyen lencsehatás, legalább másfél éven át gyűjtött adatok vezethettek volna hasonló eredményre.

A víz tehát nemcsak az ember számára fontos molekula. Bőséges előfordulása az univerzum mindennapjai szempontjából is meghatározó.

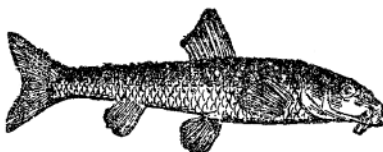
Kulcsszavak: *víz, bolygó, hold, Hold, Europa, Mars, csillag, csillagközi anyag*

IRODALOM:

Encrenaz, Thérèse (2007): *Searching for Water in the Universe*. Springer-Praxis

Hanslmeier, Arnold (2011): *Water in the Universe*. Springer

Kereszturi Ákos (2006): Fejezetek a Mars fejlődéstörténetéből. *Magyar Tudomány*. 166, 8, 946–954. • <http://www.matud.iif.hu/06aug/05.html>



Tanulmány

A FILOZÓFIA ÉS A TUDOMÁNYOK VITAINDÍTÓ

Nánay Bence

PhD, University of Antwerp, Cambridge University
bn2o6@cam.ac.uk

A filozófia és a tudományok¹ kapcsolata soha nem volt problémamentes, de az utóbbi időben egyenesen viharosnak nevezhető. Sok természettudós azt gondolja, hogy a filozófia nem vehető komolyan, mert semmibe veszi a tudományok által felfedezett empirikus tényeket; sok filozófus pedig úgy véli, hogy ezeknek az empirikus tényeknek semmi köziük a filozófiához, melynek nem kell tudomást vennie a tudományokról.

Tanulmányom arról szól, hogy miért elfogadhatatlan mind a két álláspont, mind a filozófusok, mind a tudósok számára. Ehelyett azt javaslom, hogy a filozófiát tekintsük elméleti természettudománynak. Tudatában vagyok, hogy ez radikális elgondolás – mint ahogy ez egy vitaindító esetében el is várható –, de nem látok alternatívát. Ráadásul ez nem pusztán normatív javaslat arról, hogy milyen jó lenne, ha ilyen lenne a filozófia: a kortárs analitikus filozófia épp ebbe az irányba tart (bár kissé bizonytalanul).

Több kollégám és ismerősöm is felhívta a figyelmemet arra, hogy ez a cikk – és az

¹ *Tudomány* alatt, itt és a következőkben *természettudományt* értek.

álláspont, amelyet itt kifejtek – a mai magyar politikai körülmények között könnyen félreértelmezhető, elsősorban a pár hónapja „filozófus-per”-ként elhíresült ügy miatt. Fontosnak tartom hangsúlyozni, hogy ez a cikk semmilyen formában nem erről az ügyről szól. Ez az írás nem aktuálpolitikai állásfoglalás, és nincs semmilyen aktuálpolitikai vetülete vagy következménye. A filozófia és a tudományok zavaros kapcsolatát szeretném tisztázni – és vitaindító szándékkal egy radikálisnak tűnő javaslatot tenni arról, hogyan érdemes megközelíteni ezt a kapcsolatot.

A filozófia halott!

A tavaly nagy port kavart *The Grand Design* című könyvben Stephen Hawking és társ-szerzője a következőkkel kezdi rögtön a bevezetőt: „A filozófia halott. Nem tartott lépést a tudományok (különösen a fizika) legújabb fejleményeivel. A tudósok lettek mára a felfedezés fátylájának hordozói a világ megismerésében” (Hawking – Mlodinow, 2010, 5).

Nehéz lenne tagadni, hogy manapság a tudomány, és nem a filozófia tekinthető a világ megismerése fátylahordozójának. De

ebből nyilvánvalóan nem következik, hogy a filozófia halott lenne. A filozófusok persze felháborodtak, szétszedték Hawking könyvét, filozófiai tévedéseket kerestek benne (ez nem is volt túl nehéz – Arisztotelész például nem négy, hanem öt alapelemről beszélt). Hawking filozófiaellenessége azért is meglepő, mert az ő megközelítése, amelyet „modell-alapú realizmus”-nak hív, valójában régi tudományfilozófiai elmélet, amely az 1930-as évekbeli Bécsi Kör filozófiájától kezdve a nyolcvanas évek konstruktív empiricizmusáig (Van Fraassen, 1980) óriási figyelmet kapott a tudományfilozófiai diskurzusban.

Mindez nem változtat azon a tényen, hogy Hawking egy valódi és nagyon is fontos problémáról beszél, amit minden filozófusnak komolyan kellene vennie. Arisztotelész idejében azok a tudományterületek, amelyeket ma a természettudományos karon tanítanak, még mind a filozófiához tartoztak. Idővel ezek sorra leváltak, legutóbb talán a pszichológia, a XIX. század végén. A kérdés, hogy mi maradt. Illetve, van-e okunk azt gondolni, hogy előbb-utóbb semmi nem marad a filozófiából.

Amíg még tanítottam, minden kurzusomat azzal kezdtem, hogy megkérdeztem a tanítványaimat: mi értelme filozófiát tanulni és nem tudományt? Miért percepciófilozófiát és miért nem perceptuális pszichológiát vagy látástudományt például. Vagy miért biológiafilozófiát és miért nem biológiát. A válaszok leginkább a filozófia és a tudomány közötti hagyományos határvonalat hangsúlyozták: filozófia: normatív, tudomány: deskriptív, filozófia: elméleti, tudomány: empirikus, filozófia: a lehetséges, tudomány: az aktuális, filozófia: az emberről, tudomány: a világról, filozófia: nagy kérdések, tudomány: kis, szűken behatárolt kérdések, filozófia: *a*

priori, tudomány: a *posteriori*. Könnyű megmutatni, hogy ezen distinkciók egyike sem működőképes. Nincs egyszerű dolgunk, ha a filozófiát a Hawking-féle érvekkel szemben meg akarjuk védeni.

Vannak azonban olyan kérdések, amelyeket a filozófia tud megválaszolni, a tudomány nem. Egyrészt a tudományok adottnak vesznek bizonyos alapfogalmakat. A genetikusok például adottnak veszik a gén, a populációbiológusok pedig a faj fogalmát. Elfogadják egy adott definíciót, és azt nem kérdőjelezzik meg, különben az igazi tudományos munkát el sem tudnák kezdeni. De a gén vagy a faj fogalma egyáltalán nem egyértelmű. És itt jön a filozófus, aki éppen arról gondolkodik, hogy mi is a gén vagy a faj. Ezt ideális esetben – mint látni fogjuk – nem a karoszékből, minden biológiai tudás nélkül teszi, hanem éppen a genetika eredményei és módszertana alapján, de fontos hangsúlyozni, hogy ezt a fajta analízist a filozófusoknak és nem a biológusoknak kell elvégezniük.

A másik példa még fontosabb. A tudomány által a világról és önmagunkról alkotott kép, valamint a naiv, az utca embere által a világról és önmagunkról alkotott kép nagyon különböző. Az utca embere azt látja, hogy mondjuk egy asztal vagy egy szék kemény, tömör tárgy. A tudomány azt mondja, hogy atomok összessége. Az utca embere azt gondolja, hogy a szomszédja fejében gondolatok és vágyak vannak. A tudomány azt állítja, hogy sok-sok idegsejt bonyolult hálózata. Ez a kétféle kép nem kompatibilis, és a filozófia feladata az, hogy a kettő közötti kapcsolatról beszéljen: arról, hogy hogyan lehet ezt az ellentmondást feloldani, de legalábbis együtt élni vele. Lehet ezt az ellentmondást úgy is feloldani, hogy tagadjuk a naiv elképzelés létjogosultságát: nincsenek tárgyak, csak ato-

mok, nincsenek gondolatok, csak neurális kapcsolatok. De ez filozófiai, és nem tudományos nézet (neve is van: eliminativizmus). A lényeg tehát az, hogy a tudomány és a mindennapi elképzeléseink összevetése a filozófia, és nem a tudomány feladata, hiszen ezen összevetés során a tudományt kívülről kell szemlélni és összehasonlítani a mindennapi, naív elképzelésünkkel.

A filozófia tehát nem halott. Sőt, az új tudományos eredmények nem a filozófia tartományából harapnak le kicsit, hanem még több muníciót szolgáltatnak a filozófia számára. Az más kérdés, hogy ha a filozófiának a tudományt komolyan kell vennie (mert a tudomány alapfogalmait hivatott tisztázni, vagy, mert a tudomány és a mindennapi fogalmak összehasonlítását végzi), akkor nem veheti semmibe a tudomány új eredményeit.

A filozófia független a tudományoktól!

A második, széles körben elterjedt és alapvetően hibás elképzelés a filozófia és a tudományok viszonyáról az, hogy a filozófia független a tudományoktól: nem kell félnie, hogy a tudományok háttérbe szorítják, mert nem versenytársak. A filozófia ugyanis nem empirikus alapra épít, hanem pusztán szellemi, netán fogalmi alapokra.

A filozófia tanszékek tájékán sokat lehet találkozni ezzel a nézettel, amelynek persze van többé és kevésbé szalonképes verziója. A mai filozófiai élet több jeles és mindenki által elismert képviselője, például George Bealer, Ernest Sosa, Timothy Williamson és Frank Jackson is hasonló nézeteket vall. Tyler Burge egyenesen a „neuro-halandzsá” túlértékeléséről beszél (Burge, 2010). A sokat hangoztatott érv az, hogy empirikus alapokra veszélyes dolog filozófiai rendszert építeni, mert tudományos elméletek jönnek-mennek, és ha a

filozófia a tudományok alapjain állna, akkor a tudományos elméletekkel együtt a filozófiai rendszereknek is menniük kellene.

A kérdés persze az, hogy ha nem empirikus alapokra építjük a filozófiai rendszert, akkor mire. Több megoldás is ajánlkozik, de egyik sem tekinthető különösebben ígéretesnek. Az ötvenes-hatvanas években sokan a nyelv vizsgálatára alapozták a filozófiát. Az elképzelés az volt, hogy akkor érthetünk meg valami fontosat a világból, ha odafigyelünk arra, hogyan beszélünk a világról. Emiatt a XX. század második felének analitikus filozófiája (a nem analitikus, „kontinentális” filozófia még inkább) nagy részben a természetes nyelv elemzésén alapult (és mind a mai napig jelennek meg nagy cikkek fontos filozófiai folyóiratokban, amelyek ezt a módszertant használják).

Ez a filozófiafelfogás tehát explicit vagy implicit módon feltételezi, hogy a nyelv pontosan tükrözi a valóságot, azaz a nyelv pont ott és csak ott tesz distinkciókat, ahol a valóságban distinkciók vannak. Ez a feltételezés azonban hamis. A nyelv azért evolválódott, hogy az esetek *nagy részében, körülbelül* helyesen reprezentálja a világot. Nem azért, hogy az esetek *összességében, pontosan* reprezentálja azt. Ha tehát valaki a nyelv elemzésének segítségével próbál megérteni valamit a világból, ez azt jelenti, hogy egy, a világot általában, de nem mindig, körülbelül, de nem pontosan reprezentáló rendszer segítségével próbálja megérteni azt, amit ez a rendszer reprezentál. Ennél azért kell, hogy legyen közvetlenebb módja a valóság felderítésének.

Akik a filozófia és a tudomány függetlenségét hangsúlyozzák, nem mind támaszkodnak a természetes nyelv elemzésére. Sokan úgy vélik, hogy intuíciónkra kell inkább hagyatkoznunk. Ezzel az elképzeléssel is sok problé-

ma van. Az első: nem világos, miért érdekes az, hogy egy filozófusnak milyen intuícói vannak? Lehet, hogy ez a filozófus rettenetes gyerekkori traumái miatt teljesen más intuíciókkal rendelkezik, mint bárki más.

Az intuíció-alapú filozofálás több képviselője ezen a ponton radikális lépésre szánta el magát: ne a *saját* intuíciónkra építsük a filozófiai rendszereket, hanem *mindenki* intuíciójára. Hogyan lehet ezt elérni: töltsünk ki kérdőíveket az utca emberével arról, mik az intuícói a különböző filozófiai problémákról. Ez a mozgalom, amit „kísérleti filozófiának” neveznek, alig pár éves, de egyre elterjedtebb, és nagy felfordulást okozott a filozófia világában. De a lényeg számunkra az, hogy ez a megközelítés ugyanúgy az intuíciónkra épít, mint a naivabb, karosszékből való filozofálás – csak éppen a szociálpszichológiából ellesett módszerekkel gyűjti ezeket az intuíciókat.

A probléma az, hogy akármilyen intuíciónra építeni nem ajánlatos – sem a sajátunkra, sem több ezer emberére. Vegyünk például egy fontos intuíción, amelyet biztos, hogy az emberek elsöprő többsége igaznak tart: ha egy átlátszó folyadékot összeöntünk egy másik átlátszó folyadékkal, átlátszó folyadékot kapunk. Ez az intuíció, bár az emberek túlnyomó többsége igaznak tartja, persze hamis, mint ahogy ezt mindenki tudja, aki aperitifnek szeret pastis-t inni: ha a pastis-ra vizet öntünk, egyáltalán nem átlátszó folyadékot kapunk (ugyanaz igaz az ouzora és a rakira is). Semmi okunk azt gondolni, hogy intuíciónk megbízhatóak lennének (lásd még: Dennett, 2005).

De talán az a probléma, hogy a folyadékok keveredése túlságosan tudományos kérdés, és ezért akadoznak intuíciónk, és filozofikusabb kérdésekről megbízhatóbb intuíciónkkal rendelkezünk? Sajnos, nem. Nézzünk

egy másik intuíción, ez esetben a percepciónról: a látómező minden pontját látjuk: ha valami érdekes történik a látómezőn, azt észreveszünk. Nos, ez sem igaz, mint azt az inattencionális vakságról szóló kísérletek sora bizonyította. Ahogy több mint száz éve Bálint Rezső (1874–1929) magyar neurológus és pszichológus (akiről a Bálint-szindrómát elnevezték) írta, „jól ismert jelenség, hogy semmit nem veszünk észre abból, ami körülöttünk történik, ha belefeledkezünk valamibe: ha a figyelmünket olyannyira csak egy dologra összpontosítjuk, hogy nem látjuk azokat a tárgyakat, amelyek a látómező periferiáján helyezkednek el, bár ezekről a tárgyakról visszaverődő fénysugarakat ugyanúgy feldolgozza az agykérgünk, mint bármely más látott tárgy esetében (Bálint, 1909). Ennek a jelenségnek ma már óriási irodalma van (lásd például Simmons – Chabris, 1999). Intuíciónk a percepciónról ugyancsak megbízhatatlanok.

De még a morális intuíciónk is megbízhatatlanok. Egy híres kísérletben a pszichológusok azt vizsgálták, hogy a kísérleti alanyok morális intuíción miként változnak, ha különböző paramétereket változtatnak (Schnall et al., 2008). A kísérleti alanyoknak aszerint kellett történeteket osztályozniuk, hogy ami bennük történik, morálisan mennyire jó vagy rossz. Mint kiderült, igen erős korreláció van a morális intuíció és aközött, hogy mennyire tiszta a kísérleti szoba, hogy találtunk-e pénzérmét az asztalon, hogy mosott-e kezét a kísérleti alany stb. Ha intuíciónk attól függenek, hogy mostunk-e kezét, vagy hogy vannak-e pizzamaradványok az asztal alatt, akkor igazán semmi okunk megbízni bennük.

Ha viszont sem a nyelv elemzésére, sem az intuíciónkra (sajátunkra vagy sok ezer emberére) nem tanácsos filozófiai rendszert építeni, akkor miből induljon ki a filozófia?

Az én válaszom: nincs más alternatíva: csak a tudományból indulhat ki (Nánay, 2010).

Filozófia mint elméleti (természet)tudomány

Ha nem akarjuk a filozófiát megbízhatatlan intuíciókra építeni, ugyanakkor el akarjuk kerülni a filozófia Hawking által lebegtetett halálát, nem marad sok választásunk: egyfelől a filozófiának a tudomány eredményein kell alapulnia, másfelől nem lehet azonos a tudománnyal. Ez, amennyire látom, csak egy lehetőségét hagy a filozófia számára: *a filozófiát elméleti tudománynak kell tekintenünk.*

A filozófiának a tudomány eredményeiből kell kiindulnia, de ezeket az eredményeket egy leírási szinttel feljebb kell leírnia, mint a tudomány teszi. A filozófiának tehát úgy kellene viszonyulnia a tudományokhoz, mint az elméleti biológiának a biológiához. Az elméfilozófiát tehát mint elméleti kognitív tudományt, a percepciófilozófiát pedig mint elméleti perceptuális pszichológiát kellene kezelni: a filozófia kontinuus a tudományokkal (lásd erről Quine, 1969 klasszikus érvét).

Mindez talán elfogadhatóbbnak tűnik az elméfilozófia és a percepciófilozófia esetében (Nánay, megjelenőben), de miként gondolkozunk a hagyományosan a tudományokhoz nem kapcsolódó filozófiai területekről, mint például a metafizika, az etika, a politikai filozófia vagy az esztétika? Vegyük ezeket sorra. A metafizikának komolyan kell vennie (több metafizikus az utóbbi években komolyan is veszi) a modern fizika eredményeit – a múlt évtized talán legnagyobb hatású metafizikai könyve (Maudlin, 2007) már címében is hirdeti ezt a hozzáállást. Az etikai és politikafilozófiai állításokat pedig viszonylag régóta kapcsolatba hozták a szociálpszichológiával.

Az esztétika különösen érdekes eset, mert talán ez az a filozófiai diszciplína, amely a leg-

kevésbé akar tudomást venni a tudományokról. Ám jobban megvizsgálva a nagy esztétikai kérdések túlnyomó többsége az elméről szól: arról, miként fogadjuk be a műalkotásokat, arról, hogy milyen mentális állapot az „esztétikai élmény”, hogy mi a különbség aközött, ha valamit szépnek, illetve csúnyának látunk, vagy például hogy milyen érzelmi állapot a katarzis. Ezek valójában mind az elméfilozófia (pontosabban a percepciófilozófia) hatáskörébe tartozó kérdések, és ezért tanácsos a kognitív tudományra támaszkodva választokat keresni. Amikor Alexander Baumgarten 1750-ben megalkotta az esztétika kifejezést, és megalapozta ezt a diszciplínát, az esztétikát mint az érzéki kogníció tudományát (*scientia cognitionis sensitivae*) határozta meg. Bár ma mást értünk tudománnyon, mint Baumgarten korában, ez a definíció mindmáig helytálló.

Nem azt javaslom, hogy a filozófusok napjaikat kutatólaborokban töltsék (bár néha az sem árt). Továbbra is filozófáljanak csak a kávézóknak. De ahelyett (pontosabban: amellett), hogy más filozófusokat olvasnának, tudományos folyóiratokat is kellene olvasniuk – viszonylag, sőt, meglepően sokan amúgy is ezt teszik évek, ha nem évtizedek óta.

Tisztában vagyok azzal, hogy a filozófia mint elméleti (természet)tudomány víziója radikális elképzelés, és a filozófusok talán nyolcvan százaléka felháborítónak, örültnek és pozitivistának tartja. De egy generációval ezelőtt még a filozófusok 99 százaléka tartotta volna felháborítónak, örültnek és pozitivistának. Időközben felnőtt egy filozófusgeneráció, amely(nek egy része) számára természetes, hogy minden héten megnézze, van-e valami érdekes a *Science*-ben vagy a *Nature*-ben. Ezt a filozófusgenerációt nehéz lesz rávenni arra, hogy inkább az intuícióira hallgasson, mint a tudomány eredményeire.

IRODALOM

- Bálint Rezső (1909): Seelenlahmung des 'Schauens', optische Ataxie, räumliche Störung der Aufmerksamkeit. *Monatsschrift für Psychiatrie und Neurologie*. 25, 51–81. DOI: 10.1159/000210464 (angol fordítás: Bálint Rudolph – Harvey Monika (1995) *Cognitive Neuropsychology*. 12, 3, 265–281. DOI:10.1080/02643299508251999)
- Burge, Tyler (2010): A Real Science of Mind. *New York Times*. 19 December 2010. • <http://opinionator.blogs.nytimes.com/2010/12/19/a-real-science-of-mind/>
- Dennett, Daniel C. (2005): *Sweet Dreams*. MIT Press, Cambridge, MA
- Hawking, Stephen – Mlodinow, Leonard (2010): *The Grand Design*. Random House, London; (magyarul: A nagy terv, Akkord, Budapest 2011)
- Maudlin, Tim (2007): *Metaphysics within Physics*. Oxford University Press, Oxford
- Nánay Bence (2010): A Modal Theory of Function. *Journal of Philosophy*. 107, 8, 412–431. <http://philpapers.org/rec/NANAMT>
- Nánay Bence (megjelenőben) *Perception, Action, and What's in between*. Oxford University Press, Oxford
- Quine, Willard Van Orman (1969) Epistemology Naturalized. In: Quine, Willard Van Orman: *Ontological Relativity and Other Essays*. Columbia University Press, New York
- Schnall, Simone – Benton, J. – Harvey, S. (2008): With a Clean Conscience. Cleanliness Reduces the Severity of Moral Judgments. *Psychological Science*. 19, 1219–1222. <http://www.psy.plymouth.ac.uk/research/ece/publications/pdf/Clean-Conscience.pdf>
- Simmons, Daniel J. – Chabris, Christopher F. (1999): Gorillas in Our Midst: Sustained Inattentional Blindness for Dynamic Events. *Perception*. 2, 1059–1074. • http://www.cnbc.cmu.edu/~behrmann/dlpapers/Simons_Chabris.pdf
- Van Fraassen, Bas (1980): *The Scientific Image*. Oxford University Press, Oxford



AZ ANTIPOZITIVIZMUS ÁRAMÁBAN*

A BÖHM-ISKOLA ÉS A LUKÁCS-KÖR A SZÁZADELŐN

Percz László

az MTA doktora, egyetemi tanár,
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
szerkesztő, *Magyar Tudomány*
perczl@hotmail.com

„Fejtegetéseinknek erről a pontjáról immár világos képet alkothatunk magunknak Böhmnek és az erdélyi iskolának értékefilozófiai jelentőségéről. Az értékelő tudat fejlődési stádiumainak feltárása és a köztük lévő összefüggés tisztázása, az önérték fogalmának felismerése és az értékelés gerincfogalmává avatása épp oly maradandó érdem, mint az egyes értékfajok természetének elemzésében elért eredményeik.”

Kibédi Varga Sándor (1980, 65.)

„Azt mondhatnám talán, hogy egy bizonyos normativizmus jellemzi etikai és esztétikai meggyőződéseinket – de nem az akadémikusság szabálykövetelése –, világnézetünkben pedig egy metafizikára törekvő idealizmus, mely azonban semmitől sem áll távolabb, mint a pozitív vallások ama bizonyos kényszerült idealizmusától.”

Mannheim Károly (1980, 188.)

•

Kibédi Varga Sándor, bár az egyik tanítvány tanítványaként maga is a Böhm-iskola kései

követőjének számít, az utókor perspektívájából veszi szemügyre és a történész módszereivel vizsgálja meg tárgyát: az „erdélyi” és a badeni iskolát párhuzamba állító, 1939-es előadásában méltatja így Böhm Károlynak és tanítványainak értékefilozófiai munkásságát. Mannheim Károly viszont a korabeli résztvevő hangján szólal meg és a programalkotó társ jogán beszél a maga szellemi közösségéről: a Lukács-kör intézményesítési kísérletének, a Szellemi Tudományok Szabad Iskolájának második szemeszterén, 1917 őszén elhangzott programelőadásában fogalmazza meg ekképpen a „vasárnapos” közösség idealista-metafizikus világnézeti törekvéseit.

Minket most éppen az érdekel, ami a két képben közös: a szellemtudományos axiológia és az etikai idealizmus határozott antipozitivistá tendenciája. Előadásunk tárgya tehát: a századelő Böhm-iskolájának és Lukács-körének szerepe az antipozitivistá korérzékelés meghonosításában.

A gondolat, meglehet, elsőre talán mehökkentőnek tűnik, törekedni fogunk azonban érvelni mellette. Együtt emlegetni Böhm Károlyt és Lukács Györgyöt, és párhuzamba állítani egymással a tanítványaikat, ugye,

* Ez az esszé eredetileg a VII. Nemzetközi Hungarológiai Kongresszus Filozófia szekciójának nyitóelőadásaként hangzott el, Kolozsvárt, 2011. augusztus 23-án.

szokatlanak minősíthető: legalábbis, mondjuk így, sem a mesterek, sem a tanítványaik szempontjából nem tűnik plauzibilis vállalkozásnak.

Böhm és Lukács? Böhm Károly a magyar filozófiatörténeti hagyomány sokáig elfeledett, sőt feledésre ítélt, majd éppen mostanában újrafelfedezni kezdett alakja, a tizenkilencedik század utolsó harmadának és a huszadik század első évtizedének tevékeny gondolkodója, szolid kései rendszeralkotó. Lukács György a magyar filozófia vitathatatlanul legkiemelkedőbb személyisége, a hazai bölcséleti hagyomány alighanem legjelentősebb és az egyetemes európai kánonba talán egyetlenként beletartozó szereplője, az egész huszadik századon végigívelő hatású filozófus. Böhm neve manapság nemigen mond semmit még a műveltnek számító átlagértelmiségi számára sem, Lukács ellenben még mostanában is széles körben szenvedélyes érzelmeket – azaz: dühödt gyűlölségeket – képes kiváltani.

Böhm-iskola és Lukács-kör? A Böhm-iskola – az eredetileg Erdélyi Iskolaként, az utóbbi időben mind gyakrabban Kolozsvári Iskolaként emlegetni szokott csoportosulás – Böhm egyetemi tanítványi köréből alakul. Böhm maga ugyan, tudvalévően, nincs felhőtlen viszonyban az intézmények világával, az akadémiai-egyetemi tudományosság hivatalos intézményei ugyanis jó ideig nem ismerik el a munkásságát: évtizedekig középiskolai tanárságra kényszerül, professzori aspirációja kudarcot vall, akadémiai pályamunkái sikertelenek maradnak. Ötvenévesen lesz egyetemi tanár és az akadémia levelező tagja, ötvenöt évesen választják a filozófiai társaság alelnökévé. A megkésett elismerésekkel azonban mégis bekerül a tudományosság hivatalos intézményrendszerébe: a kolozsvári pro-

fesszúra éppenséggel élete legtermékenyebb korszakát fogja eredményezni. Nos, iskolája ekkor szerveződik meg: élete utolsó másfél évtizedének előadásait látogató hallgatóiból alakul ki. Résztevői a jelesebb tanítványai lesznek, maguk is valamennyien intézményesen jól pozicionált szereplők: a két háború közötti korszak protestáns filozófus- és teológusnemzedékének megbecsült alakjai.

A Lukács-kör – ez a Böhm-iskolához képest jóval kevésbé intézményesedett csoportosulás – Lukács század eleji baráti hálózataiból szerveződik. Lukácsot, ismeretesen, nemhogy harmonikus viszony nem fűzi a korabeli intézményrendszerhez: ifjúkori munkássága nem csupán a hivatalos intézményeken kívül születik meg – egyenesen azok ellenében jön létre. Lukács a magyar századelső „ellenkultúrájának” áramában indul: teljesítménye az önmagukat a kiüresedettnek és elidegenedettnek érzett hivatalos kulturális intézményrendszerrel szemben megfogalmazva színre lépő törekvések sorában értelmezhető. Neki, lehet mondani, sem filozófiafölfogása, sem szerepelképzelései, sem szellemi törekvései nem illenek a korszak – általa elmaradottnak érzett – hivatalos filozófiai intézményrendszerének keretei közé: hangsúlyozottan distanciát tartanak azoktól. Habilitációs kísérletei mind a budapesti, mind a heidelbergi egyetemen kudarcot vallanak: a hivatalos intézmények helyett maga teremt önmagának saját szellemi kört. Szellemi körének tagjai legjelentősebb kezdeményezéseinek – előbb rövid életű folyóiratának, utóbb „vásárnapos” baráti társaságának – a részttevői: később, a forradalmak bukása utáni emigrációjukban egymástól jelentősen eltérő szellemi irányok felé forduló, ám valamennyien nemzetközi hírnevet szerzett gondolkodók.

Írásunk két gondolatmenetre tagolódik. Előbb, pár vonással, a pozitivizmus századvégi hegemoniájának képét rajzoljuk meg, külön fölillantva néhány kiemelkedő szereplő alakját. Utóbb, részletesebben, egyrészt a Böhm-iskola, másrészt a Lukács-kör hozzájárulását vázoljuk az újidealista korérzékelés hazai elterjesztéséhez és evvel az említett pozitivisták hegemonia megszüntetéséhez. Érvelésünk *faciája*, megelőlegezve, hogy a hazai filozófiai fejlődés e fontos szerepét a két csoportosulás épp azért képes eljátszani, mert csoportosulások – mindkettő a tradíciókban olyannyira szürkölődő magyar filozófiában a tradícióteremtés kísérletével szolgál tehát.

A pozitivizmus hegemoniája

Kiindulópontunk, ismételjük, a századvégi pozitivizmusa. Ekkorra monopolhelyzetét talán már elveszíti – a befejeződő század utolsó évtizedében már föltűnnek az antipozitivisták tendenciák –, hegemoniáját mindenesetre megőrzi, sőt, a századelőn, a szociológia tudományának hazai intézményesülésével recepciójának újabb hulláma is megindul. A korszak közmeggyőződésének alapja tehát változatlanul a pozitivizmus marad: nem egyszerűen a filozófiai irányzatok egyikeként, hanem ennél átfogóbb, világnézet-meghatározó ideológiaként. Filozófiai alakja abban az általánosan elterjedt nézetben ölt testet, hogy a filozófiai kérdések közvetlenül tudományos kérdésekké alakíthatók, s mint tudományos kérdések véglegesen meg is válaszolhatók. Szcientizmus, metafizikaellenesség, haladás-hit, a természettudomány megismerési mintaként történő fölfogása, az egységes tudomány eszménye: ezek így együtt a korszak széles körben osztott meggyőződései.

A pozitivisták meggyőződés-együttes, mondjuk újra, a korszakban szerfölött elter-

jedtnek mondható, a korszak véget értével azonban meglepően gyorsan plauzibilitását veszti. A korszakban tehát csaknem mindenki osztja – legyen kevésbé jelentős vagy jelentős gondolkodó –, a korszak végeztével azonban csaknem mindenki túllép rajta –, aki mégis kitart mellette, a kortársak szemében afféle idejét múlta csodabogárnak tűnik föl.

Hogy érthetővé váljon, miről beszélünk, négy nevet említünk: Pauer Imrét, Pauler Ákosét, Pikler Gyuláét és Posch Jenőét. Az előbbi kettő a pozitivisták meggyőződés-együttes színvonalkülönbségeire, az utóbbi kettő a pozitivizmus plauzibilitásvesztésével előálló kényszerű anakronizmusra szolgál példával.

Pauer Imre a pozitivisták projekt kétségkívül szerényebb színvonalú változatát valósítja meg. Az ő neve manapság jobbára csupán a hazai filozófiai múlt specialistáinak számára ismerős, pedig annak idején, a maga korszaka szerfölött aktív és meghatározó intézményes pozícióit birtokló szereplőjének számít. A pozitivizmus recepciójának szorgalmas, ám kevésbé eredeti munkása, akinek az életútja látványos sikertörténet, életműve pedig egy közepes képességű ember rendkívüli szorgalmáról tanúskodik. Legfontosabb munkái – a több kiadást is megérő, háromkötetes, pszichológiából, logikából és metafizikából álló bölceleti propedeutikája, illetve a voltaképpen főműve, a Gorove-díjjal jutalmazott etikája – nem a pozitivizmus valamiféle alkotó átvételében jeleskednek: mint már a velük szemben megfogalmazott korabeli plágiumvadás is mutatják (Percz, 2003), éppen séggel inkább a kiválasztott nyugati pozitivisták szerzők közvetlen, reflektálatlan és szolgalmód önállótlan átültetése jellemzi őket.

Pauler Ákos, a másik oldalon, nyilvánvalóan a pozitivizmus színvonalasabb megvalósításával szolgál. A két háború közötti korszak

hivatalos bölcséletének meghatározó szereplőjeként – egyszerre szakmailag legpozicionáltabb és gondolatilag legjelentősebb gondolkodójaként – ő egyébként, ugye, tiszta logikai idealizmusával szerepel a hazai filozófiai kánonban. Indulásának éveit azonban a pozitívizmus befolyásolja: gyerekkori metafizikai rokonszenveit háttérbe szorítva, mintegy évtizedre a pozitívizmus elkötelezettje lesz. A pozitívizmus melletti – részben a családi örökség hatására, részben a természettudományok iránti rokonszenv nyomán, részben pedig az egyetemi tanulmányok befolyása következtében bekövetkező – döntése mindenesetre, a bölcselő monográfiájának érvelése meggyőzőnek tűnik, szerves „gondolati fejlődés” eredménye (Somos, 1999, 27.). A pálya pozitivistája főműve, a természetfilozófia fogalmának szentelt doktori disszertáció – a maga pszichologista alapelvének, az „alany-tárgy korrelativitása” tanának következetes kifejtésével – éppenséggel a magyar filozófiai pozitívizmus legmagasabb színvonalú változatát nyújtja.

Pikler Gyulát a hazai szociológiai pozitívizmus legszínvonalasabb képviselőinek egyikéként szokás számon tartani. Főművében, a jog keletkezéséről és fejlődéséről írott monográfiájában kidolgozott „belátásos elméletével” a pozitívizmus organicista társadalomfölfogásának hatásos koncepcióját alkotja meg. A századelő hazai közegében szükségképp a progresszió melletti és a reakció elleni közvetlen állásfoglalássá alakuló elméletét teoretikusan megalapozandó, pályája második felében fiziológiai lélektani kutatásokba kezd. Ez a pszichológiai munkásság azonban hiába születik javarészt német nyelven: szerzőjüket a korszak kibontakozó új társadalomelméleti-szociológiai paradigmájától mind messzebb távolítják (Loss, 1995, 56–58.). Fokozatosan önállósló kutatásai mind kevésbé

képesek betölteni a nekik szánt, megalapozó funkciót. Pikler mint kísérleti pszichológus nemzetközi ismertségre tesz szert; mint a természettudományos metodológiát követő pozitívizmus megkésett hívének, munkássága mind anakronisztikusabbá válik.

Posch Jenő pályája sok tekintetben párhuzamosságokat mutat a Piklerével. Ő nagynevű kortársánál kevésbé ismert, bölcséletileg azonban alighanem mélyebb szereplő. Egész életét a bölcséleti tudományosság központjaitól távol éli le – előbb vidéki, majd fővárosi középiskolai tanár –, csak élete alkonyán jut szakmai elismeréshez. Mindkét főműve – időelméleti nagymonográfiája és lélektani összefoglalása – határozottan antimetafizikus, az empirikus tudományosság adatait közvetlenül mozgósító, elkötelezetten pozitivisták munkája. Törekvései a kortársi pozitívizmus ismeretfilozófiájának és lélektanának eredményeire támaszkodnak, ám rendkívül eredeti gondolatmeneteket vonultatnak föl: pszichológiája például – a pszichikum jelenségeit az emberi viselkedés megnyilvánulásain keresztül igyekezvén megragadni – bizonyos értelemben tehát egyenesen a behaviorizmust előlegezi meg. Munkásságára ugyanakkor sajátos megkésetttség árnya vetül. Az új században – legújabb értelmezőjének szellemes meghatározása szerint – a pozitívizmus „utolsó bozótharcosainak” egyikévé válik (Mester, 2011, 245.): nem hajlandó tehát tudomást venni a korszak megváltozott, az újidealizmus különféle áramlatai által kialakított bölcséleti légköréről.

Az újidealizmus hulláma

Merthogy a korszak bölcséleti légköre alig néhány esztendő alatt megváltozik. Leegyszerűsítve – de különösebb túlzás nélkül – fogalmazva: amíg úgy 1900-ban lényegében

mindenki elkötelezett pozitívista, addig 1920-ra gyakorlatilag mindenki lelkes antipozitivistává válik. A hazai bölcséletben rövid időn belül afféle Gestalt-váltás megy végbe: amit a filozófusok mindaddig egyféleképpen láttak, azt most egyszerre másféleképpen kezdik látni. A pozitívizmus – az európai hatástörténethez képest nálunk egyébként jelentősen tovább tartó – hegemoniájának megszűntével a századfordulótól egyszerre jelenik meg tehát az antipozitivistá „újidealizmus” különféle áramlatainak hatása. Megélenkül a Nietzsche-, megindul a Bergson-recepció, elterjednek a neokantiánus és az életfilozófiai irányok különböző változatai, befogadóra talál a bolzanoi logika, a meinongi tárgyelmelet és a husserli fenomenológia.

Immár közelebbi tárgyunkra térve, előadásunk föltevése, hogy az újidealista korérzékelés meghonosításában kiemelkedő szerepet játszik az említett két csoportosulás: a kolozsvári Böhm-kör a századfordulón és a budapesti Lukács-kör a tízes években. Böhm Károly és tanítványai a badeni neokantiánus iskola eredményeivel rokon értékfilozófiát dolgoznak ki (Percz, 1998), Lukács György és követői – előbb *A Szellem* folyóirat szerzői, utóbb a Vasárnapi Kör tagjai – részben kantiánus, részben életfilozófiai fogalmi keretbe foglalt etikai idealizmust képviselnek (Karádi, 1980).

Böhm és tanítványai

Az állítás, el kell ismernünk, Böhm esetében némi argumentációra szorul. Böhm jóval korábbi generációhoz tartozik, mint Lukács – még a 19. század első felében, 1846-ban születik –, a pozitívizmust – szemben a bármifajta pozitívista törekvést legelső teoretikus kísérleteitől kezdve azonnal mélyeséges ellenszennvel figyelő Lukáccsal – legitim irányzatnak, sőt a *par excellence* tudományos filozófia

lehetséges alapjának tekinti. Rendszerének eredeti terve, ismeretesen, épp a pozitívizmus és a kantianizmus összeegyeztetésének – Kant „comte-izálásának” – gondolatára épül. A Comte-tal kiegészített Kanttal eredetileg a korai – pozitíviztikus-antimetafizikus – neokantianizmus programját kívánja végrehajtani: a tapasztalat határait megállapító Kant és a tapasztalat adatait rendszerbe foglaló Comte összekapcsolását szeretné elvégezni. Ráadásul – rendszerének minden tényleges változása dacára –, élete végéig fenntartja a meggyőződését, hogy a filozófiának a pozitív tudományok szolid alapjára kell épülnie, illetve megőrzi a homályosnak érzett – sőt, a „misztikával” rokonnak gondolt – metafizikával szembeni idegenkedését. Idegenkedése abban is megnyilvánul, hogy a bölcsélet újabb, metafizikai fejleményeit kifejezett ellenszennvel figyel: homályos „balsejtelmeket” (Mester, 2007) fogalmaz meg velük kapcsolatban.

Mindez igaz, kétségtelenül. Csakhogy maga a rendszer, amelyet indulásának rövid bölcséleti kaleidoszkópját maga mögött hagyva, érett gondolkodóként, lényegében folyamatosan, három évtizeden keresztül szakadatlan továbbépít, éppenséggel a pozitívizmustól fokozatosan eloldódó, a metafizikai iránt ellenben mindinkább nyitott konstrukció lesz. Szándéka szerint egyetlen rendszeren dolgozik mindvégig, ez az egyetlen rendszer azonban az elkészült művek felől tekintve két rendszernek látszik. Az egyik az említett, az indulásának idején megfogalmazott, a kantianizmus és a pozitívizmus összeegyeztetésével kísérletező, pozitívista-antimetafizikai szisztéma, a másik a gondolkodásának átalakulása nyomán kibontakozó, a badeni neokantiánusok törekvéseivel rokon értékfilozófiához eljutó, újidealista, a metafizika iránt nyitott konstrukció. Böhm szellemi fejlődésútja eb-

ben az értelemben paradigmaticusnak mondható: maga is követi korszaka – az előző század utolsó harmada és az új első évtizede – kontinentális filozófiájának a pozitívizmustól az újidealizmusig ívelő, hatalmas fordulatát.

A korábbi rendszer alapfogalmával, az „öntéttel” – az öntudatos és öntudatlan lelki tevékenységek funkcionális egységével, a folyamatosan tevékeny szellem maga-kifejtésével – szemben az új rendszer fundamentálfilozófiai kategóriája a „projekció” lesz. A projekciótan szerint a szellem öntudatlan projekciói a létező valóságot alkotják meg, tudatos projekciói viszont a megteremtendő értékvilágot írják elő. A böhmi rendszer ez utóbbi ponton alakul át pozitív naturalista bölcseléből normatív érvényességfilozófiává: a „való” mellett tehát kibontakozik a „kellő”, az ontológia mellett előtűnik a deontológia, a megismerés mellett megjelenik az értékelés. A körvonalazódó értékelmélet egyszerre látszik antropológiának, történetfilozófiának és kultúrfilozófiának. Az antropológia az absztrakt emberkép fundamentumává teszi az értékproblémát, a történetfilozófia az ember és kultúrfejlődés kibontakozását építi az értékek belső dialektikája, a kultúrfilozófia pedig a különböző kultúrszférákat magyarázza az értékek tipológiája segítségével.

A böhmi rendszer végeredménye ilyenformán kritícista értékelméletbe ágyazott, történet- és kultúrfilozófiává táguló transzcendentálfilozófia. Szintetizáló jellegével és sokféle területen érvényesülő magyarázóerejével ez lesz az a rendszer, amely rendkívüli hatást gyakorol Böhm közvetlen tanítványaira, a megszerződő Erdélyi Iskola tagjaira.

Az iskola Böhm kései bölcséletének megfelelően a badeni neokantiánusokkal rokon értékfilozófiai programmal indul tehát. Tagjai a neokantianizmus előfeltevéseivel és ka-

tegóriarendszerével fognak munkához: filozófiájukat normatív módon értelmezik, transzcendentálfilozófiai keretbe foglalt értékfilozófiaként határozzák meg, és hangsúlyozottan elhatárolják a pozitív-naturalista-relativista irányzatoktól. A törekvés, a maga társadalmi-tudományos optimizmusával, magabiztos fejlődéshítével és a szilárd értékvilágbizonyosságával, a tízes években még problémamentesen képviselhető, a húszas évektől, a szellemtörténeti korérzékülés kibontakozása nyomán azonban mind aggályosabbá válik. A világháború végével a neokantianizmus az európai–német filozófiában hirtelen összeomlik, a magyar filozófiában pedig lassú visszavonulásba kezd. Az Erdélyi Iskola tagjai közül az eredeti program mellett csak néhányan tartanak ki: a többség vagy hallgatólagon, vagy programatikusan új irányok felé tájékozódik. Ilyenformán – noha a résztvevők identitásának hosszú ideig része marad saját tanítványi tudatuk és a mester emlékének életben tartását a halála után két esztendővel megalapított Böhm Károly Társaság is segíti –, az Erdélyi Iskola története, lehet mondani, az Erdélyi Iskola fokozatos fölbomlásának, a neokantianizmus lassú plauzibilitásvesztésének története.

Lukács és követői

Míg Böhm, ha megkésve is, de el tudja foglalni a maga helyét az akadémiai-egyetemi tudományosságban, addig a pályakezdő Lukács határozottan kívül áll az egész hivatalos intézményrendszeren, és tudatosan nem kapcsolódik egyetlen intézményes törekvéshez sem. A korabeli magyar filozófia a nagy nyugati filozófiákhoz – elsősorban a közvetlen mintaként szolgáló német filozófiához – képest elmaradottnak, meghatározó pozitívista iránya a nyugati tendenciákhoz képest meg-

késettnek nevezhető. (Percz, 2004) Lukács hangsúlyozott distanciát tart ettől az elmaradottságától és megkésettiségtől: a filozófus-szerepről alkotott elképzelésével, filozófiáfölfogásával és szellemi törekvéseivel egyaránt kívül helyezi magát a korszak hivatalos magyar filozófiai intézményrendszerének keretein. Pályáját, ismeretesen – megsemmisítésre ítélt szépirodalmi kísérletek után –, impresszionista modorú színikritikákkal kezdi meg, egyetemi tanulmányait nem a bölcsészkaron, hanem a jogi karon folytatja, filozófiáfölfogása egész premarxista korszakában ingadozik a szisztematikus-tudományos beállítottság és az esszéisztikus-irodalmias orientáció között (Congdon, 1983).

Legjelentősebb kezdeményezései – előbb *A Szellem* című folyóirat, utóbb a Vasárnapi Kör létrehozása – kettős értelmezési keretben helyezhetők el. Intézményesen egyfajta „ellenkulturális” orientációt képviselnek: a hivatalos filozófiai intézményrendszer radikális bírálataira épülnek. Irányzatilag hangsúlyozott antipozitivistá-„újidealista” beállítódást testesítenek meg: a kortársi hivatalos filozófiatudomány pozitívizmusának éles kritikáján alapulnak (Gluck, 1985; Percz, 2008).

Lukács korábbi vállalkozása, *A Szellem* megindítása nyilvánvalóan azzal függ össze, hogy a pályakezdő gondolkodó nem talál törekvései számára megfelelő megnyilvánulási fórumot. A hivatalos filozófiatudomány korabeli közlönyeit – az *Athenaeum*-ot, illetve *A Magyar Filozófiai Társaság Közleményei*-t – a lapos pozitívizmus orgánumának, illetve a bölcséleti elmaradottság szomorú megnyilvánulásának tekinti. A korszak ellenkultúrájának folyóirataival közelebbi kapcsolatot tart ugyan, egymástól különböző okokból azonban egyik sem válik sajátképpeni orgánumává: a *Huszedik Század*-ot a pozitivistá beállít-

tottság, a liberális evolucionizmus – általában: az optimista világnézet – teszi idegenné a számára, a *Nyugat*-ban az impresszionisztikus szubjektívizmust és az értékrelatívizmust találja ellenszenvesnek. *A Szellem*, a szerkesztőtársával, Fülep Lajossal együtt szerkesztett orgánum a kortárs német bölcséleti szemlélet, a *Logos*-t tekinti mintájának. A hivatalos egyetemi-akadémiai tudományosságtól hangsúlyozottan független orgánumnak a szerkesztők kettős feladatot szánnak: a hazai filozófiai kultúra terjesztésének, illetve az antipozitivistá-metafizikai újidealizmus térhódításának elősegítését. A két feladat felfogásuk szerint nem különül el, hanem szorosan összekapcsolódik egymással: a gazdag és élénk filozófiai kultúra hiányáért ugyanis az antimetafizikus pozitívizmust tekintik felelősnek, a hiány megszüntetését ezért éppen az újmetafizikától várják. A folyóirat azonban igen rövid életűnek bizonyul, technikai problémáknak és szemléleti ellentéteknek egyként betudható okokból, egyetlen évfolyamot sem ér meg: 1911 elején indul, s még ugyanazon évben megszűnik – a márciusi első számot mindössze a decemberi második szám követi.

Lukács másik jelentős kezdeményezése, a Vasárnapi Kör hasonlóképp az ellenkultúra megnyilvánulásaként, az antipozitivistá „újidealizmus” fórumaként jelentkezik: a magyar progresszió belüli új utat kereső generáció baráti csoportosulásaként indul el. Ahogy *A Szellem* a hiányzó bölcséleti orgánum megteremtésének kísérleteként fogható föl, *mutatis mutandis*, a Vasárnapi Kör a filozófia intézményes – akadémiai-egyetemi – művelésének afféle kritikáját nyújtja. A kör – ahogy a résztvevők emlegetik: ez az „ideális filozófiai akadémia” – találkozásai 1915 őszén, Lukács Heidelbergből való kényszerű és időleges hazatérése után kezdődnek, vasárnap délutá-

nonként – innen a „vasárnaposok” megjelenés –, Balázs Béla budai lakásán. A beszélgetéseket a spontaneitás jellemzi, az összejövetelek mégis határozott irányt mutatnak: a meghívottak valamennyien kifejezetten metafizikai érdeklődésűek, új résztvevő csak jelölés nyomán csatlakozhat a társasághoz, minden tagnak vétőjoga van. A kezdetben bármely intézményesítettséget nélkülöző összejövetelek másfél év múltán, 1917 elején szervezettebbé válnak, és a nyilvánosság elé lépnek: a Vasárnapi Körből kialakul a Szellemi Tudományok Szabad Iskolája. Az *Előadások a szellemi tudományok köréből* címet viselő vállalkozás programjában – hangsúlyozottnan *nem* népszerűsítő szándékkal – az „új spiritualizmus” és „idealizmus” világnézetének terjesztését tűzi célul. Az előadók csaknem valamennyien a kör tagjai.

Mind a Vasárnapi Kör, mind a belőle kinövő Szellemi Tudományok Szabad Iskolája világnézete egyfajta „etikai idealizmusnak” nevezhető (Karádi, 1980, 27.). Mindkét szerveződés határozott pozitívizmus- és impresszionizmusellenessége mélyén dualista világkép fedezhető föl: a „közönséges élet” és a valódi „értékvilág” szembeállítása húzódik meg. A beállítás nem rendszeres-teoretikus kifejtésben kap hangot: hol életfilozófiai, hol kantianus fogalmi keretben szólal meg. A dualista konstrukció Lukácsnál nyeri el legszubtilisebb formáját: ennek kategoriális hálójában az „élet” és a „lélek” metafizikai fogalma áll egymással szemben. Eszerint az élet a közönséges, inautentikus lét, a lélek pedig a valódi, autentikus lét. Az élet a külső, mechanikus, emberidegen erők világa: az intézmények és konvenciók halott szükségszerűségeinek birodalma. A lélek az emberi világ szubsztanciája és az autentikus individualitás: a minden személyiséget önértékké emelő,

megismételhetetlenné és pótolhatatlanná tevő magot képezi tehát (Márkus, 1997). A szembeállítás meghatározza a csoportosulásnak mind esztétikai, mind etikai, mind politikai felfogását. Esztétikai tekintetben az életből kinövő, az életet mégis meghaladni képes mű fogalmához vezet el. Etikailag a kötelesség kanti és a szeretet dosztojevskiji etikájának szembeállítása következik belőle. Politikailag pedig előbb az élet inautentikus szférájának érzett politikum éles elutasítása, majd – a csoportosulás meghatározó tagjai számára – a valóság teljes megváltoztatásának ígéretét kínáló bolsevik politika fölállása lesz a következménye (Kettler, 1967, 18–27.).

•

A múlt század elejének Böhm-iskolája és Lukács-köre, hadd húzzuk alá még egyszer befejezőképp, egymáshoz hasonló szerepet játszik a hazai bölcselet fejlődésében. Mindkettő számottevően járul hozzá a pozitívizmus hegemoniájának megtöréséhez és az újidalista korérezékelés meghonosításához. Mindkettő olyan csoportosulást képez (az előbbi intézményesen formalizáltabb jelleggel, az utóbbi inkább laza baráti körhöz hasonló keretek között), amelyik szervezési próbálja a filozófiát a magyar kultúrában: mindkettő a filozófiai tradícióteremtés műhelye tehát. Böhm és Lukács, persze, sem közvetlenül, sem akár közvetve nem kapcsolódik egymáshoz. Böhm, bizonyosak lehetünk benne, Lukács nevét sem ismeri: amikor meghal, 1911-ben, az ifjú metafizikus mögött még csaknem kizárólag folyóirat-közlemények állnak, egyetlen könyve, esszéketének magyar nyelvű kiadása jelent meg csupán. Ha hallana róla, valószínűleg valamiféle aggályosan híg esszéistának és gyanúsán ködös fecsegőnek gondolná a pályakezdő fiatal embert. Lukács ellenben, ez is

föltétlenül így van, bizonyosan hallott Böhm-ről, jogi tanulmányait Kolozsvárott fejezi be ugyanis 1906-ban, a kolozsvári filozófiaprofesszor legsikeresebb éveinek egyikében: ugyanakkor írásban soha nem tesz akár rövid utalást sem a kolozsvári professzorra. Föltehetően nem tekinti egyébnek ötletelen és gondolatlan, menthetetlenül unalmas és eredménytelenül száraz katedrafilozófusnál.

A tradíciók nem kapcsolódnak tehát egymáshoz. A mai filozófiatörténész feladata, hogy kapcsolatot állapítson meg közöttük, az antipozitivizmus egyazon áramában helyezve el őket.

Kulcsszavak: *Böhm Károly, Lukács György, magyar filozófiatörténet, pozitivizmus, újidealizmus.*

IRODALOM

- Congdon, Lee (1983): *The Young Lukács*. University of North Carolina Press, Chapel Hill
- Gluck, Mary (1985): *Georg Lukács and His Generation, 1900–1918*. Harvard University Press, Cambridge, Mass. <http://books.google.com>
- Karádi Éva (1980): A Vasárnapi Kör világnézete. In: Karádi Éva – Vezér Erzsébet (szerk.): *A Vasárnapi Kör: Dokumentumok*. Gondolat, Budapest, 24–41.
- Kettler, David (1967): *Marxismus und Kultur: Mannheim und Lukács in den ungarischen Revolutionen 1918/19*. Luchterhand, Neuwied/Berlin
- Kibédi Varga Sándor (1980 [1939]): Magyar és német filozófia: Az erdélyi és bádeni iskola. In: Kibédi Varga Sándor: *A szellem hatalma. Aurora Könyvek*. München, 55–67. • <http://mek.oszk.hu/02500/02594/>
- Loss Sándor (1995): A jogbölcselet és a lélektan vonzásokörében: Pikler Gyula társadalom- és jogbölcselete. In: Szabadfalvi József (szerk.): *Portrévázlatok a magyar jogbölcseleti gondolkodás történetéből: Pulszky, Pikler, Somló, Moór, Horváth, Bibó. Prudentia Iuris* sorozat. Bíbor, Miskolc, 45–62.
- Mannheim Károly (1980 [1918]): Lélek és kultúra. In: Karádi Éva–Vezér Erzsébet (szerk.): *A Vasárnapi Kör: Dokumentumok*. Gondolat, Budapest. 186–202.
- Márkus György (1997 [1973]): A lélek és az élet: A fiatal Lukács és a »kultúra« problémája. In: Kardos András (szerk.): *A Budapesti Iskola: Tanulmányok Lukács Györgyről II.* (Alternatívák). Argumentum–Lukács Archívum, Budapest, 36–68.
- Mester Béla (2007): „Nyilván »angyalkák« leszünk”: Böhm Károly balsejtelméi a következő nemzedék filozófiájáról. *Pro Philosophia Füzetek*. 52, 3–11.
- Mester Béla (2011): Az akarat mint képzet. In: Laczkó Sándor (szerk.): *Lábjegyzetek Platónhoz 9: Az akarat*. Pro Philosophia Szegedi Alapítvány–Magyar Filozófiai Társaság–Státus, Szeged, 244–252.
- Percz László (1998): Túl a neokantianizmuson: Vázlat az Erdélyi Iskoláról. *Pro Philosophia Füzetek*. 13–14. 219–235.
- Percz László (2003): Túl az iskolafilozófián: A Pauer–Kármán-vitáról. In: Mészáros András (szerk./red.): *Iskolai filozófia Magyarországon a XVI–XIX. században. Školská filozofia v Uhorsku v XVI–XIX. stočí. Dialógus Könyvek. Edícia Dialógus*. Kalligram–A Magyar Köztársaság Kulturális Intézete/Kultúrny inštitút Maďarskej republiky, Pozsony/Bratislava, 145–152.
- Percz László (2004): A magyar filozófiai intézményrendszer kialakulása. In: Mester Béla – Percz László (szerk.): *Közelítések a magyar filozófia történetéhez: Magyarország és a modernitás. Recepció és kreativitás*. Áron, Budapest. 40–74.
- Percz László (2008): The Background Scenery: “Official” Hungarian Philosophy and the Lukács Circle at the Turn of the Century. *Studies in East European Thought*. 60, 1–2, 31–43.
- Somos Róbert (1999): *Pauler Ákos élete és filozófiája*. Paulus Hungarus–Kairosh, Budapest

LISZT FERENC HEURISZTIKÁJA

Bogoly József Ágoston

az irodalomtudomány kandidátusa

littera@invitel.hu

*Liszt Ferenc zeneszerzői
és előadóművészi újításairól*

Liszt dinamikus előadóművészi újításai, variabilitásban tündöklő interpretációs újraalkotó képességei a romantikus fantáziát fölzsabadító integratív zeneszerzői alkotásmóddal ötvöződtek. Ennek eredménye: hang-szó-kép-káprázat-látomás egymásba épülése, szukcesszív hatás, áthangolódás, tágulás a lebegő hangnemekben és a hangnem nélküli időskori művekben. Liszt zenei tématranszformációi, irodalmi tématranszformációi, komplementer zenekulturális utóképei, a szimfóniára, etűdre vonatkozó újításai, szabad átdolgozásai, rapszodikus zenei emlékezései, előrefutó újformákat kereső zeneszerzői törekvései a 20–21. század számára felértékeltek művészetét. Liszt a programzene képviselőjeként híve volt a zene és az irodalom egymáshoz közelítésének. Szimfonikus költeményeinek zömét az általa preferált irodalmi kánon alapján komponálta. A zene az irodalom társművészete, historikus irodalmi és ahistorikus morfológiai, esztétikai szempontból is. Irodalom-zene-intertextualitás-szonalitás-ikonaszonalitás. A komplementer közelítő folyamat másik irányultsága is érdekes, itt a költők fordulnak a zene és a zeneszerző felé. Vörösmarty Mihály: *Liszt Ferenchez* című költeménye és Juhász Gyula: *Liszt Ferenc emlékezete* című verse jó példa erre.

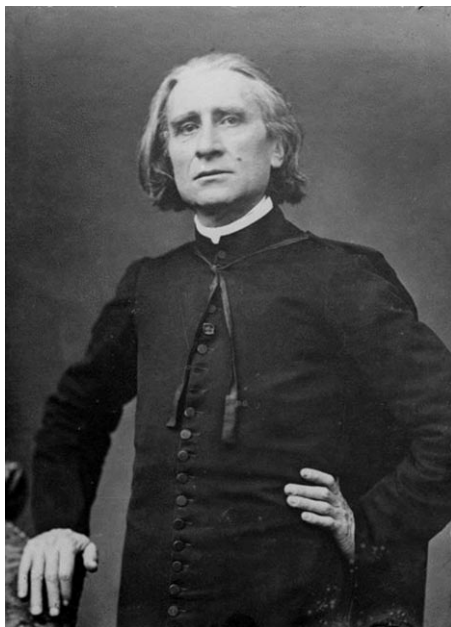
Liszt széleskörű repertoárismerete lehetővé tette a zenei rétegek, stílusmaszkok alkotó felismerését, az átíratok generálását (Kregor, 2010), az egyes művek között a parafrázisok dallamfüzéreinek egymásba játszását, a nyitott zenei gondolkodás kialakítását. A kromatikával való fölényes bánásmódja fokozta a zenei fényerő- és zenei időkép-formálás lehetőségét. Liszt romantikus komponálási mintázatai, hangszíndimenziókat formáló „zeneköltői” művei jövőbe mutató jelleggel rendelkeznek. Zenei folyamatelemzőként, partitúraértelmezőként, olvasás közben szinte már átíratot készített, vagy egyedi művet komponált. A megnyilvánulást, az alkotásmódot illetően, a romantika korszakában Liszt egyik kortársa, Heinrich von Kleist hasonló kognitív dinamizmust vizsgált *A gondolat fokozatos születése a beszéd folyamán* (cca. 1805–06) című írásában (*Orpheus*, 1992).

A romantika esztétikájából inspirálódó zenei „egyetemes” és a „nemzeti” felfogástípusok ötvözése, a teremtő képzelet játéka, a zenei polimodalitás érvényesülése és a színes előadói magatartás „performance” felé mutató jelei jellemzik Liszt Ferenc művészetét. A Niccolò Paganini közönség sikerein iskolázott Liszt hangszerének lehetőségeit tágítva, saját zenei arculatára, „zongorára alkalmazta” mindazt, amit előadói mozgásban, a test reprezentációjában, a külső megjelenésben és virtuozitásban a hegedű nagyhatású művésze-

től tanult (Gárdonyi – Mauser, 1988; Gooley, 2004). Liszt Ferenc a zenei előadói konvenciókat zongorajátékának virtuozitásával átörökte, a zongoránál zeneköltői lélekjelenléte elemi erővel nyilatkozott meg, kézmozdulatait, testtartását átjárta az interpretáció öröme (Hamilton, 2008). Néhány kortársa meg is szólta ezért.

A Pesten megjelenő, *Honművész* című folyóirat 1833. április 14-i számában *Liszt Párisban* címmel zenei hír olvasható: „[...] *a párisi legügyesebb klavirjátósok közé számítatják. Neheztelnek reá, hogy az általa nyilvánosan játszott remekműveket kellemetlenül szokta megprémezni, s ez által elcsonkítja. Ezen kívül szemére hányják, hogy játszás közben kezeivel s lábával igen heves mozgásokat tesz.*”

Hogyan értékelték saját kora Lisztet, s miként változott megítélése a máig tartó évtizedek során? Többek között a *Gazetta Musicale di Milano* című folyóirat is tudósításokban foglalkozott Liszt Ferenc itáliai látogatásaival és hangversenyeivel, a közönség reagálásaival. A tizenhat év (1870–1886) tudósításait Szerző Katalin tárta föl és *Il cerebro Maestro* címmel tanulmányt írt Liszt zenéjének befogadástörténetéről (Szerző, 1986). Az 1880-as években volt olyan vélekedés, hogy az idős Liszt zeneileg terjenegs, és már nem tud újat hozni. Liszt időskori alkotókísérleteit értetlenség vette körül. A



Csárdás macabre című Liszt-mű esetében az üres kvint tremolók kromatikus menete zavarta a konvencionális ízlésű zeneértőket. A népzenei motívumokat néha konvencionálisan felhasználó nemzeti művészetet Liszt Ferenc szinte a zenei neo-rapszodosz szenvedélyességével újította meg a *Csárdás macabre* című művében. Liszt hatott Bartók zenei-gondolkodási stílusára és zeneszerzési gyakorlatára.

Vikárius László: *Modell és inspiráció Bartók zenei gondolkodásában* című könyve (1999) többek között Bartóknak Liszt: *Magyar rapszódia*k című tizenkilenc darabból álló művéhez való viszonyát is megvilágítja. Liszt közel kilencven szakrális műve közül kiemelkedik a bibliai szövegre épülő *Krisztus* című oratórium (1855–1867). A 19. század vége óta nagyot változott Liszt megítélése. Liszt német, osztrák, magyar, angol,

francia, olasz recepciótörténetének kiterjedt szakirodalmá van. Az Európán kívüli befogadói folyamatok vizsgálatánál főleg az amerikai, ausztráliai, japán és kínai Liszt-recepció értelmezése hozhat további új eredményeket (Gibbs – Gooley, 2006).

Bartók Béla önéletrajzi írásában így értékelt Liszt zeneművészetét: „*Újból tanulmányozni kezdtem Lisztet, nevezetesen kevésbé népszerű alkotásait, mint pl. az »Années de Pèlerinage«-t, a »Harmonies poétiques et religieuses«-t, a »Faust-szimfónia«-t, a »Halál-*

tánc«-ot, stb. – és ezek a tanulmányok némi, számomra kevésbé rokonszenves külsőségeken keresztül a dolgok magvához vezettek: foltárult előttem ennek a művésznek igazi jelentősége, műveinek jelentőségét nagyobbabbnak éreztem a zene fejlődése szempontjából, mint Wagnerét és Straussét.” (Bartók, 1989).

Szabolcsi Bence: *Liszt Ferenc estéje* című, 1956-ban megjelent munkája az időskori művek jövőbe mutató jellegét emelte ki. A 20. század, az avantgarde felől tekintve Liszt néhány időskori műve előfutárnak tekinthető. Liszt változó megítélésének tekintetében Bartók Béla: *Liszt-problémák* című székfoglaló előadásáról és Somfai László Liszt Bartókra kifejtett hatását elemző írásairól sem szabad megfeledkezni.

Az előadóművészi vagy a zeneszerzői erények a Liszt-életmű legfőbb értékei? Más részletkutató és összefoglaló tanulmányok mellett Jim Samson Liszt etüdjével foglalkozó könyve (Samson, 2004) és az általa kiadott zenetörténeti kézikönyvben a John Williamson által írt fejezet iránymutató lehet a kérdés újszerű megválaszolásában (Williamson, 2001). Gárdonyi Zsolt és Siegfried Mauser a Liszt-zongoraművekre vonatkozóan foglalkozott a kérdéssel, Dana A. Gooley pedig a virtuóz Liszt alakját rekonstruálta. A Harvard University Pressnél megjelent Charles Rosenkönyv a korszak zeneszerzőinek bemutatása tekintetében érdekes (Rosen, 1998).

A Kenneth Hamilton által kiadott Liszt-tanulmánykötet fontos kérdéseket tárgyal, Liszt és a romantika, Liszt zongorajátéka, előadóművészete, egyházzenei művei, szimfonikus költeményei és szimfóniai kérdéskörében is (Hamilton, 2005).

Új távlatot nyitó értelmezések is születnek: Liszt szimfonikus költeményéről és a kétdimenziós szonátaformáról érkező Steven

Vande Moortele: *Beyond Sonata Deformation: Liszt's Symphonic Poem Tasso and the Concept of Two-Dimensional Sonata Form* című tanulmánya is ilyen (Moortele, 2008). Liszt művészete az érdeklődés középpontjában van. Például a Royal Academy of Music (London) a „Liszt-workshop” színhelye a Liszt-év (2011) alkalmából, itt Alan Walker, John Amis, Chris de Suza, Hugh Wood, Grace Frances, Alfred Brendel, Fischer Iván, Eckhardt Mária, David Wilde, Ross Alley és Marguerite Woriff voltak a meghívottak.

Liszt and the Arts: International Interdisciplinary Conference címmel egy jelentős budapesti tudományos ülésszakon (2011. november 18–20.) foglalkoznak Liszt Ferenc művészetével. Szegedy-Maszák Mihály Liszt Ferenc irodalmi kánonjáról értekezik. Serge Gut Alphonse de Lamartine és Liszt művészetének kapcsolatát vizsgálja, Gerhardt Winkler a Tasso-téma tükröződését tanulmányozza Goethe, Lord Byron és Liszt művében, Peter Bloom Hector Berlioz és Liszt zenéjét hasonlítja össze. Rossana Dalmonte a fiatal Liszt itáliai költészetre, zenére irányuló érdeklődését elemzi, Juan José Pastor Comín a Petrarca-sonettek Liszt-féle olvasatát értelmezi újra, Helmut Loos a Mendelssohn-levelekből Liszt művészetfölfogására vonatkozó következtetéseket fogalmaz meg, Dorothea Redepenning Liszt és a képzőművészetek viszonyát tárja fel. Többek között Alan Walker, Hamburger Klára, Rena Charnin Mueller, Richard Taruskin, Grabócz Márta, Grace Yu, Geraldine Keeling és Patrick Boenke budapesti konferencia-előadása is több új szempontot alkalmaz a megújult Liszt-kutatásban. Zene- és médiakutatók a Wagner művészetét újabb nézőpontok szerint kutatókhoz hasonlóan a Liszt-zene multimédiába történő innovációjának bővítési lehetőségeit keresik.

Interarts Studies. Liszt Ferenc felismerte a művészeti ágak közötti kreatív kapcsolatot

A hangemlékek, a nem műzei benyomások, a hangeffektusok látens zsinórmértékei is fontosak. Liszt Ferenc doborjáni kisgyerekkorát emlegeti 1881-ben, amikor életében utoljára látogat szülőfalujába. Visszaemlékezését Csatai Endre így vázolta (Csatai, 1961): „Egy rossz karban levő kályha láttán elmondta, hogy azt még ő tette tönkre, mert korán érdekelték a robajok, ezért a kályhába puskaport töltött és meggyújtotta. A nagy robbanásra berohant az apja és nem törődve a kísérlet eredendő okával, elpáholta a fűcskát. A Knalleffekt-et így követte a Schlageffekt, tréfálkozott az agg művész. Szerette dobszóval végigjárni a falut, ezért még a parasztasszonyok is haragudtak rá, mert a lárma menekülésre készítette a baromfiakat.” Ezek Lisztnél az erős zajélmény és a tompán rövid dobhang első emlékei. A kései műveiben fölbukkanó disszonáns atmoszférát tápláló régi hangemlékek. A hang befogadásának vagy elutasításának mértékei, dinamikai tartományai kanonizálódnak, hangélmények alapján gyerekkorban rögzülnek.

Liszt Ferencet a régi korokban élt zeneszerzők művei is foglalkoztatták. Művelődési, eszmetörténeti, bölcséleti és személyes baráti tájékozódása során Liszt korának jelentős szerzőivel, személyiségeivel került kapcsolatba. Pauler Ákos által dióhéjban összefoglalva (Pauler, 1922): „Bár alapos iskolázottságban nem volt része, a géniusz erejével és csodás fogékonyságával pótolta műveltségbeli hiányait s férfikorában széleskörű és sokoldalú tudományos kultúrával rendelkezett. Kimutathatólag mély benyomást tett rá Homeros, Platon, Marcus Aurelius, Szent Ágoston, Dante, Shakespeare, Lamennais, Lamartine, Leibniz, Pascal, Cousin, Locke, Byron, Victor Hugo, Schopenhauer; Cha-

teaubriand, és sok más kiváló gondolkodó és költő.” Liszt személyes kánonjaként értelmezhető ez a lista. Ben Arnold részletesen feltárta Liszt olvasmányait, szellemi-művelődési-enei érdeklődésének forrásait (Arnold, 1998).

A mai Interarts-kutatási irány heurisztikáját Liszt Ferenc néhány ponton jócskán megelőzte, hiszen már a 19. század első harmadában felismerte a művészeti ágak közötti kapcsolat intermediális szellemiségét, kreatív módon alkalmazta az irodalom, a zene, az intertextualitás, az ikonzonalitás egymáshoz kapcsolását.

Milyen irodalmi kánon hatott Lisztre párizsi időszakában? Milyen volt az „Új nemet zenei iskola” kánonkörnyezete weimari korszakában? A kánonalkotással (Gorak, 1991) rokonítható jelenségekből is találhatunk néhányat Lisztnél? Saját korában hogyan értékelték Liszt Ferencet, a zeneszerzőt? Amikor *h-moll szonátájával* kapcsolatos egykorú értetlenségekről olvasunk, elkedvetlenedhetünk. Richard Wagner Londonból Lisztnak írt elismerő levelét viszont dupla örömmel veszi tudomásul még az utókor is. A zenebefogadó közönségen sok múlik, a már ismert és kanonizált zeneművek felől áthallási képességek épülhetnek ki az öntörvényű, újabb világot föltáró zenei műalkotások felé. A zene alakulástörténetében, a zeneszerzők részéről Liszt újításait felismerte Ferruccio Busoni, Wagner, Claude Debussy, Gustav Mahler, Ravel és Bartók. Mahler többször is szívesen vezényelte Liszt *Szent Erzsébet legendája* című, részben wagneri kezdeményezéseket követő oratóriumát. A hatástörténet a zenei formanyelvben metamorfózisokat működtet, az allegóriák, a metaforák, a szimbólumok, a nyitott áthangolódások, a kontrasztok, a zenei fantáziák sokszínű világa ez. Liszt néhány művében a zenei impresszionizmus korai

jellemzői is feltűnnek. A Liszt-zeneművekből jó példa erre: *Vándorévek III. no. 4. Villa d'Este szökőkútjai*.

Liszt művészete összetett zenei formakapcsolatokat tartalmaz. Ennek van egy zenei alaktani-zenesztétikai és egy másik külső kapcsolattörténeti vonatkozása. Liszt német–osztrák–francia–magyar–olasz–spanyol–oroszlengyel–angol–cseh zenei kapcsolatait érdemes lesz hatástörténeti értelmezési igényre a „szó-kép-zene kölcsönviszonyok” halmazába illesztett módon kutatni (Szegegy-Maszák, 2007). Liszt latin, francia, olasz, német, osztrák, magyar, spanyol, orosz, angol, amerikai és lengyel irodalmi kapcsolatainak feltárása fontos előzetes tényezőket tartalmaz irodalmi kánonjának megállapításához. Liszt irodalmi kapcsolatainak irodalmi közvetítő-kön, személyeken, irodalmi műveken, zeneműveken átszövődő részleteire vonatkozó korábbi kutatásokat is fontos megemlíteni (Hankiss, 1941; Liszt, 1959).

Jelentős tény: a hang, a szó, a kép, a zene kölcsönhatásának és az idősíkok egymásba nyitásának következményeként a képzelet, a képzőművészet és az építészet együttes élményének hatására Liszt fölismerte a művészeti ágak egymáshoz kapcsolódó szellemiségét. Hangsúlyozta, hogy a zene az irodalom társ-művészete. Liszt Ferenc Hector Berlioznak írja levelében (Takács, 1941) első olaszországi útjáról: „Csodálkozó szemem előtt megnyílt a művészet a maga teljes pompájában. Láttam egész egyetemességében, egész egységében. Minden nap érzései és gondolatai megerősítettek abban a meggyőződésemben, hogy a géniusz művei rejtett rokonságban vannak egymással. Ráfael és Michelangelo jobban megértetik velem Mozartot és Beethovent, Giovanni Pisano, Fra Beato, Francia megmagyarázzák nekem Allegrit, Marcellot, Palestrinat. Tiziant és Rossinit két

egyforma fényű csillagnak látom. A Colosseum és a Campo Santo az Eroica szimfóniával és a Requiemmel rokonok. Dante Orcagnában és Michelangelóban talált visszhangra.” Az abszolút zene és a programzene egymástól eltérő koncepciójának érvényesülése kétféle hatástörténetet bontakoztat ki. A társművészetek zenéhez közelítését vizsgáló hermeneutika kidolgozása, a művészeti területek egymással viszonyos hatása értelmében, időszerű feladat (Szegegy-Maszák, 2008).

Liszt Ferenc zenéje társművészeti kapcsolatai miatt előhívó, emlékeztető művelődési szereppel rendelkezik. Zeneműveiben az irodalmi hagyományból előhívja Torquato Tasso, Petrarca, Dante, Shakespeare, Goethe, Friedrich Schiller, Ludwig Uhland, Johann Gottfried Herder, Nikolaus Lenau, Garay János, Petőfi Sándor, Alphonse de Lamartine, Pierre-Jean de Béranger, François-René de Chateaubriand, Gottfried August Bürger, Lord George Gordon Byron, Christian Friedrich Hebbel, Emil Kuh, Heinrich Heine, Victor Hugo, Jókai Mór, Alexandre Dumas, Hoffmann von Fallersleben, Joseph Victor von Scheffel, Georg Herwegh, Ferdinand Freiligrath, Emanuel von Geibel, Friedrich von Bodenstedt, Henry Wadsworth Longfellow, Lord Alfred Tennyson és Lev Nyikolajevics Tolsztoj műveit (Arnold, 1998).

Az utókor az előadóművész és a zeneszerző Liszt munkásságában előremutató értéket talál. Liszt Ferenc felismerte az egyébként különálló művészeti ágak egymásba kapcsolódó, összekötődő szellemi áramlását. Távtatos felismerése a saját korszakában érintkezett Richard Wagner összművészeti elképzeléseivel és a jövővel, (*Gesamtkunstwerk; Fusion of the Arts; Interarts Studies*). Liszt az irodalmi művek hatásán túl még a képzőművészeti alkotások hatásstruktúráit is zeneműveibe

építette. A Liszt Ferenc felismeréseiben rejlő társművészeti lehetőségeket (Packer – Jordan, 2001) technikai-zenei eszközökkel a 20–21.

századi audiovizualitást kiterjesztő elektronikus médiaművészet, a multimédia világa fejlesztheti tovább.

Kulcsszavak: *Liszt Ferenc műveinek kutatása, Liszt Ferenc zenéje és a társművészetek, irodalom és zene, hang-szó-kép. Interarts Studies*

IRODALOM

- Arnold, Ben (1998): *Liszt as Reader, Intellectual, Musician*. In: Saffle, Michael (ed.): *Analecta Lisztiana I: Proceedings of the „Liszt and His World” Conference Held at Virginia Polytechnic Institute and State University, 20–23 May 1993. Franz Liszt Studies Series no. 5*. Pendragon, Stuyvesant, NY, 37–60.
- Bartók Béla (1989): *Önéletrajz (1921–1923). Bartók Béla Írásai*. 1. köt. Közreadó: Tallián Tibor. Editio Musica, Budapest, 32.
- Csatkai Endre (1961): Liszt Ferenc és Sopron. *Soproni Szemle*, 3, 19. • http://epa.oszk.hu/01900/01977/00053/pdf/EPAO1977_Soproni_Szemle_1961-xv-3.pdf
- Gárdonyi, Zsolt – Mauser, Siegfried (1988): *Virtuosität und Avantgarde. (Untersuchungen zum Klavierwerk Franz Liszts.)* Schott, Mainz
- Gibbs, Christopher H. – Gooley, Dana A. (eds.) (2006): *Franz Liszt and His World*. Princeton University Press, Princeton–Oxford
- Gooley, Dana A. (2004): *The Virtuoso Liszt*. Cambridge University Press, Cambridge, NY
- Gorak, Jan (1991): *The Making of the Modern Canon. Genesis and Crisis of a Literary Idea*. Athlone Press, London–Atlantic Highlands, NJ • <http://books.google.com>
- Hamilton, Kenneth (ed.) (2005): *The Cambridge Companion to Liszt*. Cambridge University Press, Cambridge • <http://books.google.com>
- Hamilton, Kenneth (2008): *After the Golden Age. Romantic Pianism and Modern Performance*. Oxford University Press, Oxford • <http://books.google.com>
- Hankiss János (1941): *Liszt Ferenc, az író*. Rózsavölgyi és Társa, Budapest
- Kleist, Heinrich von (1992): A gondolat fokozatos születése a beszéd folyamán. (fordította Klemm László). *Orpheus*, 1, 109–113.
- Kregor, Jonathan (2010): *Liszt as Transcriber*. Cambridge University Press, Cambridge • <http://books.google.com>
- Liszt Ferenc válogatott írásai*. I–II. (1959): Vál., bev. Hankiss János. Liszt Ferenc Zeneműkiadó, Budapest
- Moortele, Steven Vande (2008): Beyond Sonata Deformation: Liszt’s Symphonic Poem Tasso and the Concept of Two-Dimensional Sonata Form. *Current Musicology*, 86, 41–62. • <https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/232969/2/beyond>
- Packer, Randall – Jordan, Ken (eds.) (2001): *Multimedia. From Wagner to Virtual Reality*. W. W. Norton & Company, New York.
- Pauler Ákos (1922): *Liszt Ferenc gondolatvilága*. Budavári Tudományos Társaság, Budapest
- Rosen, Charles (1998): *The Romantic Generation*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts–Cambridge University Press, Cambridge, UK
- Samson, Jim (2004): *Virtuosity and the Musical Work. The Transcendental Studies of Liszt*. Cambridge University Press, Cambridge, Cambridge, UK • <http://books.google.com>
- Szegedy-Maszák Mihály (2007): *Szó, kép, zene. A művészetek összehasonlító vizsgálata*. Pozsony, Kalligram
- Szegedy-Maszák Mihály (2008): Hang és szó, nemzeti és világművészet. *Alföld*, 3, 32–43. • <http://www.alfoldfolyoirat.hu/node/112>
- Szerző Katalin (1986): „Il celebre maestro...”: egykorú tudósítások Lisztről a Gazzetta Musicale di Milano hasábjain (1870–1886). *Magyar Zene*, 1, 39–43.
- Takács Menyhért (1941): *Liszt Ferenc érzelmi világa. Lélektani adalékok a romantikus zene esztétikájához*. Országos Széchényi Könyvtár, Budapest, 83.
- Vikárius László (1999): *Modell és inspiráció Bartók zenei gondolkodásában*. Jelenkor, Pécs
- Williamson, John (2001): *Progress, Modernity and the Concept of Avant Garde*. In: Samson, Jim (ed.) (2002): *The Cambridge History of Nineteenth-Century Music*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 287–317. • <http://books.google.com>

MI A REGIONÁLIS TUDOMÁNY?

Enyedi György

az MTA rendes tagja

enyedi@rkk.mta.hu

Az MTA kutatóintézeteinek indokolt átszervezési vitáiban felmerült az MTA Regionális Kutatások Központjának sorsa. Úgy tűnik, hogy az MTA Közgazdaságtudományi és Világgazdasági Intézetével alkot majd egy Gazdaságtudományi és Regionális Tudományi Központot, pécsi székhellyel és budapesti irányító központtal. Az átszervezés vitái során felmerült, hogy a regionális tudomány léte kétségbevonható: a tudomány egy és oszthatatlan, s nyilván nincs dél-alföldi vagy dél-tiroli matematika. Angol neve (*Regional Sciences*) közel egy évszázada szerepel a tudományos névjegyzékekben, 1952-ben alakult meg nemzetközi szervezete, tehát nem magyar szeszély alkalmi szülötte. Úgy látszik, az angol név félreérthető, ezért röviden kifejtjük lényegét, hogy az intézeti átszervezések eredményességét ne gátolják félreértések.

A regionális tudomány azt vizsgálja, hogy a társadalom területi egyenlőtlenségeit milyen tartós folyamatok formálják? Az egyenlőtlenségek – pl. az elmaradott régiók kialakulása és tartós megléte, illetve a gazdag régiók városok kiemelkedése – hosszantartó, tartós folyamatok eredményei, egy-egy rögtönzött intézkedés ezeken keveset változtat. Ezek a folyamatok kvantifikálhatók, modellszerűen leírhatók, előrejelezhetők. Ez a regionális tudomány alap kutatási eredménye, mely rövid, fejlesztő kutatási szakasz után alkalmazható, a területi egyenlőtlenségek mérsékelhetőek.

A területi egyenlőtlenségeket létrehozó folyamatok összetettek: gazdasági, szociológiai, antropológiai, demográfiai, társadalomföldrajzi, geopolitikai s más folyamatokról van szó. Ezért e folyamatok számos diszciplína tudáskészletével magyarázhatóak. E szempontból hasonlítható a környezetkutatáshoz, mely számos természet- és társadalomtudományi vizsgálatot kíván, a talajpusztulástól a városi közlekedés légszennyezéséig.

A területi egyenlőtlenségek politikai feszültségeket keltenek. Ezért az egyenlőtlenség mérséklése kiemelten fontos s jelentősen finanszírozott cél. Ám a beavatkozások csak akkor lehetnek eredményesek, ha hosszú távon érvényesülnek, s nem a tüneteket, hanem a hosszú távú folyamatokat próbálják befolyásolni. Ezek leírása, vizsgálata, a területpolitikai beavatkozások előkészítése a regionális tudomány feladata. E tudomány művelésében jelentős nemzetközi megbecsülést ért el a huszonnyolc éve működő Regionális Kutatások Központja, mely közös nemzetközi projektekben, publikációkban, konferenciák szervezésében (az European Regional Studies Association eddigi leglátogatottabb tudományos konferenciáját 2010-ben Pécsen tartotta) roppant aktivitást mutat. Kár lenne meglévő értékeinkkel rosszul sáfárkodni.

Kulcsszavak: *regionális tudomány, területi egyenlőtlenségek, területi politika*

Tudós fórum

A MAGYAR TUDOMÁNY ÜNNEPE • 2011

November 3-án Pálinkás József, az MTA elnöke ünnepi köszöntőjével Miskolcon megkezdődött a Magyar Tudomány Ünnepe rendezvénysorozata. A tudományos eseményfolyam vidéki és budapesti programjain az érdeklődők megismerhették a különböző diszciplínák kiválóságainak, a tudomány iránt elkötelezett és a nemzet problémáira fogékony kutatóinak korunk legégetőbb kérdéseire adott válaszait.

PÁLINKÁS JÓZSEF KÖSZÖNTŐJE A MAGYAR TUDOMÁNY ÜNNEPÉN

– Miskolc, 2011. november 3. –

Manapság hódítanak a „sok az egyben” megoldások. Milyen elbűvölő is egy mozdulattal háromféle összetevőt keverni a kávénkba, többféle hatású adalékot adni a mosóvízhez, vagy sokféleképpen tájékozódni egy alkalma-zással! Kettő, sőt három az egyben: ezt hirdetik a termékekről és ezt ígérik a lehetőségekről...

Tisztelt Rektor Úr!

Tisztelt Professzor Asszonyok és Urak!

Tisztelt Egyetemi Kollégák és Diákok!

Szeretettel köszöntöm a Tudomány Ünnepeinek minden Vendégét!

Azt gondolom, hogy ha eltávolodunk a marketing-ígéretektől, akkor a kettő kevés, s bizony a három sem elég. Mind az életben, mind a tudományban mindent egységben

kell látnunk, az egyensúly és az egész felé törekedve kell gondolkodnunk. Minden hozzájárulásunkkal az együttműködő, egymást erősítő gondolatokat és feladatokat kell szolgálnunk. Mindenhol, de a tudományban mindennél jobban.

Másképpen fogalmazva: meg kell éreznünk a középső szólamot, amelyet egyik kéz sem játszik.

Hiszen a zongorista játékát hallgatva arra gondolunk: vajon melyik kéz játssza a középső szólamot? Vajon hogyan lesz a két kéz által életre hívott hangokból, ott, a két futam találkozásánál zene, miként szólnak az eltérő szólamok sokszínű egyként?

Az a bizonyos középső szólam a találkozás, amely bizonyítja, hogy az eltérő hangzások is az egység, a közös dallam felé törekednek.

Az a bizonyos középső szólam az összhang, amelyben minden különözésnek értelme, feladata és helye lesz. A tudomány ünnepe idén erről az összhangról szól.

Tudom, jól tudom: egy válsággondolattól meggyötört, és a változásfeladattól elfáradt kor nehezen hisz abban, hogy létezik összhang. Hogy a különálló erők tudnak egyként működni, hogy a sokféle figyelem egy irányba tekinthet, hogy a részekből összeáll, és megújul az egész. Ez a kor, a miénk, nehezen bízik már abban, hogy az összhang, ez a gyönyörködtező középső szólam, valójában a jövő hangja, amelynek hívását mindannyian jól halljuk.

Pedig a tudományágak összekapcsolódása, együttműködése, összhangja meghatározó lehet abban, hogy korunk nehézségeire a legjobb válaszok születhessenek. Ezek a válaszok azonban csak a tudomány, a társadalom, a politika és a gazdaság valódi együttműködésében születhetnek meg.

A Magyar Tudomány Ünnepeének idei összhangzatával is az a célunk, hogy Széchenyi István jövőt ígérő akaratát évről évre a tudomány legkiemelkedőbb eredményeinek és legkiválóbb magyar alkotóinak bemutatásával erősítsük és ünnepeljük.

Hogy nyilvánvalóvá tegyük a tudomány meghatározó szerepét és felelősségét a társadalom boldogulásában és a gazdaság sikerességében. Hogy felhívjuk a figyelmet a magyar tudomány, a hazai kutatások jelentőségére, eredményeire, tapasztalható és várható társadalmi hatásaira, a kiváló magyar kutatók értéktérmető, kultúrát formáló munkájára. Arra, hogy a tudomány ma az egyik leghitelesebb igazodási pont, és a jövőbe vetett bizalom legfőbb biztosítója.

Összhangra van szükség. A tudomány világa az inter- és multidiszciplinaritás elveibe rejti ezt az egyszerű és jól hallható szót, ezt az

összetett és nagyon keresett tudást, ezt az egész és egység felé haladást. Az egyéni törekvések közösségként működő műhelyek munkájában válnak sikeressé, a speciális tudások közös ügyekben kapaszkodnak össze, a különféle szakterületek egymást kiegészítve és serkentve munkálkodnak a mindenkit érintő kérdések megválaszolásán.

Összhangra van szükség. A tudomány összehangolja a társadalmat és a gazdaságot, a közjót szolgálva, a közös sikerért dolgozva. A tudomány a hitelesség és a felelősség stratégiai metszéspontja: egyedülálló lehetőség együtt hallani a társadalom és gazdaság sokszor különbözően hangzó érdekeit.

Összhangra van szükség. A tudományban ezúttal az összhangteremtő erőt, az annyira vágyott harmónia bölcsességét ünnepeljük. Azt a képességet, amellyel a társadalom, a gazdaság, és a maga számára is együtthangzó célokat és együttműködő megoldásokat tud előhívni.

A tudomány az egész szemléletének páratlan lehetősége, a sokféleség megértésének lenyűgözően gazdag tárháza. De akkor válik igazán gazdaggá és gazdagítóvá, ha engedi összefonódni a máshová legyökerezett tudásokat, szándékokat és másképpen előrajzolt jövőképeket.

A tudomány a legjobb diplomata, mert közbenjárhat a legfontosabb célok megvalósulásáért, és a legsikeresebb döntéshozó, mert tanácsadóit a legkiválóbb tudósokból választhatja. A tudomány a legmegbízhatóbb tanácsadó, mert javaslatait tényekre és a leghitelesebben ellenőrzött törvényszerűségekre alapozza, és a tudomány a legcsodálatosabb barát, mert elhívása egy életre szólhat.

2011-ben a Tudomány Ünnepe azt az összhangot erősíti, amelyben a tudomány ilyen sokféle szerepben, pontosabban szólam-

ban nyilvánulhat meg. Az összhangot, amelyben a tudományágak összecsengve beszélnek az egészről, amelyben az ország különböző pontjain együtthangzóan állítjuk, hogy feladatunk és felelősségünk van abban, miként formálódik közös jövőnk.

Amikor itt, Miskolcon egy régió történelméről és kilátásairól szól az előadás, akkor voltaképpen az egész ország sorsáról gondolkodhatunk. Amikor Budapesten a változó világról és az útkereső gazdaságról gondolkodunk, akkor egész közösségünk jövőjét mérlegeljük majd. Amikor a pszichológia, a történelem vagy a kémia legújabb kutatásairól hallunk, akkor hétköznapjainkon jár majd az eszünk: a tudomány ünnepe így teremt összhangot a szavak és tettek, a kihívások és eredmények, a kilátások és remények között.

*Tisztelt Hölgyeim és Uraim!
Kedves Tudományt Ünneplők!*

Az értékdeficit, hitelsokkos, illúziókkal és bizalmatlansággal teli világban összhangot ígérni nehezebb, mint első hallásra gondolnánk. De fontosabb, mint első hallásra hinnénk. Az összhangban ott rejlik mindannyiunk értelmet nyert törekvése, a sok az egyben, a **minden** az egyben. A tudomány összhangjában ott van az egész felismerése, a rátalálás az egyensúlyra. Amikor összhangot mondunk, akkor magunkról, a jövőről beszélünk.

És ennél ma nem szabad kevesebbet mondanunk.

Ebben a meggyőződésben kívánok Önöknek örömet a tudomány, gazdaság és társadalom összhangjában, tartalmas élményeket a Tudomány Ünnepen!

KITÜNTETÉSEK

A Magyar Tudomány Ünnepeén számos kutató kapott magas kitüntetést.

A Magyar Tudományos Akadémia Elnöksége kiemelkedő tudományos életműve elismeréseként **EÖTVÖS JÓZSEF-KOSZORÚVAL** tüntette ki

Báldi Tamást, a földtudományok doktorát, az Eötvös Loránd Tudományegyetem Általános és Történeti Földtani Tanszékének nyugalmazott professzorát a magyarországi harmadidőszaki földtani képződmények földtörténeti jellegének és öslénytani anyagának eredményes feldolgozásáért, széles körű nemzetközi összefogásban született alapvető tanulmányaiért, több évtizedes iskolateremtő tevékenységéért;

Fésüs Lászlót, az MTA doktorát a magyar állattenyésztési tudomány fejlesztéséért, az állattenyésztés gyakorlatában elért kimagasló eredményeiért, a magyar tudományos szakmai érdekek elkötelezett képviselőjéért;

Józan Pétert, az MTA doktorát Magyarország demográfiai viszonyainak interdiszciplináris kutatásában elért, külföldön is elismert eredményeiért, nemzetközi összehasonlításban tájékozódó megalapozó kutatásaiért;

Lantos Bélát, az MTA doktorát, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Irányítástechnika és Informatika Tanszék professor emeritusát az optimális irányítások elmélete, a robotok identifikációja, az intelligens robotok, az ember nélküli járművek irányítása és a háromdimenziós képfeldolgozás kutatásában elért, nemzetközileg is elismert eredményeiért, valamint iskolateremtő oktató-nevelő munkájáért;

Nagy Józsefet, az MTA doktorát, a Szegedi Tudományegyetem Neveléstudományi Tanszéke professor emeritusát a modern hazai pedagógiai méréselmélet és -gyakorlat módszertani megalapozásáért, az iskolaeretség vizsgálatán alapuló beiskolázási modellek kialakításáért és a különböző képességterületek fejlődését feltáró és elemző, a hazai kognitív pedagógia számára megalapozó munkájáért;

Tamássy Lajost, az MTA doktorát, a Debreceni Egyetem professor emeritusát a differenciálgeometria, a tenzori összefüggések, a Finsler-geometria és az areál terek elméletében elért, nemzetközileg is elismert eredményeiért; valamint

Varga Zoltán Sándort, a biológiai tudományok doktorát, a Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológiai Kar Evolúciós Állattani Tanszék professor emeritusát az evolúciobiológia, a taxonómia, a biogeográfia és a természetvédelmi biológia területén nemzetközileg is elismert eredményeiért, módszertani újításaiért, kiemelkedően eredményes doktori és tudományos diákköri témavezetői tevékenységéért.

A kitüntetéseket Pálinkás József,
a Magyar Tudományos Akadémia elnöke adta át.

•

Tudományszervezési és igazgatási feladatai során végzett kiváló munkája és példamutató teljesítménye elismeréseként az MTA elnöke az általa alapított **SZILY KÁLMÁN-DÍJAT** adományozta **Gilyén Elemérnek**, az Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok Iroda volt igazgatójának.

Az Oláh György-díj kuratóriumának döntése alapján **OLÁH GYÖRGY-DÍJAT** kapott **Kotschy András**, a kémiai tudományok doktora, a Servier Kutatóintézet Zrt. Rákkutatási Kémiai Divíziójának igazgatója.

A **SIMONYI KÁROLY-DÍJ** szakkuratóriumának fizikai díját **Gábos Zoltán**, az MTA külső tagja, a magyar elméleti fizika kiemelkedő képviselője,

a **SIMONYI KÁROLY MÉRNÖKI DÍJAT** idén **Kurutzné Kovács Márta**, az MTA rendes tagja vehette át.

A Paksi Atomerőmű Rt. és a Wigner Jenő-díj kuratóriuma által adományozott **WIGNER JENŐ-DÍJAT** idén ketten vehették át:

Sütkösd Csaba, a fizikai tudományok kandidátusa, egyetemi docens, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nukleáris Technikai Intézet Nukleáris Technika Tanszékének volt vezetője és

Raics Péter, a fizikai tudományok kandidátusa, a Debreceni Egyetem Kísérleti Fizikai Tanszékének nyugalmazott egyetemi docense.

A Richter Gedeon Rt. és a Magyar Tudományos Akadémia által alapított **BRUCKNER GYŐZŐ-DÍJAT** idén **Klebovich Imre**, az MTA doktora, a Semmelweis Egyetem Gyógyszerészeti Intézetének professzora kapta.

A negyven éven aluli kutatóknak kiadható **BRUCKNER GYŐZŐ-DÍJAT** a kuratórium **Drahos Lászlónak**, az MTA Kémiai Kutatóközpontja tudományos főmunkatársának adományozta.

A **HEVESY GYÖRGY-DÍJ A NUKLEÁRIS KUTATÁSÉRT** I. kategóriáját a kuratórium megosztva **Kónya Józsefnek**, a kémiai tudományok doktorának és **Nagy Noéminek**, az MTA doktorának ítélte.

A díj fiatal kutatóknak létesített II. kategóriáját **Nagyné Szabó Andrea** tudományos kutató és **Reiss Tibor** tudományos kutató kapta.

A Magyar Olaj- és Gázipari Rt. által alapított díj kuratóriuma a 2011. évi **MOL TUDOMÁNYOS DÍJAT** **Takács Gábornak**, az MTA doktorának ítélte oda.

A kuratórium a Magyar Tudomány Ünnepe-n a magyar vasút fejlesztése területén végzett kiemelkedő tevékenység elismerésére az MTA által, a MÁV Zrt. kötelezettségvállalása mellett létrehozott **MIKÓ IMRE-DÍJAT**, valamint a Magyar Közlekedési Közművelődésért Alapítvány **MIKÓ IMRE-EMLÉK-PLAKETTJÉT** adományozta életmű kategóriában

Destek Miklós címzetes egyetemi docensnek,

Görbicz Sándor címzetes egyetemi tanársegédnek,

Machovitsch László címzetes főiskolai tanárnak és

Trencsényi Zsigmond címzetes főiskolai docensnek;

Aktív szakember kategóriában a kuratórium a díjat **Kormányos Lászlónak**, a MÁV-START Zrt. szolgáltatásfejlesztési vezetőjének ítélte oda.

A Kapolyi László akadémikus által alapított díj kuratóriuma idén a **VITÁLIS ISTVÁN TUDOMÁNYOS DÍJAT** adományozta **Janositz Jánosnak**, a műszaki tudományok kandidátusának.

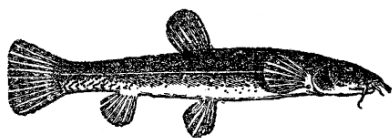
A Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatala – korábbi nevén Magyar Szabadalmi Hivatal – 1997-ben a Magyar Tudományos Akadémiával közösen **AKADÉMIAI-SZABADALMI NÍVÓDÍJAT** alapított. A Magyar Tudományos Akadémia tudományos osztályai és a Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatala képviselőiből alkotott kuratórium idén ebben a díjban részesítette

Hermecz Istvánt, az Akadémia nemrég tragikus hirtelenséggel elhunyt tagját, **Pedryc Andrzejt**, az MTA doktorát, a Budapesti Corvinus Egyetem Kertészettudományi Kar Genetika és Növénynevelés Tanszéke tanszékvezető egyetemi tanárát, valamint

Szipőcs Róbert tudományos kutatót, az MTA Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézet tudományos főmunkatársát.

A Magyar Tudományos Akadémia által Pungor Ernő örököseinek közérdekű kötelezettségvállalása alapján alapított **PUNGOR ERNŐ-DÍJAT** idén **Tárkányi Gábor**, az MTA Kémiai Kutatóközpont osztályvezetője vehette át.

Minden kitüntetettnek gratulál a *Magyar Tudomány* szerkesztősége.



Szubjektív tudománytörténet

A BIOLÓGIAI KUTATÁS KÜLÖNÖS KIHÍVÁSAI

Számomra is meglepő, de lassan már csak a magamfajta „öregek” emlékeznek azokra az időkre, amikor a kutatómunkához szükséges eszközök, berendezések, anyagok szinte elérhetetlenek voltak Magyarországon. Az 1970-80-as években már a modern orvosbiológiai tudománnyal igyekeztünk versenyezni, de a tervgazdaságból fennmaradt az a rendszer, hogy a kutatóintézetekben évente egyszer lehetett leadni megrendelést kísérleti anyagokra, vegyszerekre vagy kutatási segédeszközökre. Az általában sok éve megrendelt, és véletlenszerűen megérkező anyagok vagy eszközök persze már igazából semmire nem voltak használhatók, gyakran az is elfelejtette, hogy mire is jók, aki valaha megrendelte azokat. Nagyobb berendezések esetében ez a folyamat még zavarosabb volt, a modern műszerek szinte teljesen elérhetetlenek voltak számunkra. Néha, váratlanul, nagy pénzért vehettünk mindenre alkalmatlan csodaeszközöket (amelyek azután „totemként” álltak a laboratórium díszhelyén), míg máskor a leghasznosabb, igazán olcsó műszer sem volt beszerezhető. Így találtuk ki a rázógép (Vortex) helyett a csövek gyors falhoz kocogtatását, a mechanikus folyadékpumpa helyett a „gravitációs” (azaz egyszerűen a magasra felakasztott) folyadékadagolást, a spenótlevelekkel a napfényes ablakban az izotópjelölt ATP gyártását, a pipettában vagy orvosi Farkas-fecskendőben előállított gélszűrő oszlopot, a Reanal-veg-

szerek vödörszám végzett „átkristályosítását”, vagy éppen a jó minőségű desztillált víz házi-lagos előállítását. Egyébként az 1980-as években a *Valóság* című folyóiratban erről, a kutatásban a hiány okozta rettenetes pazarlásról szóló cikkemért igazgatónk haragja miatt csaknem az utcán végeztem.

Érdekes, hogy mindennek volt egy később felfedezett előnye is – az állandó „beszerzési”, „termelési” és „bütykölési” késztetés rengeteg tanulsággal és keservesen megszerzett szakismerettel járt. Amikor 1976-ban először kikerültem az Egyesült Államokba, a sok furcsa életviteli, gazdasági és szociális újdonság mellett (amelyekről feleségem, Kálmán Zsófia nagyszerű könyvet írt), a laboratóriumi munka alig különbözött az otthonitól, legalábbis az alapvető technológiák vagy felfedeznivalók tekintetében. Viszont amikor egy kísérlet előtt arról kezdtem töprengeni, hogy miként is fogom a szükséges tiszta vegyszereket „előállítani” vagy a megfelelő csöveket „elkészíteni”, az amerikai munkatársak kinevettek: hát ha délután megrendeled, holnap délelőtt már itt lehet a FEDEX-futárral leszállított legtisztább anyag vagy a megfelelő eszköz! Amikor elromlott egy műszer, a mindig magammal hurcolt kis csavarhúzókészletemet elővéve elkezdtem volna szétszedni, de kétségbeesve állítottak meg: nehogy hozzányúlj, ha felhívjuk, két óra múlva itt van a szakember, csak nem fogod tönkretenni ezt a drága eszközt!

Csoda volt mindez, de sosem tudtam teljesen megszokni, és mindig azon törtem a Kelet-Európában szocializált fejemet, hogy hátha lehet valamit egyszerűbben, olcsóbban is elvégezni, összeállítani, megmérni. És végül is sokszor igazam lett – egy-egy pofonegyszerű kísérleti összeállítás, egy „célszerűen” megbütykölt eszköz általános elismerést keltett, és egy kicsit kilazította a mindent csak boltban megvehető technológiára, eszközökre építő munkát. Mindez odáig fajult, hogy Chicagóban egy év után gyakran a szomszéd intézetből is átjártak hozzám megkérdezni: „mondd csak, mi lenne erre a problémára a magyar módszer?”

Az Amerika, Magyarország és Kanada közötti többéves ingázás végül megtanított arra, hogy a szükségből született eredmények múlandóak, a modern elektronikai berendezéseket már nem lehet rendszeresen szétszedni és összerakni, a jól definiált vegyszerekkel vagy antitestekkel pedig sokkal könnyebb dolgozni, mint amikor a hazai finomvegyszerek kell egyáltalán használhatóvá tenni. De a

kisördög minden kutatóban ott bujkál – ugyanis szerintem a jó kutató igazából lusta, akár kikényszerített agytornával is megpróbálja kitalálni, hogy mivel és hogyan is jönnek ki a leggyorsabban a legmegbízhatóbb eredmények, és büszke, ha maga talál ki valami csalafinta újdonságot vagy „egyszerűsítést”.

Ahogy a pillanatnyi hazai kutatás-támogatás kinéz – ahogy a megdondolatlan elvonások, a megkötött szerződéseken alapuló, de lassan egy éve ki nem fizetett fejlesztési összegek, a csak távoli jövőre ígért nagy fellendülés szövegei mutatják – újra szükség lesz az elemi kutató munkában is a pénztelenség okozta kényszerű trükközésekre és egyszerűsítésekre. Ez bizonyára csiszolja az elmét, de sajnós a magyar tudomány – legalábbis itthon – ettől még nem lesz nemzetközileg versenyképes.

Kulcsszavak: *vegyszerrendelés, spórolás és pazarlás, kényyszerű agytorna, szellemes megoldások*

Sarkadi Balázs

kutatóorvos, az MTA rendes tagja
MTA–SE Membránbiológiai Kutatócsoport

EGY INTELLIGENCIAVIZSGA TÖRTÉNETE

A Tudományos Akadémia Központi Hivatala (ma Titkárság) állományába meghívás alapján, 1963 őszén vettek fel. A Biológiai Tudományok Osztályán lettem szaktitkár (ma tudományos titkár). Harminckét éves voltam, és rendelkeztem a mezőgazdasági tudomány kandidátusa fokozattal. Az osztály tagjai az elején kicsit gyanakodva fogadtak, mert korábról nem ismertek.

Ernst Jenő biofizikus (Jenő bácsi), a Pécsi Orvostudományi Egyetem Biofizikai Tan-

székének hatvannyolc éves vezetője meghívott Pécsre, egy kis beszélgetésre. A történet megértéséhez tudni kell, hogy Jenő bácsi híres volt többek között arról is, hogy minőségi szilvapálinkával rendelkezett, melyet a telkén lévő szilvafák gyümölcséből készítettek illetékes szakemberek.

A beszélgetést a tanszéki irodájában tartottuk, melyből egy kis szoba nyílt. Jenő bácsi agglegény volt, és ebben a szobában lakott puritán körülmények között.

– Iszol egy kis szilvapálinkát? – kérdezte a beszélgetés elején. Mit mondhat egy agráros? – Természetesen, Jenő bácsi. A szilvapálinka a kedvenc italom.

Jenő bácsi átment a szomszéd szobába. Behozott egy sötétzöld színű üvegpalackot, félig tele volt valamilyen folyadékkal. Felül egy parafadugó. Töltött. Megittam. Majd jött a magyarázat: – Ez a tavalyi szilvapálinka.

Megdicsértem. Fél óra múlva ismét átment, és kihozott egy másik, teljesen hasonló üveget félig telve itallal és parafadugóval lezárva. Töltött. Megittam. Következett a magyarázat: – ez viszont a tavalyelőtti szilvapálinka. Nagyon megdicsértem. A két üveg ott állt előttem az asztalon. Véletlenül jól megnéztem őket.

Eljött az ebéddő. Jenő bácsi visszavitte a két üveget a szomszéd szobába, majd meghívott ebédre Pécs legelőkelőbb szállodájának éttermébe. Utána visszamentünk a tanszéki irodájába, és folytatódott a beszélgetés. Rövid idő múltán kihozott a szomszéd szobából egy sötétzöld színű üvegpalackot, félig tele folya-

dékkal és felül egy parafadugó. Töltött. Megittam. Majd következett a súlyos felszólítás: – Na most mondd meg, hogy ez a tavalyi vagy a tavaly előtti szilvapálinka? Ránéztem az üvegre, és máris tudtam a választ, de kicsit húztam az időt.

– Ez a tavalyelőtti.

Jenő bácsi elcsodálkozva kérdezte: – Honnan tudod?

Jött a beismerő válaszom: – A tavalyi pálinka üvegében kicsit sötétebb színű a parafadugó.

Jenő bácsi méltányolta a megfigyelőképességemet és az őszinteségemet. Az intelligenciavizsga sikerült. Ettől kezdve bizalommal viseltetett irántam.

Kulcsszavak: *Magyar Tudományos Akadémia, biofizika, szilvapálinka, megfigyelőképesség*

Láng István

az MTA rendes tagja,

korábbi főtitkárhelyettes (15 évig), korábbi főtitkár (8 évig), korábbi választott elnökségi tag (6 évig)

BEAVATÁS

1963 ősze, A. 17 éves, a J. A. Gimnáziumba jár. Bár sok minden érdekl, irodalom, történelem, zene, de a jövőről nem tud, de nem is nagyon akar gondolkodni. Kémiaszakkörre jár, az tetszik, de még inkább a fiatal, vagány tanár stílusa, meg azok a játékok, hogy egy színtelen lötytről két-három lépésben ki lehet filózni, mi van benne. *Mi lesz?* – kérdik a felnőttek, A. vagy nem válaszol, vagy csak mond valamit. Például hogy a Műszakira megy, mert a 49-esről látja azt a nagy épületet a Gellértnél. Másra nem is gondol, inkább

gombfocizni akar szabad idejében. Ha nagyon unatkozik, előveszi a reszelt, ragasztott, név szerint ismert gombjait, csapatokat szervez, sőt edzést is tart nekik. Vasárnap délutánonként néha, mint régen, a Haladás moziba megy a bartókbélán, mindig a fél 4-es előadásra, valaha három forint volt, most több. Gyalog megy oda, és hatkor hazabandukol.

Aztán egyszer anyja, Mami, azzal jön haza a kórházból, ahol dolgozik, hogy egy kollégája szerint az orvosin indult egy tanfolyam, szombat délutánonként gimiseknek. Követ-

kező szombaton elmegy, az előadás a Puskin utcában van, valami nagy előadóban, lépcsőkön kell felmenni, hogy az ember leülhessen. A második héten megy először, akkor is elké-sik, végre egy koromsötét terembe nyit be, ahol furcsa, fekete-fehér képeket vetítenek. Elektronmikroszkóp, tudja meg később, és harmadszorra már le is tudja írni a vaksötétben, vastagfedelű füzetébe nagy ákombákom betűkkel, hogy *ENDOPLAZMATIKUS RETIKULUM*. Felgújtják a lámpákat, hu-nyorgó magakorúakat lát, fiúkat, lányokat vegyesen, meg elöl (egyben alul) három-négy fehérköpenyest, akik beszéltek a képek alatt. Legközelebb is elmegy, majd utána sokszor szombatonként, már legtöbbit valami *déenes-ről* beszélnek, meg hogy tíz éve. Egy idősebb urat nagyon tisztelnek, ő a professzor, S. B. Középső neve is van: F. Gondolkodik, mi lehet az F. Arra gondol, hogy Fitzgerald, miért ne. Nemrég lőtték le Kennedyt, megtanulta ezt a nevet. Lassan kezdi az egész téma valami rejtvényfejtésre emlékeztetni, a sándor-mátyásból is a leginkább a titkosírás, meg a rostély érdekelte, ki is vágta papírból, de hamar elszakadt. Itt meg három betű egy másik nyelvben egy betűt határoz meg.

Hetek múlva azt mondják, hogy felmérik, mit tudunk, mit tanultunk. Otthon lapoz-gatja a füzetet, és a lexikonban is megkeresi, mi az a Van der Waals. Azután a Puskinban

egy üres lapot adnak. Próbál válaszolgatni a feltett kérdésekre, itt is voltam – gondolja.

Majd valami történik, nagyon valami. Az egyik fehérköpenyes, talán Cs. V. vagy V. P. azt mondja, most valami kombinációs feladat jön. Rajzolókatok fel a következő térképet. A B-től való távolsága 15 és 6, B C-től való távolsága 9 és 11, A C-től pedig 8 és 15-re van.

Csend. A. rága a ceruzáját. Hogy a fené-be lehet két pont egymástól kétféle távolság-ban. Jaj nekem, biztos valamire nem figyel-tem, és mondták. Majdnem feláll és elmegy. Ekkor hirtelen ránéz az ajtó mintájára, körök vannak rajta. Aha, nem igaz, rájött. Egy kö-rön lehet két pont kétféle távolságra egymás-tól, felrajzolja a kört, rajta három ponttal: A, B, C. Aztán meg is mondják, hogy ez egy *baci* (így mondják a baktériumot) kromoszó-mája.

Más A. áll fel, mint aki beült a terembe. Valami történt. Később megtudja, hogy ezt nevezik imprintingnek. Szívsebész nagybáty-ja értetlenségét fejezi ki, amikor bejelenti, hogy biológus lesz.

Kulcsszavak: *endoplazmatikus retikulum, déenes, Fitzgerald, kromoszóma, imprinting*

Falus András

az MTA rendes tagja, igazgató, egyetemi tanár,
kutatócsoport-vezető, Semmelweis Egyetem

PARADIGMAVÁLTÁS A HIDROGEOLOGIÁBAN: A MESTER HÁZHOZ JÖTT

Úgy tartják, hogy a lángészt csak holta után becsüli meg a közönség. Ehhez képest igen-csak „kesztyűs kézzel” bántak kortársai a felszín alatti vizek tudományának állóvizét az

1960-as évek elején felborzoló, magyar szár-mazású és 1956-os kényszerű emigrációja miatt Kanadában gyökeret eresztő – Tóth Józseffel. Az edmontoni University of Alberta

professzorának, a felszín alatti vízáramlások atyjának gondolatait – a Hidrogeológusok Nemzetközi Szövetsége (IAH) a tudományterület fejlődése szempontjából legmeghatározóbb ma élő hidrogeológusok között – *időkapszula* formájában, videofelvételen is megőrizte • <http://timecapsule.ecodev.ch/introduction.html>.

Kézenfekvő, hogy a felszín alatti vizekkel foglalkozó vízföldtan vagy hidrogeológia tudományát évezredek át a kútfúrás, a víznyelés motiválta. E tudomány fejlődése a XIX. századra jutott el addig, hogy átfogó modellé formálta az akkori elképzeléseket, melyet artézi szemlélet néven ismerünk. Az artézi paradigma fontos sajátossága, hogy vertikális értelemben statikus szemléletű, azaz a vízzárókon át a rétegek között nem enged meg semmiféle kommunikációt. Ez a látszólag „ideálisan” működő modell sehogyan sem fért frissen végzett diplomás ifjúként a '80-as évek végén a fejembe. Problémáimra választ nem kaptam, így maradt a kételkedés, és nyitott kérdéseim sora.

Erdélyi Mihály, a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet nagyszerű hidrogeológusa, gyöttrődésemet látva kezembe adta *A Magyar Medence hidrodinamikája* című, 1979-ben megjelentetett művét és hozzá egy jó tanácsot: „Ha ennél is többet akar tudni, olvassa el a *Journal of Geophysical Research* 1962 és 1963-as éveiben Tóth József tollából megjelentetett cikkeket”. E tanulmányok elolvasásával szakmai sorsom végérvényesen megpecsételődött.

E pillanat jelentőségével azonban csak 1994 augusztusában szembesültem, amikor tanszékvezetőm, Mindszenty Andrea arról tájékoztatott, hogy szeptembertől – elődöm távozása miatt – kinevez a hidrogeológiai tárgyak felelős oktatójává az ELTE-n. A fejlődést mindig szorgalmazó főnökömtől szabad

kezlet kaptam arra vonatkozóan is, hogy legjobb belátásom szerint változtathatok a korábbi oktatási gyakorlaton. A történések csodálatos egybeeséseként szeptember első hetében – az addig csak olvasmányaimból ismert Tóth professzor – Budapestre látogatott. Egy olaj-hidrogeológiai tárgyú rövidkurzust tartott a MOL-ban kanadai PhD-lehetőséget megpályázni kívánók számára. Doktori dolgozatomon aktívan dolgozva és a nagy oktatási kihívás előtt állva egyáltalán nem tartoztam a reménybeli doktorandusz kategóriába, ennek ellenére jelentkeztem a tanfolyamra. Az ott hallottak teljesen lenyűgöztek, hiszen számos korábbi kérdésemre választ kaptam belőlük. Évekkel később, már mester és tanítvány korszakunkban Tóth professzor úgy emlékezett vissza rám, mint a legkíváncsibb hallgatóra, aki feszült figyelme és lelkesedése ellenére sem tudott betelni a hallottakkal. Talán kielégíthetetlen érdeklődésemet értékelve mondott igent tanszéki meghívásomra, elindítva ELTE-n tartott kurzusai és együttműködésünk időszakát.

Ezek után nem volt kétséges számomra, hogy 1994 szeptemberétől új utakon járva kezdek tanítani. Tóth professzor tanácsára két, a nemzetközi egyetemi gyakorlatban használt könyvet, Alan R. Freeze és John A. Cherry *Groundwater* (1979) és Charles W. Fetter *Applied Hydrogeology* (1994) című munkáit bújtam. Alig néhány fejezettel jártam saját előadásaim előtt. Két kisgyermek mellett az elmélyült tanulásra csak az éjszakák biztosítottak megfelelő nyugalmat. Egy-két év alatt kialakítottam a tananyagot, melyet valóban meggyőződéssel tudtam továbbadni. S a „mester” – látva a lelkes fogadtatást – attól kezdve gyakran hazalátogatott. Alkalmam volt – hallgatóimmal együtt – teljes félév

hosszúságú kurzusokat hallgatni tőle, s miután az alapokat lefektettük, a kutatás is elindulhatott a diákokkal először szakdolgozati, később doktori szinten. Azóta sok év telt el. A tudás, melyet az ELTE-n szereznek a hallgatók, nemzetközi elismerést nyert. Hallgatóink sikerrel pályáznak külföldi egyetemek PhD és posztdoktori pozícióira. Egykori tanítványaimból szerveződött Hidrogeológia és Geotermia Műhelyünkben elsősorban a Pannon-medence felszín alatti vízáramlási viszonyainak megértésén fáradozunk. A világ élvonalába tartozó kínai, holland, ausztrál, mexikói kollégákkal nemzetközi együttműködésben kutatunk, és a medencerendszerekben gondolkodó hidrogeológiai szemlélet térnyeréséért tevékenykedünk.

Feltehetjük a kérdést, hogy miben nyújt újat az 1990-es évek végére kialakult új dinamikus hidrogeológiai szemlélet? Leginkább talán a tér- és időlépték kérdésében. Világossá vált, hogy a vizek a felszín alatt, vízársztók és völgyek által lehatárolt medencékre kiterjedő, akár tíz-száz kilométeres távolságokat áthidaló, összefüggő áramlási rendszerekben mozognak. A kőzetekről kiderült, hogy vízáteresztő képességük skálafüggő. Geológiai időléptékben és medencékben vizsgálva, a korábban vízzárónak vélt agyagos kőzeteken keresztül is lehetséges az átszivárgás. Ugyanezek az agyagos kőzetek viszont rövidebb intervallumon, mérnöki építészeti szempontból gyakorlatilag vízrekesztőként viselkednek. A hidrogeológia tudománya a felszín alatti vízrendszerek megismerése révén tartalmilag is kibővült, és hagyományos víznyerési feladatai mellett földtani és környezeti alaptudománnyá vált.

A gyermeknevelés, a doktori dolgozat írása és az oktatás felépítésének hármasszoriátását „túlélve” utólag megállapíthatom: működött a Gondviselés. A főnti szemléletváltást magam is átélhettem professzorom révén. A hidrogeológiai paradigmaváltás, a meggyőző felismerések robbanásszerű gyarapodása ellenére azonban ha országról országra eltérő sebességgel, is, halad. A legnagyobb kihívás, hogy a fejekben egy régi gondolkodást kell lecserélni. Ez bizony nem egyszerű, ha az ember nem elég kíváncsi, s nem olyan szerencsés, mint én voltam mesteremmel. Magyar tanítványaként mégis keserűen jegyzem meg, hogy rá is igaz a mondás: „Senki sem lehet próféta a saját hazájában”. Talán éppen azért nem, mert a régi reflexek teljes hátrahagyásához láthatóan időre és szellemi nyitottságra is szükség van. Gróf Széchenyi Istvánt idézve: „Tőlünk függ minden, csak akarjunk.” Tóth József mindenesetre megtette ennek érdekében, ami lehetséges. S az általa mélységesen tisztelt „legnagyobb magyar” mecénási tevékenysége szellemében ő és felesége 2009-ben alapítványt tettek, magyar állampolgárságú fiatalok Kanadában folytatott hidrogeológiai tanulmányainak támogatására.

Kulcsszavak: *Tóth József, Hidrogeológusok Nemzetközi Szövetsége, artézi paradigma, dinamikus hidrogeológiai szemlélet*

Mádlné Szőnyi Judit

egyetemi docens,

ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézet

Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék

Hidrogeológia és Geotermia Műhely

Kitekintés

AZ APASÁG SZELÍDÍT

Az apává válásnak pozitív hatása van a hátrányos helyzetből induló fiúk életvitelére – állapítják meg amerikai kutatók egy tizenkilenc éven át tartó vizsgálat összefoglalójában. 206 veszélyeztetett tizenkét éves fiú életét követték nyomon egészen harmincegy éves korukig. Számon tartották a bűncselekményeket, letartóztatásokat, a dohányzást, az alkohol- és kábítószer-fogyasztást.

Kimutatható hatása volt a házasságnak; nősülés után kevesebb bűncselekmény és „anyaghasználat” volt jellemző. Az első saját gyerek születésének is hasonló hatása volt. Minden negatív mutató csökkent, az ifjú apák megszélídültek. Mégpedig annál jobban, minél idősebb korban érte őket az apaság.

Kerr, David C. R. – Capaldi, Deborah M. – Owen, Lee D. et al.: Changes in At-Risk American Men's Crime and Substance Use Trajectories Following Fatherhood *Journal of Marriage and Family*. October 2011. 73, 5, 1101–1116.
DOI:10.1111/j.1741-3737.2011.00864.x

EGYRE ÉRETTEBBEK A KIEMELKEDŐ TUDÓSOK

A Nobel-díjasok adatainak elemzése alapján arra a következtetésre jutottak amerikai kutatók, hogy a kreativitás és az életkor közötti összefüggés száz év alatt megváltozott. 1905 előtt a kémia, a fizika és az orvostudomány

területén díjazottak kétharmada negyvenéves kora előtt érte el a díjat kiérdemlő eredményét, húsz százalékuk pedig a Nobel-díjas felfedezéskor még harminc sem volt.

2000-re megváltozott a helyzet. Negyven éves kor előtti munkára a fizika területén a díjak 19 százaléka jut, kémiából pedig szinte elő sem fordul ilyen eset. Nem egyformán, de mindhárom vizsgált tudományban egyértelműen nőtt a kitüntetettek életkora.

A szerzők szerint a változás oka egyrészt az, hogy megváltozott a díjjal elismert tudományos munkák jellege, másrészt a kutatók képzésének ideje jóval hosszabbá vált, így karrierjüket is később kezdik.

Korábban inkább azt hangsúlyozták, hogy a legeredményesebb életkor tekintetében különbség lehet az egyes tudományterületek között. Úgy tűnik azonban, hogy a tudományterületeken belül is emelkedik a kiemelkedő eredményeket elérők életkora.

Jonesa, Benjamin F. – Weinberg, Bruce A.: Age Dynamics in Scientific Creativity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. Published online before print November 7, 2011, DOI:10.1073/pnas.1102895108

FÉNYRE MŰKÖDŐ RÁKTERÁPIA

Az immunterápia és az ún. *fotodinámiai* terápia összekapcsolásával értek el érdekes eredményeket amerikai rákkutatók (National

Cancer Institute, Maryland). Kísérleteikben olyan antitestet használtak, amelyről ismert, hogy bizonyos daganatsejtek felszínéhez szelektíven képes kötődni. Ehhez az antitesthez egy IR 700 elnevezésű molekulát kapcsolnak, melynek jellegzetessége, hogy csak közeli infravörös fény hatására aktiválódik. Az adott hullámhosszúságú fény néhány centiméter mélyen be tud hatolni a bőrbe.

Makoto Mitsunaga és munkatársai egerék hátába laphámkarcinoma-sejteket ültettek be, majd a kísérleti szer beadását közeli infravörös fényvel történt besugárzás követte. A *Nature Medicine*-ben közölt eredmények szerint a kontrollcsoport állataihoz képest a terápiában részesült egyedekben jelentősen csökkent a tumor mérete, és túlélési idejük is jelentősen növekedett. A kutatók arról is beszámoltak, hogy a kezelés hatására csak a ráksejtek pusztultak, az egészséges sejtek roncsolódása minimális volt.

Még hosszú út vezet a módszer embereken történő kipróbálásáig, de az állatkísérletek eredményei azt mutatják, hogy az immunterápia és a fotodinamiai terápia összekapcsolása új lehetőségeket teremthet a rákellenes küzdelemben.

Mitsunaga, Makoto – Ogawa, Mikako – Kosaka, Nobuyuki et al.: Cancer Cell-selective *in vivo* Near Infrared Photoimmunotherapy Targeting Specific Membrane Molecules. *Nature Medicine*. doi:10.1038/nm.2554

KÉSLELTETT IDŐSÖDÉS

Késleltethető az öregedés – legalábbis állatoknál. Az amerikai Mayo Klinika kutatói felfedeztek egy szert, amely szelektíven elpusztítja az osztódásra már nem képes öregedő sejteket. A vegyületet olyan egereken tesztelték, amelyek genetikai beavatkozás következtében a normálisnál jóval gyorsabban öregszenek. A vizsgálatok során az öregedés három jellegzetes sajátosságát vizsgálták: az izomszövet leépülését, a szürkehályog kialakulását és a bőr alatti izomlerakódások eltűnését, amelynek következtében a ráncok megjelennek.

Az idősödési tünetek megjelenése a kezelés hatására jelentősen későbbre tolódott, illetve, ha hagyták megöregedni az állatokat, és ezt követően részesítették kezelésben őket, a szer javította az izmok működését.

Egyes kutatók lelkesen méltatják az eredményeket, mondván, hogy nincs messze az idő, amikor ilyen eszközökkel az emberi öregedést is késleltetni lehet; mások igyekeznek lehűteni a lelkesedést, hiszen „ezeknek az öregedő sejteknek fontos szerepük van az immunrendszer rákelleni küzdelemében, így nem tudni, hogy »tömeges« elpusztításuknak embernél mi lehet a következménye”.

Baker, Darren J. – Wijshake, Tobias – Tchkonja, Tamar et al.: Clearance of p16^{Ink4a}-Positive Senescent Cells Delays Ageing-associated Disorders. *Nature*. doi:10.1038/nature10600

Gimes Júlia

Könyvszemle

A magyar helységnév-azonosító szótár margójára...

A földrajz térbeli történelem, a történelem pedig időbeli földrajz, és mindkettő leíró nyelve a térképírás. A térképek készítésekor az egykori térképész feladata volt, hogy a vidéket jól ismerő emberekkel járja be a területeket, és a nép által használt elnevezéseket tüntesse fel munkáján.

A földfelszín természet alkotta formáinak (hegyek, vízfolyások) és az ember által létrehozott részleteinek (települések, várak) azonosítására szolgálnak a kisebb-nagyobb közösségek által használt elnevezések, a *földrajzi nevek*. A földrajzi nevek helyazonosító szerepük révén a térképtől elszakadva is élnek, mindennapi életünk, szókincsünk szerves részét képezik.

A *földrajzi nevek* azonosító szerepük mellett forrásai a nyelvészetnek, a néprajzi és művelődéstörténeti kutatásoknak. Az emberek száján élő elnevezések őrzik a történelmi eseményeket, a kialakult szokásokat, utalnak az egykori növény- és állatvilágra, az ott folyó gazdálkodásra. A települések neveit a *térképek* és *névtárak* hivatalos formákban őrzik.

Az előzmények... • A 19. század fordulóján a Kárpát-medencében élő emberek tájismertének tágulása szükségessé tette az egyértelmű tájékozódást az országban. Ezt segítették elő az akkor kiadott térképekhez mellékelt névjegyzékek is. *Lipszky János* (1766–1826) 1806-ban kiadott szép kivitelű, 1:470 000 méretará-

nyú, tizenkét lapos országtérképéhez, *Görög Demeter* (1760–1833) pedig 1802–1811 között kiadott változó méretarányú megyetérképekből álló atlaszához mellékelt 15 000 lakott hely nevét tartalmazó külön névmutatót.

A települések és külterületi lakott helyek (tanyák, dűlők) elnevezéseinek minden addiginál szélesebb körű összegyűjtésére *Pesty Frigyes* (1823–1889) tett 1862–1865 között kísérletet. A budai királyi helytartótanács, az erdélyi főkormánybiztos és a katonai hatóságok segítségével, levelezés útján összegyűjtötte az egyes községek részeinek legfontosabb elnevezéseit. A 68 kötetes gyűjtemény kéziratban maradt, így nem segíthette elő az egységes névhasználatot.

Az 1867-es kiegyezés után megindult az út- és vasúthálózat kiépítése, a postaszervezet tökéletesedése, és ez mind-mind igényelte az egyértelmű tájékozódást, a helységnévek egységesítését és pontos nyilvántartását. Az ország összes lakott helyét feltüntető első hivatalos helységnévtár 1873-ban jelent meg, a nevek egységesítését és a hivatalos névadás rendjét pedig az 1898. évi IV. törvény rendelte el. A névtörvény értelmében megszervezték az *Országos Községi Törzskönyvbizottságot*, amelynek az egy név egy község elve alapján meg kellett szüntetni az azonos névformákat, hiszen például Kövesd név Baranya, Bihar, Nagy-Küküllő, Nógrád, Sopron és Temes megyékben is előfordult. Az elvnek két oldala volt, a nevek felől azt tartalmazta, hogy egy név csak egyetlen községet jelölhet, a település felől pedig azt, hogy az ország bármelyik

községének, városának csak egyetlen hivatalos neve lehet. Ekkor alakult ki a településnevek helyesírásának mai formája, amely szerint a nevet, függetlenül a szóösszetétel számától és jellegétől, mindig egybe kell írni. A törzskönyvezett neveket csak nagyon indokolt esetben lehetett megváltoztatni. (A törzskönyvbizottság 1954-ben megszűnt, a névalkotó és szentesítő funkció a Minisztertanácshoz került.)

Amíg a 20. század elején egyetlen térképészeti intézetünk, a *Magyar Földrajzi Intézet* működött, a magyar helynevek kérdése nem vetett nagyobb hullámokat, de amikor létrejött az *Állami Térképészet*, akkor a két intézmény között a térképszerkesztők névírása igen változatosá vált. Az 1930-as évek derekán már tarthatatlanná vált a helyzet, a probléma a *Magyar Földrajzi Társaságban* került megvitatásra. *Cholnoky Jenő, Fodor Ferenc, Strömpl Gábor, Kéz Andor, Irmédi-Molnár László* és főleg *Takács József* foglalkoztak a problémával, és 1940-ben egységes szabályzatot állapítottak meg a földrajzi nevek használatára.

A szótárról... • Az 1898 és 1912 között lezajlott országos helynévrendezés, majd az 1920 utáni politikai változásokkal járó tömeges és többszöri névváltozások annyira megbolygatták a *történeti Magyarország* helynévállományát, hogy még a szakemberek, a történészek, geográfusok, térképészek és a közigazgatási szakértők is nehezen tudnak eligazodni benne. Hát még a nagyközönség számára mekkora probléma ez! Hiszen a történelmi, földrajzi, nyelvészeti érdeklődésen túl, a határon kívüli területek magyar kultúráját követve, irodalmát vagy sajtóját olvasva is szükségesek a helyazonosító ismeretek. De az utolsó húsz év geopolitikai változásai a Kárpát-medencében is igénylik azok területi azonosítását, elhelyezésüket a magyar állami-ság ezeréves *történeti földrajzában*.

A szótár kiváló felkészültségű szerkesztője évtizedes kutatómunka alapján állította össze 1200 oldalas, hetven térképet tartalmazó művét. A szótárban lexikonszerűen megtaláljuk a volt *Magyar Királyság* (Horvát-Szlavónország nélküli) területének *összes helységét, Horvát-Szlavónország városait, vármegyei és járási székhelyeit*, valamint az 1913. évi helységnevtár alapján a magyarok által is lakott településeket. A szótár tartalmazza a *Magyar Királyság* középkori területén fekvő *jelentős várakat*, mégpedig az azonosításuk megkönnyítésére az anyatelepüléseikkel, és a *történeti Magyarország* területén 1913 óta alakult azon helységeket is, amelyeknek magyar nevük (is) van. A szerző a szótárba gyűjtötte a *mai Moldva csánógó magyar* vonatkozású településeit, továbbá a magyar történelemből és művelődéstörténetből ismert fontosabb, magyar névváltozattal is rendelkező európai városokat.

A *történeti Magyarország* helységeinél megtaláljuk az 1910. évi népszámlálás adatai alapján a település lélekszámát és a lakosság nemzetiségi megoszlását; továbbá a települések esetleges egyéb magyar, római kori és középkori latin, német és egyéb idegen nyelvű névváltozatait, valamint a helységek hovatartozását, a mai határainkon túli területeken pedig a település mai idegen nevét is.

A szótár alapszócikkeinek száma több mint tizenötezer, az utaló szócikkek pedig, az idegen nyelvű névmutatók utalóival együtt, hatvannégyezret tesznek ki; így az összes névváltozat közel nyolcvanezer (!).

Ajánlás... • A nemzeti önismeret fejlesztésének, a helységnevekkel kapcsolatos történeti és földrajzi tudatlanság eloszlásának és egyben a névhasználati zűrzavar feloldásának nélkülözhetetlen eszköze a szótár. A hiánypótló mű a történelem, a geográfia, a nyelvészet, a néprajz és a régészet tudománya mű-

velőinek és tanulóinak, a közlekedési és idegenforgalmi szakembereknek, valamint az államigazgatás és az önkormányzatok tisztviselőinek munkáját segíti.

A több vonatkozásban hiánypótló nagyszerű szótár a történeti földrajz tudományának elismert kutatóját, Lelkes Györgyöt dicséri, s

elismerés illeti a kiadót is. (*Lelkes György: Magyar helységnev-azonosító szótár. Budapest: Argumentum–KSH Könyvtár kiadása az NKA, az OTKA és a Magyar Statisztikai Társaság támogatásával, 2011. 1048 p., 73 térkép.*)

Klinghammer István
egyetemi tanár, az MTA rendes tagja

Három új könyv

a határon túli magyar tudományossággal foglalkozó elnöki bizottság kiadásában

Az Akadémia Magyar Tudományosság Kül-földön Elnöki Bizottsága megalakulása óta számos kiadványt jelentetett meg különböző információkkal a határainkon kívüli magyar tudományosságra vonatkozólag (tudományos műhelyek, magyar kutatók stb. számbavétele, konferenciák, tanácskozások anyagai stb.). Nemrégiben egy tudományos igényű művet is kiadott (*Magyarságtudományi tanulmányok*).

Legújabbán a bizottság a korábbiaknál tetszetősebb kivitelű, három kisalakú könyvvel jelentkezett, amelyek ismét a határon túli tudományosságról tartalmaznak fontos információkat, sőt – most először – konkrét együttműködési terveket is.

A Magyar Tudományos Akadémia 2001-ben egy elnöki rendelkezéssel alapította meg az Arany János-díjat és -érmet kifejezetten a határainkon túli magyar tudósok eredményeinek az elismerésére. Az egyik most megjelent kiadvány (*Tudomány és magyarság*) a három kategóriában kiosztott díj és az Arany János-érem kitüntetettjeinek egész oldalas színes képét és a rájuk és munkásságukra vonatkozó legfontosabb adatokat tartalmazza (tanulmányok, pályái, kutatási terület, publikációk, kitüntetések, végül a díj, illetve az érem odaítélésének indoklása). A díj három kategóriá-

ja egyébként: *életműdíj, díj a kiemelkedő tudományos teljesítményért, és a fiatal kutatói díj*. A díjak és az érem átadására évenként egyszer, az MTA évi közgyűlése keretében kerül sor, bár az érem kitüntetésnél ettől el lehet térni indokolt esetben. A kiadványban összesen 56 név szerepel, ennyi kitüntetettet mutat be a fentebb leírt módon, ennyien kaptak kitüntetést 2002 és 2010 között.

A kötet Görömbei Andrásnak, a bizottság elnökének ajánló szavaival kezdődik, majd a díjakra és az éremre vonatkozó legfontosabb információk következnek, ezt követi egy összefoglaló táblázat a kitüntetettekéről, majd az odaítélés sorrendjében a kitüntetettek következnek a már említett fényképpel és adatokkal. Megjegyezzük: kár, hogy a vonatkozó elnöki rendelkezés szövege nem került közlésre a könyvben.

A másik most megjelent könyv (*Magyar–magyar interdiszciplináris kutatások, intézményi együttműködések lehetősége*) első részében a magyar tudományosság helyzetét méri fel a különböző régiókban a magyar–magyar (anyaországi magyar– „kisebbségi magyar”, a különböző régiók magyar–magyar és az egyes régiókon belüli magyar–magyar) tudományos együttműködések lehetőségeinek feltárása és megalapozása szempontjából.

Romániából, illetve Erdélyből négy tanulmány jelent meg. *Salat Levente* a magyar tudományos hálózat helyzetét és lehetőségeit elemzi. Megállapítja, hogy: „A romániai

magyar tudományosság fő erőssége minden bizonnyal a kiterjedt intézményhálózat és a népes személyi állomány.” Ugyanakkor: „... a romániai magyar tudományosság az egymással együttműködni képtelen intézményekbe szétföredezett kisebbségi tudósközösség képét mutatja.” Ezért: „A magyarországi támogatáspolitikát úgy kellene áthangolni, hogy a politikai klientúra építés- és presztízsszempon-tú megközelítés helyett a mérhető, illetve a társadalmilag hasznosuló teljesítményt ösztönözzé, és névegye az együttműködésre az erdélyi magyar intézményeket, kutatókat.” (Kiemelés a szerzőtől.)

Bíró A. Zoltán székelyföldi kutató tanulmányának tárgya hasonló az előbbihez, és a romániai magyar tudományosságra vonatkozólag megállapítja, „... hogy a róla kialakított/ gondolt mentális-szimbolikus keret jóval koherensebb, kerekesebb, mint a tényleges szerkezet.” Tény viszont, hogy „Sokszereplős, sok eredményt felmutató rendszerről van szó.” A magyarországi támogatás „... hozzájárulása sokkal jelentősebb volt, mint ahogy az a közbeszédben vagy a támogatások értékelésében megjelenik.” „Nem lehet azonban elhallgatni, hogy az eddigi támogatási gyakorlat sok személyes kapcsolatot, de kevés intézményesített együttműködési formát termelt.”

Bitay Enikő tanulmánya a műszaki és történelmi kutatások egy interdiszciplináris területével foglalkozik, amelybe más tudomány-ágak is bekapcsolódtak, nevezetesen a műszaki örökség kérdésével. Ténylegesen egy technika- és ipartörténeti programról van szó, amelynek célja „... az erdélyi magyar műszaki örökség feltárása, tanulmányozása és védelme.” Meg kell jegyeznünk, hogy nemcsak tervekről, de eredményekről is szó van.

Köllő Gábor igen röviden próbálja a műszaki tudományok helyzetét felmérni Erdély-

ben. Legfontosabb megállapítása: „A műszaki területen folytatott tudományos kutatásokat nagyon nehéz leszűkíteni a romániai magyar közösségre.”

A **szlovákiai** magyar tudományosság helyzetét két tanulmány mutatja be, *Tóth Károlyé* és *Lacza Tihaméré*. Az első a történelmi vonatkozásokkal kezd, amelyek során kialakult a mai intézményrendszer. Majd együttműködések, elért eredményeket mutatnak be. Ezeket jórészt projektek keretében folytatott közös kutatások során érték el. Hangsúlyozza, hogy: „Az egész szlovákiai magyar tudományos élet szempontjából nagyon fontos a kutatók és az intézmények erkölcsi támogatása Magyarország részéről.”

Köllő Gábor írásához hasonlóan rövid *Lacza Tihamér* beszámolója is a szlovákiai magyar reálértelmiség helyzetéről, tevékenységéről, eredményeiről. „Kimondottan magyar tudományos műhelyekről elsősorban társadalomtudományi vonatkozásban beszélhetünk.” Természettudományokban, műszaki és orvostudományi területen csak kivételesen vannak magyar kutatókból álló csoportok, inkább egyes magyar kutatókról beszélhetünk.

Ukrajnát a magyar tudományosság vonatkozásában szintén két tanulmány képviseli. Itt mindenképp meg kell állapítanunk, hogy nemcsak ebben a kötetben, de általában is a magyar tudományosság területén a kárpátaljai magyarság nagyobb súllyal jelentkezik, mint az az ottani magyarság számarányából következne, és ezt mutatja az itt olvasható két tanulmány is.

Soós Kálmán a történelmi előzmények ismertetésén keresztül jut el a jelenlegi helyzet bemutatásáig, kiemelve a beregszászi II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola szerepét, az azon belül működő Hodinka Antal Intézetet (nyelvészet) és a Lehoczky Ti-

varad Intézetet (történelem és társadalomtudományok). Hangsúlyozza az egységes nemzetstratégia kialakításának szükségességét.

A természettudományi kutatások helyzetét *Spenik Ottó* és *Jenkovszky László* ismerteti az ezen a tudományterületen már megszokott rövidséggel. Elsősorban Kárpátalján, de Lembergben és Kijevben is működnek magyar kutatók. A szerzők fontosnak tartják az MTA Kárpátaljai Területi Bizottságának megalakulását.

A **szerbiai** helyzetről egy tanulmány jelent meg, amelyet hárman készítettek, és pedig *Gábrity Molnár Irén*, *Csányi Erzsébet* és *Takács Márta*. A tanulmány a jelenlegi oktatási helyzetképpel kezdődik, és a létező tudományos intézményrendszer bemutatásával folytatódik. A vajdasági magyar tudományosságot elszigeteltnek látják. Megállapítják, hogy: „A vajdasági magyarságnak a tudományos élet vonatkozásában dezorganizált intézményi szigetei vannak, nincsenek megfelelő szaktekintélyek az intézmények élén, akik megfelelő hatósági kompetenciák birtokában tudnának eljárni a jövőképzés kérdéseiben.”

A *második részben* mindenekelőtt *Péntek János* hosszú tanulmánya jelent meg, amelyben mint a hálózati együttműködés sikeres példáját mutatja be és elemzi a magyar nyelvészet terén tett erőfeszítéseket. Az Akadémia kezdeményezésére 2001-ben nyelvi kutatóállomások jöttek létre Erdélyben, Kolozsváron és Sepsziszentgyörgyön, Dunaszerdahelyen, Kárpátalján és Bécsben (Imre Samu Nyelvi Intézet, amely Ausztriát, Horvátországot és Szlovéniát „szolgálja ki”). Sajnos a Vajdaságban még nem tisztázódott a helyzet ebből a szempontból. A dolgozat összefoglalja még a határainkon kívüli nyelvtudományi eredményeket és további együttműködési lehetőségeket is.

Végül rövidebb tanulmányokban többen szólnak hozzá (*Salat Levente*, *Biri A. Zoltán*, *Tóth Károly*, *Cserniczkó István*, *Csányi Erzsébet*) a határon túli magyar tudomány fogalmához. Végül egy javaslatot is megfogalmaznak erre vonatkozóan az eddig használtakra alapozva.

A kötetet hasznos grafikonok zárják az MTA külső köztestületére vonatkozólag.

A harmadik kiadvány (*Programtervezetek*) tulajdonképpen egy melléklet az előbbi kötethez. Arra vonatkozólag ad konkrét javaslatokat (vagyis Kárpát-medencei kutatási programtervezeteket), amelyek megalapozását az előzőekben ismertetett könyv adja, és amelyekre vonatkozólag írta annak a könyvnek az előszavában *Görömbei András*, a bizottság elnöke, hogy: „Ma már új Kárpát-medencei magyar kutatási tervre és cselekvésre van szükség és lehetőség.”

Visszatérve a programtervezeteket ismerető könyvre, tizenegy javaslatot találunk benne, de ezek közül egyesek még további alprogramokra vannak bontva. Csak példaként említünk meg a tizenegyből egyet-kettőt, hogy megmutassuk a javasolt programok jellegzetességeit: *A Kárpát-medence környezetvédelme* vagy *A Kárpát-medence magyar levéltári, kézirat- és könyvgyűjteményeinek kutatása*. Különös hangsúllyal, alprogramokkal jelenik meg a magyar nyelvi problematika, illetve a kutatások ezen a területen.

Az egyes programjavaslatokban mindenek előtt szerepel a szóban forgó kutatás célja, illetve jelentősége, a szervezeti, szervezési kérdések, a kutatási módszerek és a várható eredmények. A kutatás előirányzott időtartama szinte kivétel nélkül három év.

Tarnóczy Mariann, az MTA Határon túli Magyarok Titkárságának osztályvezetője a füzet bevezetőjében hangsúlyozza, hogy a programjavaslatok a környező országokbeli

és magyarországi szakértők segítségével együttesen kerültek kidolgozásra.

Megjegyezzük, hogy az adott kutatási területtől függően különböző mértékben, de feltétlenül szükség lesz az egyes programok megvalósításánál az egyes régiók többségi kutatóinak részvételére, bevonására is.

Nem kétséges – amint ezek a kiadványok is jelzik –, a Kárpát-medencei magyar tudományosság életében egy a korábbi munkára alapozó, de kétségtelenül új korszak kezdődött. Az újdonságot nemcsak a programok

keretében végzett kutatás, és az ezek keretében történő együttműködés jelenti, hanem a centrum–periféria modellen túllépés, a többközpontúság és hálózatos működés előtérbe kerülése. (*Tudomány és magyarság – Arany János-díj és -érem: 2002–2010; Magyar–magyar interdiszciplináris kutatások, intézményi együttműködések lehetősége; Programtervezetek. Budapest, MTA Magyar Tudományosság Külföldön Elnöki Bizottsága, 2010.*)

Berényi Dénes
az MTA rendes tagja

Fiatal kutatók

Sokak számára érdekes olvasmány és egy életreszóló útmutatás volt Selye János *Álomtól a felfedezésig (Egy tudós vallomásai)* című, magyar fordításban az Akadémiai Kiadónál 1967-ben megjelent könyve, melyben a szerző gazdag tapasztalati anyaggal követi végig a kutatóvá válás gyötrelmesen gyönyörű útját. Miért lesz valakiből kutató? Hogyan tartsunk előadást? Hogyan írjunk disszertációt? Ilyen kérdésekre adott választ a stresszelmélet kidolgozó, világhírű hazánkfia.

Az azóta eltelt fél évszázadban újabb kihívások jelentek meg, melyek a tudomány társadalmi szerepének növekedéséből, a felsőoktatás tömegessé válásából és a kutatás technológiájának módosulásából fakadnak. A társadalom részéről természetes elvárás, hogy a kutatásokra fordított milliárdok eredményeket hozzanak. Még hozzá minél hamarabb és minél nagyobbakat. Az oktatás felől közelítve: a növekvő számú hallgatósból hogyan választhatók ki azok, akikből nagy valószínűséggel eredményes kutatók lesznek. A fiatalok részéről érthető az a kívánság, hogy pályájuk kiszámítható legyen, ha sikerült teljesíteniük az egyre növekvő elvárásokat. Különösen igaz

ez az egyre jobban specializálódó természettudományok esetén. A pálya kezdetén, az „álm” korszakában ez még nem vetődik fel élesen, hiszen a rövid távú cél a fokozat megszerzése. A fiatal kutatónak számos megmérettetésen kell átesnie, amíg eljut a határozatlan idejű alkalmazásig. Azt is érdemes megvizsgálni, hogy mi lesz azokkal (a doktoráltak több mint felével), akik nem jutnak el a „felfedezésig”, nem kerülnek akadémiai vagy egyetemi pályára.

Ezek a kérdések világszerte felmerülnek. A válaszok nem triviálisak, országonként és szakmánként is különbözhetnek, habár az eredményesség mérése és a tudományos minősítés rendszere sok hasonlóságot mutat. Az Európai Unió régóta felismerte a kérdéskör fontosságát, és különböző programokkal, projektekkel, ösztöndíjakkal, kitüntetésekkel és díjakkal ismeri el a fiatal kutatók kiemelkedő teljesítményét. Ugyanez figyelhető meg nemzeti szinteken is (ilyen például hazánkban a Lendület program, a fiatal kutatói OTKA, az Akadémiai Ifjúsági díj stb.).

A fiatal kutatók különleges problémáival, pályájuk kezdetével foglalkozik a *Mosoniné Fried Judit és Tolnai Márton* szerkesztésében megjelent tanulmánykötet, tíz szerző tíz ta-

nulmánya. A szerkesztők az MTA Kutatás-szervezési Intézet vezető munkatársai, a szerzők nagy része munkatársaik és tanítványaik köréből került ki. A hazai helyzet áttekintésének alapjául a *Fiatal kutatók: doktori képzés és életpályamodellek* című, a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal által finanszírozott projekt szolgált (2007–2010). A szerzők érdeklődése és szakmai tapasztalata változatos képet mutat, úgyszintén az alkalmazott megközelítés is. A témától függően hosszabb-rövidebb irodalmi összefoglaló, nemzetközi kitekintés jellemző valamennyi tanulmányra. A hazai helyzet vizsgálatánál részletes statisztikai adatok, strukturált és kötetlen interjúk, felmérések kerülnek bemutatásra.

Az első tanulmányok a probléma elméleti kérdéseit tárgyalják, nem kerülve meg azt a kérdést, hogy mennyire tekinthetők szociológiai értelemben külön csoportnak a fiatal kutatók. Arra is választ keres, hogy mi a tudományos siker, és elérését hogyan lehet elősegíteni (*Palló Gábor*). A következő tanulmány bemutatja egy szokásos kutatói életpálya főbb állomásait, különös tekintettel a fokozatszerzés utáni évekre. Az út eleje látszólag egyszerű: témaválasztás, doktori iskola, a PhD-fokozat megszerzése, a „postdoc” szakasz. Utóbbi sok fiatal kutató hosszabb-rövidebb ideig külföldön tölti. Ezután az út elkeskenyedik. A fiatal kutatónak, akinek akkorra tipikusan családja is van, döntenie kell a további külföldi tartózkodás és a hazatérés között. A döntést nehezíti a betölthető álláshelyek alacsony száma (*Mosoniné Fried Judit*). Nem véletlen, hogy külön fejezet foglalkozik a határozatlan idejű alkalmazás (szokásos angol kifejezéssel a *tenure*) problematikájával, a különböző országok gyakorlatával (*Palló Gábor*).

A további tanulmányok sokrétűen és részletesen elemzik a konkrét magyar csoporto-

kon, leginkább biológus PhD-hallgatókon, illetve doktoráltakon végzett felmérések eredményeit. A választást az indokolja, hogy a természettudományi doktori iskolák hallgatói közül a biológusok aránya a legnagyobb. Négy, egymást némiképp átfedő tanulmány elemzi részletesen a fiatal biológusok életpályáját. *Mund Katalin* az ELTE TTK Biológiai Iskola oktatóival és hallgatóival készített interjúk és felmérések alapján azokat a körülményeket és feltételeket vizsgálja, melyek a doktoranduszok napi munkáját befolyásolják. Két további tanulmány foglalkozik a tudományos fokozatot szerzett fiatal biológusok életpályájának alakulásával (*Pálinkó Éva*, továbbá *Horváth Dániel* és *Pálinkó Éva*). Utóbbi munka 122 doktorált fiatal kutató pályájának alakulását mutatja be, kérdőíves felmérés alapján. A fokozat megszerzése után a biológusok több mint kétharmada helyezkedett el a kutatásban és az oktatásban, nagyrészt költségvetési intézményekben. Piacorientált intézményekhez csak tíz százalékuk került.

Fábry György tanulmánya – amely nem korlátozódik a biológusokra – arra a kérdésre keres választ, hogy mit ér a PhD-fokozat a munkaerőpiacon. Felhívja a figyelmet arra, hogy a fokozatszerzés nem tekinthető egyedül a kutatói életpályára szóló „belépőnek”; a magasabb szintű tudás és a szakmai kapcsolatrendszer megszerzése révén hasznos a nem egyetemi/akadémiai karrierék építése szempontjából is.

Az utóbbi években kinyíltak a határok a fiatalok előtt. Ezt tárgyalja az a fejezet, mely a fiatal kutatók szempontjából foglalja össze az Európai Kutatási Térségre vonatkozó legfontosabb ismereteket, dokumentumokat (*Csehbó Julianna*). Ugyancsak figyelemre méltó a Közép-Európai Egyetemen oktató amerikai docens (*Erin K. Jenne*) tanulmánya,

amely azt elemzi, hogy miért is érdemes egy amerikai társadalomkutatónak Európába jönnie.

A tanulmánykötet hiánypótló és aktuális. Hiánypótló, mivel Selye János jó ötven éve megjelent könyve óta aránylag kevés átfogó hazai tanulmány és felmérés foglalkozik a témával, annak nemzetközi és hazai vonatkozásaival. Aktuális, mert a felsőoktatási törvény 1993-ban bevezetett módosítása óta közel két évtized telt el, és az első tapasztalatok levonhatók a doktori iskolák működéséről. Jól látható, hogy egyebek mellett hiányzik a

„postdoc” szakasz intézményi szabályozása. Bár a tanulmánykötetben szereplő felmérések nagy része biológusokról szól, a felvetett problémák és útkeresések eléggé közösek más szakmák művelőivel, különösen a vegyészekkel és a fizikusokkal. Ezért hasznos olvasmány a tanulmánykötet fiatalok, tudományos vezetők és döntéshozók részére egyaránt. (Mosoniné Fried Judit – Tolnai Márton szerkesztők: *Fiatal kutatók. Az életpálya kezdete.* Budapest: Typotex, 2010, 275 p.)

Konczos Géza
MTA SZFKI



CONTENTS

Water without Borders

Guest Editor: László Szabados

László Szabados: Introduction	1410
László Somlyódy: Water Dilemma of the World	1411
Éva Somos: Drinking Water Closed in Pipes... (Or Not Quite?)	1425
János Radó: Human Water Metabolism	1440
Imre Bonta – Katalin Ujváry: Precipitation Forecast in Hungary for Hydrological Purposes	1449
András Baranyai: Physical Chemistry of Water	1459
Csaba Sükösd: Heavy Water	1467
László Szabados: Water in the Universe	1480

Study

Bence Nánay: Philosophy and Sciences—A Provocative Proposal	1493
László Percz: In the Tendency of Anti-Positivism: The Böhm School and the Lukács Circle at the Beginning of the Century	1499
József Ágoston Bogoly: Heuristics on Ferenc Liszt	1508
György Enyedi: Content Of Regional Sciences	1514

Academy Affairs

Hungarian Science Festival • 2011	
Opening Speech of József Pálinkás, President of MTA	1515
Awards	1517
Subjective History of Science	
Unexpected Challenges in Biological Research (<i>Balázs Sarkadi</i>)	1521
History of an Intelligence Test (<i>István Láng</i>)	1522
Initiation (<i>András Falus</i>)	1523
Paradigm Shift in Hydrogeology. The Professor at My House (<i>Mrs Mádl, Judit Szőnyi</i>)	1524

<i>Outlook (Júlia Gimes)</i>	1527
------------------------------------	------

<i>Book Review (Júlia Sipos)</i>	1529
--	------

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 mellesző cikkek várunk.

2. A kézirat terjedelme általában ne haladja meg a 30 000 leütést (ez szóközökkel együtt kb. 8 oldalnak felel meg a *Magyar Tudomány* füzetiben); ha a tanulmány ábrákat, táblázatokat is tartalmaz, kérjük, arányosan csökkentse a szöveg mennyiségét. Beszámoló, recenzió terjedelme ne haladja meg a 7–8000 leütést. A teljes kéziratot MS Word .doc vagy .rtf formátumban interneten vagy CD-n kérjük a szerkesztőségbe beküldeni.

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

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

5. Szövegközi kiemelésként dőlt (*italic*), (esetleg félkövér – **semibold**) formázás alkalmazható; r i t k í t á s, VERZÁL, KISKAPITÁLIS (SMALL CAPITALS, KAPITÄLCHEN) és aláhúzás nem. A jegyzeteket lábjegyzetként kérjük megadni.

6. Az ábrák 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)től ugyanazon évben több tanulmányra hivatkoznak, akkor a közleményeket az évszám után írt a, b, c jellel kérjük megkülönböztetni mind a szövegben, mind az irodalomjegyzékben. Különösen ügyeljenek a 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.