

# *Magyar Tudomány*

A MÁGNESSÉG VONZÁSÁBAN  
vendégszerkesztő: Szabados László

Meteorológia a XIX. század második felében

A tudomány és az új média

Nagy áttörések a számelméletben

---

*2014•3*

*Főszerkesztő:*

CSÁNYI VILMOS

*Szerkesztőbizottság:*

BENCZE GYULA, BOZÓ LÁSZLÓ, CSÁSZÁR ÁKOS, HAMZA GÁBOR,  
KOVÁCS FERENC, LUDASSY MÁRIA, SOLYMOSSI FRIGYES,  
SPÄT ANDRÁS, SZEGEDY-MASZÁK MIHÁLY, VÁMOS TIBOR

*A lapot készítették:*

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

*Szerkesztőség:*

1051 Budapest, Nádor utca 7. • Telefon/fax: 3179-524  
matud@helka.iif.hu • www.matud.iif.hu

Előfizetésben terjeszti a Magyar Posta Zrt. Hírlap Igazgatóság, Postacím: 1900 Budapest.

Előfizethető az ország bármely postáján, a hírlapot kézbesítőknél.

Megrendelhető: e-mail-en: [hirlapelofizetes@posta.hu](mailto:hirlapelofizetes@posta.hu) • telefonon: 06-80/444-444

Előfizetési díj egy évre: 11 040 Ft

Terjeszti a Magyar Posta és alternatív terjesztők

Kapható az ország igényes könyvesboltjaiban

Nyomdai munkák: Korrekt Nyomdai Kft.

Felelős vezető: Barkó Imre

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

HU ISSN 0025 0325

---

---

## TARTALOM

### *A mágnesség vonzásában*

#### *Vendégszerkesztő: Szabados László*

Szabados László: Előszó .....	258
Kovács Péter – Heilig Balázs – Csontos András: A földmágnesség .....	259
Hraskó Gábor: A mágnesség élettani hatásai .....	269
Sohár Pál: A mágneses magrezonancia a kémiai szerkezetkutatásban .....	278
Szunyogh László: Nanomágnesség .....	286
Králik János: Mágneses adatrögzítés .....	294
Zrínyi Miklós – Jedlovszky-Hajdú Angéla – Tombác Etelka: Mágneses folyadékok és rugalmas mágnesek .....	302
Kazinczy László: A Transrapid mágnesvasúti rendszer építése és üzemi jellemzői .....	311
Abonyi Iván: A magnetohidrodinamika .....	320
Szabados László: Kozmikus mágnesség .....	328

### *Tanulmány*

Mészáros Ernő: Meteorológia a XIX. század második felében.

A magyar szaknyelv kialakulása .....	337
Koltay Tibor: A tudomány és az új média viszonyáról .....	345
Komjáth Péter: Nagy áttörések a számelméletben. Erdős Pál (1913–1996) emlékére. ....	350
Ferenczy Endre Hugó: A jog és tudománya .....	354

### *Tudós fórum*

Horváth József: In memoriam Sáringer Gyula (1928–2009) .....	359
Nagy Andrea Magda: Magyar felsőoktatási rangsorok, hallgatói preferenciák – konferenciaismertetés .....	367
Az MTA új levelező tagjainak bemutatása Pálffy József .....	371

<i>Kitekintés (Gimes Júlia)</i> .....	373
---------------------------------------	-----

### *Könyvszemle (Sipos Júlia)*

Fénykör ( <i>Szelényi Iván</i> ) .....	376
Jövőalternatívák, a virágzástól a pusztulásig ( <i>Prekovits András</i> ) .....	377
Időszerű etika ( <i>Zuh Deodáth</i> ) .....	380
Hasznos kézikönyv az Egyesült Államok megformálóiáról és vezetőiről ( <i>Szabó Máté</i> ) .....	382

---

# A mágnesség vonzásában

## ELŐSZÓ

Szabados László

az MTA doktora, tudományos tanácsadó

MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet  
szabados@konkoly.hu

A mágnesség a természeti kölcsönhatások egyike, de általában nem is tudatosul az emberben, hogy univerzális jelenségről van szó. A gravitációt érzékeljük, hétköznapi hatásait látjuk, míg a mágnességet nem érezzük, természetes hatásait pedig csak ritkán tapasztaljuk (például az iránytűvel történő tájékozódás során). Nagyfokú leegyszerűsítés az, ha a mágnességet csupán az állandó mágnesek anyagára jellemző tulajdonságnak tartjuk.

A mágnességet az elektromos térben mozgó részecskék keltik. A mágneses mezőt a fluxussűrűséggel lehet jellemezni, aminek mértékegysége a tesla ( $1 \text{ T} = 1 \text{ Vs/m}^2$ ). (Korábban a gauss volt használatban mértékegységként,  $1 \text{ gauss} = 10^{-4} \text{ T}$ ). A mindennapi nyelvben használt térerősség szó tehát nem a megfelelő kifejezés a mágnesség mértékére.

A mágneses fluxus sűrűsége a természetben tág határok közé eshet: a földmágneses mező esetében  $0,00005 \text{ T}$ , a közönséges hűtőmágnesekre  $0,01 \text{ T}$  jellemző, az MRI-

vizsgálatoknál pedig  $20 \text{ T}$  fluxussűrűségű mezőt alkalmaznak. Laboratóriumokban ennél jóval erősebb mágneses mezőt is elő tudnak állítani. Az égitestek világában pedig szélsőségesen erős és gyenge mágnesezettségű környezetek egyaránt előfordulnak.

A makroszkopikus világ mellett a mágnességnek jelentős szerepe van a mikrovilágban is. Ez az elmúlt évtizedek fizikai és kémiai kutatásainak egyik nagy horderejű felismerése. Az itt közreadott cikkgyűjteményhez igyekeztem úgy válogatni a témákat, hogy a mágnesség egymástól minél távolabbi területeken történő használati is terítékre kerüljenek. Köztudomású, hogy a mágnesség kétarcú: egyaránt lehet vonzó és taszító. Némelyik tanulmányban a téma kifejtésének megértése egyfajta szellemi erőpróba lehet a természettudományok terén nem jártas olvasó számára. Mindazonáltal azt remélem, hogy a mágnesség vonzó jellege ezen cikkek olvasásakor nem vált át taszítóvá.

# A FÖLDMÁGNESSÉG

Kovács Péter Heilig Balázs

PhD, tudományos főmunkatárs,  
Magyar Földtani és Geofizikai Intézet  
Földfizika Főosztály  
kovacs.peter@mfgi.hu

tudományos munkatárs,  
Magyar Földtani és Geofizikai Intézet  
Tihanyi Geofizikai Observatórium  
heilig.balazs@mfgi.hu

Csontos András

observatóriumvezető  
Magyar Földtani és Geofizikai Intézet Tihanyi Geofizikai Observatórium  
csontos.andras@mfgi.hu

### Bevezető

A Naprendszer legtöbb bolygójának – Földünkhez hasonlóan – önálló mágneses terük van. A legjelentősebb a Jupiteré, a földi tér ennek csak töredéke. Mégis, ez a tér is elegendő ahhoz, hogy az élőlények számára káros, a Nap felől érkező nagy energiájú töltött részecskéket akár a pályájukról való kitérítéssel, akár befogásukkal a Föld közvetlen környezetétől távol tartsa. A mágneses mező ezáltal lényeges szerepet játszott és játszik jelenleg is abban, hogy az élet a Földön kialakulhatott, és mindmáig fenn is maradhatott.

A földi mágneses tér felismerésének első, az utókor számára is egyértelmű jele az iránytű felfedezéséhez köthető. Az iránytű használatát először egy, az i. e. 3. századból származó kínai dokumentum említi, jóllehet az eszközt a dokumentum szerint már jóval korábban is ismerték. Kezdetben elsősorban a jóslások során vették hasznát, később azonban a navigációban is felismerték jelentőségét. Az iránytű megkezdte hódító útját Földünk felfedezésében.

Miközben az utazók egyre újabb földrészeket fedeztek fel az iránytű segítségével, a mágneses irányok földrajzi szélesség és hosszúság szerinti változásáról is egyre árnyaltabb kép rajzolódott ki. A mágneses elhajlás (*deklináció*, a földrajzi észak és az iránytű által mutatott irány különbsége) korai felismerése után, a 16. század végén angol tengerészek a lehajlás (*inklináció*, a vízszintes irány és a vízszintes tengelyen elfordulni képes mágnesű által mutatott irány különbsége) jelenségére is felfigyeltek. A lehajlás jelenségét *Robert Norman* angol tengerész ismertette először *The Neue Attractive* című könyvében (Norman, 1581). Az összegyűlt ismereteket elsőként *William Gilbert* (1544–1603), Erzsébet királynő udvari orvosa foglalta össze 1600-ban megjelent latin nyelvű, hatkötetes *De Magnete* című könyvsorozatában (Gilbert, 1600). Gilbert az észlelések alapján elsőként vetette fel, hogy az iránytű azonos irányba való állását nem valamiféle misztikus erő, nem is a csillagok hatása, hanem a Föld egészének mágnesezettsége okozza. Ennek igazolására egy gömb alakú mágnesből egy modellt is

létrehozott, amely mentén mozgatva az iránytűt, az mindig a pólusok felé mutatott. Ez volt a *terrella* („földecske”) modell. Gilbert könyvében felvetette – egyébként tévesen – azt is, hogy a Föld forgását és mágnességét egyazon hatás okozza. Gilbert könyvének megjelenése után nem sokkal a területi változás mellett a földi tér időbeli változásának ténye is egyértelművé vált, azonos londoni állomáson 1580-ban és 1630-ban mért mágneses irányok közötti jelentős eltérés alapján. *George Graham* londoni órásmester 1722–23-as mérései révén pedig nemcsak a tér hosszú idejű, hanem rövid, szabályos, napi változását is felismerték.

A mágneses tér vektoriális mennyiség, pontos leírásához ezért minden ponton három független komponensének ismerete szükséges. Gilbert idejében mindhárom komponens egyidejű mérésére még nem volt lehetőség, többnyire csak a *deklinációról*, illetve az *inklinációról* voltak elképzelések. A tér három független komponensének mérésére 1832-től van lehetőség, amikor *Carl Friedrich Gauss* (1777–1855) a tér abszolút értékének mérésére is eljárást dolgozott ki (Gauss, 1839). A földmágneses tér szisztematikus mérésére szolgáló obszervatóriumok is ekkor kezdtek elterjedni (Jankowski – Sucksdorff, 1996).

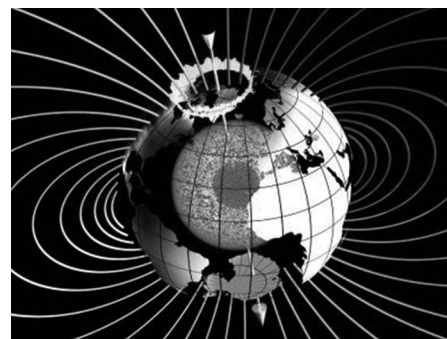
#### A földmágneses tér eredete

Gilbert *terrella* modellje az iránytű eltérülésének valódi magyarázatára csak részben volt helytálló. A Föld felszínén és a felszínhez közel ugyan valóban vannak olyan kőzetek, amelyek mágnessége az iránytű irányultságát adott távolságon belül meghatározhatja, de a földmágneses tér domináns részének kialakításában bizonyosan nem ezek játszzák a döntő szerepet. A felszíntől a Föld középpontja felé haladva ugyanis az uralkodó hőmér-

séklet kb. 40 km-es mélységtől bármely anyag Curie-hőmérsékletét meghaladja, ami a mélyebb tartományokban az anyag mágnességének lehetőségét teljes mértékben kizárja. A Föld egésze tehát nem lehet mágneses, a kéregbeli kőzetek mágnessége a tapasztalt mértékű és irányú földi teret pedig nem alakíthatja ki.

Mi okozza akkor mégis a Föld mágneses jellegét? Ismeretes, hogy mágneses hatást nemcsak mágnesezett anyag, hanem mozgó elektromos töltés (például a vezetékben folyó áram) is létrehoz környezetében. A Föld esetében éppen erről van szó. Az elektromos vezető a Föld – felszíntől számított – 2900 és 5100 km közötti gömbhéjában helyet foglaló külső mag zömmel vasból álló olvadt anyaga, amely – hasonlóan az alulról melegített víz vagy a földfelszín által fűtött légréteg mozgásához – a külső mag felső és alsó határa közötti hőmérséklet-különbség miatt folyamatosan cirkulál. A szabályos cirkulációt a Föld forgása révén ébredő Coriolis-erő is módosítja. A kialakuló, viszonylag összetett mozgás mágneses tér jelenlétében olyan elektromos áramokat ébreszt, amelyek együttesen az eredeti mágneses teret fenntartják, sőt akár erősítik is. A tér fennmaradásához, erősödéséhez energiára van szükség, amit a vázolt modell szerint a külső mag anyagának mozgási energiájából nyer a rendszer, az elektromos dinamóhoz hasonlóan. A földi mágneses tér fenntartásáért felelős folyamat ezért a *földmágneses dinamó* néven vált ismertté.

A dinamó által keltett mágneses tér a felszíntől nem túl nagy távolságban egy, a Föld középpontjában lévő, de a Föld forgástengelyével mintegy 11 fokos szöget bezáró rúd mágnes dipólterével közelíthető (1. ábra), amelynek déli pólusa jelenleg észak felé, északi pólusa pedig dél felé mutat. Ha ezt a mágneset a Föld



1. ábra • A Föld belső és külső magja (sötét és világos területek), valamint a külső mag áramlásából származó mágneses tér dipólközelítésének erővonalai (Forrás: GFZ, Potsdam)

középpontjába tennénk, a mágneses pólusok (az a pont, ahol az erővonalak a felszínre merőlegesek) a Föld két áttelleges pontján helyezkednének el. A valóság azonban ettől eltérő; jelenleg az északi félteke pólusa Kanadától északra, a 85,9° északi szélesség és 148° nyugati hosszúság, a déli pedig Antarktisz partjaihoz közel, a 64,4° déli szélesség és a 137,4° keleti hosszúság közelében helyezkedik el. A deklináció elsősorban abból adódik, hogy a mágneses pólusok nem a Föld forgástengelyére esnek. A legerősebb, 65 000–70 000 nT értékű mágneses tér a pólusoknál mérhető. Ez a tér hétköznapi értelemben nagyon kicsinek számít, hiszen például egy közönséges hűtőmágnes közelében ennek akár ötszázszorosa is mérhető.

A felszínhez közeli földmágneses tér komponenseinek (pl. deklináció) pontosabb területi leírásához a rúd mágnes terének megfelelő dipólközelítés már nem elégséges. Ennek egyik lényeges oka, hogy a földmágneses dinamó tere a dipólter mellett magasabb mágneses momentumú, azaz többpólusú, kisebb erősségű tereket is tartalmaz, amelyek helytől függően torzítják a dipól szabályos erővonalait.

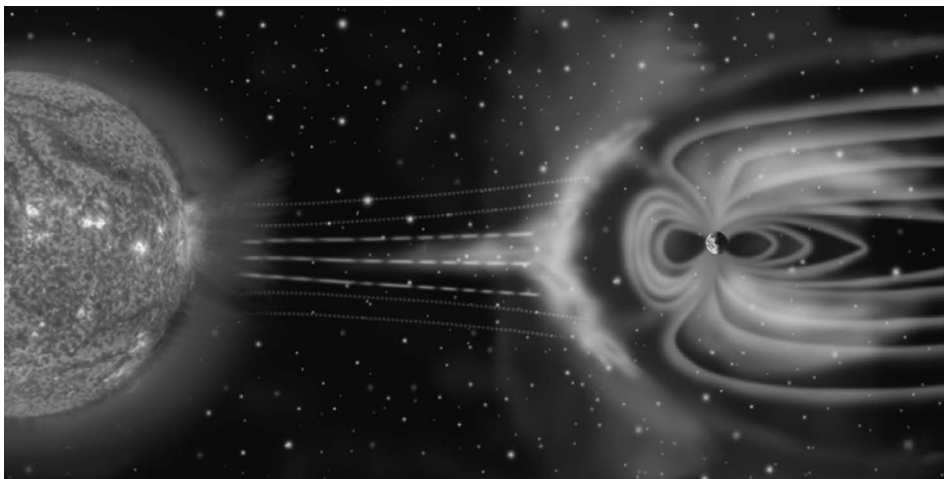
Lokálisan jelentős torzítást okozhatnak azonban a kéregben a Curie-hőmérsékletnél hidegebb rétegek mágneses kőzetei is, sőt eltemetett vagy felszíni mesterséges mágneses anyagok (csövek, vezetékek, épületrészek stb.) is.

A felszíntől távolodva néhány földugár távolságban a mágneses tér szerkezete a rúd mágnes teréhez képest szintén lényegesen torzul. A torzulás oka itt nem belső eredetű, hanem a Nap felől érkező nagy energiájú töltött részecskék árama, a napszél, amely a Nap felőli oldalon összenyomja, az ellenkező irányban pedig elhúzza a mágneses erővonalakat. Összességében a napszél az erővonalakat egy zárt üregbe kényszeríti, amelyet *magnetoszférának*, határát pedig *magnetopauzának* nevezzük (2. ábra). A magnetopauza – kivételes esetektől eltekintve – ellenáll a napszélnek, annak töltött részecskéit bolygónk közeléből eltéríti. Ezzel lényeges szerepet játszik a földi élet feltételeinek biztosításában.

#### A földmágneses tér időbeli változása

*Belső eredetű változás* • A dinamó által fenntartott tér nemcsak térben, hanem a külső magban zajló áramlások módosulásai miatt időben is változik. A legdrasztikusabb változások a kiszámíthatatlan időközönként fellépő *pólusváltásokhoz*, azaz a mágneses tér polaritásának előjelváltásaihoz köthetők. Köznapi értelemben ez a folyamat az iránytű ellenkező irányba való átfordulását jelenti.

A pólusváltások tényére egyebek között a vulkanikus láva kőzeteinek mágneses vizsgálatai alapján következtethetünk. Amikor egy vulkán kitör, a felszínre ömlő magmában található vastartalmú ásványok a lehűlés során rögzítik, „befagyaszttják” az éppen akkor fennálló földi mágneses tér irányítottágát és intenzitását. Megfigyelték, hogy az óceánok mélyén feláramló és az óceáni lemezen a fel-



2. ábra • A földi magnetoszféra a napszállal átjárt interplanetáris térben (sematikus kép, forrás: <http://sec.gsfc.nasa.gov/popscise.jpg>)

áramlás helyétől távolodó kőzetekben (többnyire bazaltok) ez az irány hol a jelenlegi földi tér irányába mutat, hol pedig azzal éppen ellentétes. A lemezek mozgási sebességének és egy-egy vizsgált terület kitérésétől mért távolságának ismeretében a kőzet keletkezésének ideje, a kőzet mágnesezettségéből pedig az abban az időben érvényes mágneses irány is meghatározható. A földtörténeti múltba visszanyúló vizsgálatok alapján kijelenthető, hogy a pólusok átfordulásának előfordulásában semmiféle szabályszerűség nem figyelhető meg, két átfordulás között esetenként csak néhány ezer, máskor akár több millió év is eltelik. A legutóbbi pólusváltás 780 ezer évvel ezelőtt, tehát viszonylag hosszú ideje zajlott le. Ezt a tényt, illetve azt, hogy a földi tér erőssége (dipólmomentuma) Gauss első méréseitől fogva fokozatosan csökken, sok kutató (és szenzációra éhes újságíró) egy következő pólusváltás előjeleként értelmezi. A szenzációt keresők azt is feltételezik, hogy a hirtelen bekövetkező pólusváltás a mágneses tér megszűnését és a napszél elleni védelem

összeomlását is jelentené, ami így az élővilág jelentős pusztulásához is vezetne. Ezzel kapcsolatban fontos megjegyezni, hogy a dipólmomentum időszakos csökkenése azonos polaritás mellett más időszakokban is előfordult már, önmagában tehát ez a tény még nem tekinthető egyértelműen a pólusváltás előjeleként. Az élet fennmaradása szempontjából lényeges még megemlíteni, hogy a mágneses védelem a pólusváltás időszakában is megmaradna, hiszen ilyenkor a tér feltételezhetően nem szűnne meg teljesen, hanem átrendeződne, azaz a domináns szerepet a dipólterttől időlegesen a magasabb momentumú, több (4–8–16) pólusú terek vennék át. Ha azonban még ez sem lenne elegendő, a töltött részecskéket tartalmazó ionoszférában a napszél hatására további mágneses tér is indukálódik, amely a napszél részecskéit így is távol tartaná a Föld felszínétől.

Kevésbé drasztikusan ugyan, mint pólusváltás idején, de a földmágneses tér adott pólusirány mellett is változik, jellemzően évtizedes-évszázados időléptékkel mérhető

módon. Ez a dinamó által keltett tér ún. *szekuláris vagy évszázados változása*. Szekuláris változás során a mágneses tér erőssége (a földi tér mágneses momentumai) és a pólusok helye egyaránt változik. A domináns földi teret előállító dipólmomentum erősségének változásáról volt már szó, ennek értéke az utóbbi kétszáz évben közel 5%-kal csökkent. A mágneses tér pólusai a Föld forgási tengelye körül vándorolnak, az északi pólus helyének változási üteme jelenleg ~55 km/év, a délié ennél valamivel kisebb. A mágneses pólusok több évezred átlagában a Föld forgástengelyére esnek.

*Külső eredetű változások* • A földi mágneses regisztrátumokon a szekuláris változáshoz képest jóval gyorsabb mágneses változások is tapasztalhatók. Ezek amplitúdói jelentősen elmaradnak a teljes tér nagyságától, a változási ütem gyorsasága miatt azonban mégis meghatározó szerepet játszanak a felszínen észlelhető tér jellegének formálásában. A gyors változások zömmel az ionoszférában és a magnetoszférában folyó elektromos áramok mágneses hatásai, kisebb részben pedig a földkéregben folyóké; egy részük időről időre visszatérő, periodikus jellegű, más részük pedig szabálytalan lefolyású.

A szabályos változásban döntő szerepe van az ionoszférának, amely a felső atmoszféra kb. 50 és több száz km közötti, részlegesen ionizált tartománya, amelyben a különböző töltések – elektromos áramot létrehozva – egymáshoz képest elmozdulhatnak. Az elektronok és ionok eloszlása a napszakoktól, illetve az évszakoktól, valamint a magasságtól függően más és más. A legmarkánsabb szabályos mágneses variáció a *nyugodt napi változás*, amelynek amplitúdója és időbeli lefutása a mágneses szélesség és az évszakok függvényében térben és időben is változik. Több observa-

tórium nyugodt napi észlelései alapján felépíthető egy olyan ionoszférikus áramrendszer, amelynek felszíni mágneses hatása a nyugodt változásokat közelítően mindenütt és mindenkor magyarázza. Ennek az ún. *ekvivalens áramrendszernek* alapvetően három eleme van; két áramörvény, amelyek fókusza hozzávetőleg a  $\pm 30^\circ$  mágneses szélesség fölött, a 11–12 órás meridián mentén helyezkedik el, valamint egy, az egyenlítő felett nyugatról keletre folyó áramvonal, az ún. egyenlítői *elektrojet*. Az áramokban résztvevő elektromos töltések zömét a napsugárzás termeli a semleges atmoszférából fotoionizáció révén, amiből következik, hogy az áramok intenzitása és elhelyezkedése a napsugárzás beesési szögétől, azaz az évszaktól is függ. A nyugodt napi mágneses menetek évszakok szerinti eltérései ezzel magyarázhatóak.

A szabályos napi változásokat időnként nagy és gyors mágneses ingadozások váltják fel, amelyeket *mágneses viharoknak* nevezünk. A viharok a Föld mágneses terének a napszéllel való kölcsönhatása során keletkeznek. A legnagyobb viharok forrásai alapvetően a Nap felszínén kialakuló napkitörések vagy a Nap ún. koronalyukaiból kiáramló gyors és lassú napszélfolyam között kialakuló kompressziós zónák lehetnek. Napkitörés esetén nagy energiájú részecskenyaláb indul ki radiális irányban a Napból, az átlagos napszélsebesség akár két-háromszorosával, ami azt jelenti, hogy a nyaláb a Földet a szokásos négy nap helyett két-három, extrém esetben akár kevesebb mint egy nap alatt is elérheti. A napkitörések a napfoltok mentén alakulnak ki, előfordulási gyakoriságuk tehát a tizenegyes éves napciklust követi.

Mágneses viharok akkor jelentkeznek, ha a Napból érkező gyors részecskeáramlás által szállított mágneses tér iránya dél felé mutat,

ilyenkor ugyanis a napszél erővonalai és a földi erővonalak egymásba átkötődhetnek, és a napszél energiája a magnetoszférába hatolhat. A viharok alapvetően két, illetve három fázisból épülnek fel. A beérkező nagy energiájú részecskenyalábok nyomására a viharok néhány órás *kezdeti fázisában* a magnetoszféra összenyomódik, és a felszínen a mágneses tér – vihartól függően – hirtelen kezdettel vagy fokozatosan megemelkedik. A vihar *fő fázisában* az egyenlítői síkban a felszíntől 4–7 földugár távolságra a magnetoszférában lévő töltött részecskék koherens mozgása révén egy ún. *gyűrűáram* alakul ki, amelynek hatására a felszíni mágneses tér vízszintes komponense kis és közepes szélességű helyeken jelentősen (nagy viharok esetén 200–300 nT, extrém esetben akár 1000 nT értékben) lecsökken. A jellemzően hat-nyolc óráig tartó fő fázist követi a több napig is elhúzódó *visszatérési fázis*, amelynek során a gyűrűáramot felépítő részecskék fokozatosan elvesztik energiájukat, és kiürülnek az áram tartományából.

A mágneses viharok során a magnetoszférába bejutó nagy energiájú részecskék energiájuk nagy részét a magnetoszférában, az ionoszférában, vagy legvégső soron az atmoszféra felső rétegeiben elveszítik, a felszíni életre ezért csak igazán kivételes esetben lehetnek veszélyesek. Az űrben dolgozó asztronauták, illetve a sarkvidékeket megközelítő repülőgépek személyzete és utasai számára azonban a viharok előfordulása már egészségi kockázattal is járhat. Az emberi életen kívül veszélyben vannak továbbá az űrben keringő távközlési, navigációs vagy Föld-megfigyelő műholdjaink is, amelyek meghibásodásai közvetlenül a földi életet is befolyásolhatják, és akár veszélyeztethetik is. A viharok azonban nemcsak az űrbeli, hanem a földi tech-

nikai infrastruktúrát is károsíthatják. A viharokat kísérő hirtelen mágneses változások ugyanis komoly áramokat kelthetnek a hosszú elektromos vezetőkben vagy csövekben, amelyek áramkimaradásokhoz, illetve a vezetékek váratlan korróziójához vezethetnek. A veszélyek a technikai eszközök kikapcsolásával, vezetékek lekapcsolásával, repülési útvonalak megváltoztatásával, űrprogramok áttervezésével jelentős csökkenthetőek. Ennek feltétele azonban a mágneses környezetünk változásainak, egyre közismertebb néven az ún. *űridőjárásnak* a minél pontosabb előrejelzése. Az űridőjárási változások előrejelzése műholdak, földi obszervatóriumok, illetve észlelési hálózatok adatainak (lásd például Heilig et al., 2012) együttes elemzésével, modellekkel való egybevetésével valósítható meg, egyre pontosabban.

#### *A földmágneses tér vizsgálata, az obszervatóriumok szerepe*

A mágneses deklináció változásának rendszeres megfigyelése csillagászati, meteorológiai obszervatóriumokban már a 18. században megindult. A tér irányának és intenzitásának változását szisztematikusan megfigyelő földmágneses obszervatóriumok Gauss kezdeményezésére a 19. században kezdtek elterjedni. Korábról kampányszerű megfigyelések alapján lehet közvetlen tudomásunk a tér változásáról. A magyar vonatkozású megfigyelések közül jelentős *Hell Miksa* (1720–1792) csillagásznak a Vénusz-áthaladás megfigyelésére szervezett norvégiai útja, amelynek során mágneses észleléseket is végzett. A mágneses deklináció időben és térben pontszerű megfigyelései hajónaplók, bányatérképek vagy hordozható napórákon feltüntetett adatok alapján már a 15. század közepétől ismertek. Közvetett mágneses adataink több évszázad-

dal vagy évezreddel korábbi időkből régészeti leletekben (például égetett kemencék vagy agyagtárgyak) rögzült mágneses irányok pontos laboratóriumi mérése alapján nyerhetők. A földtörténeti idők mágneses irányai pedig, ahogy korábban említettük, a mágneses anyagokat tartalmazó kőzetek keletkezésekor megszilárdult mágnesezettségének megméréseivel rekonstruálhatók.

A földön manapság viszonylag sok mágneses obszervatórium működik, amelyek a tér időbeli változását pontosan monitorozzák. Amint az előzőekből már kiderülhetett, a hosszú idejű, szekuláris változások alapján a külső magban zajló áramlásokra, a gyorsabb változások alapján pedig az ionoszféra, magnetoszféra dinamikai folyamataira, illetve a napszél és a magnetoszféra kölcsönhatásaira következtethetünk. Az obszervatóriumi adatsorok tehát egyaránt alkalmasak Földünk, illetve űrkörnyezetünk kutatására is.

A mágneses tér területi változásának térképezéséhez az obszervatóriumok sűrűsége és eloszlása azonban még a kontinentális területeken sem elegendő. A területi változás meghatározására ezért az utóbbi évszázadokban több országban mágneses hálózatok létesültek, amelyeken szabályos időközönként végeznek méréseket. A hálózati mágneses értékek azonos időpontra, *epochára* való vonatkoztatásában az obszervatóriumi idősorok nélkülözhetetlenek. A hálózati kampányok alapvető célja egy-egy terület regionális mágneses modellje, az ún. *normáltér* meghatározása. Az alkalmazott mágneses geofizikai kutatások a normáltérhez viszonyított mágneses változások, az ún. *mágneses anomáliák* alapján következtetnek a felszínről közvetlenül nem látható földtani szerkezetek (üledékretegek, vulkanikus kőzetek, telérek) jelenlétére, területi elterjedésére. A mágneses módszer

a természetes anomáliák mellett a mesterséges hatók kimutatására is alkalmas. Mesterséges anomáliák például olajvezetékek, utak, személerakók, történelmi kultúrák területén jelentkezhettek. Erősségük és térbeli kiterjedésük a földtani eredetű anomáliáknál általában kisebb, ennek ellenére – speciális mérési elrendezéseket és feldolgozási módszereket alkalmazva – a mágneses mérésekkel ezek az anomáliák is pontosan kutathatók.

Az 1960-as évektől kezdődően a POGO, a MagSat, az Ørsted, később a CHAMP, jelenleg pedig a SWARM műholdak segítségével a földi mágneses tér alacsony pályákon (300–900 km magasságban) keringő műholdak segítségével is megfigyelhető. A műholdak megjelenésével az obszervatóriumok szerepe szerte a világon ártértékelődött. A műholdak révén ugyanis napról napra hatalmas mennyiségű mágneses adat válik elérhetővé, amelyekből egyre részletesebb globális földmágneses modellek születhetnek. A modellek azonban továbbra sem nélkülözhetik az obszervatóriumok adatait, hiszen a műholdas mérések egy adott pályamagasságra vonatkoznak, ezért a felszínre nézve jelentős bizonytalansággal terheltek. Az obszervatóriumi adatok szükségesek ezért egyrészt a műholdas adatok kalibrációjához, másrészt a felszínre való vonatkoztatás pontosításához is. Időben folytonos, azonos helyen mért mágneses adatsorokat továbbra is csak az obszervatóriumok szolgáltathatnak.

Műholdakat nemcsak a Földtől származó mágneses tér megfigyelésére, hanem a magnetoszféra, az ionoszféra dinamikai folyamatainak kutatására is egyre nagyobb számban állítanak pályára. A műholdas és földi észlelések az űrkutatásban ezért ma már együttesen, egymást kiegészítve szerepelnek. A műholdak az űrkörnyezet különböző régióiban

közvetlen és ezáltal pontos észleléseket végeznek, mozgásuk azonban lehetetlenné teszi egy adott terület folyamatos monitorozását. A felszíni észlelések ezzel szemben alkalmasak a magnetoszféra egy-egy régiójának hosszú idejű megfigyelésére is, sőt a különböző földi pontokon végzett észlelések egy széles tértartomány feltérképezését is lehetővé teszik. A földi mérések e tekintetben természetesen az *in situ* méréseknél pontatlanabbak, ebben az esetben ezért éppen a földi mérések kalibrálása szükséges a műholdas regisztrátumok alapján. A műholdak megjelenése tehát nem szüntette meg, inkább átalakította és megerősítette az obszervatóriumok szerepét és jelentőségét akár a Föld, akár annak űrbeli környezete kutatásában.

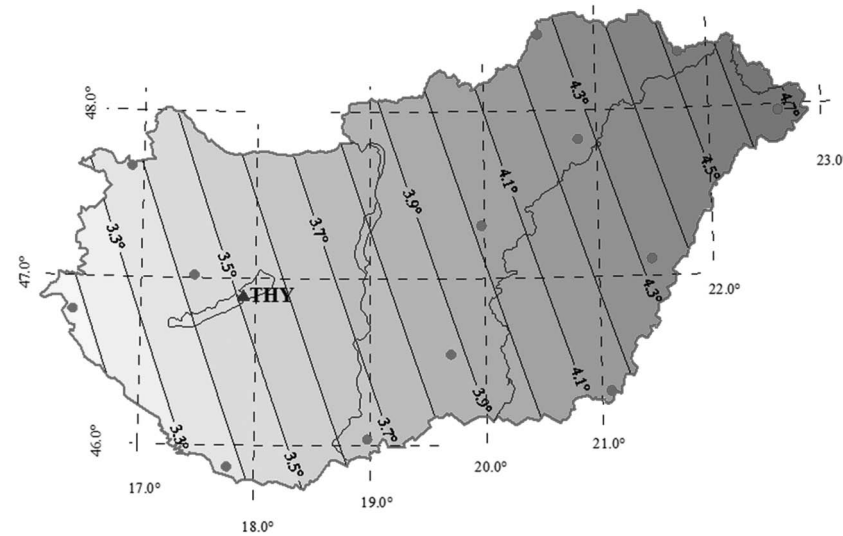
#### *A földmágneses tér hazai vizsgálatának rövid összefoglalása*

Magyarországon a földmágneses méréseknek komoly szakmai és történeti múltja van. Szisztematikus obszervatóriumi mérések Hell Miksa kezdeményezésére elsőként Nagyszombaton zajlottak, 1768 és 1777 között. Az észlelések később Budán folytatódtak, *Sajnovics János* (1733–1785) vezetésével. A feladat 1870-től a *Schenzl Guidó* (1823–1890) által vezetett Meteorológiai és Földdelejeességi Magyar Királyi Központi Intézet keretei között intézményesült. 1893-ban *Konkoly Thege Miklós* (1842–1916) – az egyre nagyobb városi zajok elkerülése miatt – Ógyallán (jelenleg Szlovákia területén) alapított új obszervatóriumot, amely az I. világháború után egy ideig, a II. világháború után pedig tartósan is csehszlovák fennhatóság alá került.

1945 után *Barta György* (1915–1992) irányításával először Budakeszin létesült új, ideiglenes obszervatórium. Ennek szerepét 1954-től a szintén Barta által alapított Tihanyi Geofi-

zikai Obszervatórium vette át, amelynek fenntartója az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet jogelődje) lett. Nem sokkal később, 1957-ben, az MTA alapításával Nagycenken a Széchenyi István Geofizikai Obszervatórium is megnyílt, földmágneses obszervatóriumi adatsora 1961-től indul. A két obszervatórium egymást kiegészítő mérési tevékenységgel jelenleg is üzemel, a mágneses tér monitorozása mellett jelentős szerepük van többek között az ionoszféra és plazmaszféra dinamikus változó állapotának megfigyelésében, villámkisülések által okozott rezonáns jelenségek észlelésében, obszervatóriumi műszerek fejlesztésében, valamint a regisztrátumok értelmezésében. Mindkét obszervatórium tagja az INTERMAGNET nemzetközi obszervatóriumi hálózatnak, valamint nemzetközi űridőjárási szervezeteknek és projekteknek.

A hálózati mágneses méréseknek szintén több évszázados hagyománya van Magyarországon. *Luigi Ferdinando Marsigli* (1658–1730) és *Johann Christoph Müller* (1673–1721) 1696-ban, a töröktől visszafoglalt ország nyolc pontján végzett deklinációmérése világszerte az egyik legkorábbi hálózati mágneses mérés. A tér minden komponensére kiterjedő hálózati méréseket a Monarchia időszakában elsőként *Karl Kreil* (1798–1862) végzett 1847 és 1857 között ötvenkét ponton (Szabó, 1983). Később *Schenzl Guidó* (1867–1879, 117 állomás), majd *Kurländer Ignác* (1846–1916) vezetésével indultak újabb kampányok (1892–1894, 38 állomás). *Eötvös Loránd* (1848–1919) a gravitációs kutatások helyszínein szintén végzett mágneses méréseket, sőt új mágneses műszereket is fejlesztett. A II. világháború utáni Magyarország első országos mágneses felmérésére Barta György vezetésével került sor, 1949–1950-ben, 290 ponton. 1995-ig a



3. ábra • A mágneses deklináció modellezett változása Magyarországon 2010 közepén, a szekuláris hálózati méréseink alapján. A piros pontok a szekuláris hálózatunk állomásait jelölik.

mérések tizenöt éves rendszerességgel ismétlődtek az eredeti hálózathoz képest eltérő, háromszáz (1964–1965; 1979–1982), illetve 195 (1994–1995) pontot tartalmazó hálózatokon (Aczél – Stomfai, 1968; Kovács – Körmendi, 1999). A kampányok során mindig meghatározták a magyarországi mágneses normáltér modelljét, illetve térképezték a normáltérhez viszonyított anomális területeket. 1965-ben egy kisebb, tizenöt pontból álló, ún. *szekuláris* hálózat is létesült (Aczél – Stomfai, 1969), amelynek célja a tér eltérő időbeli változásának monitorozása az ország különböző területein. A mai gyakorlat szerint a szekuláris hálózat pontjait páros években, kétéves rendszerességgel mérjük. A deklináció 2010-ben végzett méréseink alapján kapott területi változását a 3. ábrán mutatjuk be. Szekuláris méréseinkkel csatlakoztunk a 2003-ban lét-

rejött nemzetközi hálózati együttműködéshez, a MagNetE-hez, amelynek keretében egyrészt vállaljuk az együttműködés által meghatározott mérési standardok betartását, valamint adatainkat egy közös adatbázis számára is szolgáltatjuk.

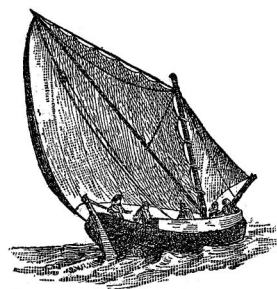
A földmágneses tér megfigyelését a Tihanyi Geofizikai Obszervatóriumban, illetve a felszíni és műholdas megfigyelések együttes értelmezése alapján zajló űrkeresési tevékenységeinket többek között az EU-FP7/2007-2013 263218 (PLASMON) és az EU-FP7/2007-2013 313038 (STORM) projektek, valamint a K75640 sz. OTKA pályázat támogatja.

Kulcsszavak: *geofizika, földmágnesség, obszervatórium, Tihanyi, magnetoszféra, geomágneses dinamó, ionoszféra*

## IRODALOM

- Aczél Etelka – Stomfai Róbert (1968): Az 1964–65. évi magyarországi földmágneses alaphálózatmérés. *Geofizikai Közlemények*. XVII, 3, 5–17.
- Aczél Etelka – Stomfai Róbert (1969): A földmágneses elemek változása az 1966-os szekuláris mérés szerint. *Geofizikai Közlemények*. XVIII, 1–2, 3–11.
- Gauss, Carl Friedrich (1839): *Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus*. Leipzig
- Gilbert, William (1600): *De magnete, magneticisque corporibus et de magno magnete tellure*. • <http://books.google.hu/books?id=Mbo2oDsnrAAC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false> angolul: <http://www.gutenberg.org/files/33810/33810-h/33810-h.htm>
- Heilig Balázs – Kovács P. – Csontos A. (2012): A földmágneses észlelések szerepe az űrkutatásban. *Magyar Tudomány*. 12, 1435–1442. • <http://www.matud.iif.hu/2012/12/05.htm>

- Jankowski, Jerzy – Sucksdorff, Christian (1996): *Guide for Magnetic Measurements and Observatory Practice*. IAGA, Warsaw • [http://iugg.org/IAGA/iaga\\_pages/pdf/IAGA-Guide-Observatories.pdf](http://iugg.org/IAGA/iaga_pages/pdf/IAGA-Guide-Observatories.pdf)
- Kovács Péter – Körmendi Alpár (1999): Geomagnetic Repeat Station Survey in Hungary during 1994–1995 and the Secular Variation of the Field between 1950 and 1995. *Geophysical Transactions*. 42, 3–4, 107–132.
- Norman, Robert (1581): *The Neue Attractive*. London 1720-as reprint. • [http://books.google.hu/books?id=j9A4AAAAMAAJ&pg=PP7&lpq=PP7&dq=Norman,+Robert+The+Neue+Attractive.+London&source=bl&ots=Uhg5i99nSf&sig=QvYHupNdfYlS2\\_HnPoh2IVYj9Rc&hl=en&sa=X&ei=cPjUruDL4XfygPImoHoDw&ved=0CFQ6AEwBg#v=onepage&q=Norman%20Robert%20The%20Neue%20Attractive.%20London&f=false](http://books.google.hu/books?id=j9A4AAAAMAAJ&pg=PP7&lpq=PP7&dq=Norman,+Robert+The+Neue+Attractive.+London&source=bl&ots=Uhg5i99nSf&sig=QvYHupNdfYlS2_HnPoh2IVYj9Rc&hl=en&sa=X&ei=cPjUruDL4XfygPImoHoDw&ved=0CFQ6AEwBg#v=onepage&q=Norman%20Robert%20The%20Neue%20Attractive.%20London&f=false)
- Szabó Zoltán (1983): A mágnesség deklináció változásai Magyarországon 1850–1980. *Geodézia és Kartográfia*. 35, 6, 436–442.



## A MÁGNESÉG ÉLETTANI HATÁSAI

Hraskó Gábor

informatikus, biológus, tudományos újságíró  
gabor@hrasko.com

Mágnesesmező-hiány szindróma, mágnességjavító eszközök, galambok mágnességiránytűje, levesteknősök mágnestérképe, legegő tehén irányultsága a mágnesség erővonalak mentén, rejtélyes hatodik mágnességérzék. Megannyi izgalmas hír a médiából az elmúlt évtized során. Ezeket olvasva az ember érzése, hogy a földi mágnesség mezőnek meghatározó szerepe van az élővilágra, a biológiai folyamatokra.

Úgy tűnik azonban, hogy a kép közel sem ennyire tiszta. A fizikai elvek ismeretében nem igazán várjuk, hogy a Föld igen gyenge, és élettani időskálán mérve állandó mágnességtere a biológiai folyamatokra hatást gyakoroljon. Igencsak speciálisak azok az esetek, ahol elvileg elképzelhetőnek tartjuk, hogy a mágnesség mező befolyásolja a biofizikai, biokémiai reakciókat. És még ezekben az esetekben is kérdéses, hogy e kölcsönhatás valójában releváns-e, hogy evolúciós szempontból szelekciós hatásként jelentkezhetett, és ezáltal speciális megoldások kialakulásához vezetett volna.

Itt van hát egy gyakorlatilag ismeretlen és nem igazán plauzibilis elméleti háttér, és számos, de gyakran nem egy irányba mutató, közel sem egységes benyomást keltő viselkedési és biofizikai kísérleti eredmény. Ez az a szituáció, amikor nagyon fontos mind a szellemi nyitottság, mind a kellő szkepticizmus!

## Történelmi háttér

A mágnesség jelenségei már a középkor előtt is elbűvölték az embereket, és gyakran amulettként használták a természetes mágnesség anyagokat. A 16. században a híres orvos, asztrológus, alkimista *Paracelsus* epilepszia, hasmenés és vérzések kezelésére alkalmazott mágnesseket. A 18. században *Franz Mesmer* drámai gyógyító szeánszok keretében mágnessel kezelt vizet itatott pácienseivel. A mágnesség jelenségét ő az életerővel hozta kapcsolatba. 1785-ben *XVI. Lajos* bizottságot állított fel, hogy vizsgálta Mesmer állításait. A *Benjamin Franklint*, *Antoine Lavoisier-t* és *Joseph-Ignace Guillotint* is tagjai közt tudható bizottság az egyik első ismert vak, placebókontrollált kísérletet hajtott végre. A páciensek egy részével mágnessel kezelt vizet itattak, míg a másik csoport tiszta vizet kapott úgy, hogy az alanyok nem tudtak a csoportbesorolástól. Az eredmény cáfolta Mesmer elméletét, és egyben a placebo (ebben az esetben elvárás, befolyásolás) szerepére is rámutatott.

Az 1800-as évek végén az amerikai *C. J. Thacher*, aki kiérdemelte a „mágneses átverések királya” címet, postán küldött katalógusaiban mágnesség betétekkel ellátott ruhákat ajánlott mindenfajta betegség megelőzése céljából. A 20. században a technológia fejlődésével a Thacher korában használtaknál nagyságren-



dekkel erősebb mágnesek kialakítására nyílt lehetőség. Nem meglepő, hogy a 90-es években – immár gyakran a *multilevel marketing* formát kihasználva – újra fellendült a „gyógyító” mágnesek, karperecek, nyakláncok, matracok piaca. Ma az interneten a párezer forintos mágneses ékszertől a több százezer forintos matracig mindenféle termék kapható.

Mindettől függetlenül a 20. század második felében elkezdtek gyűlni a megfigyelési adatok, amelyek azt látszottak igazolni, hogy az élővilág legkülönfélébb csoportjaiban megjelenik a földi mágneses mező érzékelésének képessége. A téma természeténél fogva a gyógyászati alkalmazásoktól eltérően ez a kérdéskör a tudomány berkein belül marad, bár gyakran annak határait feszegeti. A mágnességgel kapcsolatos ezoterikus elképzelések („hatodik érzék”), valamint az elméleti háttér bizonytalansága a kutatásokat időnként az áltudományok területe felé sodorja. A szenzációra éhes média gyakran csábítja a kutatókat arra, hogy kezdeti eredményeiket, hipotéziseiket bizonyítékként mutassák be. Még a tudományos publikációkat olvasva is kényelmetlen bizonytalanság fogja el a témakört feldolgozó elemzőt. Akár ugyanaz a szakértő egyik cikkében kész tényként hivatkozik egyes elképzelésekre, miközben a másikban készséggel ismeri el, hogy a megfigyelések, hipotézisek még korántsem álltak össze egységes elméletté. A terület kétségkívül megérdemli a figyelmet, a nyitottságot, de számítani lehet arra, hogy már viszonylag megalapozottnak tekintett tények is könnyen visszaeshetnek a hipotézis kategóriába egy-egy újabb megfigyelés fényében.

#### A mágneses mező érzékelése

Az emberiség már háromezer éve használja a földi mágneses mezőt navigáció céljára az

iránytű segítségével. Természetesként merül fel a kérdés, hogy az állatok vajon szintén képesek-e a mágneses mező irányát, erősségét érzékelni, és ezt az információt a tájékozódásukban használni. A kérdéskör több oldalról vizsgálható:

- Laboratóriumi körülmények közt igazolható-e, hogy az állatok viselkedésére hatással van a kísérletileg kontrollálható mágneses mező? Ha igen, kapcsolatba hozható-e ez a tájékozódással?
- Természetes körülmények közt igazolható-e, hogy a mágneses tér megzavarása (például statikus mágnessel) tájékozódási problémát okoz?
- Ismerünk-e olyan fizikai-kémiai mechanizmusokat, amelyek az érzékelés alapjául szolgálhatnak?
- Ismerünk-e olyan szerveket, amelyek a feltételezett mechanizmusok segítségével legalább elvileg képesek lehetnek a mágneses mező tulajdonságainak érzékelésére?
- Kimutatható-e, hogy a kísérletben részt vevő állatok agytevékenységére hatással van a mágneses tér változtatása? Kapcsolatba hozhatók-e ezek az agyterületek a navigációs képességekkel?
- Kimutathatók-e olyan idegrendszeri útvonalak, amelyek a feltételezett érzékszerveket a valószínűsíthető agyi területekkel összekapcsolják?

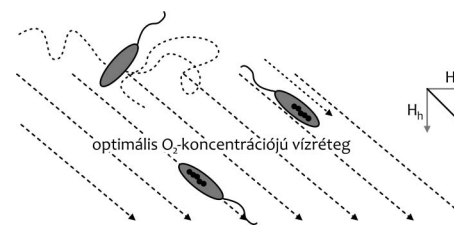
Mára eljutottunk oda, hogy mindegyik felsorolt kérdéskörre vannak legalább valószínűsíthető pozitív válaszok, ám a teljes kép még egyáltalán nem tiszta, és meglepetésekre bármilyen irányban számítani lehet.

Laboratóriumi körülmények között több állatfaj esetében kimutatták a mágneses mező irányától függő viselkedési mintázatokat. Az ún. magnetotaktikus baktériumok – a kifejezés nem egységes taxonómiai csoportot

jelöl – olyan egysejtűek, amelyekre elég egyértelműen hat a Föld mágneses tere, és amelyek esetében a mágneses mező iránya által befolyásolt mozgást, azaz *magnetotaxist* is kimutattak (Blakemore, 1975). Úgy vélik, hogy a baktérium számára optimális oxigénkoncentrációjú vékony vízréteg megtalálásában a véletlen bolyongásnál (random walk) jobb stratégia lehet az egyenes vonalú haladás, és ehhez nyújthat segítséget a mágneses erővonalak követése (Frankel et al., 1997) (1. ábra).

Vagy húsz madárfaj, kilenc rovarfaj, öt rák, négy csontoshal, néhány emlős, hüllő, kételtű, egy-egy cápa- és csigafaj esetén demonstráltak hasonló viselkedést (Wiltshcko – Wiltshcko, 2005), és ezek a számok évről évre növekednek. A kísérletek során általában az állatok preferált mozgási irányát vizsgálták természetes, illetve mesterségesen módosított mágneses mezőben. Több esetben igazolták, hogy a mágneses mező csak adott frekvenciatartományba eső fény jelenlétében befolyásolta a viselkedést.

A földi mágneses mező tulajdonságai (horizontális irány, inklináció, erősség) helyről helyre változnak, az adott területre jellemzők. Megfelelő magnetikus érzékszerv segítségével lehetővé válhat a GPS-hez hasonló helymeghatározás, természetesen a GPS-nél sokkal



1. ábra • Mágneses erővonalak alapján történő iránytartás a magnetotaktikus baktériumok kedvező oxigénkoncentrációjú vízréteg kereső mozgása során

kevésbé pontosan (Lohmann et al., 2007). Az Atlanti-óceánban is honos közönséges levesteknős (*Chelonia mydas*) és az amerikai langusza (*Panulirus argus*) laborbeli példányainak mozgását vizsgálták élőhelyük távoli pontjaira jellemző, mesterségesen módosított mágneses mezőben. Az egyedek tipikusan olyan irányban mozogtak, amely az adott vonulási útvonalpontra volt jellemző (2. ábra). Ez azt sugallja, hogy ezekben a fajokban kialakult a vándorlási területükön mérhető mágneses mező jellemzőinek valamiféle agyi reprezentációja (Cain et al., 2005).

Természetes körülmények közt jóval kevesebb hasonló kísérletet végeztek. Egyes kísérleti eredmények azt mutatják, hogy a levesteknősök vándorlását vagy a postagalambok hazatalálását a testükre helyezett állandó mágnesek megzavarhatják, míg más kutatók ugyanezt nem igazolják.

Néha az ember nem tudja, hogyan is értékeljen bizonyos munkákat. Német és cseh kutatók a *Google Earth* térképen több mint 11 ezer legelésző szarvasmarha és szarvas pozícióját megvizsgálva azt a konklúziót vonták le, hogy az állatok előszeretettel fordulnak a mágneses erővonalak irányába (Begall et al., 2008). Más kutatóknak nem sikerült ezeket az eredményeket reprodukálniuk, de az eredeti kutatás szerzői kritikával és újabb pozitív adatokkal vágtak vissza. Később ugyanez a kutatócsoport úgy találta, hogy a rókok egérvadászatkor északkeleti irányban ugranak rá a zsákmányra. Egy évvel ezután a cseh hagyományos karácsonyi vásáron 14 537 ponty testhelyzetét mérték fel a vásári halastartályokban, és azt tapasztalták, hogy a halak előszeretettel észak-déli irányultságot vettek fel. A kutatások formailag korrektek, az eredmények statisztikailag szignifikánsak, mégis mintha valami nem lenne velük rendben.



2. ábra • *Chelonia mydas* mozgásiránya a laboratóriumban a vonulási terület három különböző pontjára jellemzően beállított mesterséges mágneses mező hatására (Cain et al., 2005 alapján)

Érdekesség: egyes országokban gyakran nyeletnek a szarvasmarhák körülbelül egy cm széles és nyolc cm hosszúságú mágnesrudakat (ún. *cow magnet*) abból a célból, hogy a legelészés közben lenyelt szögeket, drótdarabokat „megkössék”, így megakadályozzák, hogy azok a gyomor falát megsértve betegségeket okozzanak. Nem gondoljuk azonban, hogy ezeknek a mágneseknek közük lenne a fentebb említett kutatási eredményekhez.

#### Háttérmechanizmus

Az elmúlt évtizedekben háromféle elvi alapmechanizmust is sikerült felvázolni, amelyek segítségével élőlények képesek lehetnek a földi mágneses mező tulajdonságainak érzékelésére. Egyik esetben sem sikerült azonban még kétséget kizárólag bizonyítani, hogy ilyen alapon működő érzékszervek ténylegesen léteznek, és hogy az állatok számára tájékozódási információt nyújtanak.

Az állatok szervezetében fellelhetők olyan sejtek, sejtalkotók, amelyek ferrimágneses tartalmú kristályos anyagokat, általában

magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), ritkábban greigitet ( $\text{Fe}_2\text{S}_3$ ) tartalmaznak. A magnetotaktikus baktériumok sejtjében kimutattak ilyen párányi ferrimágneses kristályokat, amelyek gyakran fonalas struktúrákba szerveződnek. Egy ilyen sejtre a statikus mágneses mező forgatónyomatéket fejt ki, amely akkor válik nullává, amikor a sejt a mágneses erővonalakkal párhuzamosan áll be. Ez egy passzív folyamat, amely természetesen elpusztult baktériumokkal is működik. Megfigyelték azonban, hogy némelyik baktériumfaj a mágneses erővonalak mentén mozog, azaz aktív magnetotaxist mutat. Magasabb rendű állatok sejtjeiben is előfordul magnetit olyan komplexek formájában, mint például a hemosziderit. Ez sokszor a hemoglobinnal kapcsolatos, és különösen gyakori egyes makrofág sejtekben. Több modell létezik arra, hogy ilyen ferrimágneses szemcsék receptorsejtjeiben hogyan tudnának ioncsatornák szabályozása révén hatni a sejt biokémiai folyamataira, vagy idegi impulzusok kiváltására, de ezek egyelőre csak hipotézisek.

Elsősorban a cápák és ráják rendszertani alosztályában (*Elasmobranchii*) fordulnak elő olyan fajok, amelyek képesek az elektromos mező irányát és erősségét érzékelni. Ha egy cápa a mágneses erővonalakkal nem párhuzamosan úszik, akkor testfelületén az elektromos indukció elvének megfelelően a mágneses erővonalakra merőlegesen töltésvándorlás, töltésszétválás indul meg. Az újabb kutatások szerint az így generált elektromos mező elegendő nagyságú lehet ahhoz, hogy az állat azt érzékelhesse.

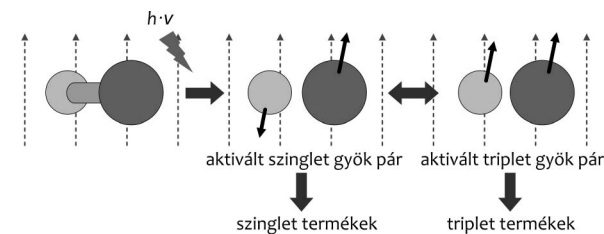
A harmadik feltételezett hatásmechanizmus azon alapul, hogy szabadgyök-pár képződésével járó kémiai folyamat után a kialakuló rekombinációs egyensúlyt és ezen keresztül a keletkezett végtermékek arányát befolyásolhatja a környező statikus mágneses mező jelenléte (3. ábra). Ez a hatás igazolt, amikor a mágneses mező erős. A földi mágneses mező azonban olyan gyenge, hogy a hatást teljesen elfedhetik a hat nagyságrenddel nagyobb energiájú termikus folyamatok. Biológiai rendszerekben a kriptokróm fehérjék jöhetnek szóba ebből a szempontból. Ezekben általában fény hatására alakulnak ki szabadgyök-párok. Ilyen fehérjék megfelelően rendezett, irányult struktúrákban gerinctelen és gerinces állatok szemében is előfordulnak. A vizsgált hipotézis magyarázhatja

azt a gyakori megfigyelést, hogy a mágneses mező csak adott frekvenciatarományba eső fény jelenlétében befolyásolja a kísérleti egységek viselkedését. Egy ilyen receptor a mágneses mező erősségét és irányát lenne képes mérni, de a mező polarizációját (azaz az észak–dél megkülönböztetést) nem. Érdekes belegondolni, hogy egy ilyen állat valamilyen formában „látja” a mágneses mező tulajdonságait. Azok mintegy szuperponálva jelenhetnek meg a látott képbe keverve.

#### Érzékszervek, idegrendszer

Mind a mai napig nem sikerült egyértelműen azonosítani olyan szervet a vizsgált állatokban, amely a mágneses mezőt érzékeli. Ellentétben a legtöbb ingerrel, a mágneses mező számára nem akadály a testfelszín, tehát egy ilyen szerv akár a test mélyén is kialakulhat. Ugyanígy az sem lehetetlen, hogy a mágneses mezőt detektáló sejtek nem hoznak létre kompakt szervet, hanem diffúz módon oszlanak el a szervezetben. Elképzelhető, hogy az érzékeléshez szükséges komponensek csupán nehezen felismerhető sejtsejtszervecskék, sejtalkotók.

Általánosan elfogadott hipotézis, hogy egyes madarak csőrében a háromszortú ideg Gasser-dúcában (*ganglion semilunare*) található magnetitrezecskéket tartalmazó idegsejtek, amelyek érzékelni képesek a mágneses



3. ábra • A statikus mágneses mező (függőleges nyilakkal jelölve) befolyásolja a fény hatására kialakuló aktivált gyökpárok szinglet–triplet változatának arányát, így az ezekből kialakuló további termékek mennyiségét is.

mezőt. Az elmúlt években vörösbegyekkel (*Erythacus rubecula*) végzett kísérletekben a háromszatú ideg agytörzsi érzékelő régióban emelkedett idegi aktivitást mutattak ki, amikor a madarat félpercenként változó mágneses mezőbe helyezték. A kontrollként megfigyelt agyi régiókban nem találtak ilyen aktivitásnövekedést, és akkor sem, ha a háromszatú ideget átvágták (Heyers et al., 2007). Az elméletek bizonytalanságát mutatja azonban egy újabb kutatás, amely szerint a galambok csőrében található magnetitzemcsékben gazdag sejtek nem is neuronok, hanem makrofágok, így nem lehet közülük a mágneses mező érzékeléséhez (Treiber et al., 2012).

A szabadgyök-pár hipotézist támasztják alá az ecetmuslicával végzett következő kísérletek. Az ecetmuslica cirkadián ritmusának (napi élettani ritmus) meghatározásában jelentős szerepet játszanak a szem sejtjeiben kifejeződő kék-UV-érzékeny kriptokróm fehérjék. Kutatók kimutatták, hogy labirintusos útvonalválasztó kísérletekben az ecetmuslicák kondicionálhatók a mágneses mező segítségével. Kék fény hiányában vagy genetikai okok miatt kriptokróm-hiányos változatokban a kondicionálás nem működött (Gegear et al., 2008). A gerincesekben a kriptokróm fehérjék a retinában találhatóak. Úgy tűnik, hogy a kriptokrómot tartalmazó retinasejtek aktívak, amikor laboratóriumi kísérletek során a madarak mágneses navigációs feladatokat hajtanak végre. Ezekben a kísérletekben, amikor a vörösbegynek semmi más lehetősége nem volt tájékozódásra, mint a természetes mágneses mező, azt tapasztalták, hogy a madár jobb szemének lefedése megzavarja a tájékozódást, a bal szem lefedése azonban nem. Ugyancsak megzavarta a madarat a rádiófrekvenciás zaj, ami arra utal, hogy az érzékelés a szabadgyök-pár mechanizmuson

alapul, a magnetit aligha játszik benne szerepet (Stapput et al., 2010).

Laikus körökben is szenzációt keltett az a kísérlet, amelyben kriptokróm-hiányos ecetmuslicába az egyik emberi kriptokrómfehérje-változat génjét illesztették be génmérnöki módszerrel, és kimutatták, hogy ezzel helyreállt a muslica mágneses mezőt érzékelő képessége. Ebből arra lehet következtetni, hogy az emberi kriptokróm fényérzékeny reakcióját is befolyásolhatja a mágneses mező. Humán kísérletek utalnak arra, hogy a földmágneses mező gyenge, de talán még kimutatható irányfüggő hatással bír az emberi szem fényérzékenységére (Thoss et al., 2002). Azonban azokat a szórványos humán viselkedésbiológiai kísérleti eredményeket, amelyek azt sugallják, hogy létezik egy nem vizuális, mágneses érzékelésen alapuló navigációs képesség, általában nem fogadják el.

#### Mágneses tér és egészség

Elég összepárosítani azt a tényt, hogy a földmágneses mező erőssége az elmúlt 150 év alatt néhány százalékkal csökkent (néhány évezred alatt talán 40%-kal is) azzal a nem igazolt, de több ezer éves elképzeléssel, hogy a mesterséges mágneses mező valamiféleképpen gyógyító, egészségmegőrző hatású, és máris kész a konklúzió: a természetes mágneses mező hiánya egészségi problémákat okoz (Nakagawa, 1976). A feltételezett „mágnesesmező-hiány szindróma” (*magnetic field deficiency syndrome*) tünetek széles csoportjára adna magyarázatot. Mindehhez hozzátartozik az a városi legenda, amely szerint az első hosszabb űrutazások után a NASA űrhajósai fáradékonyra és egyéb tünetekre panaszkodtak, amelyeket az okozott, hogy a Föld körül keringő űrhajón nem hatott rájuk a természetes földmágneses mező. Azonban a körülbelül 400 km maga-

san keringő Nemzetközi Űrállomáson a földi mágneses mező erőssége csak 6–8%-kal kisebb, mint a földfelszínen. A NASA ugyan ténylegesen vizsgálja, hogy hogyan lehetne erős mágneseket alkalmazni a jövő űrhajóin, de nem azért, mert az űrhajósok szervezetének a mágneses mező energiájára szükségük lenne. Az elképzelés szerint a földi mágneses mezőből majdan eltávolodó űrhajóban az űrhajósokat és a műszereket mesterséges mágneses védőernyő létrehozásával óvnák a nagy energiájú kozmikus sugárzástól.

Szintén elterjedt nézet, hogy a statikus mágnes azáltal serkenti a véráramlást, hogy vonzza a vastartalmú hemoglobin-molekulákat. Azonban a hemoglobinban lévő vas nem ferromágneses tulajdonságú, a mágnes nem fejt ki ilyen módon lényeges hatást a vörösvértestekre. Talán inkább a Hall-effektus (mágneses térbe helyezett áramvezető két oldalán fellépő feszültségkülönbség) jöhetne itt szóba. A mágneses mezőben az áramló vérben oldott ionokra Lorenz-erő hat, eltéríti azokat, így az ér két oldala közt a mágneses mezőre merőlegesen feszültségkülönbség alakulhatna ki. A megfelelő elméleti számításokat elvégezve azonban kitűnik, hogy ez a hatás is elhanyagolható. Nem csoda, hogy az ilyen irányú célzott kísérletek sem voltak képesek egyértelmű hatást kimutatni (Ramey, 1998).

Egészen más a helyzet időben változó mágneses térben. Több esetben itt is vitatottak a kísérleti, klinikai eredmények, de ettől eltekintve ilyenkor várhatóan közvetetten nem is a mágneses mező hatásával, hanem az általa kiváltott elektromos hatásokkal kell számolni. Ez nem témája a jelen tanulmánynak, ezért az ilyen behatásokkal csak érintőlegesen foglalkozunk.

Ma már nem elképzelhetetlen, hogy valaki a 25–60  $\mu\text{T}$  erősségű földmágneses mezőnél

akár százszoros erősebb statikus mágneses mezővel találkozzon. Az alumínium előállítása vagy a kősző ipari feldolgozása, elektrolízise során 20 mT, MRI-kezelés során akár 1–6 T erősségű mágneses mező hathat a dolgozókra, páciensekre. Az MRI alkalmazása során ráadásul az erős statikus mező mellett 100–5000 Hz frekvenciájú, ún. gradiens mágneses mezőt, valamint gerjesztő rádiófrekvenciás jelet is használnak. Még ilyen körülmények között sem tapasztaltak egyértelműen tartós káros hatásokat, bár egyelőre kevés ilyen felmérés történt, és ezek esetében is nehéz a mágneses mező esetleges hatását elválasztani az egyéb tényezőktől.

Az átmeneti, potenciálisan veszélyes hatások miatt azonban ilyen körülmények között nem hunyhatunk szemet az esetleges hosszú távú károsodások lehetősége felett. Hivatalos szervek által több összefoglaló tanulmány is készült az elmúlt években az állandó mágneses mezőkkel kapcsolatos kutatási eredményekről, egészségügyi vonatkozásokról. A legátfogóbbak talán a brit Közegészségügyi Hivatal és az Egészségügyi Világszervezet dokumentumai (WHO, 2006; HPA, 2008). Ezek az egészség és a mágneses mező kapcsolatának minden aspektusával foglalkoznak, beleértve azt, hogy mit tudunk a hatásmechanizmusról, a természetes és mesterséges mezők előfordulásáról, tulajdonságairól, az *in vitro*, állati és humán vizsgálatokról és a jogi szabályzásról.

In vitro sejteken végzett kutatások alapján 0,2 T – ez a természetes mágneses mező közel tízszeresese – alatt nem lehetett egyértelmű biológiai hatást kimutatni. Ugyan szép számmal vannak ilyen hatást demonstráló megfigyelések, de ezek általában nem reprodukálhatók, és nem adnak egységes képet. 0,2–16,7 T között megfigyelték egyes makromoleku-

lák, sejtek orientációját a mágneses erővonalak irányába, de az egyéb hatások léte kétséges. Vannak bizonyítékok arra nézve, hogy egyes sejtfunciók érintettek a génexpresszió és a sejtek közti kommunikáció változása miatt, de nem egyértelmű, hogy ezt ténylegesen a mágneses mező közvetlen hatása okozta-e. A bizonyítékok összessége szintén nem igazolja a közvetlen genotoxikus hatást, noha utalnak jelek arra, hogy az erős mágneses tér károsan befolyásolhatja a sejt védekezési mechanizmusait, és ez közvetve érzékenyebbé teheti a sejteket egyéb káros hatásokkal szemben.

A humán vizsgálatok összessége nem igazolja az idegi és kognitív folyamatokra kifejtett pozitív vagy negatív hatást. Az agytevékenység statikus mágneses mező által kiváltott megváltozására vonatkozó EEG-vizsgálatok nem meggyőzőek. A keringési rendszerben – elsősorban az aorta véráramlásában és a szív ingerületkiváltó funkciójában – esetleg számíthatunk valamilyen hatásra. Azonban a tanulmányok metodológiailag elég gyengék, főleg a placebo-kontroll és a vakság tekintetében. Egyértelműen pozitívak azonban az érzékszervekre vonatkozó kísérleti eredmények. Az erős statikus mágneses mező hatásai szédülés, kisebb izomrángások, csiklandós érzés, felvillanó fények, fémész érzékelése formájában jelentkeznek, amelyek az erős mágneses mezőtől eltávolodva elmúlnak. Ezeket valószínűleg a statikus mágneses mezőben mozgó emberi test vagy testrész érzékszerveiben indukált véletlenszerű áram váltja ki. MRI használata közben a test mozgása helyett a készülék változó gradiensmező-komponense is kiválthatja ugyanezt.

Az epidemiológiai tanulmányok, kontrollált klinikai vizsgálatok és esettanulmányok összességükben nem jeleznek hosszú távú káros mellékhatásokat, bár a vizsgálatok sta-

tisztikai ereje általában gyenge, s a vizsgálatok metodológiailag is hagynak kívánnivalót maguk után. Az elektrolízist végző üzemekben a vizsgálatok jeleznek gyengén megemelkedett rizikót a leukémia kialakulására, de itt nyilvánvalóan nehéz az egyéb ipari hatások elkülönítése az okok meghatározásakor. Különösen figyelemre méltó a páciensek és az egészségügyi dolgozók halálzási és rákos megbetegedési mutatóinak felderítésére irányuló epidemiológiai tanulmányok hiánya az MRI-vizsgálatokkal kapcsolatban. A jelek csupán arra mutatnak, hogy az ilyen eszközöket használó egészségügyi alkalmazottak és kutatók körében gyakoribbak a szédülésre és fémész érzésre vonatkozó panaszok.

### Összefoglalás

A mágneses mező élettani hatásaira vonatkozó kutatások különösen abból a szempontból tanulságosak, hogy hogyan is kellene a tudományban a bizonyíték fogalmát értelmezni. Észre kell venni, hogy a bizonyítékoknak (*evidence*) különböző fokozatai léteznek. A pozitív eredményű kísérletek, a statisztikailag szignifikáns kutatási eredmények több-kevesebb mértékben járulnak hozzá egy hipotézis igazolásához. Ilyen esetben, amikor az elméleti háttér bizonytalan, a vizsgálati eredmények nem átütőek, nem igazán mutatnak egy irányba, mindig számíthatunk arra, hogy egy új megfigyelés megcáfolja az egyes régebbi kutatási eredményeket, hipotéziseket, vagy akár azok nagyobb csoportját is. Nem elképzelhetetlen, hogy a nagyhírű szaklapokban az erről a témáról megjelent tanulmányok jó részéről kiderül majd, hogy megállapításaik nem állják meg a helyüket (Ioannidis, 2005). Nem az egyes eredmények, hanem az elméleti és kísérleti kutatások összessége alapján kell kialakítanunk az álláspontunkat.

Mindezek alapján kijelenthetjük, hogy valójában igen keveset tudunk a földi mágneses mező érzékeléséről az élő szervezetek által, illetve a nagyobb energiájú mesterséges mezők egészségügyi hatásairól. Elég biztosnak tekinthető azonban, hogy a természetes mező időbeli és térbeli változásai nem okoznak megbetegedéseket. Ugyanígy az elméleti és

kutatási eredmények alapján nem számíthatunk arra sem, hogy a statikus mágneses mezőt gerjesztő eszközök alkalmasak lehetnének terápiás és betegségmegelőző célokra.

Kulcsszavak: *mágnesség, tájékozódás, érzékelés, mezmerizmus, magnetotaxis, madárvonulás, kriptokrómok*

### IRODALOM

- Begall, Sabine – Červený, J. – Neef, J. et al. (2008): Magnetic Alignment in Grazing and Resting Cattle and Deer. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA – PNAS*. 105, 44, 13451–13455. • <http://www.pnas.org/content/105/36/13451.full>
- Blakemore Richard (1975): Magnetotactic Bacteria. *Science*. 190, 4212, 377–379. DOI: 10.1126/science.170679 • <http://tinyurl.com/lloa25p>
- Cain, Shaun D. – Boles, L. C. – Wang, J. H. – Lohmann, K. J. (2005): Magnetic Orientation and Navigation in Marine Turtles, Lobsters, and Molluscs: Concepts and Conundrums. *Integrative and Comparative Biology*. 45, 3, 539–546. doi: 10.1093/icb/45.3.539 • <http://icb.oxfordjournals.org/content/45/3/539.full>
- Frankel, Richard B. – Bazylinski, D. A. – Johnson, M. S. – Taylor, B. L. (1997): Magneto-aerotaxis in Marine Coccoid Bacteria. *Biophysical Journal*. 73, 2, 994–1000. • <http://tinyurl.com/mc7hvxj>
- Gegeer, Robert J. – Casselman, A. – Waddell, S. – Reppert S. M. (2008): Cryptochrome Mediates Light-dependent Magnetosensitivity in *Drosophila*. *Nature*. 454, 7207, 1014–1018. doi:10.1038/nature07183
- Heyers, Dominik – Manns, M. – Luksch, H. et al. (2007): A Visual Pathway Links Brain Structures Active during Magnetic Compass Orientation in Migratory Birds. *PLoS ONE*. 9 DOI: 10.1371/journal.pone.0000937 • <http://www.plosone.org/article/info:doi/10.1371/journal.pone.0000937>
- HPA (2008): Static Magnetic Fields (RCE-6). HPA Advisory Group on Non-ionising Radiation. Health Protection Agency. ISBN: 978-0-85951-616-7. • [http://www.hpa.org.uk/web/HPAweb&HPAwebStandard/HPAweb\\_C/121184025666](http://www.hpa.org.uk/web/HPAweb&HPAwebStandard/HPAweb_C/121184025666)
- Ioannidis, John P. A. (2005): Why Most Published Research Findings Are False. *PLoS Medicine*. 2, 8, e124. DOI: 10.1371/journal.pmed.0020124 • <http://tinyurl.com/c94hl6>

- Lohmann, Kenneth J. – Lohmann, C. M. F. – Putman, N. F. (2007): Magnetic Maps in Animals: Nature's GPS. *The Journal of Experimental Biology*. 210, 3697–3705. doi: 10.1242/jeb.001313 • <http://jeb.biologists.org/content/210/21/3697.full>
- Nakagawa, Kyoichi (1976): Magnetic Field Deficiency Syndrome and Magnetic Treatment. *Japan Medical Journal*. 2745, • angolul <http://4data.ca/ottawa/archive/health/biomagnetic.html>
- Ramey, David W. (1998): Magnetic and Electromagnetic Therapy. *Scientific Review of Alternative Medicine*. 2, 1, 13–19. • <http://www.skeptically.org/quackery/id4.html>
- Stapput, Katrin – Güntürkün, O. – Hoffmann, K. P. (2010): Magnetoreception of Directional Information in Birds Requires Nondegraded Vision. *Current Biology*. 20, 1259–1262. DOI: 10.1016/j.cub.2010.05.070 • <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096982210007797>
- Thoss, Franz – Bartsch, B. – Tellschaft, D. – Thoss, D. (2002): The Light Sensitivity of Human Visual System Depends on the Direction of View. *Journal of Comparative Physiology*. A 188, 235–237. • <http://link.springer.com/article/10.1007/s00359-002-0300-3>
- Treiber, Christopher Daniel – Salzer, M. C. – Riegler, J. et al. (2012): Clusters of Iron-rich Cells in the Upper Beak of Pigeons Are Macrophages Not Magnetosensitive Neurons. *Nature*. 484, 367–371. doi: 10.1038/nature11046
- WHO (2006): Static Fields – Environmental Health Criteria Monograph No.232. World Health Organization, Geneva • <http://www.who.int/peh-emf/publications/reports/ehcstatic/en/>
- Wiltshko, Wolfgang – Wiltshko, Roswitha (2005): Magnetic Orientation and Magnetoreception in Birds and Other Animals. *Journal of Comparative Physiology A*. 191, 675–693. DOI 10.1007/s00359-005-0627-7 • <http://tinyurl.com/lhc2cdv>

# A MÁGNESES MAGREZONANCIA A KÉMIAI SZERKEZETKUTATÁSBAN

Sohár Pál

az MTA rendes tagja, emeritus professzor,  
ELTE TTK Kémiai Intézete  
sohar@chem.elte.hu

A mágneses magrezonancia (nuclear magnetic resonance – NMR) spektroszkópia napjainkra a kémiai szerkezetkutatás valószínűleg leghatékonyabb és ennek megfelelően legelterjedtebb eszköze (Sohár, 1976, 1983a; Hore 1995).

Még száz éve sincs, hogy Wolfgang Pauli azon feltételezése (1925), amely szerint az atommagokban mágneses tér hatására paramágneses momentum indukálódik, megalapozta e fiatal, ám roppant jelentőségűvé fejlődött új tudományágat. A paramágneses momentum vektora – a spin – úgy viselkedik, mint egy parányi iránytű, amelyet a mágneses tér a maga irányába kényszerít. A spin kvantált természetű, azaz csak meghatározott értékei, s ennek megfelelően az atommagoknak diszkrét mágneses energiaállapotai lehetségesek. A valamely ténnyében mérhető  $m$  mágneses momentum  $\gamma h / (2\pi)$ -nek csak félegész vagy egész számú többszöröse,  $m\gamma h / (2\pi)$  lehet. Itt a  $\gamma$  konstans, az ún. giromágneses tényező, anyagi jellemző,  $h$  pedig a Planck-állandó. Az  $m$  futószám az  $I$ ,  $I-1$ ,  $I-2$ , ...  $-I$ , összesen  $2I+1$  értéket veheti fel, ahol  $I$  a spinkvantumszám. Minden atommagfajta – izotóp –, amelyre  $I$  nem zérus, „mágneses mag”: mágneses térben képes a rezonanciaabszorpcióra. ( $I = 0$  csak azokra az izotópok-

ra áll fenn, amelyekben a protonok és neutronok száma egyaránt páros.) Ha  $I = 1/2$ , akkor két állapot van:  $m = 1/2$  és  $m = -1/2$ , ha  $I = 1$ , akkor a kvantumállapotok száma 3 ( $m = 1$ , 0 vagy  $-1$ ), és így tovább. A legegyszerűbb esetben tehát két állapot lehetséges: a kedvezőbb, amikor a spinvektor ténnyében, de ezzel ellentétes, nagyobb energiájú beállításra is gerjeszthetjük erre alkalmas energiájú, rádiófrekvenciás (RF-) sugárzás elnyelésével. Az alap- és gerjesztett állapotok energiakülönbsége adott: a folytonos RF-sugárzásnak csak az ennek megfelelő frekvenciájú komponensét képesek – tehát rezonanciaszerűen és csak mágneses térben – abszorbeálni az atommagok: innen a jelenség elnevezése. A frekvencia függvényében ábrázolt energiaabszorpció jelek képezik az NMR-spektrumot. A rezonanciafrekvencia anyagi jellemző, minden izotópra más, de arányos a mágneses tér  $B_0$  erősségével. Az eddigiek értelmében minden mag, minden izotóp NMR-spektruma egyetlen elnyelési maximumot tartalmaz.

A múlt század húszas éveiben feltételezett rezonanciajelenség kísérleti bizonyítására két évtizedet kellett várni. A mágneses kvantumállapotok között csak addig lehet átmeneteket létrehozni (energiaelnyeléssel a kisebb energiájú állapotból a nagyobb energiájúba ger-

jeszteni), amíg a magok száma a két állapotban azonosra válik (a magrendszer *telítődik*), a betöltöttségkülönbség kiegyenlítődik (a termodinamikai törvények értelmében a kisebb energiájú állapotban több mag tartózkodik, de csak a többletet lehet gerjeszteni). Mivel a betöltöttség- és az energiakülönbség az állapotok között roppant kicsiny, a kevés energia rövid ideig tartó elnyelését nagyon nehéz kimutatni. Például, ha szobahőmérsékleten, egyensúlyban a gerjesztett állapotú  $^1\text{H}$ -magok száma  $10^6$ , akkor alapállapotban mindössze 66 maggal van több. Csak 1945-ben sikerült két amerikai, *Felix Bloch* és *Edward Mills Purcell* vezette kutatócsoportoknak a rezonanciát kísérletileg igazolniuk. Mindkét csoport a hidrogénmag RF-elnyelését detektálta, amelynek „NMR-érzékenysége” az összes mágneses magok közül a legnagyobb. Az NMR-érzékenység nagyságrendekkel tér el a különböző magfajtákra, és elsősorban a természetes izotópgyakoriságtól, továbbá a mágneses momentum és  $I$  nagyságától függ. Az  $^1\text{H}$  izotóp például közel 100%-a a természetes izotópkeveréknek, míg például a  $^{13}\text{C}$  mag csak kb. 1%-ban fordul elő a mágnesesen inaktív  $^{12}\text{C}$  ( $I = 0$ ) izotópjával. Ezért, és a kisebb mágneses momentum miatt a  $^{13}\text{C}$  izotóp rezonanciájának kimutatása (az általa elnyelt energia nagysága miatt) mintegy három nagyságrenddel nagyobb érzékenységet követel. Azon atommagoknak, amelyek  $I$  spinkvantumszáma nem  $1/2$ , elektromos kvadrupólmomentumuk van, amely a rezonanciajelek nagymértékű kiszélesedését okozza, s ezzel igen nehezíti a detektálását. Ezért az  $1/2$  spinű izotópok, közöttük az  $^1\text{H}$  jelének detektálása a legkönnyebb.

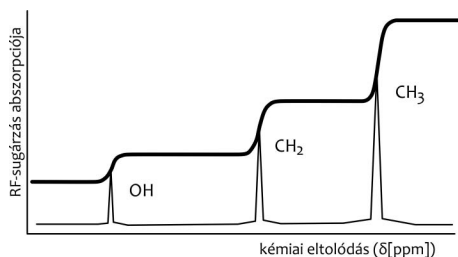
Mindaz, amiről eddig szó volt, a kvantumelmélet és a kísérleti fizika tárgykörébe tartozik, s az említett mérés technikai problémák

miatt az 1930–1940-es években sokan már „temették” az NMR-módszert, mondván, hogy csak elméleti jelentősége van, gyakorlati haszna alig, amivel nincsenek arányban a kísérleti nehézségek és költségek. A múlt század második felének kezdete táján azonban a kémia is felfedezte a maga számára az NMR-t, és hamarosan a kémiai szerkezetkutatás számára ma már nélkülözhetetlen módszerre fejlődött, szinte határtalan, napjainkig is hihetetlen tempóban bővülő alkalmazási lehetőségek birtokába juttatva a vegyész kutatókat és gyakorlati szakembereket.

A fordulat kulcsmomentuma a *kémiai eltolódás* jelenségének felismerése volt. A fentiek szerint adott „külső”,  $B_0$  nagyságú mágneses térben minden atommagra egyetlen rezonanciafrekvencia jellemző, amely csak a térerősségtől függ, és azzal minden izotópra azonos arányban változik. Kétségtelen azonban, hogy a rezonanciafrekvencia, bár csak igen csekély mértékben, de a kémiai környezettől is függ, vagyis az adott izotópra jellemző értéke molekuláris kötélekben kissé megváltozik, s e változás mértéke a kémiai eltolódás ( $\delta$ ), amely tehát informál az illető mag molekuláris környezetéről, azaz a kémiai szerkezetéről. A változások igen kicsinyek ugyan – a  $B_0$  értékéhez képest négy-hat nagyságrenddel kisebbek (ezért praktikus okokból milliomodrészekben, ppm-egységekben mérjük) –, de pontos mérésük esetén szinte korlátlanul gazdag információforrást képviselnek a kémiai szerkezetre vonatkozóan. A fentiek azt jelentik, hogy az NMR-spektrum első közelítésben annyi jelből áll, ahány különböző környezetben fordul elő a mért mag a vizsgált molekulában. Az *I. ábrán* a vizsgált vegyület  $^1\text{H}$  NMR spektruma például három jelből áll a  $\text{CH}_3$ ,  $\text{CH}_2$  és gyűrűs  $\text{CH}$  csoportokbeli hidrogéneknek megfelelően.

A kémiai eltolódás oka a molekulák elektrónjainak a mágneses térre gyakorolt hatása, ezért az elektronsűrűséget vagy -eloszlást befolyásoló minden tényező a kémiai eltolódás jellegzetes értékéhez, változásához vezet. Adott környezetben, funkció csoportban vagy kémiai kötésben előforduló magokat karakterisztikus  $\delta$ -értéktartományok jellemzik, amelyek ún. korrelációs táblázatokba foglalhatók, vagy empirikus egyenletekkel írhatók le. Ezzel lehetővé válik egy adott mag, például hidrogén adott molekulabeli, kémiai szerkezetbeli vagy szerkezeti elembei kémiai eltolódásának jóslása, s a mért  $\delta$ -értékekből ezek jelenlétének igazolása. A multinukleáris NMR (ugyanazon mintában többféle, például  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$  stb. mag spektrumának mérése) megsokszorozza a szerkezetéről áruklódó információk számát.

Például az  $^1\text{H}$  NMR-spektrum lehetővé teszi a telített, telítetlen és aromás csoportokbeli hidrogének megkülönböztetését, sőt ezek számarányának meghatározását is egy adott mintában. A rezonanciajelek intenzitása ugyanis az  $^1\text{H}$  NMR-spektrumaiban igen jó közelítésben megadja a hozzájuk rendelhető hidrogénatomok relatív számát (1. ábra). Ugyanezért többkomponensű keverékek összetételét meg lehet határozni a komponensektől származó jelek relatív intenzitása alapján. Kinetikai mérések (valamely kémiai reakció időbeli lezajlásának követése) lehet-



1. ábra

ségesek a reagens vagy a termék jelintenzitás-változásának (gyengülésének vagy erősödésének) időfüggő mérésével.

A  $^{13}\text{C}$  NMR-spektrum egyebek mellett a hidrogéneket nem tartalmazó szerkezeti elemek (például karbonil- vagy nitrilcsoport) az ún. téreffektus révén a térben egymás mozgását gátló, akadályozó („zsúfolt”) csoportok kimutatását, a rendűségükben eltérő ( $\text{CH}_3$ ,  $\text{CH}_2$ ,  $\text{CH}$  és kvaterner  $\text{C}$ ), vagy hibridállapotukat illetően különböző (telített,  $sp^3$ , olefin,  $sp^2$  és acetilén típusú  $sp$ ) szénatomok jelenlétének igazolását (Sohár, 1976, 1983b; Wehrli – Wirthlin, 1976; Breitmair – Voelter, 1974). A háromtagú gyűrűs vegyületek (ciklopropánok, oxiránok, tiránok és aziridinek) a különleges, „hajlott” kötéseknek köszönhetően mind az  $^1\text{H}$  NMR, mind pedig a  $^{13}\text{C}$  NMR segítségével biztonsággal felismerhetők. A  $^{15}\text{N}$  NMR kémiai eltolódások például a nitro-, az amin- és amid NH-csoportok jelenlétének bizonyítására adnak lehetőséget.

A fentiekben tárgyalt fő információfajta, a kémiai eltolódás és a járulékos, jelintenzitásokból származó másik információforrás mellett továbbiakat is nyerhetünk az NMR-mérésekből. A kémiai eltolódással összemérhető fontosságú információ típus a *J* csatolási állandó. A molekulákban egymáshoz közeli atommagok spinjei – mágneses momentumai – megváltoztatják az egymás körüli lokális mágneses teret, s vele az illető mag kémiai eltolódását, mégpedig kvantumállapotuktól függően eltérő mértékben. Egy  $1/2$  spinű „A” mag ezen hatása, két kvantumállapotának megfelelően, a közeli „X” mag jelét két jelle – dubletté – „hasítja fel”), s ha  $I = 1/2$  az X spinre is, akkor ugyanez történik az A jellel is. Ez az ún. *spin-spin kölcsönhatás* tehát kölcsönös, s ezért a felhasadás is azonos mértékű. Mivel a jelenség molekulán belüli természetű, a

magpolarizációt okozó  $B_0$  külső mágneses tér s ennek frekvenciája nem befolyásolja, ezért nem függ tőle: frekvenciainvariáns.

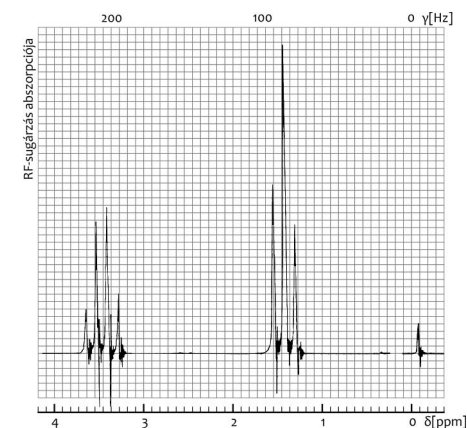
A spin-spin kölcsönhatás tehát jelfelhasadásokhoz, *multiplicitáshoz* vezet. Ha egy „A” mag több, kémiaiailag ekvivalens (azonos kémiai környezetben lévő)  $1/2$  spinű „X” maggal van kölcsönhatásban, utóbbiak kvantumállapotainak többféle variációja lehetséges, s ezért az A jel több komponensre hasad. Ha az X magok száma  $n$ , akkor az A jel felhasadása  $(n + 1)$ -szeres (az X jel természetesen  $n$ -től függetlenül dublett, ha csak egy A mag vesz részt a kölcsönhatásban). A jelintenzitások a legegyszerűbb esetben a Pascal-háromszögből kaphatók (a binomiális együtthatóknak felelnek meg), és a multiplettek ekvidisztns jellegből épülnek föl. Az etil-klorid ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$ )  $^1\text{H}$  NMR spektrumában például a metilén-jel 1:3:3:1 kvartett, a metil-jel 1:2:1 tripllett (intenzitásarány 2:3), a metil H-k négyféle és a metilén hidrogének háromféle elrendeződésének megfelelően (2. ábra).

Ilyenkor a két fő paraméter könnyen megkapható a spektrumokból: a  $\delta$  a szimmetrikus multiplettek középpontjaként, a  $J$  a multiplettek bármely két szomszédos vonalának távolságaként. Az itt leírt igen egyszerű multiplett-szerkezetek azonban csak bizonyos feltételek fennállása esetén jelentkeznek, s gyakran ennél sokkal bonyolultabb, egyszerűen nem áttekinthető jelrendszerek lépnek fel, amikor a paraméterértékeket csak kvantumkémiai számításokkal kaphatjuk meg. Igaz ugyan, hogy bizonyos korlátokkal, a bonyolult spektrumokat a fent leírt egyszerűbb szerkezetűvé alakíthatjuk (legegyszerűbben nagyobb  $B_0$  mágneses térerősségen működő mérőberendezést alkalmazva).

A  $J$ -k képviselte információfajta jelentőségét az adja, hogy a csatolási állandók nagy-

sága a kölcsönható izotópoktól, az azokat összekötő kémiai kötések számától és természetétől, s ami a legfontosabb, a kölcsönható magok kölcsönös helyzetétől: a vizsgált molekula térszerkezetétől igen érzékenyen függ. Így az NMR a sztereokémiai problémák megoldásának rendkívül hatékony eszköze, miközben más műszeres módszerek csak ritkán, speciális esetekben alkalmasak térszerkezet-vizsgálatra. Kis túlzással az NMR nyitott utat a 3D-kémia számára, kísérleti adatokat szolgáltatva a kutatók számára a harmadik dimenzió felé. A molekulák addig síkban ábrázolt és képzel szerkezete kitérte térbeli, háromdimenziós alakzattá.

Önkényesen csak egy-két példát kiragadva: A  $^3J(\text{H,H})$  – vicinális – homonukleáris csatolási állandó lehetővé teszi a geometriai és gyűrű- (*cisz-* és *transz-*) izomerek (1,2-diszubsztituált olefinek, diszubsztituált telített gyűrűs vegyületek, például ciklohexán-, oxirán-származékok stb.) vagy az aromásgyűrűben különbözőképpen (*orto-*, *meta-*, *para-*) helyettesített származékok, cukor-anomerek, eltérő sztereovázis szteroidok stb. egyszerű és biztonságos megkülönböztetését.



2. ábra

A csatolások kínálta elképesztő információgazdagságot beláthatjuk a fenti  $^{-3}J(\text{H},\text{H})$  – konvencionális jelölésből, ahol a 3 a kölcsönható magokat elválasztó/összekötő kötések számát, a két H a kölcsönható izotópokat jelöli, ha meggondoljuk, hogy a kötések száma 1–5, extrém eseteket is figyelembe véve akár 1–9 is lehet, a két H bármelyike helyett pedig bármely két azonos vagy különböző mágneses mag szerepelhet (homo-, illetve heteronukleáris csatolások), s akkor még nem vettük figyelembe a kötések jellegét és térbeli elrendeződését!

A spin–spin csatolások egyrészt új, gazdag információforrást képviselnek, másrészt azonban bonyolítják, gyakran teljesen áttekinthetlenné teszik az NMR-spektrumokat. Ez a hátrány azonban megszüntethető az ún. kettős rezonancia (*DR – double resonance*) vizsgálatokkal. Ennek lényege, hogy a spin–spin kölcsönhatásban lévő atommagok vagy csoportok egyikét a jelének megfelelő RF-fel a mintát külön besugározva telítjük. Ekkor a megfelelő magok energialeadása, emissiója felgyorsul, és ennek következtében kvantumállapota olyan gyorsan változik, hogy azt a vele kölcsönhatásban lévő partner már nem tudja követni. Az eredmény, hogy az utóbbi magok, illetve csoportok jelmultiplicitása (felhasadása) megszűnik. Tehát a DR-méréssel leegyszerűsíthetők a spektrumok, s egyúttal újabb adatokhoz jutunk a szerkezetről. A kettős és többszörös rezonanciának igen sok fajtája van (a fent leírt legegyszerűbbet *lecsatolásnak* nevezzük), és ezek a legváltozatosabb adatokkal gazdagítják a kémiai szerkezetről szereshető ismereteinket. Nemcsak a kölcsönható magpárokat, csoportokat azonosíthatjuk, de másfajta adatok birtokába is juthatunk: így kvantumállapotok azonosítása, más multiplettéktől fedett jelek kémiai eltolódá-

sának pontos meghatározása stb. válik lehetővé. Mód van egy adott magfajta összes kölcsönhatásának megszüntetésére, a BB (*broad band*) lecsatolással, amikor egy adott mag, például a hidrogén kémiai eltolódásának teljes tartományát lefedő frekvencianyálabbal sugározzuk be a mintát, s ezzel megszüntetjük az összes H-mag okozta felhasadást. Ezt a módszert alkalmazzák a  $^{13}\text{C}$  NMR-spektrumok felvételéhez, amely így vonalas formában regisztrálható. (A C,H-kölcsönhatások okozta felhasadások nem jelentkeznek, a C,C-kölcsönhatások két  $^{13}\text{C}$  izotóp egymáshoz közeli előfordulásának rendkívül kicsiny valószínűsége miatt szintén nem okoznak észrevehetően felhasadt jeleket.) A vonalas spektrumban nemcsak nagyobbak a jelintenzitások (az eredeti multiplett jeleinek egybeesése és az alább említendő NOE miatt), de könnyebb digitalizálhatóságuk révén egyszerűbb a számítógépes adatfeldolgozásuk is.

Miután a csatolási állandók érzékenysége a molekulák térszerkezetétől hármomodimenziósra „tágította” szerkezetüket, az a tapasztalat, hogy függenek a mérési körülményektől, az addig merevnek tekintett molekulák világát mozgásba is hozta. Azt ugyan már korábban is tudták, hogy vannak – még hozzá igen nagy számban – nem merev, flexibilis molekulák, de a molekuláris mozgásokat kísérletileg kimutatni, ezek változásait, sebességét kvantitatíve is követni elsőként a dinamikus NMR – DNMR – volt képes. A mozgékony molekulák NMR-spektrumai változnak a hőmérséklettel: a VT- (*variable temperature*-) NMR, a változó hőmérsékleteken végzett mérések betekintést engednek a különféle atomi és molekuláris mozgások világába, ezek lejátszódására vagy befagyására, gyorsulására vagy lassulására a csatolási állandók térbeli változásokkal szembeni érzékenysége, illetve a

folyamatok sebességétől függő mérhetősége révén. Az atomi és gyűrűinverziók, a különféle konformációs mozgások, a gátolt rotáció, a vegyérték-izomerizáció és a különböző ligandcsere-folyamatok előfordulásának igazolása, természetének tanulmányozása, termodinamikai (aktiválási) paramétereinek kiszámítása vált lehetővé a VT-NMR felhasználásával.

Az NMR-mérésekkel nyerhető információfajták közül rendkívül fontos az ún.  $T_1$  (spin-rács) relaxációs idő is. A  $T_1$  a gerjesztett magok energiaemissziójának (alapállapotba visszatérésének) sebességét méri, és a  $^{13}\text{C}$ -magokra jól mérhető nagysága az adott mag mozgási szabadságától függ: minél szabadabban, gyorsabban mozog az adott atom, annál nagyobb  $T_{1C}$ . A mért  $T_{1C}$  értékek például egy normál láncú zsírszállóknál a hidroxilcsoporttól távolodva folyamatosan növekszenek. Az OH-csoportok között kialakuló hidrogénhidak ugyanis mintegy lehorgonyozzák, rögzítik a lánc OH-t tartalmazó végét, és ettől távolodva egyre szabadabban, gyorsabban mozognak (a szén-szén egyszeres kötések körül forognak) a metilén-csoportok szénatomjai. Ezt a jelenséget használják fel például az enzim-szubsztrát kölcsönhatások rögzítési helyének meghatározására (a szubsztrát kötőhelyének közelében lévő szénatomokra kisebb, a távolabbiaknál fokozatosan nagyobb  $T_{1C}$  értékek mérhetők). A patológias sejtekben a sejtfalhoz rendeződő szerkezetből kiszabaduló, mozgékonyabb vízmolekulák  $T_{1H}$  értékei megnőnek az egészséges sejtekben mérhetőkhöz képest. A mért  $T_{1H}$  értékek 3D-ábrázolása így a beteg sejtek (például rosszindulatú daganat) fantomképét eredményezi. Ez az NMR orvosi diagnosztikai alkalmazásának, az MRI (MR imaging) módszerének alapelve.

A mag-Overhauser-effektus (NOE) (Noggle – Schirmer, 1971) az NMR-spektroszkópia azon adatforrása, amely atom–atom távolságoknak az egykristály-diffrakciós mérésekéhez hasonló pontosságú mérését, s ezzel óriásmolekulák, fehérjék, peptidek, polimerek térszerkezet-meghatározását teszi lehetővé oldatban; anélkül tehát, hogy röntgenmérésre alkalmas kristályokra lenne szükség. A NOE lényege: ha egy magot fölős energiával gerjesztünk (telítjük), akkor a vele valamilyen kapcsolatban lévő más mágneses magok megoszlása a kvantumállapotok között úgy változik (nő a betöltöttség-differencia), hogy az utóbbi mag több gerjesztő energiát képes elnyelni az RF-sugárzásból, következésképpen nő a jelintenzitása. (E jelenség a forrása a  $^{13}\text{C}$  NMR-spektrumok jelintenzitás-növekedésének a BB-lecsatolás következtében.) Itt a „kapcsolat” igen tágan értelmezendő: elegendő például két oldószer keverékének egyik komponensében a H-atomokat gerjeszteni ahhoz, hogy a másik oldószer jele a  $^1\text{H}$  NMR-spektrumban intenzívebbé váljék. Az intenzitásnövekedés a magok távolságának hatodik (!) hatványával fordítottan arányos, tehát a távolságmérés több nagyságrenddel pontosabb. Ha egy „normál” és a megfelelő gerjesztett (NOE intenzitásnövekményeket tartalmazó) spektrum különbségét képezzük (a modern mérőberendezések számítógépének segítségével ez rendkívül egyszerű), az így nyert DIFFNOE- vagy DNOE- (differenciál-NOE) spektrumban csak a növekmények, az intenzívebbé vált jelek láthatók, s ebből kiderül, hogy mely atomok vannak a gerjesztetthez térben közel, s mekkora közöttük a távolság. Ez a modern makromolekuláris NMR-kutatások, elsősorban a peptid- és fehérjemolekulák, biopolimerek 3D-szerkezetmeghatározásának alapelve.

A jelintenzitások, a kémiai eltolódások és ezek különbsége is arányos a  $B_0$  térerővel, s mivel – mint említettük – ezek igen kicsinyek, a térerő növelése alapvető fontosságú az NMR-mérések sikeressége és minősége szempontjából. Azt is említettük, hogy erősebb mágneses térben egyszerűsödnek a gyengébb tér esetén bonyolultabb spektrumok. Ezért az NMR-módszer fejlődése, alkalmazhatósági lehetőségeinek bővülése nagymértékben az egyre erősebb tereknek köszönhető. A kezdetben (az 1950–1960-as évtizedekben) használatos vasmagos, permanens mágneseket 1970 táján elektromágnesek, majd az 1980-as évektől a szupravezető mágnesek váltották fel az NMR-spektrométerekben. Ez a H-magok rezonanciafrekvenciájának 30–60 MHz-ről 100 MHz-re, illetve 200 MHz-ről mára már 1 GHz-re növekedését jelentette. A mérés érzékenysége ezzel több mint egy nagyságrenddel javult, de az ún. *pulzusgerjesztés* és a mérési adatoknak a Fourier-transzformáció elvére épülő feldolgozása (PFT-NMR) további több nagyságrend érzékenyséjavulást eredményezett (Ernst et al., 1987). A kezdetben csak a H-magok spektrumának felvételére használható műszerek így fokozatosan alkalmassá váltak előbb csak néhány további,  $\frac{1}{2}$  spinű, nagy természetes izotópgyakorúságú mag ( $^{19}\text{F}$ ,  $^{31}\text{P}$ ), majd lassanként egyre érzékeltlenebb izotópok mérésére is. A korszerű, számítógép-vezérelt, szupravezető mágnesrel működő FT-spektrométerek lehetővé tették a legérzékeltlenebb izotópok vizsgálatát is: beköszöntött a multinukleáris NMR-korszak.

A számítógépek teljesítőképességének növekedése és a PFT-módszer alkalmazása egyre nagyobb adatmennyiségek egyre gyorsabb feldolgozását tette lehetővé. Ennek köszönhetően terjedtek el a spinrendszerek gerjesztésére alkalmazott pulzusszekvenciák, amelyek-

kel ugyanazt a vizsgálati mintát besugározva más-más, igen sokféle információ birtokába lehet jutni (Sanders – Hunter, 1987; Derome, 1987). A spinrendszerek reagálását kezdetben egyetlen gerjesztőfrekvencia függvényében (lineárisan) ábrázoló spektrumokat az 1970-es évektől kiegészítették, illetve felváltották a többgerjesztő RF-besugárzásával nyerhető 2D-, illetve sokdimenziós regisztrátumok: beköszöntött a többdimenziós NMR-spektroszkópia korszaka. A pulzusszekvenciákkal (több és többféle gerjesztő teret váltakozva, kombinálva, ezeket közöttük változó tartamú szünetek beiktatásával alkalmazva) valósággal táncra perdíthetjük a spineket, általunk tervezett koreográfiát előírva számukra (Freeman, 1996): a  $B_0$  tér indukálta mágneses momentumokat a legkülönbözőbb irányú beállításokra, mozgásokra kényszerítve ugyanazon vizsgálati mintáról szinte korlátlan számú, s a legváltozatosabb információkat szolgáltató regisztrátumokat készíthetünk. Az alapparaméterek ( $\delta$ -k,  $J$ -k,  $T_1$ -ek, jelintenzitások) képviselte adatokat, s az ezekből a vizsgált anyag szerkezetéről szereshető információkat e mérésekkel igen sok továbbival gazdagíthatjuk. Csak egy-kettőt említve az ekként kapott információk közül: párosíthatjuk az egyes szénatomok  $^{13}\text{C}$  NMR-jelét a hozzájuk kapcsolódó hidrogének  $^1\text{H}$  jelével (s hasonlóan bármely X atom jelét a vele kémiai kötésben lévő Y atom jelével), megállapíthatjuk adott molekulában az atomok kapcsolódási sorrendjét (molekulatopológia!), meghatározhatunk atom–atom távolságokat, spin-spin kölcsönhatásban lévő csoportokat, molekulák diffúziós sebességét és irányát, intra- és intermolekuláris kölcsönhatásokat (például H-hidak, rétegződések kialakulását), és igazolhatunk különféle mozgásokat (atomi és gyűrűinverziók, ligandumcserék, vegyér-

ték-izomerizáció, tautomer egyensúlyok és változásaik stb.). A méréseket végző szakember fantáziája, felkészültsége, tapasztalata függvényében az anyagokról gyűjthető információk fajtája és száma úgyszólván határtalan, a kiegészítő adatok gyűjtésére szolgáló mérés technikák tárháza szinte kimeríthetetlen!

Ma már elképzelhetetlen kémiai kutatás NMR nélkül. De a mérések automatizálása lehetővé teszi sok minta felügyelet nélküli folyamatos minőségellenőrzését, kémiai reakciók lejátszódásának követését, s ekként a kutatás mellett a vegyipar számára is nélkülözhetetlen az NMR-spektroszkópia módszer. NMR-spektrométerek tucatjai működnek nemcsak a nagy kutatócentrumokban, de az

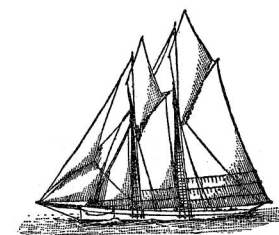
ipartelepeken is. Valóságos NMR-városrészek létesültek, például Japánban több száz műszerrel és azokat kiszolgáló több ezres mérőszemélyzettel. A fejlődés ma sem állt meg, egyedül a mérések anyagigénye terén is lenyűgöző az előrelépés. Túlzás nélkül állítható: a kémiai tudomány történetének NMR-korszakát éljük!

Kulcsszavak: *mágneses mágmomentum, rezonanciaabszorpció, kémiai eltolódás, spin-spin csatolás, kettős rezonancia, mérés változó hőmérsékleten, spin-rács relaxáció, mag-Overhauser-effektus, Fourier-transzformációs NMR, pulzusgerjesztés, szupravezető mágnesek, két- és többdimenziós NMR, ipari alkalmazás*

#### IRODALOM

- Breitmaier, Eberhard – Voelter, Wolfgang (1974):  *$^{13}\text{C}$  NMR Spectroscopy*. Verlag Chemie, Weinheim
- Derome, Andrew E. (1987): *Modern NMR Techniques for Chemistry Research*. Pergamon Press, Oxford
- Ernst, Richard R. – Bodenhausen, G. – Wokaun, A. (1987): *Principles of Nuclear Magnetic Resonance in One and Two Dimensions*. Clarendon Press, Oxford
- Freeman, Ray (1996): *Spin Choreography*. Spectrum Academic Publishers, Oxford
- Hore, Peter J. (1995): *Mágneses magrezonancia*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest
- Noggle, Joseph H. – Schirmer, Roger E. (1971): *The*

- Nuclear Overhauser Effect*. Academic Press, New York
- Sanders, Jeremy Keith Morris – Hunter, Brian Keith (1987): *Modern NMR Spectroscopy. A Guide for Chemists*. University Press, Oxford
- Sohár Pál (1976): *Mágneses magrezonancia spektroszkópia I–II*. Akadémiai, Budapest
- Sohár Pál (1983a): *Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy*. I–III. CRC Press, Boca Raton, Florida
- Sohár Pál (1983b): *Szénrezonancia-spektroszkópia. (A kémia új eredményei 59)* (szerk. Csákvári Béla), Akadémiai, Budapest
- Wehrli, Felix W. – Wirthlin, Toni (1976): *Interpretation of Carbon-13 NMR Spectra*. Heyden, London





# NANOMÁGNESÉG

Szunyogh László

az MTA doktora, egyetemi tanár,  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Elméleti Fizika Tanszék  
szunyogh@phy.bme.hu

## Bevezetés

A tudomány iránt érdeklődő olvasók minden bizonnyal sokat tudnak a *nanotudomány* és *nanotechnológia* csodálatos eredményeiről. A biotechnika, az elektronika, a számítástechnika és az anyagtudomány számos új vívmánya atomi méretű vagy annál nem sokkal nagyobb szerkezetekkel kapcsolatos. Viszonylag tág értelmezéssel, a nanotudomány olyan objektumok vizsgálatával foglalkozik, amelyek kiterjedése legalább egy irányban (dimenzióban) a néhány tized nanométer ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ) és az egy mikrométer ( $1 \mu\text{m} = 1000 \text{ nm}$ ) közötti mérettartományba esik. Figyelembe véve, hogy az átlagos atomi méret  $0,2\text{--}0,3 \text{ nm}$ , ez a definíció magában foglalja egy hordozóanyag belsejében vagy felületén abszorbeált individuális atomokat, valamint a több száz nm kiterjedésű, több tízmillió atomot tartalmazó nanokristályokat is. Napjaink tudományos-technológiai forradalmában játszott szerepe mellett a nanotudománynak az ad különleges jelentőséget, hogy ezen a méretskálán újszerű és meglepő jelenségek tapasztalhatók, amelyek megértése csupán a kvantummechanika törvényszerűségei alapján lehetséges. A nanotudományon belül a *nanomágnesség* önmagában is tág tudományterület. A cikk rövid betekintést

nyújt a nanomágnesség témakörébe és eredményeibe. Természetesen nem próbálhatjuk meg a teljes témát felölelni, és az is valószínű, hogy ez az összefoglaló inkább egy elméleti kutató szemléletéhez áll közel.<sup>1</sup>

Számos baktériumban, puhatestűben, rovarban és egyéb állatban találhatók mintegy  $40\text{--}100 \text{ nm}$  méretű magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) *nanorészecskék*, amelyek mágneses szenzorként a Föld mágneses terét érzékelik. Hasonló részecskék vannak bizonyos kőzetekben és ásványokban (például mágnesvaskő). Ezek segítségével archeomágneses kormeghatározás végezhető, vagy a Föld mágneses terének hosszú időskálán történő változását lehet nyomon követni. A nanomágnesség túlnyomórészt *mesterségesen előállított nanoanyagokkal* foglalkozik. Ilyenek például a mágneses *nanokompozitok*, amelyek fémüvegekből állíthatók elő részleges átkristályosítással. Szerkezetükre jellemző, hogy  $1\text{--}50 \text{ nm}$  átmérőjű Fe-, illetve Fe-Si- nanorészecskék vannak beágyazva egy amorf hordozóanyagba. A részecskék méretétől és összetételétől függően ezek a nanokompozitok lehetnek állandó mágnesek, lágy mágnesek vagy magnetorezisztív anyagok (lásd később). Az utóbbi évtizedek

<sup>1</sup>A végleges kézirat 2013. júniusi beküldése után született új irodalmi eredmények néhány vonatkozásban túlmutatnak a tanulmányban szereplő megállapításokon.

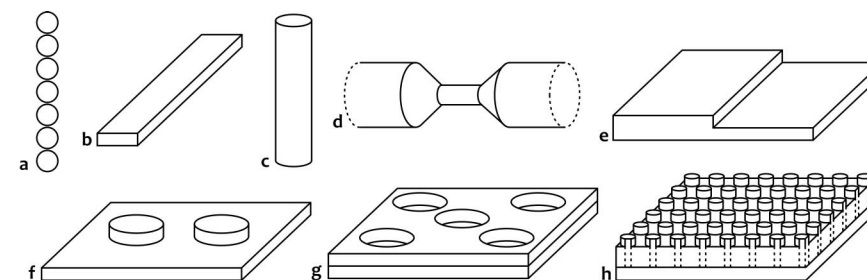
ben számos módszerrel, amelyek leírására itt nem tudunk kitérni, a legkülönbözőbb méretű és alakú nanoszerkezeteket állították elő. A *Ralph Skomski* összefoglalójából kölcsönvett *1. ábrán* (Skomski, 2003) a mesterségesen létrehozott nanoszerkezetek gyakori geometriai típusait mutatjuk be. Az új nanostruktúrák gyártásának motorja a funkcionálisan tökéletesebben működő, sok esetben teljesen új minőségű eszközök fejlesztése. A *mágneses felületek, vékonyrétegek és multirétegek* (rétegsorok) jól elkülönülő kutatási területet jelentenek a nanomágnességben belül. Ezek a rendszerek csak egy dimenzióban véges méretűek, és a felülettel párhuzamosan végtelennek tekinthetők, ezért sok jelenség itt érthető meg, illetve tanulmányozható legjobban.

## Mágneses kölcsönhatások és spinmodellek

Az Einstein–de Haas-kísérletből tudjuk, hogy a ferromágneses anyagok mágneses momentuma nem az elektronok pályaperdületétől, hanem az ún. *spintől* származik. A spin fogalmát a relativisztikus kvantummechanika tisztázta: a spin is perdület jellegű mennyiség, de a pályaperdülettől eltérően nem a részecske sebességével kapcsolatos. Az elektron spinje feles, ami azt jelenti, hogy tetszőleges irányra nézve két spinállapota ( $\pm 1/2$  vagy  $\uparrow/\downarrow$ )

lehetséges. Egy atomban lévő elektronok spinjei a kvantummechanika szabályai szerint összeadódva meghatározzák az atom spinjét (S) és spin mágneses momentumát:  $M = g\mu_B S$ , ahol  $g \approx 2$  az ún. giromágneses állandó,  $\mu_B$  pedig az elemi mágneses momentum (Bohr-magneton). Bár egy fém vegyértékelektronjai nagy tértartományra (szabályos rácsnál az egész rácsra) kiterjednek, többnyire megfelelő az a leírás, hogy az atomoknak lokális spin mágneses momentumai vannak, amelyek iránya tetszőleges lehet (klasszikus spinvektorok).

Ha az atomi momentumok nagysága és iránya (a mérés időátlagában) megegyezik, akkor ferromágneses (FM) rendről, ha a momentumok alternálva két ellentétes irányba mutatnak, akkor antiferromágneses (AFM) rendről beszélünk. Ezekeken felül természetesen még sok egyéb mágneses rendeződésű anyag létezik, például a ferrimágnesek és a mágneses csavarszerkezetek. A ferromágnesekben nagyobb méretű egyező irányított-ságú tartományok, ún. mágneses domének találhatóak. Egy makroszkopikus minta mágneses momentumának átfordulása (átmágnesződés) az individuális domének átbillenése és a doménfalak mozgása révén megvalósuló komplex folyamat. Ennek következménye például a Barkhausen-zaj.



*1. ábra* • Tipikus nanoszerkezet-geometriák: a – nanorészecske-lánc; b – nanoszalag; c – hengeres nanocső; d – nanokontaktus; e – lépcső felületen; f – nanopöttyök; g – nanolyukak; h – nanoszemcse-rács. (Forrás: Skomski, 2003)

Már a 20. század első harmadának végére nyilvánvalóvá vált, hogy a kollektív mágnesesség eredete a kvantummechanikai eredetű *kicszerélődési kölcsönhatás*. Az izotrop kicszerélődési kölcsönhatás a két spin-momentum irányvektorainak skalárszorzatával arányos,  $-J_{12}\mathbf{S}_1\mathbf{S}_2$ , ahol  $J_{12}>0$  esetén a csatolás ferromágneses,  $J_{12}<0$  esetén antiferromágneses. Alapvető jelentőségű a mágneses momentumok közötti hosszú távú *dipól–dipól kölcsönhatás*, ami a doménszerkezet kialakulásáért felelős, illetve véges méretű mágnesekben a minta alakjától függő anizotropia energia forrása. Ferromágneses vékonyrétegekben a mágneses dipól–dipól kölcsönhatás a mágnesezettség síkkal párhuzamos irányát preferálja, és az energia arányos a rétegvastagsággal. Az anizotropia másik forrása a relativisztikus eredetű spin–pálya kölcsönhatás. Szemléletesen úgy fogalmazhatunk, hogy az elektromosan töltött, mozgó elektron által keltett mágneses tér kölcsönhat a spintől származó mágneses momentummal. A *magnetokristályos anizotropia* tömbi mágnesekben is jelen van, de a vékonyrétegek és nanorészecskék (határ)felületein meghatározó járulékat adhat a rendszer energiájához. Leggyakrabban az egytengelyű anizotropia  $K_a(S_z)^2$  modelljét használjuk, ahol  $K_a<0$  ( $>0$ ) a spinek felületre merőleges (a felülettel párhuzamos) beállását preferálja. A  $\mathbf{H}$  külső mágneses tér hatását a  $-\mathbf{H}\cdot\mathbf{M}$  Zeeman-energia írja le.

A szokásos spinmodellek a fenti kölcsönhatásokat tartalmazzák. A paramétereiket (atomi mágneses momentumok, kicszerélődési kölcsönhatás együtthatói, anizotropia-állandó) a kísérleti adatokból vagy kvantummechanikai számításokból lehet megkapni. A rendszer mágneses szerkezete és mágneses dinamikája a statisztikus fizika eszközeivel (átlagtér-elmélet, Monte Carlo-szimulációk

vagy a spinrendszer időfejlődését leíró Landau–Lifshitz–Gilbert-egyenlet) modellezhető. A spinmodellek segítségével a mágneses jelenségek széles skálája írható le. Példaként említjük a doménstruktúrák kialakulását és mozgását, termálisan aktivált átmágneseződési folyamatokat legkülönbözőbb geometriájú mintákban, a vékonyrétegek vastagság- és hőmérsékletfüggő spinátfordulását vagy az FM–AFM-határfelület jelenlétében létrejövő kicszerélődési eltolódás (*exchange bias*) jelenségét (Nowak, 2007). Nem csoda, hogy az atomi spindinamika és mikromágneses simuláció a nanomágnesesség kutatásának rendkívül elterjedt, a technológiai fejlesztéseket közvetlenül szolgáló elméleti eszköze lett.

#### *Szuperparamágnesesség és mágneses adattárolás*

A ferromágnesek egyik legjellegzetesebb tulajdonsága, hogy a Curie-hőmérséklet alatt a mágnesezettség hiszterézist mutat a külső mágneses tér függvényében. Az  $M(H)$  hiszterézisgörbe három alapmennyisége az  $M_S=M(H\rightarrow\infty)$  szaturációs mágnesezettség, az  $M_R=M(H=0)$  remanens mágnesezettség és a  $H_C$  koercitív tér, amelyre  $M(H_C)=0$ . A kemény mágneseket nagy, a lágy mágneseket kis koercitív tér jellemzi. Megjegyezzük, hogy paramágnesek esetében  $H_C=0$ , és a szaturációs mágnesezettség általában jóval kisebb, mint a ferromágneses anyagoké.

A ferromágneses részecskék  $D$  átmérőjének csökkenésével a koercitív tér jellegzetes változást mutat: először növekszik, tipikusan  $D_S\sim 50\text{--}100$  nm-nél maximumot ér el, majd meredeken csökken, és  $D_p\sim 10\text{--}15$  nm alatt eltűnik, azaz a rendszer paramágneses jellegű lesz.  $D>D_S$  esetén a nanorészecske több domént tartalmaz (multidomén szerkezet),  $D<D_S$  esetén a nanorészecske uniform mág-

nesezettségű (egy-domén állapot). Egy ilyen nanorészecskére két, ellentétes mágneses momentumú (meta)stabil állapot jellemző. A két állapot közötti átmenethez  $K_aV$  nagyságú energiabariert kell legyőzni, ahol  $K_a$  az uniaxiális anizotropia konstans és  $V$  a részecske térfogata. A termálisan aktivált átmenet időállandóját, a Néel-féle relaxációs időt, a Néel–Arrhenius-törvény alapján lehet meghatározni:  $\tau=\tau_0\exp(K_aV/k_B T)$ , ahol  $\tau_0$  anyagi állandó,  $k_B$  a Boltzmann-állandó és  $T$  a hőmérséklet. Ha a részecske elegendően kicsiny, azaz  $D<D_p$ , akkor külső tér nélkül is sok átbillenés következik be a két stabil állapot között a mérés  $\tau_m$  átlagos időtartama alatt, tehát az átlagos (mért) mágneses momentum zérus. Ezt nevezzük *szuperparamágneses állapotnak*. A szokásos paramágneses viselkedéstől az különbözteti meg, hogy a szaturációs mágnesezettség, ill. a mágneses szuszceptibilitás a ferromágnesekéhez hasonló nagyságú. A szuperparamágnesek jellemző mennyisége a  $T_B$  blokkolási hőmérséklet, amely fölött a koercitív tér eltűnik. Ennek meghatározó egyenlete:  $T_B = K_aV/k_B \ln(\tau_m/\tau_0) \sim 20\text{--}25 K_aV/k_B$ . Szuperparamágneses vas-oxid nanorészecskéket ígéretesen használnak *orvosbiológiai és gyógyászati alkalmazásokban*, például MRI-kontrasztanyagként, sejtek, fehérje- és DNS-molekulák szétválasztására, hatóanyag-molekulák célzott eljuttatására a szervezetbe és daganatos sejtek hipertermiás elpusztítására.

Az ultranagy sűrűségű mágneses adattárolás a mágneses bit méretének csökkentésével érhető el. Ennek azonban határt szab a szuperparamágneses viselkedés, hiszen a blokkolási hőmérséklet fölött a beírt információ elvesz. A magas blokkolási hőmérséklet és kis részecskeméret eléréséhez a mágneses anizotropia növelésére van szükség. Ezenkívül a szórt mágneses dipóltér destabi-

lizáló hatását is minimalizálni kell, ami úgy érhető el, hogy a bitek mágnesezettségét a felületre merőlegesen állítjuk. Ezt nevezzük *merőleges mágneses adattárolásnak* (*perpendicular magnetic recording – PMR*), amely 2005-től fokozatosan kiszorította a korábbi hosszirányú mágneses adattárolást (*longitudinal magnetic recording – LMR*). A merőleges adattároláshoz tipikusan réteges FePt-nanorészecskéket alkalmaznak, mivel a FePt-ötvetetet a vas- és platinarétegekre merőleges, nagy anizotropia-energia és nagy mágneses momentum jellemzi. Ez utóbbi szükséges ahhoz, hogy a bitek átbillentésekor minél kisebb külső teret kelljen alkalmazni. A közeljövőben várható az ún. HAMR- (heat-assisted magnetic recording) technológia elterjedése, ahol az információ írásához a bitet egy fókuszált lézernyalábbal felmelegítik. Az igen rövid időre paramágneses állapotba kerülő nanorészecskéket már kis mágneses térrel át lehet mágnesezni. A Seagate Technology cég 2012 márciusában 1 terabit/négyzet-hüvelyk (1 terabit =  $10^{12}$  bit) adattárolási sűrűséget ért el a HAMR-technológia alkalmazásával (Seagate, 2012).

#### *Spinfüggő transzport nanokontaktusokban*

A nanoméretű heterogén mágneses rendszerek elektromos vezetési jelenségeiben nagy jelentőséget kap az a tény, hogy a különböző spinű elektronok vezetési tulajdonságai különböznek, azaz a transzport spinfüggő. Ezt a tulajdonságot használja ki a töltéstranszport helyett a spintranszportot, illetve *spininformáció-átvitelt* kutató és alkalmazó tudomány, a *spintronika*, amely értelemszerűen sok átfedést mutat a nanomágnesességgel.

A kereskedelemben kapható számítógép-merevlemezek olvasófejei manapság szinte kizárólag az *óriás mágneses ellenálláson* (giant

magnetoresistance – GMR) alapuló technológiát alkalmazzák. A jelenség felfedezéséért *Albert Fert* és *Peter Grünberg* 2007-ben fizikai Nobel-díjat kaptak. A GMR-jelenséget először alternáló ferromágneses-nemmágneses (FM–NM) rétegekből álló multirétegekben mutatták ki, de gyakorlati alkalmazására a *spinszelepnek* nevezett eszköz révén került sor. A spinszelep lelke egy rögzített mágneses orientációjú és egy, a külső mágneses tér által irányított, szabad ferromágneses réteg, amelyeket egy nemmágneses (*spacer*) réteg választ el. A két FM-réteg egyirányú vagy ellentétes mágneses orientációja esetén az eszköz elektromos ellenállása jelentősen megváltozik, többnyire az egyirányú esetben kisebb. Az olvasónak ajánlom *Bakonyi Imre* és munkatársai (2008), valamint *Cserti József* (2008) kiváló magyar nyelvű összefoglalóit a GMR részletesebb leírásáról és fizikai magyarázatáról. Itt csupán azt említjük meg, hogy a spacer rétegnek elegendően (néhány nm) vékonyknak kell lennie ahhoz, hogy az elektronok spinje az áthaladás során ne forduljon át. A GMR tehát olyan tipikus méreteffektus, amelyekről a bevezetőben említést tettünk.

A merevlemez olvasófeje előtt elhaladó bit mágneses tere a szabad FM-réteg mágneses irányán keresztül változtatja a spinszelep ellenállását, ami az átfolyó áramerősséggel könnyen kimérhető. A GMR-alapú olvasófejek elterjedése annak köszönhető, hogy jóval érzékenyebbek, mint a korábbi induktív vagy az anizotrop mágneses ellenálláson alapuló fejek, így lényegesen nagyobb adattárolási sűrűség esetén alkalmazhatók. GMR-alapú eszközöket sok helyen használnak, ahol a mágneses tér érzékeny mérésére van szükség (mágneses szenzorok).

Fölvetődik a kérdés, hogy a spinszelepen átfolyó áram megváltoztathatja-e a két FM-

réteg relatív mágneses orientációját. Elméleti megfontolásokból következik, hogy egyfajta spinbeállítású elektronok árama (spin-polarizált áram) egy FM-rétegen áthaladva a réteg mágnesezettségét átfordíthatja. Ezt nevezzük *spinnyomaték-átvitelnek* (*spin-torque transfer*), ugyanis a jelenség az áramot képviselő elektronok és az atomok összspinjének megmaradásán alapul, miközben a kölcsönhatást a kvantummechanikai kicserélődés közvetíti. A spinszelep megfelelő beállításával (például a spacer réteg vastagságával) megvalósítható, hogy az átfolyó áram irányától függően a két FM-réteg egyirányú vagy ellentétes irányú mágneses beállása stabilizálódjon. A gyakorlatban a spacer rétegben fém helyett valamely szigetelőanyagot (például alumínium-oxidot, magnézium-oxidot) alkalmaznak. A szigetelőn keresztül történő alagutazás (a kvantummechanikai *alagúteffektus* révén megvalósuló transzport) esetén fellépő, GMR-rel analóg jelenséget *alagutazó mágneses ellenállásnak* (*tunneling magnetoresistance – TMR*) nevezzük. A mágneses alagútkontaktusok (*magnetic tunneling junction – MTJ*) nagyobb érzékenységgel és kevésbé hőmérsékletfüggőek, mint a GMR-spinszelepek, ezért kitűnően alkalmazhatók nem felejtő, véletlen hozzáférésű memóriaként (*magnetic random access memory – MRAM*). Az Everspin Technologies cég 2012 végén egy 64 Mbit kapacitású, spinnyomaték elven működő MRAM (ST-MRAM) memóriaegység piacra dobását jelentette be (Everspin, 2012). Az ST-MRAM az elektronikai eszközökben használt flash memóriák komoly vetélytársa lehet a jövőben.

*Spinspirálok és skyrmionok – egy érdekes kölcsönhatás következményei*

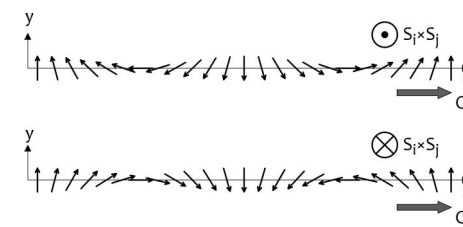
A 2000-es évektől a *spinpolarizált pásztázó alagútmikroszkóp* (*spin-polarized scanning*

*tunneling microscope – SP-STM*) technika segítségével a felületi mágneses struktúrák atomi felbontású detektálása és karakterizálása vált lehetővé. Az STM a minta fölött néhány nm távolságban mozgatott tű és a minta közötti áramot detektálja az elektromos előfeszítés függvényében, így részletes információt szolgáltat a minta felületének elektronállapotairól térben és energiában lokális felbontásban. Ha a tű mágneses, az alagutazó elektronok spinje a tű mágnesezettsége szerint polarizálódik, és az áramerősség a minta megfelelő polarizációjú elektronállapotainak sűrűségével lesz arányos. A tű mágneses irányának változtatásával kapott kontrasztképek analizéséből lehet következtetni a minta mágneses szerkezetére. A módszer nagy előnye, hogy igen nagy, lényegében atomi szintű felbontás érhető el (Wiesendanger, 2009). Jó példa erre, hogy a wolfram (110) Miller-indexű felületére felvitt ultravékony Fe-filmek SP-STM-vizsgálatából meghatározták a doménfalak vastagságát, és monorétegre ~1 nm, míg két atomi rétegre ~4 nm vastagságú falat kaptak. Ezeket a meglepően kis értékeket a spinmodellszámítások kielégítő pontossággal igazolták.

SP-STM-mérésekből és kvantummechanikai számításokból is ismeretes volt, hogy a W(110) felületre felvitt Mn monoréteg atomi soronként alternáló, a felülettel párhuzamos irányú antiferromágneses rendeződést mutat. A későbbi, atomi felbontású SP-STM-képekből viszont azt lehetett megállapítani, hogy ezt a rendeződést modulálja egy kb. 6 nm hullámhosszú periodikus spinstruktúra úgy, hogy a mágneses momentumok soronkénti egyirányú rendje megmarad. Az STM tű mágneses irányának változtatásával ki lehetett mutatni, hogy az atomi mágneses momentumok a sorok tengelye körül körbefordulva kilépnek a felület síkjából (Bode et al., 2007).

Ez a szerkezet a ciklois *spinspirál*, amelyet a 2. ábra stilizál.

Az ilyen csavarszerkezet kialakulása a korábban tárgyalt kölcsönhatásokkal nem magyarázható, ezért a spinmodellt ki kell terjeszteni az ún. Dzsalsosinszkij (Dzjaloshinsky)-Moriya- (DM-) kölcsönhatással (Dzjaloshinsky, 1958; Moriya, 1960). Ez a kölcsönhatás arányos a két spinvektor kereszt-szorzatával,  $D_{12} \cdot (S_1 \times S_2)$ , ahol  $D_{12}$  az ún. DM-vektor. A DM-kölcsönhatás a spinek egymáshoz viszonyított elfordulását preferálja úgy, hogy  $S_1 \times S_2$  ellentétes irányú legyen  $D_{12}$ -vel, hiszen így tud csökkenni a rendszer energiája. A DM-kölcsönhatás valójában a kicserélődési kölcsönhatás egy változata, ahol a spin-pálya kölcsönhatás szerepét is figyelembe vesszük. Érdekessége, hogy térbeli inverziószimmetriát mutató tömbi anyagokban eltűnik, de például komplex struktúrájú antiferromágnesek (például  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) „gyenge” ferromágnessége a DM-kölcsönhatással magyarázható. A spin-pálya kölcsönhatás indukálta anizotrópiához hasonlóan, sőt sok esetben annál nagyobb mértékben, a DM-kölcsönhatás szerepe a (határ)felület közelében megnő. Így van ez a Mn/W(110) monoréteg esetében is, ahol a felületi síkkal párhuz-



2. ábra • Kétféle forgási irányú, jobbra haladó ciklois spinspirál. A felső ábrán az egymást követő spinvektorok kereszt-szorzata a lap síkjába, míg az alsó ábrán a síkból kifelé mutat. (Forrás: <http://www.hikari.uni-bonn.de/>)

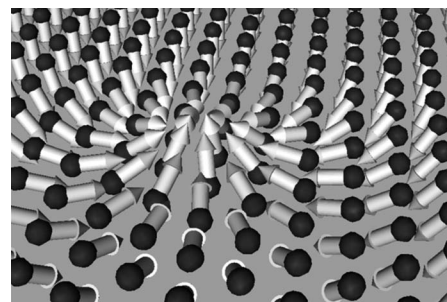
zamos DM-vektorok a mágneses momentumok síkból való kifordulását okozzák.

A 2. ábra azt illusztrálja, hogy egy ciklois spinspirálnak kétfajta forgási iránya lehetséges. Mivel a két esetben a szomszédos rácspontok spinvektorainak keresztszorzata elmentéses irányú, a DM kölcsönhatás csak az egyik esetben csökkenti a rendszer energiáját, a másik esetben éppenséggel növelné azt. Ebből következik, hogy a DM-kölcsönhatás a spinspirál egy meghatározott forgási irányát preferálja. SP-STM-mérésekkel valóban megfigyelték, hogy a  $\text{Fe}_2/\text{W}(110)$  ferromágneses film Néel típusú doménfalainak forgási iránya mindig ugyanaz, ami az előbb említett szimmetriasértés következménye. Ezt a gondolatot folytatva a BME Elméleti Fizika Tanszéken folyó elméleti vizsgálatok rámutattak, hogy az ultravékony mágneses filmek spinhullám-spektruma aszimmetrikus a haladás irányára nézve (Udvardi – Szunyogh, 2009).

Az utóbbi években a kutatások homlokterébe kerültek olyan nanoméretű, örvényszerű mágneses struktúrák, amelyek sok tekintetben hasonlatosak a nemlineáris térelmélet stabil részecskeszerű megoldásaihoz, amit Tony Skyrme magfizikus fedezett fel az 1960-as években. A *mágneses skyrmionok* (fonetikusán szkörmionok) folytonos deformációkkal szemben nagyfokú stabilitást mutatnak, szerkezetükönél fogva topologikusan védettek. A hőmérséklet és a mágneses tér megfelelő tartományában először tömbi mágnesekben (például MnSi, FeCoSi) mutattak ki skyrmion fázist, és azt elméletileg a DM-kölcsönhatás jelenlétével magyarázták. Kézenfekvő, hogy ultravékony rétegekben, ahol a DM-kölcsönhatás szerepe erőteljesebb, ugyancsak várható skyrmionok megjelenése. Ennek ellenére eddig csak Fe/Ir(III) monorétegen mutattak ki kísérletileg egy ún. nanoskyrmion-

rácsot (Heinze et al., 2011), amely jellegében azonban jelentősen különbözik a tömbi rendszerekben megfigyelt, individuális skyrmionokból álló rácsból. Dr. Simon Eszter (BME Elméleti Fizika Tanszék) szilárdtestfizikai elektronszerkezet-módszerekkel kiszámította a hafnium hexagonális szoros pakolású (hcp) rácsának hatszögös szerkezetű, (0001) indexű felületére helyezett vas monoréteg spinmodell paramétereit, majd pedig spindinamika-szimulációkat végzett az alapállapotú spinkonfiguráció meghatározására. Az alapállapot ferromágneses ugyan, de a szimulációk több esetben a 3. ábrán látható skyrmion állapotot eredményezték. Ennek a spinmintázatnak az energiája nem sokkal magasabb, mint a ferromágneses alapállapoté, így a vékonyréteg kísérleti kezelésétől függően nagy valószínűséggel előfordulhat. A Fe/Hf(0001) monoréteg skyrmionja kb.  $3 \times 3$  nm méretű, és szerkezetére jellemző, hogy a skyrmion középpontján bármely irányból áthaladva a spinek iránya  $2\pi$  szöget jár körbe.

A Nobel-díjas Albert Fert és munkatársai nemrég megjelent cikkükben tárgyalják a mágneses skyrmionok alkalmazási lehetőségeit (Fert et al., 2013). Kétségtelen, hogy a néhány nm átmérőjű és egymástól 10–20 nm távolságban elhelyezkedő felületi skyrmionok a jelenleg ismert maximális adattárolási sűrűséget legalább két nagyságrenddel növelhetnék. Fert és munkatársai számítógépes szimulációkkal vizsgálták a skyrmionok mozgását áram hatására egy nanoszalagban. Megállapították, hogy a skyrmionok a doménfalakhoz hasonló sebességgel mozgathatók, viszont ehhez jóval kisebb áram szükséges, mint a doménfalak esetében. Ezek alapján ők nagy reményt fűznek a mágneses skyrmionok alkalmazásához az ultrasűrűségű adattárolás és logikai eszközök technológiája terén.



3. ábra • Számítógépes szimulációval kapott skyrmion állapot Fe/Hf(0001) monorétegben. A gömbök a vasatomok, a nyilak a mágneses momentumok irányát mutatják. (Dr. Simon Eszter számolása, BME Elm. Fiz. Tsz., 2013)

A fenti példa is meggyőzően bizonyítja, hogy a nanomágnesség dinamikusan fejlődő, az alap- és alkalmazott kutatások fókuszában álló terület, amelytől a jövőben is várhatunk

#### IRODALOM

- Bakonyi Imre – Simon Eszter – Péter László (2008): Az óriás mágneses ellenállás felfedezése (1988) – A spintronika nyitánya – A 2007. évi fizikai Nobel-díj és háttere. *Fizikai Szemle*. LVIII, 2, 41–45. • <http://wwwold.kfki.hu/fszemle/archivum/fszo802/bakonyi0802.html>
- Bode, Matthias et al. (2007): Chiral Magnetic Order at Surfaces Driven by Inversion Asymmetry. *Nature*. 447, 190–193. doi:10.1038/nature05802
- Cserti József (2008): Nobel-díj az ellenállásért. *Térmet Világa*. 139, 4. • <http://www.termesztvilaga.hu/szamok/tv2008/tv0804/cserti.html>
- Dzyaloshinsky, Igor E. (1958): A Thermodynamic Theory of "Weak" Ferromagnetism of Antiferromagnets. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. 4, 241–255. DOI:10.1016/0022-3697(58)90076-3
- Everspin (2012): *Spin-Torque MRAM*. • <http://everspin.com/spinTorqueMRAM.php>
- Fert, Albert et al. (2013): Skyrmions on the Track. *Nature Nanotechnology*. 8, 152–156. doi:10.1038/nnano.2013.29
- Heinze, Stefan et al. (2011): Spontaneous Atomic-scale Magnetic Skyrmion Lattice in Two Dimensions. *Nature Physics*. 7, 713–718. doi:10.1038/nphys2045 • <http://wigner.elte.hu/science/pub/NaturePhysics>.

a tudományt és társadalmat egyaránt gazdagító felfedezéseket.

Köszönetemet fejezem ki kollégáimnak, Dr. Udvardi Lászlónak, Dr. Újfalussy Balázsnak és Dr. Palotás Krisztiánnak, valamint édesapámnak, id. Dr. Szunyogh Lászlónak a cikk kéziratának gondos átolvasásáért és értékes tanácsaikért, illetve Dr. Simon Eszternek, hogy folyó kutatásainak egy szép eredményét (3. ábra) rendelkezésemre bocsátotta.

Kulcsszavak: *nanomágnesség, mágneses nanostrukturáltak és nanorészecskék, mágneses kölcsönhatások, spinmodellek, szuperparamágnesség, ultranagy sűrűségű mágneses adattárolás, spintronika, óriás mágneses ellenállás, spinnyomatek-átvitel, Dzsalsinszkij–Moriya-kölcsönhatás, spinspirálok, skyrmionok*

2045\_feiiriii\_skyrmion.pdf

- Moriya, Tōru (1960): Anisotropic Superexchange Interaction and Weak Ferromagnetism. *Physical Review*. 120, 91–98. DOI: 10.1103/PhysRev.120.91
- Nowak, Ulrich (2007): Classical Spin Models. In: Helmut Kronmüller – Stuart Parkin (eds.): *Handbook of Magnetism and Advanced Magnetic Materials*. Vol. 2. 858–876.
- Seagate (2012): *Seagate Reaches 1 Terabit Per Square Inch Milestone In Hard Drive Storage With New Technology Demonstration*. • <http://www.seagate.com/about/newsroom/press-releases/terabit-milestone-storage-seagate-master-pt/>
- Skomski, Ralph (2003): Nanomagnetism. *Journal of Physics: Condensed Matter*. 15, R841–R896. doi: 10.1088/0953-8984/15/20/202
- Udvardi László – Szunyogh László (2009): Chiral Asymmetry of the Spin-wave Spectra in Ultrathin Magnetic Films. *Physical Review Letters*. 102, 207204 (4) DOI:10.1103/PhysRevLett.102.207204 • [http://arxiv.org/pdf/0901.2671.pdf?origin=publication\\_detail](http://arxiv.org/pdf/0901.2671.pdf?origin=publication_detail)
- Wiesendanger, Roland (2009): Spin Mapping at the Nanoscale and Atomic Scale. *Review of Modern Physics*. 81, 4, 1495–1550.

# MÁGNESES ADATRÖGZÍTÉS

Králik János

informatikus, ügyvezető,  
Králik és Társa Kft.  
info@kralik.hu

## Bevezetés

Az emberiség régóta próbálja az információt rögzíteni, hogy a fiatalabb nemzedékek ennek a tudásnak birtokában nőhessenek fel. A legfontosabb ebben az írás, rajzolás. A rajzok szinte egyidősek az emberrel, de az írás is több ezer évre vezethető vissza. A régi megvalósításokban (kő, papirusz, kiégetett agyagtábla, papír) közös volt, hogy egyszer lehetett rögzítésre használni az alapanyagot. A modern korban ez már nem elég. A rengeteg információ birtokában szükséges azok rendszerezése, átdolgozása olyan módon, hogy ne kelljen minden esetben újragyártani a hordozóanyagot. Ennyi információ tárolására és feldolgozására már nem korszerű egy statikus rendszer (a könyvtár jellegű tárolás), hanem dinamikus feldolgozásra van szükségünk, amelyet a mai számítógépek tesznek lehetővé.

A rögzítéshez tehát meg kellett keresni az előállítható technológiát. Ha visszautazunk az időben, akkor a legrégebbi fontos pont talán a szövőszék feltalálása lehet. Hiszen itt egyszerre található meg a programozás (minta kialakítása) és a digitális vezérlés. A szövet szárait a minta kialakulásához vagy fel kell emelni, vagy lent kellett tartani, míg a keresztirányú szál a helyére kerül. Ehhez pedig a ma használt kifejezéssel elegendő a „0” vagy „1” érték. A következő állomás története nap-

jainkban sem ért véget. A 19. század végén *Herman Hollerith* létrehozott egy lyukkártyás rendszert az Egyesült Államok bevándorlói-nak nyilvántartásához, valamint a népszámláláshoz. A rendszer sikeres volt, így 1896-ban megalapította a Tabulating Machine Co. nevű vállalatot. Ez a vállalat az őse a ma is működő IBM-nek (1924). Innentől az IBM meghatározó szerepet játszott az adattárolásban. Ők alkalmazták a 80 oszlopos lyukkártyát (1928), amely a fejlődése végére 80 karakternek felelt meg egy sorban. Ekkor már programozáshoz használták, nem az adatok tárolásához. Az IBM volt az a cég is, amelyik 1971-ben bevezette a *mágneslemezes tárolást*.

E tanulmányban a több adattárolási megoldásból a digitális, mágneses rögzítés kerül terítékre, ezen belül, kis kitekintéstől eltekintve, annak PC-s eszközökben is használt változatai. Mivel a mágneses rögzítés alapvetően mechanikát is tartalmaz, valamint az adatrögzítés nem csak mágneses, ezekkel kapcsolatos információkat, fejlesztési irányokat is érintünk. A cikk célja a közérthetőség, nem a pontos műszaki fogalmazás.

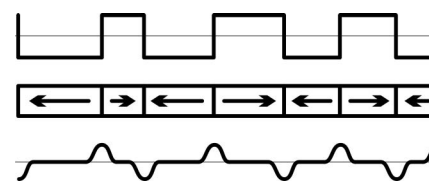
## Adattárolás

Az adatok mágneses tárolásának a legnagyobb előnye a korlátlan mértékű átírhatóság. A mágneses anyagoknak két csoportját különböztetjük meg. Vannak lágy és kemény mág-

neses anyagok. A lágy mágneses anyagok a mágneses teret tudják vinni, irányítani, de a külső tér erő megszűnéskor visszaállnak a semleges alapállapotba. A kemény mágneses anyagok emlékező tulajdonságúak. A külső mágneses tér hatására belső mágneszettségük rendezetté válik, fölveszik a külső tér tulajdonságát, amit a külső mágneses tér megszűnése után megtartanak. Így az adatok rögzítésére kemény mágneses felületet kell alkalmazni. Ez az anyag az idők folyamán óriási átalakuláson ment keresztül.

- Mágneses huzal: az első magnetofonok használtak a hang rögzítésére huzalt, amit később szalag váltott fel.
- Mágnesszalag: hang, kép és digitális adatok tárolására egyaránt használjuk (lásd később).
- Mágnesdob: számítógépes háttértároló volt.
- Ferritgyűrűs memória: számítógép központi memóriájában használták (lásd később).
- Hajlékony lemezek: az első könnyen hordozható adattárolók voltak (lásd később).
- Merevlemezek: ma is használt számítástechnikai háttértárolók (lásd később).

A mágneses jelek visszaolvasása csak úgy lehetséges, ha a jelfolyamban változások vannak, ugyanis a változásokor keletkezik az olvasóáramkörben áramimpulzus (*1. ábra*). Ezért az adatok rögzítését kódolnunk kell. Legegyeszerűbb régi eljárások az FM (frekvenciamo-

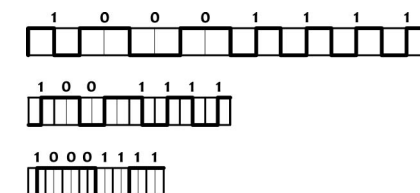


1. ábra

duláció) és az MFM (módosított frekvencia-moduláció) voltak. Ma RLL- (Run Length Limited) kódolást használunk (*2. ábra*). FM, MFM, RLL) Az RLL-kódolásnak mára több változata is van, a 2,7 a 3,11 és újabban már a 4,18 is. A számok azt jelentik, hogy minimum és maximum hány bit helyezkedhet el egy-egy jelváltás között. Ez a kódolás nagyobb tömörítést tesz lehetővé, de pontosabb kivitelezést, időzítést kíván meg.

## Központi memória

*Ferritgyűrű* • Az első számítógépek memóriája is mágneses elven működött, mivel a félvezetők még csak tervezési fázisban voltak. Az akkori elektroncsöves rendszerekkel még nem lehetett volna megfelelő biztonsággal működő memóriát kialakítani (a fogyasztást nem is említve). Apró kemény mágneses karikákat (ferritgyűrűket) használtak úgy, hogy egy gyűrűn két vezeték haladt át, amelyekkel négyzethálós rácsba foglaltak egy-egy blokkot. Így sorokra és oszlopokra bontották a rácsot. A sor és oszlop keresztezési pontjában egy bitet tárolt egy gyűrű. Mivel a mágnes átmágnesezéséhez pontosan meghatározott energia kell, így annak 60%-át vezetve egy-egy vezetéken, csak a metszéspontban keletkezik akkora energia (120%), amennyi az átmágnesezéshez elegendő. Ezért lehetséges, hogy sok ferritgyűrűt is fel kell fűzni egy-egy vezetékre. A statikus állapotú gyűrűk kiolvasása viszont csak úgy lehetséges, hogy ismételten ráírunk.



2. ábra

Amennyiben van változás a kiolvasó vezetéken, akkor át lett írva a gyűrű, ha nem volt változás, akkor az írt adattal egyezett a gyűrű állapota. Viszont olvasás után vissza is kellett írni a most már ismert adatot a gyűrűbe. A rendszer nehézkes, nagy helyigényű, így ahogy lehetett, az elektronikusan kialakított félvezető RAM-ok átvették a helyüket, megszűnt a mágneses memóriák használata.

#### Háttértárolók

**Mágnesszalagok** • Elsősorban archiválási céllal használunk mágnesszalagokat. Leginkább a régebbi időkben voltak használatosak, hiszen a nagyon drága mechanika mellett az adatok tárolására használt és korlátlan mennyiségben cserélhető mágnesszalag olcsó. Így egy meghatározott adatmennyiségre jutó költség jóval alacsonyabb, mint ha minden adatot lemezen tárolnánk. Óriási hátránya viszont, hogy az adatokat csak sorosan tudjuk elérni, vagyis ha a mentéskor a számunkra szükséges adat a szalag végére került, annak eléréséhez az egész szalag beolvasására szükségünk van. Az idők folyamán a nagyobb adattárolás érdekében ezeknek az eszközöknek is két fajtája alakult ki. Az idősebbek (*streamer*) álló fejet tartalmaznak, így az adattárolás sebességét meghatározza a szalag mozgatási sebessége. Ezzel a technikával korlátozott a tároló kapacitása, sebessége, és ezért váltottak a videórendszerekből adaptált forgófejes készülékekre, amelyek nagyobb kapacitásúak és gyorsabbak (DAT). A forgófej miatt a fej és szalag sebessége ugrásszerűen megnőtt, ami az adatátviteli sebességre jótékony hatású. A szalagra ferden egymásra helyezett csíkok nagyon jó helykihasználást biztosítanak, így a szalag, illetve kazetta méretét is jelentősen lehetett csökkenteni. Sajnos az egyre zsugorodó méretek miatt a szalag mechanikai igénybevétele

megnő, ezért egy DAT szalag kevesebbszer használható, mint az előbb említett streamereké. Üzemeltetési költségük magasabb, a szalagok elhasználódásával adatbiztonságuk nagymértékben romlik. Mára a szalagos tárolás csak archiválási célokat szolgál hatalmas adatmennyiségek esetében.

**Hajlékony lemezek** • Kisebb adatmennyiségek archiválásához és szállításához alakították ki a hajlékony lemezeket. Ezeknek több fajtájuk van, mára legtöbbjük nincs használatban (a *pendrive*-ok kiszorították). Legismertebb közülük a floppy, amely régebben 5,25" méretben 160/320/360/720 kB, 1,2 MB, majd később 3,5" méretben 720 kB vagy 1,44 MB kapacitással készült. Kevésbé elterjedt változatok voltak a 2,88 MB-os floppy, 120 MB-os A-drive, valamint a különböző kapacitásokban gyártott ZIP és Bernoulli Box egységek.

**Merevlemez (HDD, winchester)** • A mágneslemezekre ugyanúgy írjuk fel az adatokat, mint a szalagokra. A különbség az, hogy koncentrikus körökben helyezkedik el az adat, és a körök szektorokra vannak osztva. Ennek nagy előnye, hogy a régi lemezjátszó karjához hasonló kar végén az író-olvasó fej a sávokat gyorsan tudja váltani, így a lemez belsejére írt adathoz gyorsan oda tud pozicionálni. Nem szükséges a szalagokhoz hasonlóan végigolvasni az előző tartalmakat. Ezért nevezzük ezeket véletlen elérésű tárolóknak is, amelyek az idők folyamán óriási technikai átalakuláson mentek keresztül. Régen természetesen az egyszerűbb felépítés mellett nagyok, kis kapacitásúak, lassúak és energiazabálók voltak. Ezekben az eszközökben, amennyire csak lehetett, mindent fix mechanikával oldottak meg. Legjobb példa erre a fejek mozgatásának léptetőmotoros rendszere. A lemezek kihasználtsága szintén rossz volt, hiszen a lemez szélén és legbelül ugyanannyi szektort tartalmaztak.

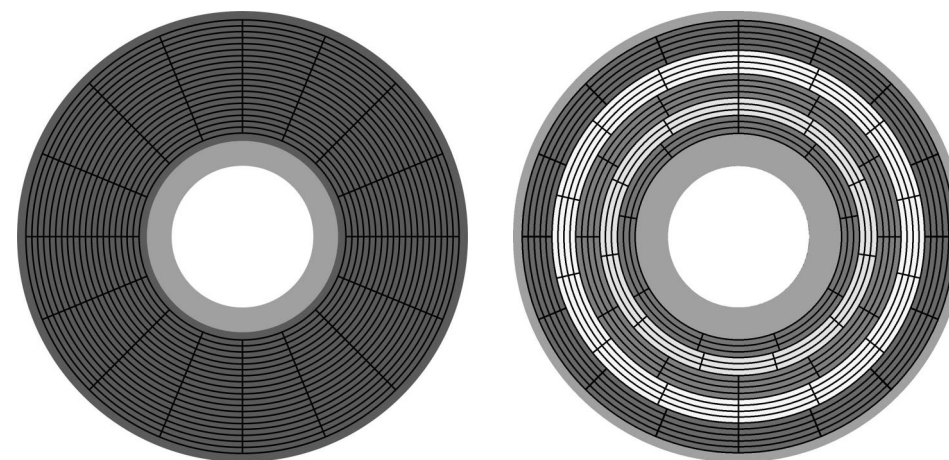
A mai meghajtók a fejmozgatást már ívpályás lineáris motorral végzik.

A következőkben az 1980-as évektől napjainkig terjedő időszakot tekintjük át. A meghajtó kialakításánál a lemezeket közös tengelyre tették, amelyek együtt forogtak, ezáltal mindegyik oldalukon azonos pozícióban egy-egy sáv található (track). Az író-olvasó fejeket egyetlen fejszerelvényre rögzítik, minden lemezoldalhoz tartozik egy-egy fej, amelyek együtt mozognak. A régi MFM drive-ok többségénél a fejszerelvény léptetése fix, léptetőmotorral történt szalagos vagy fogaslécés kivitelben. Mivel azonban ez a mechanikus rendszer a használat során kopott (hajlékony szalag esetén a szalag megnyúlt), így idővel a lemezre rögzített sávok fölött a fejek már nem jó pozícióba álltak be. Ezért alakították ki a szervorendszert, amely már csak lineáris motorral működtethető.

Itt a mágneses felületen találhatóak a sáv azonosításához szükséges információk (*servo*). Így az idővel jelentkező mechanikai kopás az írás-olvasás pozíciójában már nem okoz hibát. Az egyes lemezek kapacitásának növekedése két tényezőtől adódik. Az egyik a keske-

nyebb sávok használata, így egy lemez több sávot tartalmaz (1 mm-en kb. 10-ből 7000–8000 lett), a másik a felület egyenletes kihasználása. Ezt a sávokon tárolt különböző számú szektorral oldják meg. A külső, nagyobb sávok több szektort tartalmaznak (17 db-ból lett 1500–2000), a belsők kevesebbet. Az utóbbi időben a szektorok mérete is megnőtt, 512 byte helyett 4096 byte-ost alkalmaznak (3. ábra). Közben a lemezeket meghajtó motor is kicserélődött, a kezdeti golyóscsapágyásokat felváltották a halkabb, precízebb folyadékscsapágyások.

Természetesen az író- és olvasóáramkörök is rengeteget változtak. A legegyszerűbbek (legöregebbek) induktív kialakításúak (4. ábra). Itt egy fizikai tekercs végzi mind az írást, mind az olvasás feladatát. Ennek két változata alakult ki. Előbb a miniatűr tekercseket tartalmazó ferromágneses fejek, majd később megjelentek az integrált fejek. Ez utóbbiak esetében síkban elhelyezett félvezetőből kialakított tekercs végzi az írást és olvasást. Az egyre nagyobb kapacitások eléréséhez növelni kellett a felületi bitsűrűséget. Az előző fejek túlságosan nagy méretű bitcellákat voltak



3. ábra • Balra: fix szektorszám, jobbra: változó szektorszám

csak képesek olvasni, hiszen a felületen lévő mágnességnek kellett a tekercsekben feszültséget előállítania. Ez bizonyos mechanikai méret alatt már stabilan nem biztosítható. Ekkor jelentek meg az MR-fejek, amelyekben az előbb leírt integrált fejjel azonos író áramkör volt, viszont az olvasást mágneses térre érzékeny félvezető ellenállás biztosította. A következő fejek a GMR, majd HMR típusúak, amelyek belső kialakításukban különböznek az MR-tól, és sokkal érzékenyebbek. Ehhez a lemezek mágneses rétegén is változtatni kellett. Az integrált és MR-fejek alatt egy mágnesréteg elegendő volt, míg a GMR- és HMR-fejek alatt már két mágnesréteg található vékony elválasztó anyaggal. Ezzel a technológiával legfeljebb 166 GB/lemez (3,5") kapacitásig lehetett eljutni. A legújabb technológia merőleges (perpendicular – PMR) rögzítési technológiát tartalmaz. Az eddig alkalmazott eljárásokkal szemben, ahol az

apró mágnesek fekvő pozícióban helyezkedtek el a lemez felületén, a PMR-rögzítésnél ezeket a mágneseket felállították (4. ábra). Ezzel a technológiával ma az 1 TB/lemez korlátnál tartunk, ez lassan ennek a technológiának a felső határát jelenti. Várhatóan a köz-eljövőben jelennek meg a lézert is használó fejek. A PMR-rögzítést azzal egészíti ki a lézer, hogy az íráskor a felületet melegíti, így kisebb térerőre van szükség azonos mágnessétséghez. Így kisebb térerő használatával és keményebb mágneses anyaggal növelhető a felületi adatsűrűség, ezáltal az eszköz kapacitása.

A lemezek és a fejek között légpárna alakul ki. Azért van erre szükség, mert ha a két felület folyamatosan érintkezne (súrlódna), az nagyon gyors elhasználódáshoz vezetne. A légpárna segítségével a két felület a használat közben soha nem érintkezik, így anyagkopás nem lép fel. A légpárna vastagságát olyan mértékűre kell kialakítani, hogy a felületek

fölött repülő fejek az írást és olvasást stabilan tudják végezni. Ez a vastagság megközelítőleg a sávok szélességének a tizede, így az idők folyamán a néhány századmillimétertől napjainkra néhány nanométeresre zsugorodott. Itt is sikerült eljutnunk a technológiai határig, hiszen a levegő nem homogén gáz. Az egyik fejlesztési irány a levegő héliumra cserélése, amellyel a légpárna tovább vékonyítható. Ez a fejek író-olvasó áramkörében a fej felülettől való távolságát csökkenti, ami viszont növeli az érzékenységet. A felületi adatsűrűség tehát növelhető.

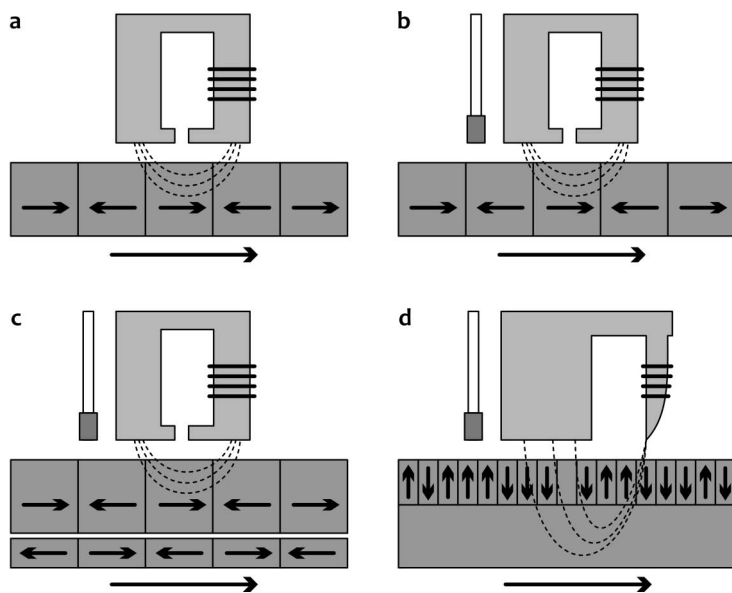
Fontos megemlíteni a fejszerelvény álló helyzetben való rögzítését. A kezdeti drive-oknál kizárólag parkoló pályát használtak, amely a lemez forgástengelyéhez eső legbelső sáv. Ezen a területen az induláskor és leálláskor létrejövő súrlódás (kopás) miatt adatokat nem tárolnak, valamint a felületet érdesítik, hogy a fejek ne tudjanak a felülethez tapadni. A másik megoldás, hogy a fejeket álló helyzetben nem a lemezekre helyezük el, hanem a lemezekről lehúva parkolórámpára tesszük. Már régóta minden kisméretű (2,5") drive ilyen rendszerű, és egyre több nagyobb drive is ezt a rendszert kezdi alkalmazni. Előnye, hogy a fejek a mágneses felülettel sem álló, sem működési állapotban nem érintkeznek.

#### Meghibásodások

A drive-ok meghibásodásának három fő típusa van. Az első az alkatrész gyártási hibája. A gyártás során vagy a felhasználónál az üzemeltetés elején legtöbbször észrevehető. Ezekre a hibákra adja a gyár a garanciát. A második az öregedésből adódó meghibásodás. Egy mai drive várható élettartama egyre inkább azonos a gyártó által adott garanciális idővel. A folyamatos és rohamos kapacitásnövekedés is inkább a rövidebb élettartamot részesíti

előnyben. A meghibásodások harmadik csoportját a környezeti hibák alkotják. A környezet alatt a szállítást, tárolást és üzemeltetést is érteni kell. Durva hiba, amikor szállítás közben leejtik, odaverik. Ilyenkor nem csak külső látható sérülések keletkeznek a drive-on, hanem az ütés során a fejszerelvényen végigfutó lökeshullám a fejeket kalapácsként használva a felületet sérti meg. Ez a mechanikai sérülés álló és mozgó drive esetén egyaránt létrejöhet. Álló drive esetén a kar parkoló pozícióból való elmozdulása a fejek letapadását eredményezi a felületen. Ilyenkor a drive vagy képtelen elindulni, vagy ha mégis fel tudja pörgetni a lemezeket, akkor a fejek az adatterületen való elhelyezkedés miatt durva felületi sérüléseket okoznak. Az indulás pillanatában a fejeket tartó rugókra óriási erők hatnak, így azok deformációját is okozhatják. Nem ritka, hogy a fejszerelvényen akár több fej is kifordul. Ilyenkor a kar deformált része az egész felületet képes a fejek mozgatása miatt spirálisan megsérteni. A felületi sérülések exponenciálisan berobbanó romlást (további sérülést) okoznak. Percek alatt odaveszhetnek a lemezen tárolt adatok. Sok indítás és próbálkozás után a mágneses réteg teljes legyalulása után már csak alumínium- vagy üveglemez fog a mechanikában forogni.

Üzemeltetési hibának minősül a drive nem megfelelő hűtése is. Hosszú élettartamhoz a 20–42 °C közötti tartomány az ideális. 42 °C fölött tartósan ne járassuk a berendezést, 50 °C fölötti huzamos használattal maradóan károsodhat a drive. A 2,5"-os és szerverbe szánt drive-ok esetében a maximális hőmérséklet 3–5 fokkal lehet magasabb. Szintén a drive-unk és adataink biztonságát tesszük kockára a nem megfelelő tápellátással. Az alacsonyabb tápfeszültség működési bizonytalanságot, a magasabb nagyobb hőterhelést



4. ábra • Az író- és olvasó-áramkörök fejének típusai:

a – induktív fej; b – MR-fej; c – GMR-HMR-fej; d – perpendikuláris fej

okoz. A tápfeszültségen megjelenő zaj (zavar) mind a drive belső működését, mind az adatok átvitelét károsan befolyásolja.

#### *A hibák megelőzése*

Drive-unk élettartamát és működési biztonságát úgy tudjuk garantálni, ha számítógépünkbe minőségi, 30–40%-os teljesítménytartalékkal szolgáló tápegységet teszünk. A csatlakozásokat tisztán tartjuk, biztosítjuk a jó érintkezést, valamint a számítógép házát úgy szellőztetjük át, hogy a belépő levegő először a drive-okat hűtse. A drive-okat, illetve a számítógépet csak úgy szállítsuk, hogy a drive-ok valóban álló helyzetben legyenek (kikapcsolás után 30 másodperces várakozás), és a megfelelő csomagolást is biztosítsuk. A csomagolásnak nemcsak a külső mechanikai hatások ellen kell védenie, hanem az esetleg fellépő hirtelen hőmérséklet-különbségek ellen is. Emiatt egy áthűlt számítógépet melegszobában ne csomagoljunk ki addig, amíg a környezet hőmérsékletét át nem vette.

#### *Biztonság*

A biztonságának két szempontja van: a működés biztonsága és az archiválás biztonsága. Adatainkat és számítógépes rendszereinket csak e kettő együttes meglétével tudhatjuk biztonságban.

*Működési biztonság* • A működési biztonság a folyamatos munkavégzéshez szükséges (rendelkezésre állás). Vagyis a gyakorlatban hibátűrő rendszert kell kialakítanunk. Bizonyos elemeknek meghibásodása esetén tovább tudunk dolgozni, a napi feladataink elvégzését egy esetleges eszközhiba nem veszélyezteti. Számítógépek esetében ezt csak redundanciával tudjuk megoldani. Egyetlen számítógép esetén ez komoly kihívás, hiszen minden egyes elem egyedi és pótolhatatlan. Az ada-

taink szempontjából legfontosabb rész, a winchester tükrözésével nagyobb biztonságot tudunk elérni.

A S. M. A. R. T. (Self-Monitoring Analysis and Reporting Technology, azaz Önellenőrző Analizáló és Nyilvántartó Technológia) az IBM fejlesztése. Létrehozásának célja a merevlemez állapotának folyamatos figyelése. Ezt a funkciót a drive saját maga végzi, míg az általa kezelt adatok kiértékelését külső programmal tehetjük meg. A S. M. A. R. T. specifikációja szerint a meghibásodási küszöb észlelésétől és jelentésétől még 24 órát kell a merevlemeznek működnie, amíg az adatok mentése folyik. Sokszor a drive nem éri meg ezt az állapotot, vagy kevés lehetőség marad a mentésre. Ezért fontos a folyamatos felügyelet, megelőzés.

*Adatbiztonság* • Az adatbiztonság nem egyezik meg a működési biztonsággal, hiszen itt nem a folyamatos működtetés, hanem az adatok bármilyen körülmények közötti megléte a fontos. Az adatbiztonság ezenkívül viszonylagos: nagymértékben függ attól, hogy milyen adatokról van szó. Interneten megtalálható adatokat, amelyeket bármikor elérhetünk a későbbiekben is, nem szükséges archiválnunk. Hasonló a helyzet a számítógépre installált operációs rendszerrel, programokkal, bár ebben az esetben rendelkezünk a hivatalos telepítő készlettel. Ez viszont nem biztonsági másolat, ahogyan a megnevezéséből is láthatjuk. Az adatbiztonság az általunk létrehozott adatoknál (könyvelés, tervezői munka, fényképek stb.) fontos. A legdrágább az emberi munka. Ennek biztonságos tárolását, rögzítését fedi az adatbiztonság. Ezt csak több fizikailag is különálló tárolón elhelyezett kópia tudja biztosítani.

Eddig adatbiztonság alatt csak annak többkópiás biztonságát tárolását említettük-

ám itt van helye az illetéktelen hozzáférés részletezésének is. A telepített rendszereknél (ahol a tároló elvesztésének veszélye nem fenyeget) a jelszavas védelem legtöbbször elegendő, de ha mobil eszközök adatait is védenünk kell, akkor már kevés. Itt csak a titkosítás segít. Ezt végezheti a tárolóeszköz, az operációs rendszer vagy harmadik gyártó programja is. Az a hit, hogy adataink így biztonságban vannak, csalóka! Ugyanis a titkosítási kulcs elvesztésével is elvesznek adataink. Ezt okozhatja az eszköz vagy az operációs rendszer hibája, de felelősenességünk is. A gyártók nem biztosítanak egyéb hozzáférést az adatokhoz, hiszen éppen az illetéktelen elérhetetlenség a cél! Ilyenkor csak a több kópia véd meg bennünket az adatvesztéstől.

#### *SSD – az új adattároló*

Egyre inkább terjednek a mozgó alkatrészt nem tartalmazó háttértárolók (SSD). Mivel nincs mechanikájuk, az adatok elérési ideje itt nagyon rövid. Ez óriási előny a hagyományos mechanikákkal szemben. Technológiai probléma viszont, hogy a flash memóriacellákban a töltések tárolását biztosító, a beírt információ elszivárgását megakadályozó szigetelőréteg idővel elhasználódik. Minden újraírásakor nagyfeszültségű impulzussal kell átütönni a szigetelő réteget, aminek eredményeképpen létrejön a kívánt irányú töltésvándorlás (*Fowler-Nordheim tunnel injection*). Ez a művelet a jelenleg elterjedt SLC (1 bit/cella) típusú flash memóriák esetén kb. százezer alkalommal lehetséges, az MLC-(2 bit/cella) változatok tízezer írást bírnak, de az új vékony-

#### **IRODALOM**

<http://www.remenyikzs.sulinet.hu/segedlet/addatar/>  
[http://itcafe.hu/hir/felfedeztek\\_a\\_negyedik\\_elemet.html](http://itcafe.hu/hir/felfedeztek_a_negyedik_elemet.html) • <http://en.wikipedia.org/wiki/>

réteg-technológiával készültek már a háromezres érték környékére csökkentek. A legújabb TLC- (3 bit/cella) változatok már csak 1–3000 írást viselnek el. Bár ez magas számnak tűnik, de ha megnézzük, hogy egy rendszer az adminisztrációs területét milyen sűrűn tartja karban, rögtön látható, hogy igencsak korlátozott az élettartamuk. Éppen ezért a gyártók a *Wear-levelling* technológia használatával (amely a terhelés egyenletes eloszlásáért felelős a teljes felületen) próbálják a drive élettartamát megnövelni, valamint egyéb elhagyható OS-feladatok tiltását javasolják. Ezek közé tartozik a file-ok utolsó hozzáféréseinek adminisztrációs letiltása, az automatikus töredeztetésmentesítés tiltása és a virtuális memória tiltása is (célszerű nagy memória használata). Így az élettartam szerencsés esetben időben kitolható az eszköz erkölcsi avulásáig. Ez az időtartam jelenleg 3–5 évre tehető. Nagy valószínűséggel azonban igazi áttörést csak abban az esetben fogunk elérni, ha a flash technológiát leváltjuk korlátlan számú írást garantáló technológiára. A közelmúltban több fejlesztés is napvilágot látott, például a Memriszor (emlékező tulajdonságú passzív áramkört elem), MRAM vagy MeRAM (amelyek egyformán mágneses alapokon működnek, csak a MeRAM újabb, hatékonyabb).

A grafikai munkát készítette: RDI Kreatív Stúdió Kft. © 2009. Minden jog fenntartva.

*Kulcsszavak: számítógép, adattögzítés, adattárolás, mágnesszalag, merevlemez, számítógépes biztonság*

Magnetoresistive\_random-access\_memory • [http://hu.wikipedia.org/wiki/Ferritgyűrűs\\_memória](http://hu.wikipedia.org/wiki/Ferritgyűrűs_memória) • <http://hu.wikipedia.org/wiki/Háttértár> • <http://www.kralik.hu> • <http://www.hdsentinel.hu>



# MÁGNESES FOLYADÉKOK ÉS RUGALMAS MÁGNESEK

Zrínyi Miklós Jedlovszky-Hajdú Angéla

az MTA rendes tagja, egyetemi tanár,  
Semmelweis Egyetem Általános Orvosi Kar Biofizikai  
és Sugárbiológiai Intézet Nanokémiai Kutatócsoport,  
MTA–SE Molekuláris Biofizikai Kutatócsoport  
zrinyi.miklos@med.semmelweis-univ.hu

PhD, tudományos munkatárs,  
Semmelweis Egyetem Általános Orvosi Kar  
Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet  
Nanokémiai Kutatócsoport

Tombácz Etelka

az MTA doktora, egyetemi tanár,  
Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kar  
Fizikai Kémiai és Anyagtudományi Tanszék Vizes Kolloidok Kutatócsoport, Szeged

## Bevezetés

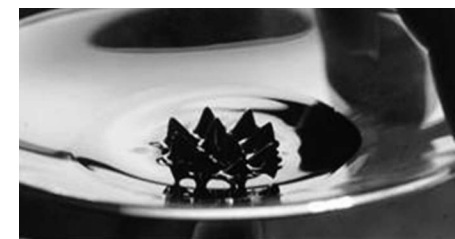
Több mint tíz éve jelent meg a NASA Science honlapján (URL) egy szenzációs összefoglaló a mágneses folyadékokról, amelyek egyidejűleg mutatnak folyékony és mágneses tulajdonságokat. A közlemény megírását e furcsa folyadék úrrálmáson történő vizsgálata inspirálta, de az úrtechnikai alkalmazások mellett egy napon a mágneses folyadékok a robotok „vénájában” keringhetnek, vagy földrengésnek ellenálló épületek megépítésében nyújthatnak segítséget. Újabban a mágneses folyadékok orvosi biológiai felhasználására irányuló intenzív kutatásoknak lehetünk szemtanúi.

Noha a mágneses teret „érző” folyadékok nevezéktanában világos az elkülönítés a mágneses, vagy ferro- (MF), valamint a magneto-reológiai folyadékok (MRF) folyadékok között, gyakran még a tudományos szakirodalomban sem következetes a használatuk.

Mindkét folyadéktípusra jellemző, hogy folyási tulajdonságaik nagymérvű megváltozásával „érzékeny” a mágneses teret. Ez annak köszönhető, hogy a folyadékokban parányi ferri- vagy ferromágneses szilárd részecskék vannak egyenletesen szétoszlalva (diszpergálva). A részecskék mérete a mágneses folyadékokban (ferro-folyadékokban) a kolloid mérettartomány (1 és ~1000 nm) alsó (napjainkban népszerűen a nano-mérettartományban), míg magneto-reológiai folyadékokban pedig a felső (mikrométeres, optikai mikroszkóppal látható) régiójába esik. Az eltérő méret eltérő módon mutatkozik meg a tulajdonságokban. Ha a részecske mérete kisebb, mint a mágneses domén mérete (ez magnetit esetében 5–15 nm), akkor a tipikus mágneses viselkedés a szuperparamágnesség. Mágneses tér jelenléte nélkül a mágneses folyadékokban lévő részecskék mágneses momentumai a hőmozgás következtében véletlenszerű irányokba állnak, így a teljes rend-

szernek nincs eredő mágnessége. Külső mágneses térbe helyezve a folyadékot a mágneses momentumok kölcsönhatásba lépnek az alkalmazott térrel, mágnesezettséget indukálva a folyadékban. A mágneses tér erősségét növelve egyre több részecskének lesz azonos irányú mágneses momentumja. A térirányú rendeződés végbemehet a domének elemi momentumainak elfordulásával (Neél-rotáció), vagy a részecskék elfordulásával (Brown-rotáció). Elérhető egy olyan határ, amikor az összes mágneses momentum azonos irányt vesz fel, ami megfelel a makroszkopikus mágnes telítési (maximális) mágnesezettségének. Ennek következtében a ferro-folyadékok látványosan érzékelik a mágneses teret. Az apró (nano) permanens mágnesek dipólusai a mágneses tér gradiense irányába állnak, így elegendő sokaságban képesek elmozdítani a folyadékot a tér irányát jelző tüskés alakzatokba (1. ábra). Mára már a képzőművészet határait feszegető fantasztikus képekben, videóknak gyönyörködhetünk, ha rákeresünk a mágneses folyadék kifejezésre az interneten. Kisméretű részecskék esetén a mágneses folyadék viszkozitása nem változik külső mágneses tér hatására (Odenbach, 2006). A külső tér megszűnte után a mágneses dipólusok a hőmozgás miatt újra véletlenszerűen mutatnak a tér minden irányába, a rendezettség, és ezzel együtt a folyadék mágnesezettsége megszűnik. Fontos jellegzetessége a szuperparamágneses viselkedésnek a mágneses hiszterézis hiánya.

Nagyobb méretű (0,1–50  $\mu\text{m}$ ) részecskék-nél a ferromágneses részecskék külső mágneses tér hatására láncokba rendeződnek, és a pillanatok alatt kialakuló láncok jelentősen gátolják a folyadék mozgékonyágát, ami megmutatkozik a folyadék viszkozitásának megnövekedésében. Ez a külső mágneses tér



1. ábra • Mágneses folyadék külső mágneses térben

erősségével tág határok között változtatható, a folyási tulajdonság akár meg is szüntethető, azaz a folyadék megszilárdulhat (Bagi et al., 2012). Magneto-reológiai folyadékoknál – a nagyobb részecskeméret miatt – számítani lehet a részecskék kiülepedésére, ami gyakran megnehezíti a technikai alkalmazást. Meg kell jegyezni, hogy a mágneses térre érzékeny folyadékok egy adott hőmérséklet (a ferromágneses részecskékre jellemző Curie-hőmérséklet) felett elveszítik mágneses tulajdonságukat.

A továbbiakban először a nano- és mikroméretű mágneses részecskék előállítását ismertetjük, majd a mágneses folyadékok lehetséges technikai és orvosi biológiai alkalmazását tárgyaljuk. Végezetül a rugalmas mágneses kompozitok legfontosabb tulajdonságait mutatjuk be.

## Mágneses folyadékok előállítása

A mágneses folyadékok köre igen széles, előállításuk a részecske és a közeg minőségétől függ. A hordozó közeg minősége alapján vizes és szerves bázisú mágneses folyadékokat különböztet meg az irodalom (Odenbach, 2006). Először a választott minőségű és méretű részecskét készítik el. Ennek két módját használják. A *top down* (fentről lefelé bontó) módszer szerint a makroszkopikus szilárd mágneses anyag aprításával próbálják elérni a kívánt részecskeméretet. Például magnetit

(vas-oxid) szemcséket hosszú időn keresztül golyósmalomban őrlik, felületaktív anyag és a mágneses folyadék közegének hozzáadásával (nedves őrlés). E módszer hátránya, hogy igen gyakran még az újabban kifejlesztett nagy hatékonyságú őrlési eljárásokkal sem érhető el a kívánt kis részecskeméret. Gyakrabban alkalmazzák a homogén rendszerekből, az előanyagok (prekursorok) gőzeiből (például fémek), oldataiból (például: sók, fémorganikus vegyületek) kiinduló ún. *bottom up* (alulról felfelé építkező) szintéziseket, amelyek általában sokkal előnyösebbek a kisebb méretű (a mágneses doménméret alatti) részecskék készítésénél. A magnetit nanorészecskéket például gyakran szintetizálják a vas(II) és vas(III) sók sztöchiometriai keverékének együttes lecsapásával. A csapadékot tisztítás (a melléktermékként keletkezett sók eltávolítása) után a részecskék burkolására alkalmas vegyülettel (felületaktív anyagok, makromolekulák) stabilizálják. Elterjedt eljárás, hogy stabilizáló vegyület jelenlétében történik a csapadékképződés, így a keletkező kicsi részecskék *in situ* stabilizálódnak. A magnetitrészecskék legsikeresebb stabilizátora az olajsav, a felülethez kémiai kötést kötött egy molekula vastagságú rétege az eredetileg vízre kedvező (hidrofil) részecskéket hidrofóbizálja (vizet taszítóvá módosítja). A hidrofób részecskék kitűnően diszpergálhatók szerves folyadékokban (például kerozin, transzformátorolaj, vákuumolaj), így a legtöbb olajalapú mágneses folyadék olajsavval stabilizált magnetitrészecskéket tartalmaz. Az olajsav lúgos körülmények között képes egy fordított orientációjú második rétegben is megkötődni, így a kettős réteggel borított részecskék hidrofíll jellegűvé válnak, ezért kitűnően diszpergálódnak vízben. A vizes közegű mágneses folyadékok sokkal érzékenyebbek a kémiai

környezet (az oldat pH-ja, oldott sók és egyéb vegyületek) megváltozására, mivel a második réteg csak gyenge fizikai erőkkel kötődik. A mágneses (ferro) folyadékokban homogénen szétosztatott részecskék mérete és azok szűk intervallumon belüli eloszlása mellett a legfontosabb a rendszer kolloid stabilitásának biztosítása, azaz a részecskék közötti aggregációs folyamatok megakadályozása. A mágneses folyadékok felhasználásának két nagy, szélsőségesen eltérő területe ismert: a technikai és az orvosi biológiai; az előbbi a szerves, az utóbbi pedig a vizes közegű mágneses folyadékokat részesíti előnyben.

#### *Mágneses folyadékok technikai és orvosi biológiai alkalmazása*

A technikai alkalmazásoknak több évtizedes a múltja, széles körben elterjedtek, mára már a mindennapi életünk részeivé váltak. Például a kicsi méretű hifi hangszórók kiváló hangminősége a membrán mágneses folyadékon (amely jó hővezető és rezgécscillapító) keresztül való felfüggesztésének köszönhető. A számítógépek merevlemezének tengelyén a mágneses folyadék tömítőgyűrű (liquid O-ring) biztosítja a belső tér tökéletes elzárását a környezettől. Precíziós vákuumtömítéseket gyártanak nagyvákuum olajközegű mágneses folyadék felhasználásával (Roseal Co., Székelyudvarhely). Mágneses folyadékokkal speciális nyomtatási feladatok is elvégezhetők, például az újabb kiadású amerikai dollárok mágnesesen érzékenyek, annak köszönhetően, hogy egyes karaktereket mágneses folyadékból készült festékekkel nyomtatnak. A magnetoreológiai folyadékokat rezgés/lengés csillapítására használják, luxusautóknál (például Cadillac Seville STS, Chevrolet Corvettes), mosógépek lengécscillapítására, felhőkarcolók földrengésvédelmére (például

a National Museum of Emerging Science Japánban), hidak szél gerjesztette lengésének csillapítására (például a Tungting (Dongting)-tő feletti híd Kínában).

A mágneses folyadékok diagnosztikai és terápiás orvosi alkalmazásának többsége még intenzív kutatási fázisban van. Az orvosi alkalmazások egyik alapvető követelménye, hogy a mágneses (nano)részecske biokompatibilis legyen. Ennek a követelménynek megfelel a magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), amelynek nincs mérgező hatása.

A szervezetbe juttatva a mágneses részecskék az ott található fehérjékkel azonnal kölcsönhatásba lépnek, és ez a kölcsönhatás dönti el későbbi sorsukat az élő rendszerben (Jedlovsky-Hajdú et al., 2012a). A nanorészecskék felületére tapadt fehérjék a sejtek felszínén lévő receptorokon képesek megkötődni, és ezzel előidézní a nanorészecskék sejtbé jutását, ily módon irányítva a felhalmozódást az egyes szervekben (Veiseh et al., 2010). A részecskék méretének meghatározó szerepe van. A 20 nm-nél kisebb (nem csupán mágneses, hanem bármilyen más szilárd) részecskék a vesén keresztül kiválasztódnak, míg a 30–150 nm-es mérettartományba esők a csontvelőtől kezdve a szíven át a tüdőig, szinte minden szervbe eljuthatnak. 150 nm-es részecskeméret felett a májban és a lépben halmozódnak fel a vérpályából történő kilépést követően (Veiseh et al., 2010). A májban és a lépben való felhalmozódásukat követő életútjuk (RES-sejtek, Kupffer-sejtek) nem teljesen tisztázott. A lizoszómákban is felhalmozódnak, ahol feltehetőleg a savas pH (pH=1–2) hatására bekövetkező oldódást követően a mágneses folyadék vastartalma a normál vasanyagcsere-folyamatba kapcsolódik be, kiürül, illetve vörösvértestek szintéziséhez használódik el (Wilhelm – Gazeau,

2008). A szervezetben megnövekedett vas mennyisége nem okoz zavart az anyagcserében (Alexiou et al., 2005). A részecskék mérete mellett a felületi borítottsága, töltése, hidrofilitása/hidrofobicitása stb. határozza meg a keringésből történő kiürülésüket. A részecskék mágneses tulajdonsága szerencsére számos biológiai alkalmazást tesz lehetővé. A mágneses részecskék orvosi biológiai felhasználásának négy nagy területe ismert: mágneses bioszeparáció, hatóanyag célba juttatása, kontrasztanyagként történő felhasználás diagnosztikai céllal és hipertermiás alkalmazás.

A különféle bioszeparációs technikák közül az egyik lehetséges megvalósítás a mágneses elválasztás, amelyet használnak is a molekuláris, a sejt- és a mikrobiológiában (Bahadur – Giri, 2003; Wilhelm – Gazeau, 2008). Sejteket vagy biomolekulákat választanak el mágneses tér alkalmazásával közvetlenül mágneses elválasztandó anyagok esetén (például vörösvértestek) vagy közvetetten a nem mágneses (például fehérjék, enzimek, DNS-, RNS-, IgG-) molekulák mágneses részecskéken való megkötése után.

A hatóanyag célba juttatásának elősegítésénél a gyógyszer-molekulát mágneses részecskékhez kapcsolják, majd a mágneses részecskéket kellően erős külső mágneses térrel a kívánt területre koncentrálik. A hatóanyag leadása a célozott területen történik meg (Alexiou et al., 2005).

A mágneses folyadékok *kontrasztanyagként* történő felhasználása MRI (mágneses rezonanciás képalkotás) diagnosztikai vizsgálatok során lehetséges (Bahadur – Giri, 2003; Jain et al., 2008; Wilhelm – Gazeau, 2008; Jedlovsky-Hajdú et al., 2012b). Az MRI a lágy részek/szövetek szerkezetének leképezésére képes diagnosztikai módszer. Előnye a többi szerkezetmeghatározási módszerrel

szemben, hogy lágy szövetek esetén jobb a felbontóképessége. A vizes közegű mágneses folyadékok nagy mágneses inhomogenitást okoznak mikrokörnyezetükben, ezzel növelve a kontrasztot a különböző szövetek között (Jain et al., 2008). A jelet befolyásoló nanorészecskék méretüktől függően más-más szövetben halmozódnak fel, így nagyobb felbontást tesznek lehetővé a különböző szövetek képi megjelenítésében. A mágneses tulajdonságok mellett a kapott kép kontrasztját nagymértékben befolyásolja a részecskék mérete, kölcsönhatása a mikrokörnyezettel, hidrofíli (vízkedvelő) jellegük, kristályossági állapotuk.

A diagnosztikai műszerpark folyamatos fejlődésével az egyes funkcionális és strukturális információt szolgáltató felvételek kombinálása jelentheti az orvosbiológia egyik legintenzívebben kutatott területét. Egyre több intézetben jelennek meg a PET/MRI (pozitronemissziós tomográfia/mágneses rezonancia képalkotás) készülékek, amelyek a szerkezeti információ mellett a szervezet metabolikus folyamatairól is felvilágosítást nyújtanak. A kontrasztanyagként történő felhasználás mellett egyre kifejezettebb az az igény is, hogy az alkalmazott mágneses részecskék ne csak diagnosztikai feladatot töltsenek be, hanem kombinálják a diagnosztikai és terápiás alkalmazhatóságokat. Az ilyen teranosztikai anyagok fejlesztése jelenleg is folyamatban van.

A kemoterápiás szerek mellett, kiegészítő terápiaként daganatos betegségek kezelése során gyakran alkalmaznak *hipertermiát*, ami a testhőmérséklet átmeneti emelkedését idézi elő. A terápia alapja, hogy a tumoros sejtek jóval érzékenyebbek a hőmérséklet emelkedésére, mint az egészséges sejtek. Mágneses folyadékok tumoros szövetekbe juttatásával lehetőség van lokális melegítésre. Nagyfrekvenciás

külső mágneses tér hatására a részecskékből hő szabadul fel, ha a hőmérséklet-emelkedés eléri a 42°C-ot, és megfelelő ideig eltart (legalább 30 perc), a sejtekben a fehérjék kicsapódnak, és a sejt elpusztul (Bahadur et al., 2003). A megfigyelések azt mutatják, hogy a daganatos sejtek már egyszeri hipertermiás kezelést követően képesek érzéketlenné válni a hőhatással szemben. Ez az ellenálló képesség 48 óráig tart. Ennek következtében a kutatók arra törekednek, hogy kombinálják a hipertermiát a hatóanyag (kemoterapikum) célzott szállításának módszerét (Bahadur et al., 2003).

#### Rugalmas mágnesek

Mágneses folyadékban hajlékony láncú polimert oldhatunk fel, majd kémiai reakcióval a polimert térhálósíthatjuk. Az eredmény folyadék tartalmú rugalmas térháló, vagy ha a mágneses folyadék közegét elpárologtatjuk, olyan polimerkompozitot kapunk, amelynek láncjai között helyezkednek el a parányi mágneses részecskék (Zrínyi et al., 1996).

Mindkét esetben a rugalmas tulajdonságot kapcsoljuk össze a mágnességgel. Mágneses tér hatására e különleges polimerkompozit alakja és rugalmas tulajdonsága megváltozik. E változást nagymértékben meghatározza a mágneses részecskék mérete és eloszlása a polimerben. A mágneses folyadékokhoz hasonlóan, külső tér jelenléte nélkül a térhálóba épített superparamágneses részecskék momentumainak tetszőleges irányultsága miatt a polimerrendszernek nincs eredő mágneses momentuma. Külső mágneses teret kapcsolva a mintára a mágneses momentumok kölcsönhatnak az alkalmazott térrel. Inhomogén térben a részecskék a nagyobb térerősség irányába mozdulnak el. Mivel a részecskék fizikai vagy kémiai kötésekkel

kapcsolódnak a polimerláncokhoz, ezért a rugalmas polimer igen jelentős mértékű (10–200%) deformációját okozzák. A deformáció iránya megegyezik az alkalmazott tér irányával. A mágneses tér által előidézett deformáció nem homogén, mivel a részecskékre ható lokális mágneses erő általában pontról pontra változik a térben, aminek következtében a lokális deformáció mértéke is más és más, a hely függvényében (Filipcsei et al., 2007). Homogén mágneses térben a részecskékre nem hat erő (így a polimerláncokra sem), de az azonos irányú mágneses momentumok kölcsönhatása miatt kismértvű (0,01–0,03%) deformáció érzékelhető a tér irányában. Ez a méretváltozás elhanyagolható mértékű az inhomogén térben történő deformációtól. A mágneses és a rugalmas tulajdonságok egyazon anyagon belül ötvözve teremtik meg a mágneses tér által vezérelt és kontrollált deformáció lehetőségét. Alkalmasan megválasztott mágneses tér segítségével a polimerek nyújthatók, hajlíthatók, forgathatók és összehúzhatók. Az alakváltozás jelentős mértékű és igen gyors. Az elemi mozgások mindegyike könnyedén megvalósítható. A 2. ábra mágneses térrel előidézett deformációkat

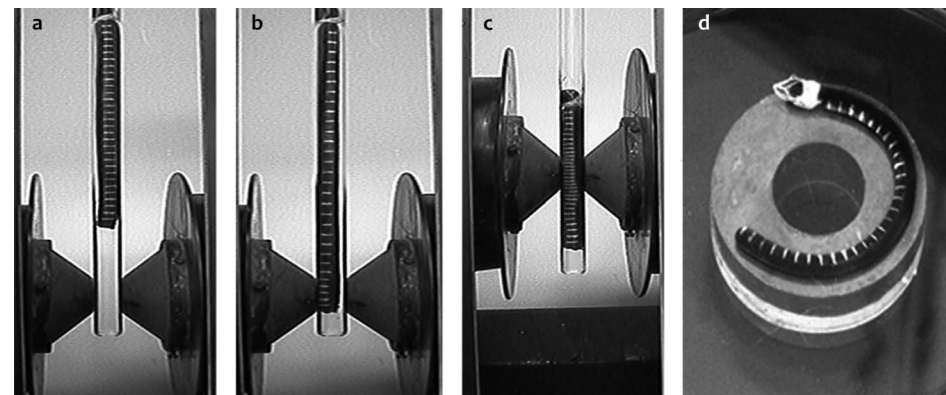
mutat. A mágneses tér megfelelő megválasztásával megvalósítható olyan eset is, amikor a polimer egyik része nyúlik, a mellette levő pedig összehúzódik. Ez lehetővé teszi számunkra a rendkívül bonyolult biológiai mozgások mímélését. Dinamikusan változó mágneses térben a gél alakja periodikusan változik, lehetővé téve olyan, új típusú gélgépek konstruálását, amelyek nem tartalmazzák a sűrűlódó alkatrészeket. Ez tág lehetőséget nyújt a lágyrobottechnika vagy lágy műszaki szerkezetek (például lágy és nedves dugattyúk, hengerek és szelepek) kifejlesztésére.

A mágneses térre érzékeny rugalmas polimerek számtalan felhasználási területét a robottechnika, a szabályozott gyógyszerhatóanyag-leadás és a kontrollált rezgés- és lengéscsillapítás fémjelzi.

#### Hazai kutatások

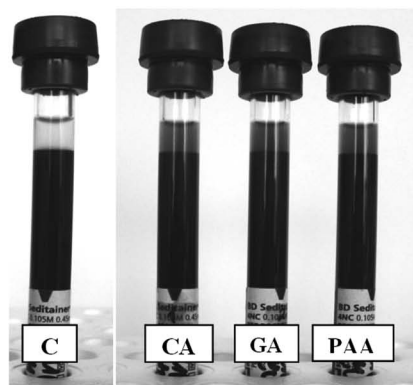
A Pannon Egyetemen Szalai István professzor vezetésével magnetoreológiai folyadékok elméleti és kísérleti vizsgálatával foglalkoznak. Ezekről a munkákról részletes beszámolót közölnek Bagi Tamás és munkatársai (2012).

Mágneses folyadékok orvosbiológiai alkalmazását célzó kutatások 2007 óta folynak



2. ábra • Mágneses gél alakváltozásai mágneses térben: a – eredeti állapot; b – nyújtás; c – összehúzás; d – hajlítás.

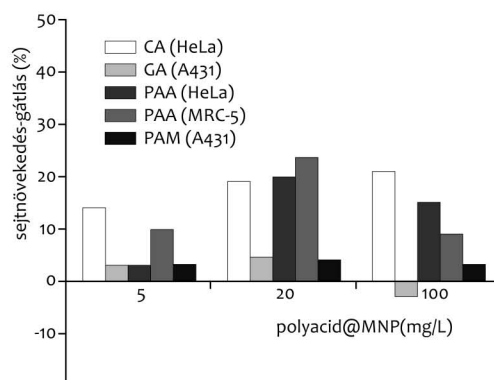
a Szegedi Tudományegyetem Vizes Kolloidok Kutatócsoportjában. Amellett, hogy a mágneses nanorészecskék nem lehetnek toxikusak, fontos, hogy összeférhető legyenek a biológiai médiummal (például intravénás alkalmazás esetén a vérrel). A kutatócsoportban – kémiai és kolloidstabilitásuk biztosítása érdekében – magnetit nanorészecskéken különféle természetes és szintetikus, kis- és nagymolekulájú polikarbonsavakból (pl. citrom-(CA), gallusz-(GA), poliakril-(PAA) savak, akrilsav-maleinsav kopolimer (PAM)) alakítják ki a kémiailag kötött, eltérő tulajdonságú védőrétegeket. Az összes védőréteg nagy negatív töltésmennyiséget hordoz, így a magnetit nanorészecskék kolloidstabilitása semleges körüli pH-kon is megfelelő, viszont csak a nagy molekulájú polikarbonsavak elegendően vastag rétege képes megakadályozni a részecskék összetapadását fiziológias körülmények között (Hajdú et al., 2012; Tóth et al., 2012). Humán vérminták ülepedési sajátságait (a vérsüllyedést) még viszonylag nagy koncentrációban sem befolyásolják (3. ábra, bal



oldali kép), utalva arra, hogy jól stabilizált magnetit nanorészecskék jelenlétében nem változik meg a vér aggregációs állapota, ami kritériuma pl. a vénás alkalmazhatóságnak.

A részecskék toxicitását egészséges és rákos sejtvonalakon tesztelve kiderült, hogy nem mutatnak szignifikáns hatást a sejtek szaporodására (3. ábra, jobb oldal), illetve eltérően viselkednek a sejtek felületén való megkötődés és a sejt belsejében történő felhalmozódás tekintetében (Szekeres et al., 2013). Az MRI-diagnózisban kontrasztfokozó ágensként való alkalmazhatóságukat tesztelve határozott eltéréseket lehetett azonosítani a védőréteg minőségétől függően (Jedlovsky-Hajdu et al., 2012b), a vas-oxid nanorészecskék esetén általánosan várható hatás mellett.

A jövőben a kutatásainkban nagyobb teret kapnak a terápiás alkalmazások, a mágneses hipertermia és az irányított hatóanyagszállítás, ez utóbbi például a rákellenes szerek lokalizált alkalmazása mágneses célba juttatással a kemoterápiás szerek súlyos mellékhatásainak csökkentése érdekében.



3. ábra • Balra: Vérminták ülepedési vizsgálata standard klinikai csövekben; egészséges donor vér kontroll (C) és különböző polikarbonsavval (CA, PAA, GA) burkolt magnetit hozzáadásával készített minták üledékei. Jobbra: Különböző polikarbonsavval (CA, PAA, GA, PAM) burkolt magnetit nanorészecskék sejtnövekedést gátló hatása az egészséges (MRC-5) és a rákos (HeLa, A431) humán sejtekre 5, 20 és 100 mg/l-es koncentrációban.

A Semmelweis Egyetemen működő Nanokémiai Kutatócsoport egyik fő kutatási területe a mágneses részecskék hipertermiás hatásának vizsgálata. A kutatások fő célja a szövetekbe juttatott mágneses részecskék által lokálisan termelhető hő nagyságának és terjedésének vizsgálata a szöveti struktúrát modellező gélrendszerek segítségével. A mágneses nanorészecskéket polimeroldattal elegyítve speciális szálrendszereket (mesterséges extracelluláris mátrix) hozunk létre az elektromos szálhúzás módszerével. Az így előállított hálók manipulálhatók külső mágneses térrel, miközben struktúrája támasztópilléreként szolgálhat a szöveti regeneráció során. A mágneses nanorészecskék kölcsönhatása az elektromos térrel makroszkopikus térszerkezet (3D) kialakítását teszi lehetővé (Jedlovsky-Hajdú et al., 2012c).

A mágneses folyadékok hazai kutatását tárgyalva meg kell említeni egy meghatározó nemzetközi kapcsolatot, *Ladislau Vékás* doktort, a Román Tudományos Akadémia levelező tagját, aki Temesváron az Akadémia Kutatóintézetében vezeti a Mágneses Folyadékok Laboratóriumát, és ennek a területnek

ő nemzetközi szaktekintélye. A temesvári kutatások a mágneses folyadékok hőskorában (az 1960-as években) kezdődtek, és a technikai, főleg a precíziós tömítésekben használt olajközegű mágneses folyadékok fejlesztésére fókuszáltak, amit számos, a Roseal Co. által hasznosított szabadalom fémjelez. Érdeklődésük az utóbbi évtizedben a vizes mágneses folyadékok fejlesztése felé fordult együttműködve a vizes kolloidokkal foglalkozó szegedi kutatócsoporttal, ahol Vékás doktor inspirációjára indultak meg a vizes mágneses folyadékok fejlesztését célzó kutatások. A közös munkáról, a mágneses nanorészecskék előállításáról és az orvosbiológiai alkalmazásáról 2011-ben jelent meg egy könyvfejezet (Vékás et al., 2011).

A szerzők köszönettel tartoznak a OTKA NK 84014 és NK 101704 számú pályázatok és a TÁMOP-4.2.2.A-11/11/KONV-2012-0047 számú projekt által nyújtott támogatásért.

Kulcsszavak: *mágneses folyadékok, rugalmas mágnesek, mágneses hipertermia, MRI, polimer térháló, polimer kompozit*

## IRODALOM

- Alexiou, Christop – Jurgons, R. – Schmid, R. et al. (2005): In Vitro and in Vivo Investigations of Targeted Chemotherapy with Magnetic Nanoparticles. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 293, 389–393. DOI:10.1016/j.jmmm.2005.02.036 • <http://magneticliquid.narod.ru/authority/365.pdf>
- Bagi Tamás – Horváth B. – Medvegy T. – Molnár G. – Kronome, G. – Szalai I. (2012): Léptetőmotor-forgórész elektro- és magnetoreológiai fluidumokkal csilapított lengéseinek kísérleti vizsgálata, *Magyar Tudomány*, Mobilitás és környezet, Melléklet, 2012. július, 114–122. • <http://www.matud.iif.hu/2012/07/MOBI/13.htm>
- Bahadur, Dharendra – Giri, Yotsnendu (2003): Biomaterials and Magnetism. *Sādhanā*. 28, 3–4, 639–656. DOI: 10.1007/BF02706451 • <http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02706451>

- Filipcsei Genovéva – Csetneki I. – Szilágyi A. – Zrínyi M. (2007): Magnetic Field-responsive Smart Polymer Composites (review). *Advances in Polymer Science, Oligomers, Polymer Composites, Molecular Imprinting*, Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg, 137–189. DOI 10.1007/12\_2006\_104 • [http://www.pharmtech.sote.hu/pharma/sites/default/files/AdvPolymSci\\_07\\_206\\_137\\_review.pdf](http://www.pharmtech.sote.hu/pharma/sites/default/files/AdvPolymSci_07_206_137_review.pdf)
- Hajdú Angéla – Szekeres M. – Tóth I. Y. – Bauer R. A. – Mihály J. – Zupkó I. – Tombácz E. (2012): Enhanced Stability of Polyacrylate-coated Magnetite Nanoparticles in Biorelevant Media. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 94, 242–249. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2012.01.042 • [http://www.academia.edu/1549011/Enhanced\\_stability\\_of\\_polyacrylate-coated\\_magnetite\\_nanoparticles\\_in\\_biorelevant\\_media](http://www.academia.edu/1549011/Enhanced_stability_of_polyacrylate-coated_magnetite_nanoparticles_in_biorelevant_media)

- Jain, Tapan K. – Richey, J. – Strand, M. – Leslie-Pelecky, D. L. – Flask, C. A. – Labhasetwar, V. (2008): Magnetic Nanoparticles with Dual Functional Properties: Drug Delivery and Magnetic Resonance Imaging. *Biomaterials*. 29, 4012–4021. • <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2593647/>
- Jedlovsky-Hajdú Angéla – Baldelli Bombelli, F. – Monopoli, M. P. – Tombácz E. – Dawson, K. A. (2012a): Surface Coatings Shape the Protein Corona of SPIONs with Relevance to Their Application in Vivo. *Langmuir*. 28, 14983–14991 DOI: 10.1021/la302446h
- Jedlovsky-Hajdú Angéla – Tombácz E. – Bányai I. – Babos M. – Palkó A. (2012b): Carboxylated Magnetic Nanoparticles as MRI Contrast Agents: Relaxation Measurements at Different Field Strengths. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 324, 3173–3180. DOI: 10.1016/j.jmmm.2012.05.031
- Jedlovsky-Hajdú A. – Varga Zs. – Juriga D. – Molnár K. – Zrínyi M. (2012c): Biokompatibilis anyagok: mesterséges mátrixok és nanorészecskék. *Magyar Tudomány*. 6, 39–47. • <http://www.matud.iif.hu/2012/06/SOTE/06.htm>
- Odenbach, Stefan (2006): Ferrofluids. Ch. 3. In: Buschow, Kurt Heinz Jürgen (ed.): *Handbook of Magnetic Materials* Vol. 16. Elsevier, Amsterdam
- Szekeres Márta – Tóth I. Y. – Illés E. – Hajdú A. – Zupkó I. – Farkas K. – Oszlanczi G. – Tislavicz L. – Tombácz E. (2013): Chemical and Colloidal Stability of Carboxylated Core-shell Magnetite Nanoparticles Designed for Biomedical Applications. *International Journal of Molecular Sciences*. 14, 14550–14574. DOI:10.3390/ijms140714550 • <http://www.mdpi.com/1422-0067/14/7/14550>
- Tóth Ildikó Y. – Illés E. – Bauer R. A. – Nesztor D. – Zupkó I. – Szekeres M. – Tombácz E. (2012): Designed Polyelectrolyte Shell on Magnetite Nanocore for Dilution-resistant Biocompatible Magnetic Fluids. *Langmuir*. 28, 48, 16638–16646.
- Veisoh, Omid – Gunn, J. W. – Zhang, M. (2010): Design and Fabrication of Magnetic Nanoparticles for Targeted Drug Delivery and Imaging. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 62, 284–304. • <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2827645/>
- Vékás Ladislau – Tombácz E. – Turcu, R. – Morjan, I. – Avdeev, M. V. – Krasia-Christoforou, T. – Socoliuc, V. (2011): Synthesis of Magnetic Nanoparticles and Magnetic Fluids for Biomedical Applications. In: Alexiou, Christop (ed.): *Nanomedicine – Basic and Clinical Applications in Diagnostics and Therapy*. Vol. 2. Else Kröner-Fresenius Symp. Karger, Basel, 35–52. • <http://books.google.hu/books?id=AaA7AQAAQB-AJ&pg=PA3&lpg=PA3&dq=Nanomedicine+%E2%80%93+Basic+and+Clinical+Applications+in+Diagnostics+and+Therapy.&source=bl&ots=F-aUYw4nyh&sig=ijxDJjMoxnwbT3rEKsroytAgNos&hl=en&sa=X&ei=dQbtUprKcb7yAO4s4CIDg&ved=0CDoQ6AEwAg#v=onepage&q=Nanomedicine%20%E2%80%93%20Basic%20and%20Clinical%20Applications%20in%20Diagnostics%20and%20Therapy.&f=false>
- Wilhelm, Claire – Gazeau, Florence (2008): Universal Cell Labelling with Anionic Magnetic Nanoparticles. *Biomaterials*. 29, 3161–3174. • <http://dx.doi.org/10.1016/j.biomaterials.2008.04.016>
- Zrínyi Miklós – Barsi L. – Büki A. (1996): Deformation of Ferrogels Induced by Nonuniform Magnetic Fields. *The Journal of Chemical Physics*. 104, 20, 8750–8756. • [http://www.pharmtech.sote.hu/pharma/sites/default/files/jchemphys\\_96\\_104\\_8750\\_magn\\_gel.pdf](http://www.pharmtech.sote.hu/pharma/sites/default/files/jchemphys_96_104_8750_magn_gel.pdf)
- URL: [http://science.nasa.gov/headlines/y2003/02apr\\_robotblood.htm](http://science.nasa.gov/headlines/y2003/02apr_robotblood.htm)

# A TRANSRAPID MÁGNESVASÚTI RENDSZER ÉPÍTÉSI ÉS ÜZEMI JELLEMZŐI

Kazinczy László

egyetemi docens,

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Út- és Vasútépítési Tanszék  
lkazinczy@gmail.com

## Bevezetés

A vasúti üzemek műszaki újdonságait áttekintve és elemezve arra a következtetésre juthatunk, hogy a kötöttpályás közlekedés a 20-21. sz. fordulóján ismét forradalmi változásokat eredményez az emberi helyváltoztatás körülményeiben. Ez a vasút második forradalmának tekinthető. Egy fejlődési spirál mentén ugyanis olyan új megoldások létrejöttek lehetünk tanúi, amelyek minőségileg és mennyiségileg egyaránt az első forradalom jellemzői voltak (új energiák felhasználása, soha nem látott méretű műtárgyak megjelenése, minden korábbinál nagyobb sebességek elérése stb.).

A napjainkban zajló forradalmi változások talán egyik legmarkánsabb eleme a mágnesvasút üzemszerű megjelenése. A mágneses lebegtetés és továbbítás a közlekedésben merőben új távlatokat nyit az energiafelhasználás, a környezetvédelem, az eljutási idők stb. tekintetében.

A mágnesvasúti közlekedés legkifejlettebb formája a Németországban kifejlesztett Transrapid rendszer, amely az üzemi próbákon túljutva ma már menetrendszerű tömegközlekedési feladatokat is ellát Kínában.

## A Transrapid rendszer előzményei és fejlődésének rövid története

A mágneses lebegtetés és hajtás elvét 1934-ben Hermann Kemper szabadalmaztatta Németországban. A megvalósítás gondolata először az 1960-as években Németországban, az Amerikai Egyesült Államokban és Japánban vetődött fel.

A II. világháborút követően a kutatásokat és fejlesztéseket a legdinamikusabban Németországban végezték. Az MBB-konzern már 1971-ben egy 660 m hosszú kísérleti pályán a gyakorlatban is megvalósította a mágneses járműmeghajtás elvét. A fejlesztési tevékenységbe számos német nagyvállalat (Deutsche Bundesbahn, ThyssenKrupp, Siemens stb.) bekapcsolódott. Mindezek eredményeként 1979-ben engedélyezték a személyszállításra alkalmas első jármű üzemét is (a hamburgi világkiállításon a Transrapid 05 sorozatú jármű több ezer látogatót szállított).

A Transrapid járművek fejlesztésére ezt követően 1983-ban Észak-Németországban létesült egy kutatóbázis, próbapályával együtt (Emsland). Az itt végzett tevékenység eredményeként jelentek meg a Transrapid 06, 07, 08 sorozatú járművek. A kutatási tevékenység

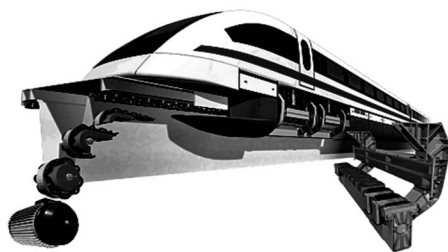
egyik legkézzelfoghatóbb eredménye a Kína számára leszállított o8 sorozatú szerelvények, amelyek 2002 óta Sanghajban közlekednek menetrendszerű forgalomban.

#### A rendszer környezeti hatásai

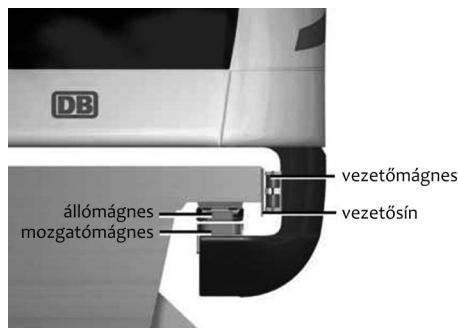
Közismert, hogy a vasúti üzem a zaj- és rezgőhatások, az energiafelhasználás, a károsanyag-kibocsátás tekintetében – a fajlagos mutatókat tekintve – egy-két nagyságrenddel kedvezőbb, mint a közúti, illetve a légi közlekedés. A mágnesvasút azonban még a kerék-sín rendszerű vasutaknál is pozitívabb képet mutat. Kiemelendő ugyanakkor, hogy az üzem alapjául szolgáló mágneses erőteret tekintetében is veszélytelen a mágnesvasút (a Transrapid jármű belsejében észlelt mágneses térerő egytizede a hajszáritó és egyötöde a televízió által sugárzott értéknek). A betonoszlopokkal alátámasztott gerendákon vezetett mágnesvasúti forgalom területigénye a szárazföldi közlekedési ágak között a legkisebb (Transrapid: 2 m<sup>2</sup>/m, nagy sebességű adhéziós vasút töltésen vezetve: 14 m<sup>2</sup>/m, közúti közlekedés autópályán: 37 m<sup>2</sup>/m).

#### A rendszer működésének alapelvei

A mágnesvasúti járművek lebegtetésének és mozgatásának körülményei a villanymotorok



1. ábra • A Transrapid mágnesvasút lebegtetésének és mozgatásának körülményei a villanymotor működésének fizikai alapelve alapján



2. ábra • Az elektromágnesek elhelyezkedésének körülményei a pályán, illetve a járművön

működésének fizikai alapelveiből vezethetők le. A villanymotoroknál a mágneses kölcsönhatás forgatja az állórészben (stator) elhelyezkedő rotort. Ha a hengeres villanymotort a palást mentén gondolatban felvágjuk és kiterítjük, akkor két hosszú elemet kapunk, amelyek a tekercsekbe vezetett áram mágneses terének hatására egymás felett elmozdulnak (lineáris motor).

A Transrapid mágnesvasúti rendszerben a stator a pályán (a pálya teljes hossza mentén), a rotor pedig a járművön van elhelyezve (1-2. ábra). A jármű alsó szerkezete nyeregvasútszerűen körbeoleli a pályaszerkezet vízszintes gerendáit (így a pályaelhagyás is kizárt). A kocsiszekrény haladásra merőleges (keresztirányú) pozicionálását az ún. vezető mágnesek végzik. A járművön és a pályán lévő mágnesek közötti távolság üzem közben kb. 10 mm, ennek állandóságára szenzorok ügyelnek. A pályára szerelt vezeték (pályamágnesek) csak a szerelvények hosszát éppen meghaladó szakaszon kerülnek áram alá, így csökkentve az energiavesztést.

#### A járművek műszaki jellemzői

A Transrapid járművek a szállítási kapacitás és a maximális sebesség tekintetében a TR 05

jellemző	TR 05	TR 06	TR 07	TR 08
üzembe helyezés éve	1979	1983	1983	1999
járműegység száma	2	2	2	3
szerelvényhossz (m)	26 200	54 200	51 700	78 800
elért legnagyobb sebesség (km/h)	75	418	450	501
legnagyobb gyorsulás (m/s <sup>2</sup> )	0,8	0,8	0,85	0,8
legkisebb körívsugár (m)	1000	1000	1000	1000
ülőhelyek száma	68	192	196	311
önsúly (kN)	308	1024	920	1495

1. táblázat • A TR 05 – TR 08 sorozatú járművek legfontosabb műszaki jellemzői

sorozattól kezdődően váltak az üzemi (menetrendszerű) körülmények számára alkalmazhatóvá (1. táblázat). A kocsiszekrény külső megjelenése a TR 05 sorozat után már lényeges módon nem változott. A TR 05 sorozatú kétegységű szerelvény a Hamburgban 1979-ben megrendezett közlekedési kiállítás látogatóit szállította a vásár területén. A TR 06 – TR 07 sorozatú járművek csak az emslandi próbapályán futottak. A TR 08 sorozatú, három egységből álló szerelvények Sanghajban közlekednek. A sorozat legújabb tagját, a TR 09 sorozatú járművet pedig a müncheni üzem számára fejlesztették ki (3. ábra).

A Transrapid rendszerben nemcsak a személyszállításra, hanem az árutovábbításra is felkészültek a tervezők. Elgondolásuk szerint az áruk szállítása konténerekben történne. Megjegyzendő ugyanakkor, hogy a személyszállításra tervezett járművek keresztmetszeti szelvényénél (járműszerkezeti szelvény) éppen a légi közlekedésben szabványosított konténerek méreteit vették alapul.

#### A pálya jellemzői

Kétvágányú pálya esetén a vágánytengely távolságértéke a sebesség függvényében változik:  $V \leq 300$  km/h-nál 4,40 m,  $V \leq 400$

km/h-nál 4,80 m,  $V \leq 500$  km/h-nál 5,10 m. A pálya úrszelvényének szélessége és magassága is a járművek tervezett sebességétől függ. A kétvágányú mágnesvasúti pályatestet övező zajvédő falak távolságát, illetve védősávok szélességét az úrszelvény szélességének, illetve a vágánytengely távolságának összege adja.

Mágnesvasutak helyszínrajzi íveinek túl-emelése ( $\alpha$ ) alatt a pályasík keresztirányú (sugárirányú) döntését értjük fokban kifejezve. A kerék-sín rendszerű üzemekkel összehasonlítva a Transrapidnál a pálya keresztirányú döntésének mértékét kizárólag kényelmi szempontok határozzák meg. Így a pálya keresztirányú dőlése körívekben akár 12°, különleges esetben 16° is lehet (a Köln–Frank-



3. ábra • A müncheni üzem számára kifejlesztett TR 09 sorozatú szerelvény vezérlőkocsija

furt közti nagy sebességű vasútvonalon a túlemelés legnagyobb értéke 170 mm, ami  $\alpha = 6,5^\circ$  keresztirányú hajlásnak felel meg). A jelentős mértékű pályadöntés azzal magyarázható, hogy a járművek nyíltvonali megállása nem valószínű, mert a rendszert úgy tervezték, hogy azok vészhelyzetben is el tudnak jutni az előre kiépített megállóhelyre.

A körívek sugarait a szerelvények sebességének ( $V$  [km/h]), a megengedett szabad oldalgyorsulás legnagyobb értékének ( $a_0$  [m/s<sup>2</sup>]), valamint a pálya keresztirányú legnagyobb döntésének ( $\alpha$  [°]) figyelembevételével kell meghatározni. A 2. táblázat a különböző járműsebességek esetén alkalmazható legkisebb körívsugár ( $R_{\min}$  [m]) értékeit tartalmazza  $\alpha = 12^\circ$  és  $\alpha = 16^\circ$  keresztirányú pályadöntések esetén,  $a_0 = 1,5$  m/s<sup>2</sup> megengedett szabad oldalgyorsulás figyelembevételével.

A Transrapid üzemeknél az egyenes és a köríves pályaszakaszok között általában hullámos görbületfüggvényű átmenetiíveket alkalmaznak (szinuszoid átmenetív), amelyek hosszánál egyrésztől 0,5 m/s<sup>3</sup> értékű oldalgyorsulás-változást, másrésztől 0,08 °/m nagyságú túlemelés-változást vesznek figyelembe.

$V$ [km/h]	$R_{\min}$ [m]	
	$\alpha = 12^\circ$	$\alpha = 16^\circ$
100	215	178
200	860	715
300	1937	1610
400	3444	2862
500	5381	4473

2. táblázat • A különböző járműsebességeknél alkalmazható legkisebb helysínrajzi körívsugár értékek  $\alpha=12^\circ$  és  $\alpha=16^\circ$  keresztirányú pályadöntések esetén,  $a_0 = 1,5$  m/s<sup>2</sup> megengedett szabad oldalgyorsulás figyelembevételével

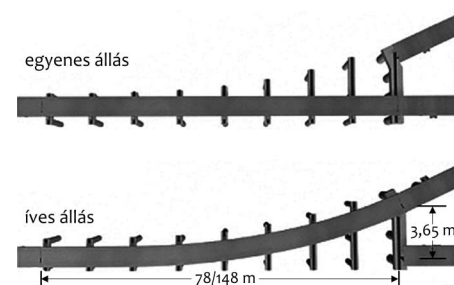
A Transrapid rendszerénél alkalmazható legnagyobb emelkedő  $e_{\max} = 10\%$ , amely tulajdonképpen egy nagyságrenddel nagyobb érték, mint a kerék-sín rendszerű vasutak hasonló jellemzője.

A mágnesvasút nyomvonalát úgy kell kijelölni, hogy lehetőleg a már meglévő nyomvonalas létesítményekkel párhuzamosan, azokhoz közel haladjon. A Berlin–Hamburg között tervezett Transrapid üzem esetén például a 292 km hosszú vonal 192 km-es hosszán (a teljes vonal 65%-a) sikerült ún. létesítményi folyosóban elhelyezni a pályát. A 192 km-es hosszából 77 km-en (26%) az autópályával, 80 km-en (27%) a vasúti pályával 35 km-en (12%) pedig a nagyfeszültségű távvezetékekkel haladnak párhuzamosan a vágányok.

A tervezési előírások szerint a kétvágányú Transrapid pálya tengelye a 2x2 sávú autópálya tengelyétől (1–1 leállósávval) 30–40 m-es, a kétvágányú vasúti pálya tengelyétől 15 m-es, a nagyfeszültségű elektromos távvezeték tengelyétől 21 m-es minimális távolságra helyezhető el.

A Transrapid közlekedési rendszerénél a mágneses lebegtetés és továbbítás fizikai körülményei, valamint az üzem biztonsága a környezettől történő teljes elválasztást igényel. Ennek következtében (a műtárgyakat kivéve) a járművek ún. magasvezetésű pályán közlekednek. A pálya szerkezete az alapozásokból, az oszlopokból és az oszlopokon nyugvó gerendákból áll. A gerendák anyaga kezdetben még acél volt. Az acélszerkezetek kivitelezése azonban rendkívül munka- és időigényes volt, a gyártási pontosság betartása pedig igen jelentős erőfeszítésekbe került. Így a továbbiakban szinte csak betonból készítették pályagerendákat.

A Transrapid rendszer kitérői lényegében egyetlen fő elemből, egy acél alapanyagú vál-



4. ábra • A kitérők vázlatos alaprajza egyenes és íves (eltérítő) állásban

tórészből állnak. Az acéltartók szerkezetileg úgy vannak kialakítva, hogy azok a pálya síkjában jelentős mértékben hajlékonyak. Így amíg a váltó eleje befogott, rögzített helyzetű, addig a váltó többi keresztmetszete az állítóerők hatására oldalirányban a tervezett mértékben elmozdul. A váltó végén már olyan mértékű az oldalirányú elmozdulás, hogy az a tervezett ívsugárban közvetlenül csatlakozik az eltérítő ágat követő vágányhoz. A kitérők

alaprajzát szemlélteti a 4. ábra egyenes és eltérítő állásban.

Az emslandi próbapályán (TVE) három kitérőt építettek be. Ezek mindegyike ún. kétutas szerkezet, amely egy egyenes és egy íves ágból áll. Sanghajban a járműtelepet kivéve ugyancsak kétutas kitérőkön zajlik a forgalom. A járműtelepen azonban a három csarnoki szerelővágányhoz történő közvetlen behaladást egyetlen ún. háromutas kitérő biztosítja (5. ábra).

Az emslandi próbapálya két nyíltvonali, nagy sebességű kitérőjének eltérítő ágában a pálya összetett geometriájú. Lényegében egy átmenetiíves körívben fekszik a váltórész, amennyiben az eltérítő irányban áll. A Transrapid rendszerű kitérőkben – a többi vasúti ágazattal megegyező módon – természetesen nem alkalmaznak túlemelést.

A kitérőket a járműterhelés, a szélnyomás, valamint a váltórész önsúlya miatt – tekintettel az acélszerkezet szükséges hajlékonyságára



5. ábra • Háromutas kitérő Sanghajban a járműtelep tároló- és szerelővágányainak bejáratánál

– a folyópályához képest sűrűbben kell alátámasztani. A kitérők váltórészének mozgatása a jelentős (70–150 m) szerkezeti hosszak és a megkívánt pontos irány- és fekszint-geometriák miatt egyidejűleg több keresztmetszetben az előbb említett támaszokon történik. Az állítóművek munkájának vezérlését, összehangolt működését, továbbá ellenőrzését számítógép végzi. A kitérők állítása a gyakorlatban elektromechanikus vagy hidraulikus módon történik. Az állítási idő kb. 18 másodperc. A kitérő oldásától a szabad jelzés kiadásáig kb. 30 másodperc telik el.

A kerék-sín rendszerű vasutakhoz hasonlóan a mágnesvasutaknál is alkalmazható a tolópad a járművek járműtelepi vágányok közti mozgásánál.

A Transrapid vonalakon az adhéziós vasutaknál leggyakrabban alkalmazott vágánykapcsolatok fordulnak elő, így a vágányelágazás, az egyszerű vágánykapcsolat és a kettős vágánykapcsolat (6. ábra). A kétvágányú pályát összekötő egyszerű vágánykapcsolatban – mint az a 6. ábrán is jól látható – egy mozdulatlan, egyenes tartószakasz fekszik a vágányok között, amelyhez mindkét oldalról a

kitérők mozgó szárjai csatlakoznak a vágányok között beállított vágányút esetén.

#### *Az alagutak kialakításának jellemzői*

Az alagutak tervezésekor biztosítandó legkisebb belső keresztmetszeti felületet a járművek üzemi sebessége befolyásolja. A különböző sebességtartományokhoz tartozó minimális keresztmetszeti területeket (m<sup>2</sup>-ben) egy- és kétvágányú alagutak esetében a 3. táblázat tartalmazza.

#### *A működő és a tervezett üzemek jellemzői*

*Működő üzemek • Az emslandi próbapálya.* 1969 és 1979 között a Transrapid rendszer fejlesztését – a TR 01-től a TR 05 sorozatú járművekig bezárólag – különböző helyszíneken végezték. A további hatékony kutatások azonban egy állandó helyszínű kutatóközpontot igényeltek, amelyhez kapcsolódó próbapályán már 300–500 km/h sebességű futamok is elvégezhetőek.

Ilyen előzmények alapján épült ki két ütemben (1. ütem: 1980–1983, 2. ütem: 1984–1987) az észak-németországi Emslandnál a 31,5 km hosszú próbapálya. A magas vezetőségű

	V [km/h]				
	≤200	≤300	≤350	≤400	≤500
egyvágányú pálya	29	39	53	70	86
kétvágányú pálya	58	78	107	nem tervezhető	

3. táblázat • Egy- és kétvágányú alagutak tervezésénél sebességtartományonként minimálisan biztosítandó keresztmetszeti területek (m<sup>2</sup>)

oszlopokra fektetett gerendákkal (acél- és betonszerkezetek egyaránt épültek) kialakított pálya egyvágányú (7. ábra) mintegy 12 km hosszon egyenesben fekszik, amelynek végein egy-egy fordulóhurok található 1690 m és 1000 m nagyságú ívsugarakkal (a hurkok teljes hossza 19,5 km). Az egyenes pályaszakasz közepén ágazik ki a kutatóközpont épületéhez, illetve a tárolócsarnokhoz vezető vágány. A pálya mentén három kitérő fekszik (67, 132 és 149 m sugarakkal). A kísérleti pályán ez idáig elért legnagyobb sebesség 450 km/h (TR 07: 1993).

*A sanghaji üzem •* A mágnesvasút első és máig egyetlen menetrendszerű üze­me Sanghajban valósult meg. A 2012. december 31-én megnyitott 30 km hosszú, kétvágányú vonal

a városközpontot (Longyang Road) köti össze a Puddong nemzetközi repülőtérrel. Az egyik forgalmi vágányról pedig nyíltvonali kiágazással egy 3 km hosszú, egyvágányú pálya vezet a járműtelepre. Az 1999-re kifejlesztett, ötkocsis Transrapid 08 sorozatú szerelvények 7–8 perc alatt teszik meg az utat. Az első vonatok 6:45 / 7:02-kor, az utolsók 21:40 / 21:42-kor indulnak a végállomásokról (2013). A gyakorlatban megvalósítható legrövidebb követési idő 10 perc. Délelőtt 9:00 és 10:45, illetve délután 15:00 és 15:45 óra között a szerelvények maximális sebessége 430 km/h, egyébként 300 km/h.

Mí­nthogy az üzemmód iránt igen nagy az érdeklődés (2005-ben ötmillióan, 2010-ben tízmillióan utaztak, 2020-ban pedig



6. ábra • Kettős vágánykapcsolat Sanghajban a Longyang Road állomás előtt



7. ábra • A Transrapid emslandi próbapályájának északi hurokfordulója



mintegy harmincmillió utas prognosztizálható a városban), ezért néhány évvel ezelőtt elhatározás született a vonal belvárosi végétől való meghosszabbításáról, amely egy városhatáron belüli elágazással egyrészt a városban található másik repülőtér (Hungcsiao [Hong Qiao] repülőtér), másrészt a Sanghajtól mintegy 180 km-re fekvő Hangzsut kapcsolja a meglévő pályaszakaszhoz.

*Tervezett üzemek* • A Transrapid első tervezett üzeme Berlint kötötte volna össze Hamburggal (a 284 km-es távolságot 53 perc alatt tették volna meg a szerelvények 400 km/h maximális sebesség mellett). Az elképzelésbe azonban beleszólt a politika, ugyanis a német parlament a magas (kb. 2,9 milliárd EUR) beruházási költség miatt a kilencvenes évek

közepén nem adta meg a hozzájárulását a munkálatok elkezdéséhez.

Ezután több kisebb, elsősorban városi jellegű üzem tervei láttak napvilágot (Berlinben, Münchenben, Frankfurtban, Dortmundban terveztek Transrapid vonalakat). E tervek közül a legkidolgozottabb a müncheni, ahol a főpályaudvart és a repülőtérrel kötnék össze egy 37,4 km hosszú, kétvágányú vonallal. Az 1,8 milliárd EUR építési költségű vasút pályája 23,3%-a (8,7 km) alagútban, 60,1%-a (22,5 km) terepszinten, 16,6%-a (6,2 km) terepszint felett haladna. 350 km/h maximális sebesség mellett kb. 10 perc lenne a menetidő. A szerelvények tízpercenként követnék egymást.

Az Európában tervezett további vonalak közül elsősorban a Berlin–Varsó–Moszkva, a

Berlin–Krakkó–Kiev és a Berlin–Budapest–Thessaloniki viszonylatok említendők meg. A kontinensen még Hollandiában (Amszterdamból kiinduló körvasút: 230 km 45 perc menetidővel) és az Egyesült Királyságban (London–Glasgow: 800 km 160 perc menetidővel) vetődött fel a mágnesvasút létesítésének gondolata. Európán kívül pedig még az Amerikai Egyesült Államokban, valamint az Egyesült Arab Emírségben foglalkoznak a Transrapid üzem esetleges megvalósításával.

#### *A Transrapid építési költségei*

Mínt hogy ezidáig csak egyetlen üzemszerűen működő pálya épült a világon (Sanghaj), ezért

az építési költségek csak a becslések szintjén határozhatók meg. A 4. táblázat 2002-es ár-szinten a tervezett müncheni üzem költségtételeit tartalmazza. A 37,4 km hosszúságú kétvágányú vonal összköltsége 1391,5 millió EUR, fajlagos költsége 37,21 millió EUR/pálya-km. Ezen összeg mintegy 1,5-2,0 szerezse az adhéziós vasutak építési költségének. A 4. táblázat nem tartalmazza a járművek beszerzési költségét. A háromkocsis TR 09 járművek beszerzési ára 41,1 millió EUR/szerelvény (2002-es áron).

Kulcsszavak: *mágneses lebegtetés, magasvasút, különleges vasút, nagy sebességű vasút*

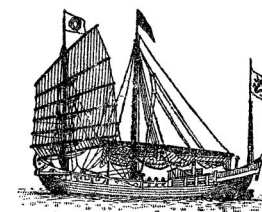
#### IRODALOM

Heinrich, Klaus – Kretschmar Rolf (1989): *Magnetbahn Transrapid – Die neue Dimension des Reisens*. Hestra-Verlag, Darmstadt  
Schach, Rainer – Jehle, P. – Naumann, R. (2006):

*Transrapid und Rad-Schiene-Hochgeschwindigkeitsbahn*. Springer-Verlag, Berlin • [http://download.springer.com/static/pdf/624/bfm%253A978-3-540-28335-5%252F1.pdf?auth66=1390803462\\_oab3926fd b227e6399945boa88577d75&ext=.pdf](http://download.springer.com/static/pdf/624/bfm%253A978-3-540-28335-5%252F1.pdf?auth66=1390803462_oab3926fd b227e6399945boa88577d75&ext=.pdf)

megnevezés	költség 2002 (millió euró)	százalékos arány	fajlagos költség (millió euró/pályakilométer)
földvásárlás	29,9	2,1	0,80
alépitmény-építés	58,5	4,2	1,56
alagútépítés	338,6	24,3	9,05
hídépítés	3,5	0,3	0,09
felépitmény	308,9	22,2	8,26
építőgépek	61,8	4,4	1,65
biztonsági berendezések	52,6	3,8	1,41
üzemeltetési rendszer (bizt. ber. technika nélkül)	44,4	3,2	1,19
energiaellátás	27,9	2,0	0,75
meghajtás	192,6	13,8	5,15
zajvédelem	5,5	0,4	0,15
tervezés	181,5	13,0	4,85
közvetett költségek	85,8	6,2	2,29
összesen	1391,5	100	37,21

4. táblázat • A Transrapid tervezett müncheni üzemének építési költségei (2002)



# A MAGNETOHIDRODINAMIKA

Abonyi Iván

a fizikai tudományok kandidátusa, ny. c. egyetemi docens

## Bevezetés

*Magnetohidrodinamika* helyett, amely meglehetősen hosszú idegen szavak töredékéből készült elnevezés, a nemzetközi szakirodalomban is teret hódított az *mhd* rövidítés. Most mi is ezt használjuk *mhd*-elmélet formájában annak a tudományágnak a megnevezésére, amelyben elektromos áram vezetésére alkalmas – esetleg különálló elektromos töltésekkel, elektromos vagy mágneses dipólusokkal is bíró részecskékből álló – közeg áramlását tanulmányozzák, amikor a közegre külső és belső eredetű mágneses erőter hat. A másik fontos körülmény, hogy ebben a tárgykörben a hidrodinamika is tág határok között értendő; nemcsak folyadékokról, hanem gázokról is szó van, sőt kimondottan „ritka” – vagyis kis sűrűségű – gázok is tartoznak ide. Az *mhd*-közeg tehát jól vezeti az elektromos áramot, e tekintetben hasonló a folyékony fémekhez. Az ilyen közeget a szakma a rövidség kedvéért *plazmának* nevezi. Az elnevezést a biológiából kölcsönözték, ahol a *sejtplazma* elnevezés volt használatban közel kétszáz éve, a sejtben úszkáló nagyobb anyagdarabok az ionok szerepére emlékeztettek, a könnyebbek az elektronokra. Tény, hogy a *plazma* a fizikában körülbelül az elektron felfedezése és szerepének felismerése óta terjedt el.

Bármely folyadék vagy gáz a semleges klasszikus állapotban is elérheti legalább a

részleges ionizáltság állapotát (és így már-már hasonlíthatni kezdhet a valódi, jelentős töltésváláskor jelentkező plazmaállapothoz).

Ennek oka, hogy az egyensúlyi állapot közelében lévő folyadék vagy gáz részecskéinek (atomjainak vagy molekuláinak) is lehetnek olyan nagy sebességű egyedei (ha kevesen is), amelyek ütközése során az átadható energia eléri az ionizációs energiát. Elegendő a Maxwell-féle sebességeloszlásra gondolni. Legfeljebb régebben nem voltak olyan érzékeny műszerek, amelyek ezeket a parányi töltésmozgásokat hatásaikból kimutathatták volna. Ezért csak a nagy vagy inkább a nagyon is nagy tartományok keltették fel az érdeklődést például az elektromosan töltött részecskenyalábok (a gyorsítók) megjelenésével vagy a meteorológiai jelenségek kutatásában (a villám vizsgálata).

A 20. sz. első harmadában jelentek meg azok az úttörő próbálkozások, amelyek az *mhd*-közeget komoly vizsgálat tárgyává tették. Eleinte főleg a geofizika, a légkör fizikája elé került a probléma, hogy valamilyen fura tulajdonságú közeg állja útját a hosszuhullámú rádiózásnak. Egy kis ideig még várni kellett, mire a meteorológiai, a geofizikai, a részecskfizikai (gyorsítóépítési) igények összehozták az új tudományt. Volt, aki a légköri viszonyokra kiépítette a magnetoionikus elméletet (rádiózás céljaira). Az *mhd*-elmélet csak az 1940-es években kezdett megszilárdulni.

## Az *mhd*-elmélet alaptörvényei

Mint várható, az *mhd*-elmélet alaptörvényei a hidrodinamikából és az elektrodinamikából erednek, az első adja a közeg mozgástörvényeit, a második – jellegzetesen átalakítva a Maxwell-egyenleteket – az erőter törvényeit.

A közeg jellemzője a sűrűség:  $\rho = \rho(\vec{r}; t)$  ( $r$  a helyfüggésre,  $t$  az időfüggésre utal, a nyíl vektoriális mennyiséget jelez); az áramlási sebesség:  $\vec{v} = \vec{v}(\vec{r}; t)$ . Máris látható, hogy a hidrodinamikai rész a közeget lényegében *folytonos eloszlásúnak* tekinti. (Igazából az állapotegyenletig és az Ohm-törvényig fel sem merül az anyag atomosságának koncepciója.) A közeget folytonos eloszlásúnak tekinti az elmélet, ezért az anyag megmaradását (és a folytonos eloszlást) megfogalmazó kontinuitási egyenlet lesz az első törvény:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad (1)$$

ahol  $\nabla$  a hely szerinti deriválás műveleti szabályát jelenti

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial}{\partial z}$$

(a Descartes-féle koordináta-rendszerben). A mozgásegyenlet most is az impulzus megmaradását, illetve változási törvényét fogalmazza meg. A bal oldal az impulzus sűrűségének a megváltozása, a jobb oldal a közegre ható erő-sűrűségek eredője. Itt a közeg belső tulajdonsága, a  $p$  nyomás és a mágneses erőter járuléka szerepel majd. Ez a járuléka az  $\vec{E}$  elektromos térerősség és  $\vec{B}$  mágneses indukció vektorából származik. A plazma ideális esetben nagyon sok mozgó töltés és igen kevés semleges részecske függetlenül nyüzsgő keveréke. A lényeg, hogy egy-egy töltés függetlenül mozog, ennek során az erőterek a mozgó töltésre  $\vec{E}^* = \vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}$  együttes elektromos térrel hatnak ( $\vec{E}^*$  a  $\vec{v}$  sebességgel mozgó

töltésre ható elektromos térerősség – ez az a térerősség, amely az álló laboratóriumban észlelhető  $\vec{E}$ -ből és  $\vec{B}$ -ből adódik a Lorentz-transzformáció segítségével, de még mindig  $|\vec{v}| \ll c$  esetén, ahol  $c$  a fény terjedési sebessége.) A plazma feltételezett nagy elektromos vezetőképessége miatt ez az  $\vec{E}^*$  nagyon hamar kiegyenlítődik, nyugodtan mondhatjuk, hogy „rövidre záródik”, és ezért az indukciós Maxwell-egyenlet az *mhd*-ban a

$$\vec{B} = \nabla \times (\vec{v} \times \vec{B}) \quad (2)$$

alakot ölti. Ehhez járul még az a Maxwell-egyenlet, amely szerint nincs mágneses egypólus:

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (3)$$

Most már a külső erőter szerepének tisztázása után valóban felírhatjuk a mozgásegyenletet:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \otimes \vec{v}) = -\nabla p - \frac{1}{\mu_0} \nabla \times (\vec{B} \times \vec{B}) \quad (4)$$

(A  $\vec{v} \otimes \vec{v}$  a diadikus szorzatot jelenti, az ilyen szorzás mátrixot eredményez.) Eddig az (1) egy komponense, a (2) három komponense, a (3) egy komponense és a (4) három komponense összesen nyolc egyenletet ad. Csak-hogy a (2) és a (3) nem függetlenek egymástól. Így a hét egyenlet nem elegendő a  $\rho$ ,  $\vec{v}$ ,  $\vec{B}$  és a  $p$ , vagyis összesen nyolc függvény megadására, találnunk kell még egy törvényt.

Ez a feladat önmagában is különös. Plazmák általános állapotegyenlete lenne az elfogadható válasz. Ilyen azonban – legnagyobb sajnálatunkra – nincsen. Mint láttuk, a plazmák igen tág területet foglalnak magukba, amelybe sűrű folyadékok (higany) és igen kis sűrűségű gázfészeségek is beletartoznak. A plazmák *mhd*-tárgyalása során tehát el kell fogadni azt a közelítő megoldást, hogy az

egyes plazmafajták állapotegyenletét a maguk helyén úgy és azzal közelítjük, amivel ott a legtöbbre megyünk. Így a magas hőmérsékletek, illetve a kis sűrűségek (például interplanetáris gázok) esetére az állapotegyenletet az ideális gázokra vonatkozó összefüggéssel közelítjük. Ezt most a

$$\frac{p}{\rho\kappa} = \text{konstans, vagyis}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{p}{\rho\kappa} \right) + (\vec{v} \cdot \nabla) \left( \frac{p}{\rho\kappa} \right) = 0 \quad (5)$$

adiabatikus egyenlettel tesszük (és a magas hőmérsékletekre, kis sűrűségekre gondolunk). (Itt  $\kappa$  az adiabatikus exponens, a fajhőviszony).

Az (1) – (5) egyenletekhez természetesen kezdeti és peremfeltételek is szükségesek, amelyek itteni bemutatását elkerüljük. Azt kell ugyanis megjegyeznünk, hogy az egyenletrendszer klasszikus matematikai értelemben vett analitikus megoldása a gyakorlat sokszor igen egyszerűnek tűnő esetekben sem igazán könnyű. Ugyanakkor az elméleti ügyeskedések, bármennyire szellemesek is (például az „erőmentes mágneses erőtér” kombinációi), mégsem csábítóak. Elvben sem lehetünk elégedettek olyan rendszerekkel, mint az erőmentes mágneses erőtér, mert ez azonnal felborul, amint a rendszerbe plazma is kerül. Nem marad más megoldás, mint (a) megvizsgálni az alapegyenletek általános tanulságait, (b) olyan konkrét esetekre vonatkozóan, amelyeket gyakorlatilag meg lehet (vagy éppen meg kell) valósítani, a számítógépes megoldáshoz kell fordulni.

*Néhány szó az alapegyenletek általános következményeiről*

Az első ilyen természetű általános következmény az ideális plazma és a mágneses erőtér közös sajátosságai: a mágneses erőtér befagyása a



1. kép • Hannes O. G. Alfvén (1908–1995)  
(forrás: Wikipédia)

plazmába (ami akkor tökéletes, ha a plazmában az ütközésektől el lehet tekinteni). Ami a plazmafizika, ezen belül az mhd-elmélet történetét illeti, ez igen fontos felismerés volt. Hannes Alfvén (1908–1995) svéd fizikus egyik eredménye (fizikai Nobel-díj, 1970) a megállapítás. Minthogy ez megint elméleti megfontolás eredménye, idéznünk kell a matematikai tételt. Vizsgáljuk egy  $\vec{A}$  vektormennyiség  $S$  felületen vett fluxusának időbeli változását, amikor az  $S$  véges nagyságú felület határgörbéje a közegben  $\vec{v}$  sebességgel maga is mozog. A paraméteres integrálok elmélete szerint ekkor az átalakítás így fest:

$$\frac{d}{dt_s} \int_S \vec{A} \cdot d\vec{s} = \int_S \left\{ \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} + \vec{v} \cdot (\nabla \vec{A}) - \nabla_{\times} (\vec{v} \times \vec{A}) \right\} \cdot d\vec{s}$$

Esetünkben  $\vec{A}$  szerepét a  $\vec{B}$  vektor tölti be, ekkor először is  $\nabla \cdot \vec{B} = 0$ , a (2) egyenlet miatt viszont a jobb oldal nulla. Így a  $\vec{B}$  indukciófluxus a folyadékkal együtt mozgó zárt felületen nem változik az időben. Ennek a körülménynek az elnevezése a befagyási tétel. Természetesen az ütközések szerepét

mindig meg kell gondolni. A korrekció kiszámítható: a fluxust az ütközések időben csökkentik, a  $v_m$  mágneses viszkozitás elnevezésű mennyiség játszik ebben szerepet. A folyamatot diffúzió típusú egyenlet írja le, ahol a diffúziós állandónak megfelelő  $v_m$  a vezetőképesség reciprokával arányos. Tehát nagy vezetőképesség esetén valóban kicsi a korrekció.

A másik nevezetes általános következmény a mágneses térerősség (az indukcióvektor) hozzájárulása a nyomáshoz. Ennek érzékeltetése érdekében a mozgásegyenlet (4) alakjában a mágneses járulékok átírjuk (a kifejtési tétel alapján):

$$-\frac{1}{\mu_0} \vec{B} \times (\nabla \times \vec{B}) = -\frac{1}{2\mu_0} \nabla B^2 + -\frac{1}{\mu_0} (\nabla \vec{B}) \vec{B}$$

Ennek következtében észrevesszük, hogy a mágneses ponderomotoros erő (az elektromágneses impulzus forrassűrűsége) két részre bomlott, az egyik, az

$$-\frac{1}{2\mu_0} B^2$$

a nyomás mellé járul, mint minden irányban egyenlő nagyságú feszültséget adó járulékok, a másik pedig az

$$\frac{1}{\mu_0} (\nabla \vec{B}) \vec{B}$$

olyan erőt ad, amelyik csak az erővonal irányában, annak megfeszítésére törekszik. Az

$$\frac{1}{2\mu_0} B^2$$

kifejtést mágneses nyomásnak nevezzük.

*Energiatétel az mhd-ban*

Miként a fizika több fejezetében, itt is sarkalatos fontosságú tételek következnek az alapegyenletekből. A szokásos műveletekkel ki lehet mondani pl. az mhd energiatételét a

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{1}{2} \rho v^2 + \frac{p}{\kappa-1} + \frac{B^2}{2\mu_0} \right) + \nabla \cdot \left( \frac{1}{2} \rho v^2 \vec{v} + \frac{\kappa}{\kappa-1} p \vec{v} + \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B} \right) = 0$$

alakban. Itt az első tagban az mhd-közeg energiasűrűségének időbeli változása szerepel. Látható, hogy a mozgási és a kompressziós energia mellett most a mágneses energia is szerepel. A második tag az egyenletben az energiaváltozás ki- és beáramlás okozta változásáról ad számot. A  $\nabla$  (nabla) mögötti kifejezés az energiaáram-sűrűség vektora (benne felismerhető a Poynting-vektor).

Természetesen nincs elvi akadálya annak, hogy az impulzus vagy az impulzusnyomaték megmaradási tételét az energiatételhez hasonló alakban kimondjuk (csak ott sokkal bonyolultabbak a számítások). A megmaradási tételek általában megkönnyíthetik bizonyos problémák elemzését, miként azt más területeken tapasztaltuk.

*Hullámjelenségek az mhd-ban*

Összehasonlítva a fizika más fejezeteivel – főleg a hidrodinamikával – ugyanolyan problémákra bukkanunk az mhd-elméletben is a hullámjelenségek területén. Ennek elsőrendű oka az alaptörvények nemlineáris jellege. A természetes kutatói reakció, hogy ugyanazokat a módszereket próbálták alkalmazni, amelyek a hidrodinamika története során sikerre vezettek. Ezért a rezgések, majd a zavarok tovaterjedésének viszonyaiban lassan követni kezdték a hidrodinamikai eljárásokat. Ilyen a linearizálás, vagyis olyan kis amplitúdójú rezgések viszonyainak a vizsgálata, amelyeknél az amplitúdó négyzete az egyenletekben a többi taghoz képest elhanyagolhatóan tűnik. Ez az eljárás az alapvető mennyiségeket két részre bontja, egy állandóra és egy kis

korrekcióra, amelynek négyzetét már elhanyagolhatónak veszi. Természetesen nem szabad elfeledkezni arról, hogy a számítások végén ellenőrizni kell, vajon konzekvens-e az eljárás, nem lesz-e később, vagy máshol a rezgés olyan, ami ellentmond a kiindulási feltevésnek.

A kis amplitúdójú rezgések tulajdonságainak vizsgálata tehát abban áll, hogy a  $\mathbf{Q}$ ,  $p$ ,  $\vec{v}$ ,  $\vec{B}$  állapotjelzőket ( $\mathbf{Q}_0 + \mathbf{Q}_V p_0 + p_p \vec{v}_0 + \vec{v}_V \vec{B}_0 + \vec{B}_V$ ) alakban vesszük fel, vagyis keressük, hogy állandó ( $\mathbf{Q}_0$ ,  $p_0$ ,  $\vec{v}_0$ ,  $\vec{B}_0$ ) állapotra ültetett kis amplitúdójú zavarok megoldások lehetnek-e, és milyenek. A második hatványú vagy két első hatványú szorzatát tartalmazó tagokat elhanyagolva, nem véletlen, hogy homogén elsőrendű differenciálegyenlet-rendszert kapunk. Ennek megoldása akár Laplace-, akár Fourier-transzformációval egyszerűen megoldható. Utóbbival nyerhető megoldást az

$(\mathbf{Q}_V p_p \vec{v}_V \vec{B}_V) = (\bar{\mathbf{Q}}, \bar{p}, \bar{v}, \bar{B}) \times \exp i(K \vec{r} - \omega t)$  alakban keressük, ahol  $(\bar{\mathbf{Q}}, \bar{p}, \bar{v}, \bar{B})$  állandók,  $\vec{K}$  a hullámvektor (a hullám terjedési irányát tűzi ki, és a hullámhossz reciprokát tartalmazza),  $\omega$  a rezgés körfrekvenciája. A megoldás létezését a

$$\Theta^2 \left[ \Theta^2 - \frac{(\vec{K} \vec{B}_0)}{\mu_0 \mathbf{Q}_0} \right] \left[ \Theta^4 - \left( a^2 + \frac{B_0^2}{\mathbf{Q}_0 \mu_0} \right) \Theta^2 + a^2 \frac{(\vec{K} \vec{B}_0)^2}{\mu_0 \mathbf{Q}_0} \right] = 0$$

egyenletet (az amplitúdókra nyert homogén lineáris egyenletrendszer determinánsa mint a nemtriviális megoldás létfeltétele) garantálja. Itt  $\Theta = (\vec{v}_0 \vec{K} - \omega)$  és  $a = (\kappa p_0 \mathbf{Q}_0^{-1})^{1/2}$ . Látható, hogy lényegében két hullámfajta számára kínál ez az eljárás megoldást, az egyik a

$$\Theta_A = \pm \frac{\vec{K} \vec{B}_0}{\sqrt{\mathbf{Q}_0 \mu_0}} = \pm v_A |K|$$

a másik a

$$\Theta_{G,L} = \pm |K| \left\{ (a^2 + v_A^2 + a v_A)^{1/2} \pm (a^2 + v_A^2 + a v_A)^{1/2} \right\}$$

értéknek felel meg. Az elsőhöz ( $\Theta_A$ ), amit *Alfvén-hullámnak* nevezünk, olyan (előre vagy hátra haladó) hullám felel meg, amelyet *sűrűség- és nyomásingadozás nem kísér*, csak együtt rezeg a sebességvektor és a mágneses indukció vektorának komponense:  $\vec{v}_A = \pm \vec{B}_A (\mu_0 \mathbf{Q}_0)^{-1/2}$ . Ez merőben új jelenség az mhd-elméletben! A  $\Theta_G$ , illetve  $\Theta_L$  gyököknek megfelelő hullámtípus is új jelenség, csak az Alfvén-hullámnál sokkal bonyolultabb, mert a hozzájuk tartozó hullámok mind sűrűség- és nyomásingadozással, mind sebesség- és indukcióvektor-ingadozással járnak. A  $\Theta_G$  gyors (mert nagyobb), a  $\Theta_L$  lassú (mert kisebb sebességű), ezért *gyors és lassú mhd-hullámoknak*, vagy *magnetoakusztikai hullámoknak* nevezzük. Az Alfvén-hullámot felfedezőjéről nevezték el, Alfvén ezt a hullámtípust ismer-te fel először.

A hullámtípusok elvi kontrollja (hogy terjedésük során megmarad-e a kis amplitúdójú jellegük) természetesen könnyen elvégezhető. Hiszen a  $\Theta_A$  és a  $\Theta_G$ , illetve  $\Theta_L$  mind valós, így az előállításuk szinuszos. Amennyiben az mhd alapegyenleteiben viszkózus vagy ohmikus veszteségekre vezető tagokat is figyelembe veszünk, ez a helyzet megváltozik, a megoldások csillapított rezgések tovaterjedését fogják leírni. Ellenkező eset is előfordulhat, amikor az egyenletekben nem energianyelő, hanem energiabecsatoló tagok jelennek meg. Ekkor instabilitások léphetnek fel.

*Szakadási felületek az mhd-elméletben*

Az a tény, hogy az eredeti mhd-egyenletek nemlineáris jellegűek, okvetlenül magában hordozza a bonyolultabb „rezgésformák” egész arzenálját. Ezek közül az alábbiakban csak két fajtát mutatunk be a részletek kifejtése nélkül. Ezek a gyenge szakadási felületek, illetve az erős szakadási felületek (lökéshullá-

mok vagy egyszerűbben: lökések). A már bemutatott kis amplitúdójú hullámokkal összehasonlítva ezeknél az az újdonság, hogy a gyenge szakadási felületek esetében a mennyiségek folytonosan változnak ugyan, de a meredekségük (hely, idő szerint) ugrik, vagyis az első differenciálhányadosok szenvednek ugrást. A lökések esetében pedig már maguk az mhd-mennyiségek sem folytonosak, hanem azok is ugranak.

Előbb a gyenge szakadásokról. Ez a jelenségcsoport – a bonyolult matematikai elnevezése ellenére – meglepően egyszerű. A klasszikus hidrodinamikában ilyen például egy hajó mozgásánál tapasztalhatunk az egyébként szélszemes, zavartalan tó felszínén. Akkor azt látjuk, hogy a hajó egyenletes mozgását a környezetében egy sajátos V alakú hullámtér kíséri, amelynek a hegyénél van a hajó. A hullámtér előtt nyugodt a vízfelszín, a V alak után látható a hajó mozgása keltette hullámtér zónája, ez a V maga a gyenge szakadási felület. Ennek egyik oldala (az eleje) nyugodt, a másik már hullámos, a vízfelszín azonban folytonos eloszlású a V alakú felületen való átmenet során. Az ideális mhd-elméletből a gyenge szakadási felületek mozgására vonatkozó törvényszerűségekből levezethető egy lineáris algebrai egyenletrendszer, amely a legegyszerűbb esetben homogén. Ennek a megoldására ismét egy determináns eltűnése adódik. Így nem véletlen és nem is csodálatos, hogy a lehetséges gyenge mhd szakadási felületek ugyanolyan típusúak, mint a kis amplitúdójú hullámformák.

Áttérve most az erős szakadási felületekre, az első lényeges dolog, amit meg kell állapítanunk, az az, hogy a hidrodinamikához hasonlóan az mhd is rendkívüli mértékben idealizálja a viszonyokat, érzésünk szerint sokkal inkább, mint az eddigiekben. Matema-

tikai szempontból még nem látszik a kiindulás annyira erőltetettnek. Képzeliünk el egy felületet az mhd-folyadékban, amelynek az egyik oldalán a mennyiségek értékei az egyes indexet kapják, a másik oldalán a kettest, és vezessük be a  $Q$  mennyiség ugrását (a lökést) a  $[Q] = Q_2 - Q_1$  alakban. Maga a felület, ahol a feltevés szerint az ugrás (lökés) megtörténik, legyen a  $\varphi = \varphi(\vec{r}, t) = 0$  alakban adott. Akkor a lökésfelület a vonatkoztatási rendszerben

$$c = \frac{\dot{\varphi}}{|\nabla \varphi|}$$

sebességgel mozog. Az mhd-egyenletekből levezethető, mekkorák lesznek, és milyen összefüggésnek tesznek eleget a szereplő mennyiségek. Ezek a relációk sorban a következőknek adódnak.

Ha a lökés felületének normálisa, akkor

$$[B_n] = 0,$$

$$[\mathbf{Q} \Theta \vec{v}] - \left[ p + \frac{B^2}{2\mu_0} \right] \vec{n} + \left[ \frac{I}{\mu_0} \vec{B} B_N \right] = 0,$$

$$[\mathbf{Q} \vec{B}] + [\vec{v} B_N] = 0,$$

$$[\mathbf{Q} \Theta] = 0$$

$$\left[ \Theta \left( \frac{I}{2} \mathbf{Q} v^2 + \frac{p}{\kappa - 1} + \frac{B^2}{2\mu_0} \right) \right] - \left[ \left( p + \frac{B^2}{2\mu_0} \right) v_n \right] - \left[ \frac{I}{\mu_0} (\vec{v} \vec{B}) B_n \right] = 0,$$

ahol  $\Theta = c - v_n$ , vagyis a lökésfelület koordináta-rendszerhez képest mért sebessége és a felületre merőleges áramlási sebesség (amit szintén a koordináta-rendszerhez viszonyítunk) különbsége; tehát a  $\Theta$  a lökésfelület mozgási sebessége a folyadékhoz képest.

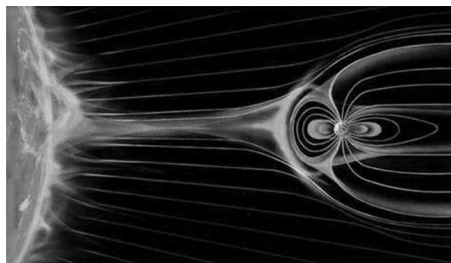
A lökési amplitúdók meglehetősen bonyolult egyenletrendszernek tesznek eleget. Igazából nem lehet maradéktalanul olyan kibontást találni, hogy fenntartások nélkül elérjük a lökésekre vonatkozó homogén line-

áris egyenletrendszer, csak olyan megállapítások árán, amelyek a sűrűség és a térerősség tekintetében mindkét oldal értékének kombinációját tartalmazó mennyiségeket vezetnek be. Természetesen világos, hogy ez a tárgyalást kényszerhelyzetbe hozza. Hogy mégis ezt választjuk, azt azzal indokoljuk, hogy ezen az áron jutunk el egy olyan egyenletrendszerhez, amely a lökéstípusokat (közelítőleg) ugyanolyan kategóriákba sorolja, mint amilyeneket az előző hullámtípusoknál láttunk. Tehát meg tudjuk ekkor állapítani, hogy vannak Alfvén típusú és magnetoakusztikai típusú (gyors és lassú) lökések. De hangsúlyoznunk kell, hogy ez közelítő megoldás! Aminek nyilvánvalóan az az oka, hogy a lökés nem tisztán egyedül hidrodinamikai vagy mhd-folyamat. Magában a lökésfelületben – amely a konkrét esetekben (például az interplanetáris térben) azért távolról sem „matematikai felület” (az interplanetáris térben ezek több kilométer vastagok is lehetnek!). A lökésfront belső szerkezete ily módon otthona lehet sokféle fizikai, kémiai stb. folyamatnak, tehát már kifelé mutat az ideális keretek közül.

A közelítő osztályozás egyik végeredménye, amelyet a hidrodinamikából változatlanul megörököl az mhd, a *Zemplén Győző* (1879–1916) nevét viselő tétel. Ez kimondja, hogy spontán körülmények között csak kompressziós lökések létezhetnek, vagyis a nagyobb nyomású helyektől a kisebb nyomás felé terjed a lökés. Természetesen a figyelmet érdemes a *spontán* szóra koncentrálni!

*Az mhd és a tapasztalati háttér*

Főleg az űrkutatás igen tevékeny fél évszázada mutatta meg, hogy még az ideális mhd körülményei is megmutatkoznak a valóságban. Ezeket említjük mint kimondottan mhd-effektusokat. A tapasztalati háttér leg-



2. kép • A Föld magnetoszférája

látványosabb körülményei a Föld magnetoszférájának fokozatos felismerése során tárultak fel. Ezek szerint a Napból eredő szoláris szél felcsomagolja a földi mágneses erőteret, és a Föld igazán híg, a földfelszíntől mért nagy magasságokban is jelen levő gázait – amelyek ott ionizáltak –, és egy harang alakú dinamikus egyensúlyi felületet hoz létre. Ezen belül helyezkedik el a Föld az átalakult mágneses erőterével. A Földnek a Nappal átellenes oldalán nagy (több 10 földszugárnyi) távolságra még mindig érzékelhető ez a tartomány. A határfelületet az ember alkotta űreszközök át- meg



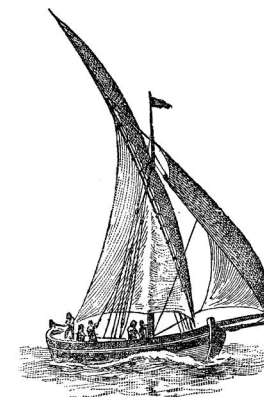
3. kép • James Alfred van Allen (1914–2006)

átjárják, és folyamatosan mérik a viszonyokat. Ez a felület egy valódi lökés (2. ábra).

A tapasztalati háttér a magnetoszférán belül a földi sugárzási övezetekre (van Allen-övek) terjed még ki. Ezeket már az első rakétakísérletek során felfedezték (3. ábra). A sugárzási övezetek dinamikus képződmények, amelyek a kozmikus sugárzásból töltődnek fel, és a földi mágneses tér tartja a részecskék ide-oda mozgását bizonyos ideig rabságban.

A részecskék ennek a mozgásnak a során légkör sűrűbb rétegeibe ütközve kiesnek a zónák rabságából, de újabb részecskék a behatoló kozmikus sugárzásból ismét – állandóan – fel is töltik a zónákat. Ilyen zónák létezését azóta más bolygóknál is kimutatták.

Kulcsszavak: *mágnesség, plazma, Maxwell-egyenletek, magnetohidrodinamika, mhd-hullámok*



# KOZMIKUS MÁGNESÉG

Szabados László

az MTA doktora, tudományos tanácsadó,  
MTA CSFK Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet  
szabados@konkoly.hu

*A mágneses mező az egész univerzumot áthatja. A gravitáció mellett a mágnesség szerepe is lényeges az égitestek kialakulásában és a kozmikus jelenségek létrejöttében.*

## Bevezetés

A 20. század elején egyetlen égitestről tudták, hogy mágneses tere van – saját bolygónkról, a Földről (lásd Kovács Péter – Heilig Balázs – Csontos András tanulmányát e cikkgyűjteményben). A csillagászoknak a mágnesség tanulmányozásakor ugyanazt a nehézséget kell leküzdeniük, mint bármely egyéb vizsgálataik során: „csillagászati” távolságokból, pusztán a megfigyelt objektum fényét észlelve kell megállapítaniuk mindazt, amire kíváncsiak. A mágnesség tekintetében a Föld naprendszerbeli bolygótársai a kivételek, amelyeket a legutóbbi évtizedekben már ember alkotta bolygószoondák is felkerestek, így lehetővé vált, hogy a bolygók mágneses mezejét műszerekkel közvetlenül is kimérjék. A Föld típusú bolygók közül a Merkúrnál és a Marsnál mutattak ki mérhető mágneses mezőt, de a földinél jóval gyengébbet, míg a Vénusznál a magnetóterek nem észleltek mágneses teret. Az óriásbolygók (Jupiter, Szaturnusz, Uránusz és Neptunusz) mágneses mezejének szerkezete a földmágneses mező-

hez hasonló, sőt e bolygók felszínére jellemző télerősség is hasonló, kivéve a Jupitert, amelynek mágnessége a földinél jóval erősebb. A Jupiter magnetoszférájának létéről közvetve is meggyőződhetünk a bolygó pólusai környékén időnként kialakuló sarki fény láttán (1. ábra). Az ilyen aurora-jelenséget – miként a Földön is – a mágneses erővonalak mentén száguldó, elektromosan töltött részecskék becsapódása kelti a bolygó atmoszférájának alacsonyabb rétegeiben.

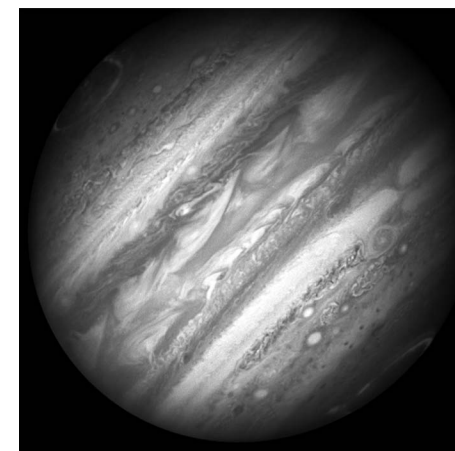
*Induljunk a kályhától! –  
A Nap mágneses mezeje*

A mágneses mező távolból történő érzékelésének egyik módja a színekpvonatokra gyakorolt hatás kimutatása. Pieter Zeeman holland fizikus 1897-ben mutatta ki, hogy mágneses tér hatására az atomi színekpvonatok felhasadnak (e felfedezéséért ő lett az egyik első fizikai Nobel-díjas). Ha a mágneses mezőben az erővonalak a látóiránnyal párhuzamosak, a vizsgált forrás színekpvonatai két komponensre bomlanak, amelyek egymással ellentétes irányban cirkulárisan polarizáltak. Ha pedig a látóirányra merőlegesek az erővonalak, háromfelé hasad a színekpvonat, és lineáris polarizáció lép fel. A Zeeman-effektus az atom kötélekébe tartozó elektronok (töltött részecskék!) energiaszintjeinek felosztódásával

magyarázható. A komponensek közötti hullámhosszkülönbség (ami az energiakülönbségnek felel meg) a mágneses télerősséggel és magával a hullámhosszal is arányos.

Mivel a Nap a legfényesebbnek látszó égitest, természetesen ennek a csillagnak a színekpében észlelték elsőként a Zeeman-effektust az égi források közül: George Ellery Hale amerikai csillagász 1908-ban a napfoltok felől érkező sugárzás spektrumát vizsgálva mutatta ki a színekpvonatok felhasadását és polarizációját. A felhasadás mértékéből a napfoltokban uralkodó mágneses mezőre  $0,2-0,3$  T értéket kapott. A napkorong foltmentes vidékein akkor még nem sikerült a mágneses mező kimutatása, de ma már ismert, hogy a Nap egészét egy gyenge globális mágneses mező is áthatja.

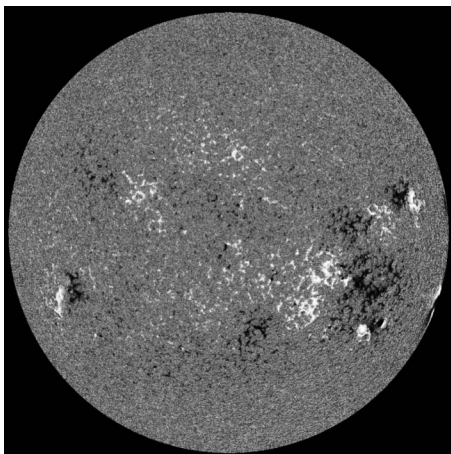
Sőt a *naptevékenység* néven ismert összetett jelenségsorozatot éppen a Nap mágneses mezeje váltja ki. A naptevékenység legkorábbi ismert elemei a napfoltok. Ezek a Nap felszíne alól törnek elő a fotoszférába, a Nap légkörének legalsó rétegébe. A napfoltok sötéteknak látszanak, mert hőmérsékletük alacsonyabb, mint a környezetüké. A környezettel való energia-egyensúly kívánja így, mivel a termikus energia alacsonyabb értékét a mágneses energia térfogategységre eső magasabb értéke kompenzálja. A napfoltok gyakoriságában észlelhető változás ciklikus jellege több mint másfél évszázada ismert. A Nap aktivitására a napfoltok csoportos megjelenése jellemző. Egy-egy napfoltcsoportban két domináns folt van, amelyek nagyjából a Nap egyenlítőjével párhuzamosan húzódnak. Ha a Nap tengely körüli forgási iránya alapján előre levő (vezető) folt „északi” mágneses polaritású, akkor a mögötte haladó (követő) folt „déli” polaritású. A Nap egyenlítőjétől északra egy időben mindig azonos a



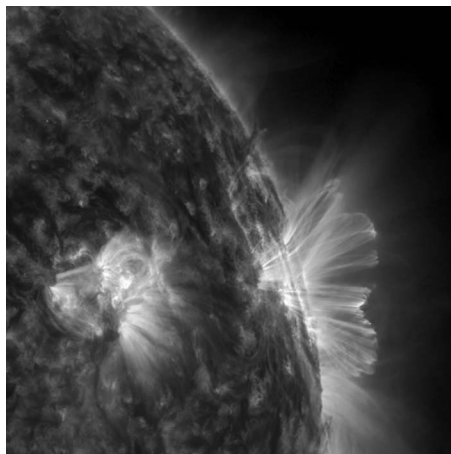
1. ábra • A Jupiter magnetoszférájáról árukkodik a bolygó pólusainál megjelenő sarki fény. A Hubble-űrtávcsővel optikai és ultrabolya hullámhosszakon készített felvételek egyesítése (forrás: NASA, ESA, Hubble Heritage Team, STScI/AURA).

vezető és követő folt mágneses polaritásának sorrendje, ugyanakkor a Nap déli félgömbjén ezzel éppen ellentétes a foltcsoportok domináns foltjainak polaritása. A mintegy tizenegy éves aktivitási ciklus végén megfordul a Nap mágneses mezeje, és a következő ciklusban a foltcsoportokban olyan lesz a mágneses polaritás megoszlása, mint az előző ciklusban a másik féltekén volt. A mágneses polaritásokat is figyelembe véve így valójában kb. 22 évig tart egy naptevékenységi ciklus. A Nap felszínének mágneses térképén jól kirajzolódnak az aktivitási centrumok, amelyeknek látható megnyilvánulásai a napfoltok (2. ábra).

A naptevékenységet sok más látványos jelenség is kíséri. Ezek közé tartoznak a robbanásszerű energiefelzabálással járó napkitörések (flerek), valamint a Nap atmoszférájának legkülső rétegében, a kiterjedt napkoronában (3. ábra) megfigyelhető protuberanciák és a nagy mennyiségű anyag kidobó-



2. ábra • A Nap korongjáról a Zeeman-effektus alapján készített magnetogram (SOHO-MDI felvétele, forrás: NASA, Goddard Space Flight Center).



3. ábra • A napkorona anyagának mozgása jól kirajzolja a mágneses tér lokális szerkezetét. A TRACE űrszonda felvétele 17,1 nm-es hullámhosszon (forrás: NASA).

dásával járó koronakitörések (*coronal mass ejection*).

Napkitörések alkalmával a napfoltokat is tartalmazó aktív vidékeken a bonyolult szerkezetű mágneses tér erővonalai „átkötődnek”, a térszerkezet leegyszerűsödik, ami jelentős energiafelszabadulással jár. A koronakitörések során nagy sebességgel távozó anyag ugyan csak sok energiát visz magával, és amerre ez az anyagfelhő (tulajdonképpen megerősödött napszél) halad, a helioszféra állapotára befolyást gyakorol (lásd Erdős – Balogh, 2012).

A naplégkör fotoszféra és korona közötti vékony rétegéről, a kromoszféra felvett színképben bizonyos emissziós vonalak erőssége jelzi a naptevékenység pillanatnyi mértékét; ennek fontosságára később visszatérünk.

A naptevékenység egyes jelenségeire még nem sikerült kielégítő fizikai magyarázatot találni, de az elfogadott tény, hogy az aktivitást a Nap mint mágneses dinamo hajtja. A Nap belsejében az ott uralkodó magas hőmér-

séklet miatt az anyag ionizált, plazma állapotú, és a napfelszín alatt áramló plazma mágnességet kelt, illetve a már meglévő mágneses mezőt felerősíti.

A Nap mágneses jelenségeihez nagyban hozzájárul az a tény, hogy maga a Nap nem merev testként forog a tengelye körül: míg az egyenlítőjénél 25 nap a forgási periódusa, a pólusok felé egyre lassuló forgással a napfelszín anyaga a két pólusnál már 34 nap alatt tesz meg egy fordulatot. Ez a felszíni differenciális rotáció az egyenlítővel csaknem párhuzamossá nyújtja az eredetileg poloidális mágneses mező erővonalait, és ez okozza a vezető és követő napfoltok ellenkező polaritását egy aktív régió belül. A differenciális rotáció a napfelszínre merőlegesen is érvényesül: ugyanazon felszíni pont alatt egyre mélyebbre hatolva is folyamatosan változik a forgási periódus (mélységi differenciális rotáció). A plazma állandó mozgásával így táplálja a Nap dinamóját.

Saját csillagunk aktivitásával kapcsolatban az egyik legnagyobb rejtély az, hogy miért és hogyan kapcsol ki időnként a Nap dinamója. Előfordul ugyanis, hogy a naptevékenység hosszú időn át szünetel. Legutóbb 1645 és 1715 között, az ún. Maunder-minimum idején volt ilyen állapotban a Nap.

#### *A napciklus analógiái csillagokon*

A Naphoz hasonló csillagok vizsgálata azért is fontos, hogy jobban megértsük a naptevékenység mindeddig homályos, megmagyarázatlan „részleteit”, például azt, hogy milyen gyakorisággal számíthatunk a Maunder-minimumhoz hasonló aktivitási szünetekre. A naptevékenység átmeneti hiánya ugyanis kihat a földi klímára, ezzel együtt a bioszférát is befolyásolja.

A csillagok esetében természetesen nincs mód a felszínükön kialakuló foltok mágneses terének megmérésére (például a Zeeman-effektus színképi kimutatásával), hiszen korong helyett csupán pontszerűnek látszó forrás fénye észlelhető – a csillag globális mágneses mezeje pedig mérhetetlenül gyenge. A Nap típusú csillagok mágnességére a csillagaktivitás különféle jegyeinek kimutatásából lehet következtetni.

A csillag felszínén kialakuló foltok a csillag tengely körüli forgási ideje szerinti periódussal mérhető változást okoznak a csillagkorong összfényességében. Ehhez persze elég nagy foltokra van szükség, de a mérések szerint a Naphoz hasonló hőmérsékletű, átmérőjű, tömegű és korú – röviden Nap típusú – csillagokon a Napon megfigyelhetőknél jóval nagyobb csillagfoltok is kialakulnak. Ugyanez a helyzet a napkitöréseknek megfelelő csillagflerekkel is, különösen a csillagok fejlődésének kezdeti fázisaiban. A kis tömegű, fiatal csillagokon kialakuló flerek energiája

több nagyságrenddel felülmúlja a napkitöréseket. Ez a csillag rendkívül erős mágneses terére utal.

A naptevékenység szintjét jelző, kromoszferikus eredetű színképvonalak más csillagokon is vizsgálhatók, ami lehetővé teszi a csillagok aktivitásának időbeli követését és a csillagaktivitás statisztikai vizsgálatát is. Már legalább negyedszázada végzett szisztematikus vizsgálatok során sok csillagnál tapasztaltak a naptevékenységéhez hasonló aktivitási ciklust néhány éves ciklushosszal. A kromoszferikus eredetű emisszió hiánya pedig arra utal, hogy a megfigyelés idején a csillag éppen nem aktív. Ha ez az állapot huzamosabb ideig tart, akkor a Maunder-minimumhoz hasonló, dinamómentes állapotban van a megfigyelt csillag. Megfelelően sok csillag viselkedését elemezve kiderült, hogy az aktivitási szünet egyáltalán nem ritka jelenség a Naphoz hasonló csillagokon. Számítanunk kell tehát arra, hogy valamelyik napciklus végén a várt polaritásváltás helyett egy időre – évtizedekre vagy akár egy évszázadra is – átmenetileg kikapcsol a Nap belsejében jelenleg működő dinamo.

A napciklus analógiái ugyanakkor óvatosan kezelendők, mert a csillagok pólusainál is kialakulhatnak óriási foltok, míg a Napon ilyesmit soha nem tapasztaltak, a poláris foltok léte pedig a dinamo-moddal nem fér össze.

#### *Mágnesség más csillagokban*

A 20. század közepén sikerült végre a Nap után más csillagokon is kimutatni a mágnességre utaló Zeeman-effektust: *Horace W. Babcock* előbb a 78 Virginis jelű csillagnál, majd néhány más társánál is 0,1 T jellemző értékű fluxussűrűséget észlelt. Ezeknek a Napnál forróbb, mágneses csillagoknak az a

közös tulajdonságuk, hogy színképük a csillaglégkör anomális kémiai összetételére utal: a többi csillaghoz képest rendkívül gyakori az atmoszférájukban a króm, a stroncium, az eurórium és más ritkaföldfémek. A mágneses térerősségnek és a csillag fényességének időbeli változásából (ezek periodicitásából) nemcsak a csillag tengelyforgási periódusa állapítható meg, hanem az is kiderül, hogy a változásokat az váltja ki, hogy a csillag forgástengelye nem esik egybe a mágneses tengellyel – ez az ún. *ferde rotátor* esete. A mágneses mező szerkezete ennek alapján modellezhető. Arra azonban jelenleg még nincs magyarázat, hogy a számottevő mágneses mező hogyan idézi elő a kémiai elemek anomális gyakoriságát a csillag atmoszférájában. A mágneses csillagokról készített színképek elemzéséből az mindenesetre kiderül, hogy némelyik elem nagyon egyenetlenül oszlik el a csillag felszínén. A mágneses térerősségnek a forgásból származó periodikus változásán kívül maga a mágneses mező évtizedes időskálán állandónak bizonyul. Ez a megfigyelési tény kizárja, hogy az erős mágneséget dinamó-mechanizmus kelti.

#### *Mágnesség fehér törpékben*

A csillagok kezdeti tömegüktől függő ütemben fejlődve előbb-utóbb – ugyancsak a kezdeti tömegük által meghatározott – végállapotba kerülnek. Ha a csillag tömege a magfúziók megszűntekor nem éri el a Nap tömegének 1,4-szeresét, akkor fehér törpe lesz belőle. (A jelenleg 4,5 milliárd éves Nap legalább ugyanennyi idő múlva jut el a fehér törpe állapotba.)

Sok olyan fehér törpét találtak, amelyeknél a Zeeman-effektus, illetve a színképvonalak polarizációja alapján a mágneses fluxussűrűség 10 000 tesla nagyságrendű. Ez a közön-

séges csillagok mágnességéhez vagy a Földön keltett mágneses mezőkhöz viszonyítva rendkívül erős, de a magnetohidrodinamikai befagyás tétele (lásd Abonyi Iván tanulmányát e cikkgyűjteményben) alapján nem meglepő az ilyen nagy érték, hiszen a fehér törpék átmérője a Földéhez hasonló – a csillagállapotból ekkora méretűre zsugorodó objektumban rendkívüli módon felerősödik a mágneses mező. Ilyen erős mágnesség esetén a Zeeman-effektus is bonyolultabb formát ölt (kvadratikussá Zeeman-effektus és Paschen-Back-effektus), illetve az objektum folytonos színképe egészében polarizálódik.

A mágneses eredetű vonalfelhasadás és polarizáció a fehér törpék egy részénél periodikusan változik. Az 1 óra és 20 nap közötti periodicitás az égitest tengelyforgási ideje lehet, és a megfigyelhető változás ez esetben is egyszerűen magyarázható a ferde rotátor modell keretében. A változás hiánya pedig a mágneses tengelynek a látóiránnyal bezárt kis szögére, illetve nagyon lassú tengelyforgásra utal.

A vizsgált fehér törpék többségénél viszont nem találtak mérhető értékű mágneses teret, a mágneses fehér törpék aránya mindössze 4%, ami alapjaiban megnehezíti az ebbe a végállapotba került égitestek mágnességének megmagyarázását. Igaz, hogy a csillagfejlődés során a fehér törpe állapotot megelőzően a csillag vörös óriás fázison ment át, amely szakaszban a csillag anyaga teljesen konvektív, és ilyenkor kedvezőek a feltételek ahhoz, hogy a csillag megszabaduljon mágneses fluxusának nagy részétől, de ettől még nem derül ki, hogy miért léteznek erősen mágneses és egyáltalán nem mágneses fehér törpék.

#### *Neutroncsillagok és magnetárok*

A nagyobb kezdeti tömegű csillagok a belsejükben végbemenő fúziós energiatermelés

megszűntével több anyagot tartalmaznak annál, hogy fehér törpeként végezzék. A gravitáció uralkodóvá válásával így jóval kisebb és sűrűbb testté, *neutroncsillaggá* zsugorodnak. Az ilyen égitest sugara mindössze 10 km, ezért a magnetohidrodinamikai befagyás hatására még az eredetileg akár csekély mágneses tér is elképesztően felerősödik: a neutroncsillagokra az egymillió–egymillárd tesla értékű fluxussűrűség jellemző. És nincs is olyan neutroncsillag, amely ne lenne ennyire mágneses! Viszont azok között a fiatal csillagok között, amelyek jelenlegi tömegük alapján majd neutroncsillaggá válnak, egyetlenegy sem tapasztaltak mérhető mágneses teret.

A neutroncsillagok mágnességének másik furcsasága az, hogy van közöttük egy alcsoport, amelynek tagjai még erősebben mágnesesek. Ezekben az ún. *magnetároknak* százmilliárd tesla a mágneses mező fluxussűrűsége. A magnetárokról kiderült, hogy azonosak az 1979 óta ismert lágygamma-ismétlőkkel. Ez utóbbiak az elektromágneses színkép legnagyobb energiájú tartományában, a gamma-sugárzásban – igaz, annak a kisebb frekvenciájú, a röntgentartománnyal szomszédos részén, azaz a lágygamma-tartományban – ismétlődő kitéréseket produkálnak. A gammakitérések ténye akkor már nem volt újdonság a csillagászoknak, de addig egyetlen olyan forrást sem ismertek, amelyik ismételt felfénylött.

A magnetáritörés pontos oka nem ismert, de egy elfogadhatónak tűnő modell szerint a neutroncsillagok szerkezete és a bennük uralkodó szupererős mágneses mező váltja ki. A mágnesség és a neutroncsillag szilárd kérgének kölcsönhatása néha gigantikus csillagregéshez vezet, amelynek során elképesztően sok energia szabadul fel (tizedmásodpercek alatt annyi, amennyit a Nap évez-

redék alatt sugároz ki), ez észlelhető magnetáritörésként. Hatására a neutroncsillag kérge átrendeződik, és egy ideig „megnyugszik”. A mágneses tér fékezi a neutroncsillag egyébként rendkívül gyors (jellemzően másodpercnél is rövidebb periódusú) forgását. Az ismert magnetárok forgási periódusa a röntgensugárzásuk erősségének periodikus változása alapján valóban hosszabb, mint egy pulzárként viselkedő átlagos neutroncsillagé: 7–8 másodperc. A modell szerint a neutroncsillag mágneses mezeje a dinamó-mechanizmus hatására erősödik fel az eredeti érték százszorosára, majd néhány ezer év alatt lebomlik a neutroncsillagokra jellemző „normális” szintre.

#### *A mágneses tér szerepe csillagkeletkezéskor*

Bár a csillagok túlnyomó többségének mágneses mezeje észlelhetetlenül gyenge, feltételezések szerint mégsem tekinthetjük úgy, hogy a csillagokban nincs mágnesség. A megfigyelések és a modellek szerint a mágnességnek már a csillagok kialakulása során is lényeges szerep jut.

A csillagkeletkezés a csillagközi anyag sűrű molekulafelhőiben megy végbe. A felhő legsűrűbb tartományában, a felhőmagokban levő anyag saját gravitációja hatására összehúzódásba kezd, kialakulnak a protocsillagok. A csillagkezdemény egyre több anyagot vonz magához a környezetéből, miközben zsugorodik és melegszik. A protocsillag forgása eközben gyorsul (az impulzusnyomaték megmaradása miatt), és anyaga folyamatosan gyarapszik a körülötte levő lapos, tömegbefogási (akkreciós) korongból. A bezuhanó anyagtól a sűrűsödő és egyre kisebb átmérőjű protocsillag belseje magas hőmérsékletűvé válik, miközben a peremvidéke hideg marad. A csillagkezdemény anyaga konvektív állapotba kerül. Az anyagáramlás és a gyors forgás



a dinamó-mechanizmussal mágneses teret kelt, s ez a mágneses mező kölcsönhat a befelé hulló anyaggal. Az akkréciós korongban a protocsillag felé áramló ionizált gáz (plazma) egy része a mágneses erővonalak mentén a kialakuló csillagba hullva annak tömegét gyarapítja, a korong anyagának legnagyobb perdületű része pedig a korongra merőlegesen, a nyitott mágneses erővonalak mentén kirepül a rendszerből (4. ábra). Ezzel az ún. magnetocentrifugális széllel jelentős mennyiségű impulzusnyomaték is távozik, így a még összehúzódó csillag nem pörög fel túlságosan – különben a begyűjtött anyaga lerepülne róla, és nagy tömegű csillagok nem is tudnának kialakulni. A mágneses tér szerepének felismerése előtt nem is sikerült megmagyarázni, hogy miként szabadul meg a protocsillag a számára fölösleges perdülettől. A Nap 4,5 milliárd évvel ezelőtt ment át ilyen fejlődési fázison.

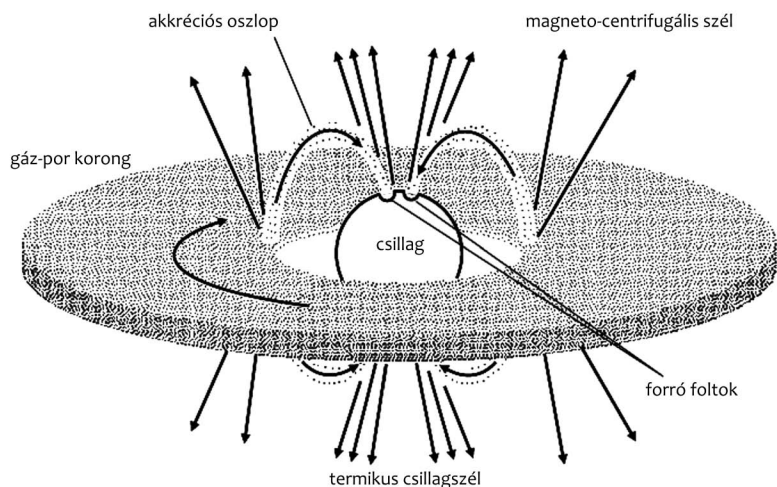
*A Tejútrendszer mágneses mezeje*

Nem csupán az egyedi égitestekre jellemző a mágnesség. A kozmikus objektumok nagyobb rendszereit, így saját galaxisunkat, a Tejútrend-

szert is mágneses mező hatja át. Itt azonban egészen kis fluxussűrűségről, milliárdod ( $10^{-9}$ ) tesla értékről van szó. Figyelembe véve ugyanakkor a mágneses mező hatalmas kiterjedését (ti. a Tejútrendszer korongjának átmérője százezer fényév), a mágneses energia jelentős tényező a galaxis dinamikai folyamatai során.

A csillagok kapcsán már volt szó arról, hogy többségük mágnessége észlelhetetlenül gyenge – itt a kimutatást az optikai színképben levő vonalak észrevehetően Zeeman-effektusa hiúsítja meg. Ha nem csillagokról van szó, akkor viszont szóba jöhetnek más jelenségeken alapuló módszerek is a mágneses mező kimutatására.

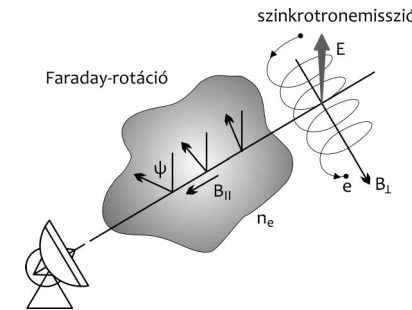
Mágnességre utal a szinkrotronsugárzás, amelyet töltött részecskék bocsátanak ki, amikor a fénysebességhez közeli sebességgel mozognak mágneses térben. A szinkrotronemisszió a rádiósugárzás tartományában detektálható. Itt egyébként a csillagközi gázban levő hidrogénatomok 21 cm-es hullámhosszú színképvonalának Zeeman-felhasadása is mérhető – hiába annyira alacsony a mágneses fluxus sűrűsége –, annak a ténynek



4. ábra • Protocsillag és környezete a dinamó keltette mágnesség létrejötte után (Kun, 2005)

köszönhetően, hogy a Zeeman-hatástól eredő felhasadás mértéke a megfigyelési hullámhosszal arányos A Tejútrendszer globális mágneses mezejére utal a csillagok és a csillagközi porfelhők fényének polarizációja is. A csillagközi por szemcséit ugyanis a mágneses mező úgy rendezi, hogy a hossz tengelyük párhuzamos legyen a mágneses erővonalakkal. Emiatt a porfelhők felől érkező fény poláros. Rádiófrekvenciákon megfigyelhető még az ún. Faraday-rotáció (Faraday-effektus) is, amelynek lényege az, hogy mágneses mezőben az erővonalakkal párhuzamosan haladó, lineárisan polarizált sugárzás polarizációs síkja elfordul (5. ábra).

E módszerekkel nemcsak a tejútrendszerbeli globális mágneses mező erősségét és szerkezetét sikerült feltérképezni, de más, viszonylag közeli extragalaxisokban is tanulmányozni lehet a mágneses mező struktúráját.



5. ábra • A szinkrotronemisszió és a Faraday-rotáció kialakulása

*Intergalaktikus mágnesség*

A galaxisok nagy kiterjedésű külső régiójának, a halónak a mágnességéről az onnan érkező szinkrotronsugárzás tanúskodik. A galaxisok között előforduló aktív magú galaxisok gigan-tikus, de keskeny kúpszerű nyalábok formá-

objektum	mágnesesfluxus-sűrűség (T)	jellemző méret (km)	megjegyzés
Föld	0,0001	10 000	enyhe aszimmetria, időbeli változás
bolygók	$10^{-8}$ – 0,001	1000 – 100 000	
Nap	kb. 0,1 (napfoltok)	$10^6$	enyhe aszimmetria, időbeli változás, mágneses ciklusok, hosszú minimumok
hideg csillagok	?	$10^6$	a naptevékenységhez hasonló mágneses ciklusok
forró csillagok	1	10 000	
fehér törpék	10 000	10	ferde rotátor
neutroncsillagok	$10^8$	10	ferde rotátor
magnetárok	$10^{11}$	10	ferde rotátor
galaxisok	$10^{-9}$	$10^{18}$	tengelyes szimmetria
intergalaktikus tér	$<10^{-10}$	$>10^{20}$	

1. táblázat

jában anyagot lövellnek ki hatalmas sebességgel az intergalaktikus térbe. A bipoláris kilövelléseket a mágneses mező hajítja, miként a csillagkeletkezésnél is láthattuk. Így közvetett bizonyítékok utalnak arra, hogy a galaxisok közötti térséget is áthatja a mágneses mező, bár annak fluxussűrűsége olyan alacsony, hogy lehetetlen megmérni. Kivételt csak a galaxishalmazok belseje képez: a galaxisok közötti régióra vonatkozóan  $10^{-10}$  T fluxussűrűséget határoztak meg az onnan érkező sugárzás Faraday-rotációját megmérve.

A kozmológiai modellek is figyelembe veszik az univerzum mágnességét. Legalább  $10^{-16}$  T fluxussűrűség kell ahhoz, hogy a megfigyelhető világegyetemben kialakult struktúrákat és jelenségeket le lehessen származtatni a korábbi állapotokból. A mágnesség kialakulására vonatkozóan azonban csak elgondolások (illetve azokra épülő modellszámítások) vannak. Az egyik iskola szerint maga a

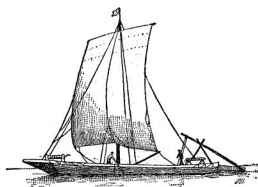
mágnesség primordiális: vagy az ősrobbanást követő kozmológiai infláció, vagy az ősi (elektrogyenge vagy kvark-hadron) fázisátmenetek során keletkezett, hogy aztán az utóbb kialakuló galaxisokban és azok halmazában dinamóhatással felerősödjön. A másik elgondolás szerint a mágneses mező csírái csak a már kialakult galaxisokban és galaxishalmazokban jöttek létre plazmaeffektusok során, s ugyancsak a dinamóhatás erősítette fel a mágneses csírákat. Tehát az alapkérdésre, hogy honnan ered a kozmosz mágnessége, még nem tudjuk a választ. Az égitestek és kozmikus jelenségek szerteágazó, tarka világát mindenesetre gazdagítja a világegyetem mágnessége, amelynek erőssége elképesztően tág határok között (legalább  $10^{21}$ -szeres faktorial) változik (1. táblázat).

Kulcsszavak: *mágnesség, magnetár, mágneses befagyás, naptevékenység, differenciális rotáció, ferde rotátor, Zeeman-effektus*

#### IRODALOM

Erdős Géza – Balogh André (2012): A helioszféra háromdimenziós szerkezete. *Magyar Tudomány*. 12, 1419–1425. • <http://www.matud.iif.hu/2012/12/03.htm>

Kun Mária (2005): Fialat csillagok és környezetük kölcsönhatásai. *Fizikai Szemle*. 9, 309–313. • <http://www.wold.kfki.hu/fszemle/archivum/fszo509/kun0509.html>



## Tanulmány

# METEOROLÓGIA A XIX. SZÁZAD MÁSODIK FELÉBEN A MAGYAR SZAKNYELV KIALAKULÁSA

Mészáros Ernő

az MTA rendes tagja  
MTA Veszprémi Akadémiai Bizottság  
[meszaroserno@invitel.hu](mailto:meszaroserno@invitel.hu)

„Ki a nagy természet dicső templomába ily gondolatoktól áthatva lép, nem lehetséges, hogy itt egy láthatatlan kéz működését félreismerje, mely láthatatlan kéz a világegyetem szivpitvarába örök betűkkel véste ama törvényeket, melyeknek a vilárendszer legkülönbözőbb mozgásai vaskövetkezétséggel hódolnak.”

(Soos Mihály, 1870)

A XIX. század második felében, a szakmai bővülésen túlmenően, a magyar meteorológia fejlődésének fontos ismérve, hogy lényegében ebben az időszakban alakul ki az a szaknyelv, amelyet ma is használunk. Ha összehasonlítjuk Berde Áron nyelvezetét (Mészáros, 2013) a XX. sz. elejének tudományos kifejezéseivel (Mészáros, 2014), akkor jelentős változásokat tapasztalunk. Egyúttal a művek stílusa is tisztult, mai szemmel nézve sokkal gördülékenyebbé vált. Ezt jól illusztrálja az a két meteorológiai tárgyú könyv is, amely a tekintett időszakban napvilágot látott.

Az első kötet az *Éghajlatlan* címet viseli, szerzője Soos Mihály (1832–1899), aki a borító tanúsága szerint a premontrei kanonokrend tagjaként a Magyar Kir. Felsőbb Gazdasági Tanintézetben (Keszthely) a mennyiségtan és természettudományok tanára volt. Fő alkotása *A keresztény álláspontja a természetben* című háromkötetes mű (Soos, 1877), amely írója vallásos elhivatottságát tükrözi, mint ahogy az *Éghajlatlan* (Soos, 1870) bevezetőjéből származó fenti költői mottó is.

A másik megjelent munka (*Az időjárás*) szerzője ismertebb személyiség, hiszen a fizikátörténet szakértőjét, Heller Ágostot (1843–1902), a Magyar Tudományos Akadémia tagjává választották. Heller (1888) az előszóban kijelenti, hogy könyve „...koránt sem tart számat az önálló, eredeti mű címére, minthogy tényleg már meglévő művek nyomán készült.” Ezt a sommás megállapítást kicsit túlzásnak tartjuk. Mindenesetre Heller könyve alkalmas arra, hogy belőle a korabeli magyar kifejezéseket megismerjük.

Jelen tanulmány célja, hogy a két említett mű rövid áttekintése után adalékokkal szolgáljon a meteorológiai szaknyelv fejlődéséről.<sup>1</sup>

#### Soos: *Éghajlatlan*

Már a könyv bevezetője néhány meglepetéssel szolgál. Az első magának a meteorológiának az elnevezése. Így a 2. oldalon a következőket olvashatjuk: „... azon tudományt pedig, amely az időjárási tünetnyek okait nyomozza, s azokat természeti törvényekre igyekszik visszavezetni, *légtünetannak* vagy *lebenszettannak* (meteorológia) hívjuk”. Ez utóbbi furcsa kifejezés alapja Baróti Szabó Dávid 1792-es írása, amelyben egy székely tájszó után a láng lebegésére, a tűz erejének jellemzésére a *leb* szót javasolja. A szót Bugát Pál már *meteor* értelemben használja (*lebkö*: meteorkö), és bevezeti a *lebtan* (meteorológia) kifejezést (lásd: Szily, 1999). Sőt Soos könyvéből kiderül, hogy a *leb* az étert is jelölte.

Az éghajlat Soos szerinti meghatározása lényegében helyes. Feladata, mint olvashatjuk: „...nem lehet egyéb, mint hogy az időjárási viszonyok folyamatát általános, de lehetőleg élénk és határozott képekben tüntesse elő.” Ebből viszont a szerző meglepő következtetést von le: „... az időjárás eseményeit az éghajlatlan kutatja föl.” Mintha a meteorológia része lenne az éghajlatlannak, nem pedig fordítva. Ez persze formai kérdés, amely a könyv értékéből semmit sem von le.

A „természettudományok kedvelőinek” szánt mű három részre oszlik. Az első, *Az éghajlati viszonyok sarkalatos tényezői és közvetítő közegei* című rész a későbbi meteorológia tárgyú könyvekben közel sem általános témát ölel föl. Benne a szerző a Föld világegyetemben elfoglalt helyével, a Föld, majd végül a

<sup>1</sup> Értsd: közeledését a mai tudományos nyelvhez.

„légtenger” tulajdonságaival (például: nyomás, összetétel) foglalkozik. Tárgyköre nagyszerű bevezetője az utána következő részeknek. Ebből a részből az olvasó megismerkedhet a földi energiát szolgáltató Nap jellemzőivel, az éghajlat globális eloszlásához elengedhetetlen földrajzi koordináták fogalmával, a Föld éghajlatát alakító mozgásával, forgástengelyének ferdeségével, valamint felszíni tulajdonságaival, beleértve az óceánok eloszlását és áramlásait. Végül ez a rész a légkör (a könyvben időnként *körlég*) nyomásáról és összetételéről (lásd később) olvashatunk.

A második, a könyv legfontosabb része a *Légköri tünetnyek* címet kapta. Ebben Soos a fénytünetnyeket, a hőviszonyokat, az áramlásokat, a víztünetnyeket és a villamos jelenségeket taglalja a kor színvonalának megfelelően. Meglepő, hogy ebben a részben a „földdelejesség” külön fejezetet kap, amelyet ma már nem sorolunk a meteorológia illetékességi körébe. *A légköri fénytünetnyek* című fejezetben megismerkedhetünk a fény sugarak visszaverődésével és „elnyelésével”, a légkör átlátszóságával és más „tünetnyekkel”, a szivárványtól a melléknapiig. A szerző azonban nem fejt ki a napsugárzás és a légkör kölcsönhatásának éghajlati jelentőségét (bár nyilván ezért írja le őket könyvében). A hőviszonyokat taglaló fejezet a hőmérséklet szélességi fokok, valamint év- és napszakok szerinti eloszlásával és a szabályos menetekről való eltérésekkel (például: a földfelszín, a tengerszint feletti magasság hatására) zárul. A hőmérséklet globális eloszlását az „egyenhevű” (izoterma) vonalak alapján mutatja be. *A légtenger áramlásai* című fejezetben Soos számos előrelépést tesz Berde Áron (1947) könyvéhez képest, amit egyébként meg sem említ. Az előrelépésre jó példa a Föld forgása miatt fellépő eltérítő erő okainak bemutatása. Az

általános légkörzést azonban Berdéhez hasonlóan egycellásnak (a levegő az Egyenlítőnél felszáll, a sarkoknál leereszkedik) tekinti, ami számára is megnehezíti a közepes szelek értelmezését.

A légköri víztünetnyek bemutatását Soos a párolgással és a levegő nedvességi viszonyainak jellemzésével kezdi, majd rátér a légköri „leverődések” (harmat, dér, köd, felhő) bemutatására. A felhők tárgyalását megelőzi a ködöké, mivel, mint megjegyzi: „A felhők nem egyebek mint ködtömegek, amelyek a légkör magasabb tájain tartózkodnak...”. Véleménye szerint a felhők a völgyekben és lapályokon keletkezett ködök szél által elszállított maradványai. Szerencsére megjegyzi, hogy a felhők más úton is keletkezhetnek, majd, helyesen, leírja a felszálló légáramlások szerepét: „Nap közben – mint tudjuk – légfolyam emelkedik a magasba, mely magával a vízpárát is fölemeli, s ezek itt a hidegebb légrétegek közé kerülve levegőrdnek.” Az esőről pár oldallal később olvashatunk: „Esőnek nevezzük azon vizet, mely kisebb nagyobb golyócskák, illetőleg vízcseppek alakjában a légkörből aláhull...”. Majd: „Miután a páraleverődés a magasabb légköri tájakon kedvező folyamatot nyert, a megalakult párahólyagocskák új leverődések által mind terimére, mint pedig sulyra nézve gyarapodnak, s utoljára a levegő horderejét legyőzve esni kezdenek...”.<sup>2</sup> Az esőképződés oka tehát a leverődés (kondenzáció). A fejezetben olvashatunk továbbá a hó, a dara és a jégeső jellemzőiről. Berde könyvéhez képest újdonság, hogy Soos külön alfejezetet szentel a jégesőelméleteknek. Egyes bemutatott, ma már ugyan nem helytálló elméletekben javasolják feltételezik, hogy a felhők túlűlt

<sup>2</sup> Terimé: térfogat.

cseppekből állnak, ami abban az időben forradalmi elképzelésnek számított.

A *Légköri villanyosság* című fejezetben megismerkedhetünk az elektromos térerő (villamos feszültség) mérésével és tulajdonságaival. Megtudjuk például (anélkül, hogy erről számadatokat találjunk), hogy a villamos feszültség a „... napkelte után erősödik mi a meleg napok alatt rendszeren 6-7 óráig, tavasszal és ősszel 8-10 óráig, télen ellenben 10-11 óráig tart, s ekkor eléri legnagyobb értékét. Ezalatt az alsó légrétegek párakkal telnek meg, a harmatpont magasabban áll; s a hidegebb évszak alatt gyakran köd támad. Ettől kezdve a villanyosság csak hamar alább száll, délutáni 2 óra tájban rendszeren már igen gyöngye és alkonyattáig folytonosan gyöngül”. Majd, egyes vizsgálatok szerint: „... tisztá időjárás mellett a villanyosság télen erősebb mint nyáron”. Az elmondottakra a kötetben magyarázatot nem találunk, de ma már tudjuk, hogy az elektromos térerő mértékét a légkör függélyes rétegződése, illetve, ennek köszönhetően, az aeroszolrészecskék, amelyekre a légköri ionok lerakódnak, koncentrációjának változása okozza. A légköri villanyosság kialakulási elméletei sem elfogadhatók (mai szemmel!), mint ahogy Soos a zivatarfelhőkben keletkező villámok keletkezését sem tudja megmagyarázni (ebben az időben más sem tudta).

A kötet harmadik, rövid része *A szerves lények csoportosulása éghajlatok szerint* címet viseli. Ebben a szerző a növények és állatok földrajzi elterjedésével foglalkozik. Rövid alfejezetben az éghajlat emberre gyakorolt hatását is elemzi. Megállapítja, hogy a mérsékelt égövben „... az ember csak kitartó munkásság mellett tehet szert azokra, mik számára anyagi jólétet és önállóságot biztosítanak.” Ezért: „... utalva van arra, hogy a természetet és an-

nak erejét tanulmányozza, azaz bizonyos mértékben *természetbúvár* legyen.”

A kötet értékét növeli, hogy Soos a tudományos kérdéseket, a műszerleírásokat és időnként a leíró éghajlattant megfelelő arányban elegyíti. Könyve jó összefoglalója az akkori ismereteknek; annak idején kiváló tankönyv lehetett. A meteorológia iránt érdeklődők számára olvasása ma is ajánlható.

*Heller: Az időjárás*

Heller könyve Soos munkájához képest a legtöbb területen a jövő irányába tett jelentős előrelépés (és ez tizennyolc év alatt ment végbe). Kezdődik mindjárt azzal, hogy a légkörtudomány megnevezésére nem talál ki különböző kifejezéseket, hanem a nemzetközi (és a mai magyar) gyakorlatnak megfelelően *meteorológiának* nevezi. Hasonlóan a légkör összetételének bemutatásakor is lényegében a mai kémiai megnevezéseket használja (lásd később).

A légnyomás és a légáramlás tárgyalásakor a magyar nyelvű szakirodalomban Heller először említi, hogy a légkör általános keringése nem egyetlen cellából áll (lásd előző pont). „A megfigyelések bizonyítják, – írja – hogy a felsőáram a magasból legnagyobb részében már a 30-dik foknál alászáll, hogy a körfolyam alsó részébe legottan belépjen. A 30-dik szélességi fokon túl nem lehet már rendesen felismerni két olyan áramot, mely egymás fölött ellenkező irányban haladna”. Bár elképzelése még messze van a ma elfogadott háromcellás rendszertől (amit persze örvények zavarnak meg), de az első lépés a helyes irányba. A megfigyelések szerint, olvashatjuk később: „Ha a szélnek hátat fordítunk, az északi félgömbön a legkisebb légnyomás helye balkéz felé s kissé előre, a déli félgömbön ellenben jobbkez felé és kissé

hátra fog esni. [...] Ha ez a törvény igaz, kis meggondolás után át fogjuk látni, hogy a szélnek a legnagyobb és a legkisebb légnyomás területei körül keringeni kell”. Ebből vezeti le a ciklon („*barometrikus minimum*”) és az anticiklon („*barometrikus maximum*”) fogalmát.

*A köd és felhő* című fejezetben a szerző közvetve utalást tesz a kondenzációs magvak szerepére. Egyúttal megemlíti a környezet-szennyeződést, amely a nagyvárosokban egyre nyomasztóbb problémává válik: „A tengereken a levegőben lebegő finom sórészesecskek, a nagy városokban pedig a por és a füst nagyban elősegítik a ködképződést. Általános panasz, hogy a londoni hírhedt köd (»fog«), mely minden évben pár napig éjjelre változtatja a nappalt, csak azóta lett annyira sűrű, mióta az a sok gyárkérmény a légkörbe az óriás füsttömegeket okádja.” Az eső keletkezését, az akkori nézeteknek megfelelően, Heller is az intenzív kondenzációval magyarázza. Megállapítja továbbá: „Ha a légköri vízpára megsűrűsödése a fagypontra alul eső hőmérséklet mellett történik, a csapadék szilárd, azaz jég halmazállapotban válik ki és rendes kristályalakokat, még pedig hatoldalú oszlopokat, táblákat és csillagokat alkot, mely utóbbiak ismét hatszögű kristályok. Ezek az alakok az úgynevezett *hópelyhek*”. Az okoskodás hibája: nem veszi figyelembe, hogy negatív hőmérsékleteken, legalábbis mintegy  $-40^\circ\text{C}$  fölött, elsősorban túlhűlt vízcseppek és nem jégkristályok keletkeznek. A felhők vize túlhűlt, mint erre már Soos is utalt (lásd fent). Könyvében Heller a jégeső jelenségét részletesen leírja, anélkül, hogy keletkezésére magyarázatot találna.

Szerző külön fejezetben tárgyalja a viharokat. A vihart úgy határozza meg, mint olyan légköri helyzetet, amikor a szárazföldön, illetve tengeren a szélsébség rendre meghalad-

ja a  $15\text{ ms}^{-1}$ , illetve  $25\text{ ms}^{-1}$  értéket. Ismerteti a hurrikánokat, illetve tájfunokat. Sajnos kialakulásuk magyarázatával adós marad. Sőt megjegyzi: „Magától értetődik, hogy a vihar nem az ő mezejének középpontjában lévő alacsony barométerállás közvetlen folyománya, sőt inkább a barométer süllyedése a légörvénylő mozgásának a következménye.” Ebben téved, mivel a hurrikánokat az erősen felmelegedett tengerfelszín fölötti feláramlás váltja ki, amelynek a helyére nagy erővel beáramló levegőt a Föld forgása miatti eltérítő erő körkörös pályára kényszeríti. Az Egyenlítő sávjában éppen azért nincsenek hurrikánok, mert ott az eltérítő erő értéke nulla.

Tulajdonképpen a könyv utolsó két fejezete jelzi legszembetűnőbben a meteorológia fejlődését. Ezekben, az éghajlat ismertetése mellett, az időjárásról, illetve az „*időjóslásról*” olvashatunk. „A légkörnek bizonyos időbeli állapota, melyet sok különféle meteorológiai tényező összeműködése hoz létre, képezi az *időjárás*”; az egyes időjárási tünetmények kapcsolata valamely helyen alkotja annak *éghajlatát* (klíma) – írja Heller. Majd kijelenti – A klimatológia a meteorológiai elemek statisztikája...”, amely megállapítás tökéletesen tükrözi jelenlegi nézeteinket. Magyar nyelven először olvashatunk a *gyakorlati meteorológiáról*, amely „...a várható időjárásnak rövidebb vagy hosszabb időre való meghatározásával foglalkozik”.

A szerző ezzel kapcsolatban leszögezi, hogy az időjárás elsősorban a légnyomás eloszlásától függ, amelynek ábrázolása időjárási térképeken történik. A nyomás eloszlása viszont a szelek jellegét határozza meg. A térképekről kitérnek a barometrikus minimumok és maximumok, bár, mint olvashatjuk, „Mindaddig nem vagyunk képesek ezeknek keletkezéséről vagy időtartamáról bizonyosat mondani, tör-

vénnyel felállítani.” Ha a térképeken a megfigyelési állomásokat jellemző körökben a borultságot, mellettük a hőmérsékletet és a csapadékot is feltüntetjük, akkor képet kapunk magának az időjárásnak az eloszlásáról. „Több ilyen térképet nézve, észrevesszük, hogy a minimum területe körül a szelek iránya az óramutató járásával ellentett irányú, továbbá, hogy a szél erőssége ott a legnagyobb, a hol az izobár görbék legsűrűbben vannak egymás mellett. A barometrikus minimum területén az ég borult s a csapadék képződése nem tartozik a ritkaságok közé. A barometrikus maximum területe körüli szelek az óramutató járásának irányában fújnak. A maximum vidékén az idő rendesen derült.” Ezek a megállapítások, amelyekről manapság a televízió képernyőjéről bárki meggyőződhet, a XIX. század végén új eredményeknek számítottak.

Az időjóslás (ma előrejelzést mondanánk) abból áll, hogy a légköri képződmények útját a térképeken nyomon követjük. Heller egyebek között arra is rámutat, hogy „Ha a meteorológiai tudomány jelenlegi állapotában képes lenne a légnyomás változásainak törvényeit megállapítani, egyszersmind lehetséges lenne a légkörnek nyomását a Föld különböző helyein tetszőleges időre előre meghatározni...”. Ma már ezeket a törvényeket matematikai formában is fel tudjuk írni, ami lehetővé teszi az időjárás számszerű előrejelzését, ahogy Heller megálmodta.

Összefoglalva leszögezhetjük, hogy Heller Ágost világos, szakszerű könyve a meteorológia kétségtelen fejlődését bizonyítja. Egyúttal, és ez számunkra legalább olyan fontos, jelzi a magyar tudományos nyelv alakulását.

*A tudományos nyelv alakulása*

Néhány kifejezés esetén a magyar meteorológiai tudományos nyelv fejlődése az *1. tábl-*

lázat alapján követhető nyomon. A táblázatban értelem szerűen nem tüntettük fel azokat a szavakat, amelyek már Berde könyvében is a jelenlegi formájukban szerepelnek, mint például a nyelvújításnak köszönhető levegő, légkör és légnyomás, vagy a (török) csuvas eredetű szél, amely még a honfoglalás előtt került a nyelvünkbe (Zaicz, 2006).

A táblázat első két sora tudományági megnevezéseket tartalmaz. Mint látható, Berde *légtüneménytan* szavát Soos ésszerűen *légtünemattanra* egyszerűsítette. Ugyanakkor közel sem ésszerűen bevezetett egy szót (*lebészettan*), amely a köznyelvben kevéssé lehetett használatos (lásd fent). Heller visszatért a

meteorológia kifejezésre, amelyet a két másik szerző is zárójelben volt kénytelen használni, hogy egyértelműen jelezze, miről beszél. Az éghajlatban az égaljtan változata. A mai nyelv az éghajlatot és a klimatológiát szinonimaként kezeli.

A következő öt sor a levegő akkor ismert összetevőit adja meg. Berde a nyelvújításnak köszönhető élenyt és légenyt nem alkalmazza. Soos viszont visszatér a nyelvújítás szavaihoz. Sőt olyan kifejezésekhez is használ, mint a könlegeg, amelyet a köneny (hidrogén) és a légeny (nitrogén) szavakból raktak össze. A szénsav a szénsavany természetes következménye, bár ma már szén-dioxidot mondunk

1847	1870	1888
légtüneménytan	légtünemattan, lebészettan	meteorológia
égaljtan	éghajlatban	klimatológia
oxigén	éleny	oxigén
azót	légeny	nitrogén
szénsavany	szénsav	szénsav
	könlegeg	ammóniák
	ozon	
hőmérték	hőmérséklet	hőmérséklet, mérséklet
hőmérő	hőmérő	hőmérő, termométer
elgőzölgés	párolgás	párolgás
viszonylagos nedvállapot	viszonylagos páratartalom	viszonylagos nedvesség
megsűrűsödés	lecsapódás, leverődés	lecsapódás
felleg	förlhő	felhő
tornyos felleg	halomförlhő	gomolyfelhő
gőzgolyócskák	párahólyagocskák, vízcseppek	csöppek
légköri villany	légköri villanyosság	légköri elektromosság
légsúlymérő	légsúlymérő	barométer
égháború	zivatar (égi háború)	zivatar

1. táblázat • Néhány meteorológiában használatos kifejezés változása a XIX. század második felében Berde (1847), Soos (1870) és Heller (1888) munkái alapján.

helyette, mivel a vegyület elsősorban gáz- és nem vizes oldat formájában fordul elő a levegőben. Szerencsére, a magyar kémikusok az 1870 és 1888 közötti időszakban elhagyták a nyelvújítás túlzó termékeit. Az idézett szerzők közül egyedül Soos említi meg, hogy a levegő ózont is tartalmaz, amelyet, egy vessző híján a mai írásmódnak megfelelően ír le.

A táblázat következő két sora a hőmérséklettel és mérésével kapcsolatos. Benkő Lóránd és munkatársai (1970) etimológiai szótára szerint a hőmérséklet szót (a hévmérsékletből származtatva) Bugát Pál írta le először 1843-ban. A meteorológiai szakirodalomba 1870-ben kerül be. Kialakulását talán a hévmérővel egyenértékű hőmérő segítette elő.

A légköri víz körforgalmának leírásakor alkalmazott kifejezések közül a gőzölgést a párolgás szorította ki (lásd alább), míg a légköri vízgőzt egyértelműen a nedvesség szó jelöli. A fellegnek felhővé alakulása nem meglepő, mivel a felhő a fellegnek ősmagyar kori hangtani változata. A felleg azonban ma már csak a költészetben fordul elő, a tudományban egyértelműen a felhő szó terjedt el. Egyes felhőfajták neve többször változott. A mai gomolyfelhő szót csak Heller vezette be 1888-ban. Az ismeretlen eredetű gőz, és a szláv nyelvekből származó pára szavakat még a mai beszédben is sokszor szinonimaként használjuk. A gőz azonban egyértelműen gázhalmazállapotot jelent. Ezért nem volt szerencsés, hogy Berde vízcseppekre alkalmazta. Ugyanakkor a pára finom ködöt is jelent, mind a közbeszédben (párás az ablak), mind a meteorológiában (párás a levegő). Így Soos helyesen tért át a gőz helyett a pára kifejezésre. Nem fogadható azonban el sem a feltehetően olasz származású golyócskák, sem az ismeretlen eredetű hólyagocskák szó. Az első tömör, általában szilárd, míg a második belül üres

gömb. Így a hangutánzó csepeg szóból levezetett csepp (csöpp) bevezetése teljesen indokolt. Ráadásul a csepeg szavunkat lehet, hogy a finnugor korból örököltük (Benkő et al., 1970), így meg kell becsülnünk.

A villámból származó *villany* (villanyosság) szó sorsa sajnálatos. A szakmailag is elfogadható, indokolt kifejezést ma már csak a köznyelvben használjuk. A tudomány, mint a meteorológia esetében is, visszatért a nemzetközi kifejezéshez, az *elektromosság*hoz. Hasonló sors érte az egyébként szemléletes *lecsapódás* és *légsúlymérő* szavakat. Az egyiket a *kondenzáció*, a másikat a *barométer* helyettesíti. Nem volt szerencsés az sem, hogy elődeink az *égháború* kifejezést az idegen eredetű *zivatar* szóval helyettesítették. A zivatar (*zubaratar* formában) első említése 1636-ból datálódik, majd 1859-ben mint *zihadar* jelenik meg (Benkő et al. 1970). Ez utóbbi Soos könyve megírásának idejére vehette fel mai formáját. A *zivatar* szó eredete egyébként nem teljesen tisztázott. Nem kizárt azonban, hogy a szerbhorvát *zli vetar* (rossz szél) kifejezésből származik (Benkő et al., 1970; Zaicz, 2006).

#### Záró megjegyzések

Talán ezzel a rövid írással is sikerült érzékeltetnünk azokat a változásokat, amelyek a légkörtudományban és a szakmai nyelvben a XIX. század második felében végbementek. Meglepő, hogy a vesztes szabadságharc után, alig több mint húsz év alatt (1847 és 1870 között) a meteorológia tudománya és szaknyelve mekkorát változott. A változás okainak kiderítése külön vizsgálatot igényelne. Az már közel sem meglepő, hogy a kiegyezés után húsz év alatt a tudomány és nyelvvezete jelentős fejlődésnek indult. Heller könyvét gyakorlatilag úgy olvashatjuk, mintha huszadik századi szerző írta volna. Az okok további

elemzése helyett megjegyezzük, hogy mi, a XX. században nevelkedett meteorológusok hálásak lehetünk gyér számú elődeinknek, akik tudományágunk ügyét a XIX. században felkarolták. Együttal olyan tudományos nyelvet hoztak létre, amely lehetővé tette, hogy szakmánkat egyáltalán elsajátíthassuk.

Tanulmányunk befejezéseként ezért álljon itt Bárczi Géza (1975) megállapítása: „A nyelv, gondolataink, érzelmeink kicserélődésének ez a mindennapi használatú eszköze mindennemű emberi fejlődésnek egyik legfőbb tényezője, sőt feltétele. Neki köszönhető legnagyobb részét, hogy az egymást felváltó nemzedékek tapasztalatai halmozódhatnak, s az utódokra átszállhatnak; hogy a természet

közömbös vagy éppen ellenséges erői ellen való harcot nem kell minden egyes generációnak előlről kezdeni, sőt minden egyes embernek külön, elszigetelten megvívnia.”

Köszönetet mondok Bozó László akadémikusnak a kézirat átolvasásáért és véleményezéséért, Pusztay János egyetemi tanárnak a *lebészet* szó eredetének felkutatásáért, valamint Puskás Mártának (Országos Meteorológiai Intézet Könyvtára), aki a felhasznált műveket rendelkezésemre bocsátotta.

Kulcsszavak: *tudománytörténet, meteorológia fejlődése, tudományos nyelv, Soos Mihály, Heller Ágost*

#### IRODALOM

- Bárczi Géza (1975): *A magyar nyelv életrajza* (3. kiadás). Gondolat, Budapest
- Benkő Lóránd – Kiss L. – Papp L. (szerk.) (1970, 1976, 1984): *A magyar nyelv történeti-etimológiai szótára* I–III. Akadémiai, Budapest
- Berde Áron (1847): *Légtüneménytan s a két Magyarhon éghajviszonyai s ezek befolyása a növényekre és állatokra*. özv. Barráné és Stein, Kolozsvár
- Heller Ágost (1888): *Az időjárás*. Természettudományi Társulat, Budapest
- Mészáros Ernő (2013): *Meteorológia a XIX. század*

közepén. A nagy előd: Berde Áron. *Magyar Tudomány*. 174, 6, 702–712.

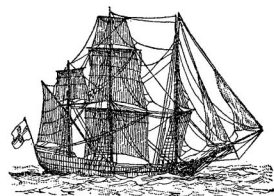
Mészáros Ernő (2014): *Meteorológia a XX. század első felében. Tállózás a hazai szakirodalomban*. *Magyar Tudomány*. in print

Soos Mihály (1870): *Éghajlattan. A természettudományok kedvelőinek*. Athenaeum, Pest

Soos Mihály (1877, 1879, 1882): *A keresztény álláspontja a természetben*. Szent István Társulat, Budapest

Szily Kálmán (1999): *A magyar nyelvújítás szótára*. Nap, Budapest

Zaicz Gábor (szerk.) (2006): *Etimológiai szótár. Magyar szavak és toldalékok eredete*. Tinta, Budapest



## A TUDOMÁNY ÉS AZ ÚJ MÉDIA VISZONYÁRÓL

Koltay Tibor

PhD, Dr. habil.

Szent István Egyetem Alkalmazott Bölcsészeti és Pedagógiai Kar  
Koltay.Tibor@abpk.szie.hu

Az új (vagy más néven közösségi) médiát sokan olyan eszközként üdvözlik, mint amely a tudományos kommunikáció területén új és hatékony eszközöket kínál a tudás megvalósításához és megosztásához. Ez nem egyértelmű, de látjuk, hogy az új média már kezd nyomot hagyni a tudományos kommunikáción, bár hatása még nem nevezhető hosszantartónak és rendszeresnek.

Az új média fogalma összetett és ellentmondásos (Green – Beavis, 2013). Nem kétséges, hogy az új média közegében a felhasználók magukat és érdeklődésüket közvetített (mediatizált) terekben fejezik ki, és ezeknek a reprezentációknak az útján lépnek egymással interaktív kapcsolatba (Jarrett, 2008). Írásom célja szempontjából ennyi meghatározás elégséges. Érdeemes viszont néhány eszközt, szolgáltatást megneveznem, hiszen az új média a Web 2.0 kínálta szolgáltatásokra épül. A szolgáltatások tehát (többek között) a közvetítők: a közösségi hálózatok, a blogok, valamint a kép- és videómegosztó portálok.

Mivel technológiaközpontú eszközrendszerekről van szó, amelyeket bonyolult retorika övez, megítélésük kapcsán józan szemléletre van szükség (Weller, 2011). Az új médiával kapcsolatban ugyanis viszonylag gyakran találkozunk olyan egyoldalú érvelésekkel,

amelyekből vagy hiányzik a kritika, vagy éppen a túlzott elutasítás jellemzi őket. Meggyőződésem azonban, hogy legjobb, ha egyik csapdába sem esünk bele. Az új médianak végül is mindnyájan potenciális felhasználói vagyunk, többnyire ténylegesen használjuk is, ami a kutatókra is igaz.

Az új média alkalmazásait a különböző kiadók is beépítik szolgáltatásaikba annak érdekében, hogy termékeik online jelenlétét megszilárdítsák (Collins, 2013). Megítélésem szerint leginkább ehhez a törekvéshez köthető azoknak a közösségi oldalnak a megjelenése, amelyeket a tudomány művelőinek szántak. Ilyen például az Academia.edu (URL<sub>1</sub>) vagy a ResearchGate (URL<sub>2</sub>). Egy másik, sokak által használt közösségi oldal, a LinkedIn (URL<sub>3</sub>) némileg hibridnek tekinthető, mivel nemcsak kutatók, hanem számos szakma művelői is használják. A Mendeley (URL<sub>4</sub>) is ebbe a körbe tartozik, viszont ellentmondani látszik annak, amit az új média általános elvei sugallnának. Lehetővé teszi ugyanis, hogy a rendszer a kutatók oldaláról zárt maradjon, tehát számos funkció zárkórúvé tehető, vagy ki is zárható belőle a nyilvánosság (Collins, 2013). Mindenesetre ne felejtjük el, hogy itt kereskedelmi, profitorientált vállalkozásokról van szó.

Számunkra természetesen a legfontosabb a kutatók hozzáállása. Ők használnak néhány Web 2.0-s eszközt, ott és akkor, amikor ennek előnyét látják.

Jól tudjuk, hogy az informális kommunikációnak kiemelkedő szerepe van a tudományban, ezért nem igazán meglepő, hogy az új média (a fenti, vagyis a kutatóknak szánt és más, a nagyközönséget kiszolgáló) eszközei elsősorban a kutatók közötti kapcsolattartást segíthetik (Collins, 2013). Tény, hogy amíg nem álltak rendelkezésre közösségi hálózatok, azoknak a kutatóknak a köre, akikkel megoszthattuk gondolatainkat, azokra korlátozódott, akikkel rendszeresen kapcsolatban álltunk (Weller, 2011). E kör bővüléséhez kétségtelenül hozzájárult az új média. Hozzáteszem viszont, hogy azért az elektronikus levelezés is jelentős változást hozott már ezen a téren, miközben az e-mail sokkal régebbi, mint a Web 2.0. Ráadásul érdemes volna tudományos vizsgálatok útján megállapítani, hogy az online kapcsolatok jobbak-e vagy rosszabbak a szemtől szemben megvalósuló kapcsolatoknál. Kérdés az is, hogy ezek a hálózatok felülírják-e korábbi hálózatainkat, vagy kiegészítik őket (Weller, 2011).

Ne zárjuk ki azonban azt, hogy az új média és a tudományos kommunikáció céljaiban számos közös vonást találhatunk. Ez különösen igaz, ha tudományos kommunikáció alatt nemcsak a kutatási eredmények (lektorált) publikálását érthetjük, vagy nemcsak az informális kommunikációra gondolunk. A tudományos kommunikáció tágabb értelmezése magában foglalhatja a kutatók személyes életpályájának építését is (Procter et al., 2010). A kiadói aktivitás kapcsán említett közösségi oldalak ezt is szolgálják, főként avval, hogy a publikációk egy részét szélesebb körben teszik láthatóvá és elérhetővé.

Ha megnézzük, hogy a kutatók miként élnék az új média lehetőségeivel, azt látjuk, hogy nem térnek el eddigi prioritásaiktól és elveiktől, vagyis az új média használata megszokott viselkedésüket utánozza és erősíti.

Ha a közvetlen és valósídejű kommunikáció lehetőségét és mértékét nézzük, azt látjuk, hogy a kutatók esetében az interaktivitás szintje alacsony. Fontos szempont a személyes adatok kezelése, vagyis az, hogy a résztvevőknek mennyi személyes adatot lehet és kell nyilvánosságra hozniuk. Ez is alacsony szintű a kutatóknál (Collins, 2013).

Sokan közülük nem bíznak abban, ami nem esett át formális lektoráláson. Kisebbrészük gondolja azt, hogy a lektorálás jelenlegi formája fenntarthatatlanná válik, viszont jónéhányan vannak azon a véleményen, hogy a hivatkozási és felhasználási statisztikák, a felhasználó értékelések és kommentárok ki fogják egészíteni. Mivel a bizalom kiemelkedően fontos érték, óvatosság az eredmények megosztása tekintetében, ha olyan hordozóról van szó, amely a szerzői minőség megjelölésének nemszabványos formáját nyújtja (Procter et al., 2010). Ezt erősíti, hogy a kutatók valószínűleg akkor érzik magukat jól, ha kommunikációjuk közvetítő vagy moderátor útján zajlik. Feltételezhető, hogy nem szívesen osztanak meg személyes és szakmai információkat kiterjedt és ellenőrizetlen közönséggel. A kutatók bevezetett kommunikációs csatornához való ragaszkodásának az is az oka, hogy fontosnak tekintik azt a minőségbiztosítást, amelyet a folyóiratok és a kiadók nyújtanak (Collins, 2013). Nem szeretik a túlzott kockázatokat, ami különösen érvényes az eredmények formális publikálására.

Mindkét szempont indokolja, hogy sokan nem tekintik az új médiát a formális publikálás teljes értékű helyettesítőjének. Pa-

radox módon ez különösen igaz a fiatal kutatókra. Ők a hagyományos csatornákat használják, míg a már „befutott” kutatók több szabadságot élveznek ezen a téren. Ezt némileg árnyalja, hogy a kisebb hagyományal rendelkező szakterületeken, főként a humaniorák és társadalomtudományok kutatói körében nagyobb a hajlandóság az eltérő publikálási gyakorlatra (Harley et al., 2010). Mindez igaz a közösségi oldalakra is. Azokon a tudományterületeken, ahol van hagyománya a széles körű együttműködésnek, ott nagyobb mértékben használják is ezeket (Collins, 2013).

Hogy milyen előnyökkel jár az új média használata, még azok a kutatók sem látják világosan, akik gyakran használják, többek között azért, mert gyors ütemben fejlődik és terjed. Ezt súlyosbítja az a tény, hogy felhasználói bázisa töredékes, azaz kevés szolgáltatás érte el azt a kritikus tömeget, amely ahhoz szükséges, hogy a pozitív hatások nyomán az egyes közösségekben széles körűen elterjedjenek. Hasonló bizonytalanság övezi a tudományos kommunikáció új formái értékének megítélését. Érthető tehát, amikor a kutatók addig halasztják a döntést arról, hogy egy adott szolgáltatást használjanak-e, amíg meg nem bizonyosodnak arról, hogy sok kollégájuk használja azt (Procter et al., 2010).

Jelenleg – akárhogyan nézzük is – összességében alig találunk bizonyítékot arra, hogy az új média használata rövid vagy középtávon gyökeres változásokhoz vezetne a tudományos kommunikációban. A Web 2.0-s szolgáltatások inkább kiegészítik a meglévő csatornákat, mintsem feleslegessé tennék őket (Procter et al., 2010). A kutatók – miközben az új eszközöket a meglévőkkel együtt használják – keresik a közösség média használatának megfelelő és hatékony módjait (Weller,

2011). Az új média tehát nem elmozdulást hozott a tudományos kommunikáció természetében, hanem a hagyományos kutatási funkciók, tehát az információ megtalálásának, megosztásának és szervezésének kiterjesztését nyújtja és teszi könnyebbé (Collins, 2013).

Hozzátehetjük, hogy ez a jelenlegi helyzet, tehát a változás lehetőségét kár lenne tagadnunk, viszont mértékét és jellegét nem könnyű prognosztizálni. Mindenesetre további (tudományos) kutatásokra van szükség, amelyek nyomán megismerhetjük, hogy miként használható legjobban az új média (Procter et al., 2010). Ennek jegyében érdemes foglalkoznunk az úgynevezett számítástechnikai fordulat gondolatával. Ez a fordulat a digitális bölcsészet és a társadalomtudományok ismeretelméleti szintű megújításának eszköze lehet. Lényege annak vizsgálata, hogy milyen hatással volt a technológia digitális összetevőjének középpontba kerülése arra, ahogyan a 21. század tudása információvá alakul. Ennek tágabb kontextusa az arról való gondolkodás, hogy a média változásai miként hatnak a megismerés változásaira (Berry, 2011). A kérdéskör interdiszciplináris vizsgálata megkezdődött, de még korai szakaszában van. Az mindenesetre látható, hogy ez a gondolat szorosan kötődik az új média meglétéhez.

Közben ne feledkezzünk meg arról, hogy a tudományos kommunikációt más hatások is érik. Megjelent például annak a lehetősége, hogy adatok eddig soha nem látott tömegét tudjuk létrehozni és elemezni, ami a tudományos kutatás számos területét nem kis mértékben újraforgalmazta. A kutatási adatok nemcsak fontosak számos kutatási területen, hanem ezeket egyre gyakrabban publikálják is. Nem véletlen, hogy az adatokra való hivatkozás is fontossá vált, ezért egyaránt születtek erre megoldások a kereskedelmi és a nonpro-

fit szférában. Az utóbbira példa a DataCite kezdeményezés (URL<sub>5</sub>). A kutatók egy része egyre inkább igényli, hogy az adatok integráljanak a tudományos információk rendszerébe, aminek eredményeként a szerzők, olvasók, könyvtárosok meg tudják találni, kezelni és használni tudják ezeket, ugyanúgy, ahogy azt folyóiratcikkkel vagy könyvekkel tehetik (Weller, 2011). Tegyük hozzá, hogy szemmel láthatóan megvannak a korlátai annak, hogy a tudományos adatokat nyilvánossá tegyük. Vannak ugyanis üzleti, biztonsági és a magánélet titkosságát érintő érdekek, amelyek ezt nem teszik lehetővé (The Royal Society, 2012).

Közben számolhatunk azzal, hogy a társadalomtudományok és a humán tudományok területén is megjelenik valami ahhoz hasonló, amit a természettudományokban a *Nagy Tudomány* elnevezéssel illetünk. Ez többek között annak köszönhető, hogy nagy mennyiségű, eleve digitális anyag felhalmozódott fel, amely vizsgálati anyagul szolgálhat társadalmi és kulturális folyamatok kutatására (Manovich, 2012).

Nem elméleti megfontolások kérdése, hanem gyakorlati szempontból érdemes szem előtt tartanunk, hogy a tudomány művelői előtt nyitva áll annak a lehetősége, hogy információsan műveltté váljanak. Ehhez azokat a készségeket kell elsajátítaniuk, amelyek hozzásegítik őket ahhoz, hogy felismerjék, mikor van szükségük információra; megtanulják, hogyan kell tanulni; továbbá ismerjék, hogy miként szerveződik az információ, hogyan található meg, és hogyan használható fel a tanulásban (ALA, 1989). Bár ez a meghatározás – érthető módon – a tanulásra összpontosít, a kutatóknak is szól. Érdemes két készségcsoportot kiemelni belőle. Az egyik az információ hatékony felhasználása

egy adott probléma megoldására. Ez egy kutató esetében mindenképpen magába kell hogy foglalja a publikálást. A másik az információ szervezése, amely leginkább (és a kutatók esetében feltétlenül) azt jelenti, hogy a különböző forrásokból származó információkat mindenkinek magának kell megszereznie, nyilvántartania. Ez a személyes információmenedzsment (*Personal Information Management – PIM*), amely egyre több figyelmet kap, és amelyet úgy határozhatunk meg, mint azoknak a tevékenységeknek a gyakorlata és tanulmányozása, amelyeket annak érdekében végzünk, hogy a mindennapi használat céljaira, a megfelelő formában és minőségben jussunk információkhoz, továbbá szervezzük, karbantartsuk és visszakeressük azokat (Jones – Maier, 2003).

Az információs műveltség fentebb említett definíciója 1989-ből származik, maga a fogalom azonban még mindig csak egy viszonylag szűk kör számára ismerős. Ráadásul terminológiai problémák is adódnak. A *digitális írástudás* szókapcsolat ugyanis feltehetőleg sokkal jobb lenne a fenti készségegyüttes megnevezésére (Bawden, 2008). Ezt az elnevezést azonban kisajátítani látszanak annak a szemléletnek a képviselői, amely mindezt az információs és kommunikációs technikák hatékony használatára korlátozza.

A tudományos kutatás és kommunikáció, valamint az információs műveltség kapcsán érdemes elgondolkoznunk azon is, hogy a technológia demokratizáló hatásába vetett hit (Dalbello, 2011) elég-e önmagában. Szükség volna ugyanis arra, hogy a hálózati új média olyan, valódi együttműködéshez járuljon hozzá, amely továbbmegy a blogbejegyzéseken és hasonlókon, lehetővé téve az új gondolatokhoz, elméletekhez és gyakorlathoz vezető kritikai gondolkodást (Berry, 2011). A

számítógépes hálózatokat minden kutatásban használhatjuk és használjuk is, azonban ritkábban és kevesebb okból kellene ezt tennünk, különösen, ha kutatásainkat nem kísérik alapos elméleti és filozófiai megfonto-

lások (Weingart, 2011). Ehhez kíván hozzájárulni ez az írás.

Kulcsszavak: *új média, web 2.0, tudományos kommunikáció*

## IRODALOM

- ALA (1989): *ALA Presidential Committee on Information Literacy. Final report*. American Library Association, Chicago, IL • <http://www.ala.org/acrl/standards/informationliteracycompetency>
- Bawden, David (2008): Origins and Concepts of Digital Literacy. In: Lankshear, Colin – Knobel, Michelle M. (eds.): *Digital Literacies: Concepts, Policies and Practices*. Peter Lang, New York, NY, 17–32. • <http://www.soi.city.ac.uk/~dbawden/digital%20literacy%20chapter.pdf>
- Berry, David (2011): The Computational Turn: Thinking about the Digital Humanities. *Culture Machine*. 12, • <http://www.culturemachine.net/index.php/cm/article/viewArticle/440>
- Collins, Ellen (2013): Social Media and Scholarly Communications: The More They Change, the More they Stay the Same? In: Shorley Deborah – Jubbs, Michael (eds.): *The Future of Scholarly Communication*. Facet, London, 89–102.
- Dalbello, Maria (2011): A Genealogy of Digital Humanities. *Journal of Documentation*. 67, 3, 480–506. • [http://www.academia.edu/556938/ALA\\_Genealogy\\_of\\_Digital\\_Humanities](http://www.academia.edu/556938/ALA_Genealogy_of_Digital_Humanities)
- Green, Bill – Beavis, Catherine (2013): Literacy Education in the Age of New Media. In: Hall, Kathy – Cremin, T. – Comber, B. – Moll, L. (eds.): *International Handbook of Research on Children's Literacy, Learning, and Culture*. Wiley Blackwell, Oxford, 42–53. • [http://books.google.hu/books?id=XBqldEoKB8AC&pg=PA2008&lpg=PA2008&dq=Hall,+Kathy+\(ed.\):+International+Handbook+of+Research+on+Children's+Literacy,+Learning,+&source=bl&ots=pET8evN2qk&sig=LQma5Z3sCp4G4asyUn76t5jxIN4&hl=en&sa=X&ei=kKLYUpvB8SThQR5YCYCQ&ved=0CE4Q6AEwAw#v=onepage&q=Hall%20Kathy%20\(ed.\)%3A%20International%20Handbook%20of%20Research%20on%20Children's%20Literacy%20C%20Learning%20C&cf=false](http://books.google.hu/books?id=XBqldEoKB8AC&pg=PA2008&lpg=PA2008&dq=Hall,+Kathy+(ed.):+International+Handbook+of+Research+on+Children's+Literacy,+Learning,+&source=bl&ots=pET8evN2qk&sig=LQma5Z3sCp4G4asyUn76t5jxIN4&hl=en&sa=X&ei=kKLYUpvB8SThQR5YCYCQ&ved=0CE4Q6AEwAw#v=onepage&q=Hall%20Kathy%20(ed.)%3A%20International%20Handbook%20of%20Research%20on%20Children's%20Literacy%20C%20Learning%20C&cf=false)

- Harley, Diane et al. (2010): *Assessing the Future Landscape of Scholarly Communication: An Exploration of Faculty Values and Needs in Seven Disciplines*. UC Berkeley: Center for Studies in Higher Education. • [http://escholarship.org/uc/cshe\\_fsc](http://escholarship.org/uc/cshe_fsc)
- Jarrett, Kylie (2008): Interactivity is Evil! A critical investigation of Web 2.0. *First Monday*, 13, 3, • <http://firstmonday.org/article/view/2140/1947>
- Jones, William – Maier, David (2003): *Report from the Session on Personal Information Management. Workshop of the Information and Data Management Program*. National Science Foundation Information, Seattle, WA
- Manovich, Lev (2012): Trending: The Promises and the Challenges of Big Social Data. In: Gold, Matthew K. (ed.): *Debates in the Digital Humanities*. University of Minnesota Press, Matthew K. • <http://dhdebates.gc.cuny.edu/debates/text/15>
- Procter, Rob – Williams, Robin – Stewart, James (2010): *If You Build It, Will They Come? How Researchers Perceive and Use Web 2.0*. Research Information Network • [http://www.rin.ac.uk/system/files/attachments/web\\_2.0\\_screen.pdf](http://www.rin.ac.uk/system/files/attachments/web_2.0_screen.pdf)
- The Royal Society (2012): *Science as an Open Enterprise*. The Royal Society, London • [https://royalsociety.org/uploadedFiles/Royal\\_Society\\_Content/policy/projects/sape/2012-06-20-SAOE.pdf](https://royalsociety.org/uploadedFiles/Royal_Society_Content/policy/projects/sape/2012-06-20-SAOE.pdf)
- Weingart, Scott (2011): Demystifying Networks. Parts I & II. *Journal of Digital Humanities*. 1, 1, • <http://journalofdigitalhumanities.org/1-1/demystifying-networks-by-scott-weingart/>
- Weller, Martin (2011): *The Digital Scholar: How Technology Is Transforming Scholarly Practice*. Bloomsbury Publishing PLC • [http://www.bloomsburyacademic.com/view/DigitalScholar\\_9781849666275/book-ba-9781849666275.xml](http://www.bloomsburyacademic.com/view/DigitalScholar_9781849666275/book-ba-9781849666275.xml)
- URL<sub>1</sub> Academia.edu <http://academia.edu>
- URL<sub>2</sub> ResearchGate <https://www.researchgate.net>
- URL<sub>3</sub> LinkedIn <http://www.linkedin.com>
- URL<sub>4</sub> Mendeley [www.mendeley.com](http://www.mendeley.com)
- URL<sub>5</sub> DataCite <http://www.datacite.org/whatisdatacite>



# NAGY ÁTTÖRÉSEK A SZÁMELMÉLETBEN ERDŐS PÁL (1913–1996) EMLÉKÉRE

Komjáth Péter

az MTA levelező tagja, egyetemi tanár,

Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar Számítógéptudományi Tanszék  
kope@cs.elte.hu

A modern matematika minden ágának sok megoldatlan problémája van, ám a számelmélet bővelkedik egyszerűen megfogalmazható, híres sejtésekben, amelyek évtizedekig vagy akár századokig rendületlenül ellenálltak minden megoldási, megközelítési kísérletnek. Az utóbbi időben azonban, meglepő módon, ezek közül jónéhányat megoldottak, vagy legalábbis döntő áttörést értek el a megoldás felé.

## Speciális alakú prímelek

Leonhard Euler 1749-ben igazolta Pierre de Fermat sejtését: minden  $4k+1$  alakú prím előáll  $x^2+y^2$  alakban. Később meghatározta az  $x^2+2y^2$  és az  $x^2+3y^2$  alakú prímekeket is. Az algebrai számelmélet klasszikus elmélete lehetővé teszi, bár nem könnyen, hogy meghatározzuk, adott  $n$ -re mely prímekek írhatók fel  $x^2+ny^2$  alakban. Ezek a módszerek speciálisak az ilyen típusú polinomokra, és a legutóbbi időkig reménytelennek tűnt a magasabb fokú polinomok esete, noha kézenfekvő a sejtés, hogy minden egész együtthatós polinom végtelen sokszor felvesz prímszám értéket, kivéve, ha valami nagyon egyszerű oszthatósági ok ezt megakadályozza. Itt hatalmas áttörés következett be: 1997-ben Henryk Iwaniec és John Friedlander bebizonyították, hogy végtelen sok  $x^2+y^4$  alakú prím van, majd módszerüket

finomítva 2001-ben Roger Heath-Brown igazolta végtelen sok  $x^3+2y^3$  alakú prím létezését. (Mivel  $x^3+y^3=(x+y)(x^2-xy+y^2)$ , nem érdemes  $x^3+y^3$  alakú prímekeket keresni.) Ma is reménytelen annak a sejtésnek a bizonyítása, amely szerint végtelen sok  $x^2+1$  alakú prímszám van.

## Lefedő kongruenciarendszerek

Erdős Pál egyik észrevétele volt az 1950-es években, hogy a természetes számokat le lehet fedni véges sok különböző differenciájú számtani sorozattal: egy példa erre a rendre a  $2x$ ,  $3x+1$ ,  $4x+1$ ,  $6x+3$ ,  $12x+11$  alakú számokat tartalmazó öt számtani sorozat. E lefedések vizsgálatához meglepő alkalmazásai lehetősége vezette. Erdős, szokásához híven, ötletes és szép kérdéseket vetett fel az ilyen rendszerekkel kapcsolatban. Megkérdezte például, hogy lehet-e ilyen tulajdonságú lefedő rendszer közös elem nélküli számtani sorozatokkal (példánkban rögtön az első és a második számtani sorozatnak van közös eleme). Erre egyszerűen igazolható a „nem” válasz, a bizonyítás azonban a komplex számok tulajdonságait használja.

Egy másik, igen nehéznek bizonyuló kérdés az volt, van-e hasonló példa úgy is, hogy a szereplő differenciák közül a legkisebb (ami fenti példánkban 2) akármilyen nagy. Már

olyan példát sem könnyű megadni, ahol a legkisebb differencia 3. Az idők folyamán sikerült a legkisebb differenciát 40-ig feltornászni. Sok cikk foglalkozott ezzel a problémával, de Erdős állítása hatvan évig megtámadhatatlannak bizonyult. Végül 2013-ban éppen az Erdős 100. születésnapja tiszteletére rendezett konferencián jelentette be Bob Hough, hogy a válasz „nem”. E váratlan tétel bizonyítása igen bonyolult, kétszer is használja Lovász László ún. lokális lemmáját. (Ebbe és a többi témakörbe is jó bevezetést ad Erdős Pál és Surányi János könyve [1996].)

## A Prímek P-ben van!

Ezzel a blikkfangos címmel hirdették világszerte egy komplexitáselméleti alapprobléma megoldását. A számítógép-tudomány egyik nagy fejezete azt vizsgálja, hogy különböző problémák megoldása milyen gyors algoritmusmal (tehát tulajdonképpen programmal) adható meg. Itt egy probléma bármi lehet, ami minden megadott *input*hoz egy *igen* vagy *nem* választ rendel. Például az *input* lehet két természetes szám, és azt kérdezzük, relatív prímeke-e. Egy másik problémánál az *input* egy természetes szám, és a megoldandó feladat annak eldöntése, hogy az prímszám-e. Nagyon fontos egyéb problémák az *input*ként megadott gráfok alaptulajdonságait vizsgálják. Megoldásnak bármilyen konkrét algoritmust elfogadunk, és itt, elméleti tudomány lévén, eltekintünk a valódi számítógépek korlátaitól. A számítások hosszúsága alapján a problémákat osztályokba soroljuk. Így pl. a P osztály azon problémákat tartalmazza, amelyekre az *igen/nem* válasz mindig megadható úgy, hogy a lépések száma az *input* hosszának legfeljebb egy polinomja, mondjuk minden  $n$  hosszú *input*ra legfeljebb  $100n^2$ . A fenti problémák közül a relatív prímségre Eukleidész adott egy

ilyen gyors algoritmust. A „Prímek” problémára ilyen gyors algoritmus megadása a 2000-es évekig váratott magára, bár a korábbi eredmények alapján igen valószínűnek tűnt, hogy van ilyen algoritmus. Ilyen eredmény pl., hogy mind az *igen*, mind a *nem* válasz megindokolható egy polinom hosszúságú számítással. Valóban, könnyű gyors számítással tanúsítani, hogy egy szám összetett: elég megadni egy valódi osztóját, az osztás már gyorsan elvégezhető. 1975-ben Vaughan Pratt adott meg egy ehhez hasonló megindoklási algoritmust a prímszámok esetére, ez sokkal agyafúrtabb.

Végül 2002-ben Manindra Agrawal, Neeraj Kayal és Nitin Saxena, a Kanpuri Indiai Műszaki Egyetem számítógép-tudománnyal foglalkozó kutatói adtak meg egy polinom hosszúságú algoritmust, amely eldönti egy adott számról, hogy prím-e. Módszerük váratlan ötlete, hogy polinomokat használnak.

## Szemerédi tétele

Erdős Pál és Tunán Pál 1936-ban a következő sejtést fogalmazták meg. Ha  $k \geq 3$  természetes szám, akkor minden  $n$  természetes számra jelölje  $r_k(n)$  az 1 és  $n$  közötti természetes számokból álló legnagyobb olyan halmaz elemszámát, amely nem tartalmaz  $k$  tagú számtani sorozatot. A sejtés szerint  $r_k(n)/n \rightarrow 0$ , ha  $n$  tart végtelenhez, tehát rögzített  $k$  esetén minél nagyobb  $n$ -re vesszük az első  $n$  természetes számot, annál kisebb részét tudjuk kiválasztani úgy, hogy ne keletkezzen  $k$  tagú számtani sorozat. Ez minden  $k$ -ra ad egy állítást, nagyobb  $k$ -ra nehezebbet. Erdősék első sorban az (itt nem tárgyalandó) van der Waerden-tételhez reméltek használható becslést nyerni a bizonyításból, de minden valószínűség szerint arra az *igen* régi és sokáig reménytelen sejtésre is gondoltak, amely szerint van akármilyen hosszú, prímszámokból álló

szám-tani sorozat. Ez azonnal következne, ha sikerülne belátni a  $r_k(n)/\pi(n) \rightarrow 0$  relációt, ahol  $\pi(n)$  jelöli az  $n$ -nél kisebb prímek számát.

Először Klaus F. Roth igazolta, az analitikus számelmélet módszereivel, a sejtést a (legegyszerűbb)  $k=3$  esetre, 1952-ben. A következő lépés 1969-ben történt, amikor Szemerédi Endre (aki függetlenül felfedezte az állítást) igazolta a jóval nehezebb  $k=4$  esetet. Módszere igen finom, de elemi kombinatorikus okoskodás volt. Ezt a módszert számos új ötlettel és mély gondolattal továbbfejlesztve 1973-ban végül eljutott a teljes sejtés bizonyításához, ami ma a Szemerédi-tétel nevet viseli. Még a hetvenes években Hillél Fürstenberg átfogalmazta Szemerédi tételét egy tisztán ergodelméleti (tehát analízisbeli) állítássá, amit be is bizonyított. Az az érdekes helyzet állt tehát elő, hogy két különböző bizonyítás is volt az Erdős–Turán-sejtésre, de egyik sem volt alkalmas arra, hogy használható becslést kapjunk  $r_k(n)$ -re: az egyik csak használhatatlanul gyenge becslést ad, a másik elvileg sem adhat semmilyen.

Szemerédi bizonyításának fontos eleme az úgynevezett *regularitási lemma* volt, ami nagyjából azt fogalmazza meg, hogy a legnagyobb gráfok is előállíthatók néhány konkrét  $G_1, \dots, G_n$  gráfból véletlen gráfok, majd egy bizonyos „zajt” hozzáadásával. A zajt a  $G_i$  gráfok számának és méretének növelése árán tetszőlegesen kicsire lehet csökkenteni. Ez a nagy jelentőségű lemma kulcsfontosságúvá vált az igen nagy gráfok, hálózatok tanulmányozásánál. Szemerédi munkatársaival számos, a korábbi módszerekkel nem elérhető tételt igazolt segítségével.

A kilencvenes évek második fele óta élénk kutatások indultak el a Szemerédi-tétellel kapcsolatban, Tim Gowers az analitikus számelméleti módszereket átfogalmazta Fourier-

analízisbeliekké, majd átdolgozta, kibővítette azokat. Újabb bizonyítások, általánosítások és alkalmazások születtek Jean Bourgain, Ben Green, Terence Tao, Vojtech Rödl, Solymosi József és Tamar Ziegler nyomán. Ma már tíznél több különböző bizonyítás van, és ezek között van olyan is, amelyik úgy fogalmazható, hogy a tételben szereplő halmazt szétvágja egy „szabályos” és egy „véletlen” részre, majd külön-külön igazolja a tételt.

A legváratlanabb eredményt Ben Green és Terry Tao 2004-ben igazolta: van tetszőleges hosszú szám-tani sorozat prímszámokból. Ez igen régi sejtés volt (lásd a fentebb írottakat Erdős és Turán motivációjáról), de korábban csak három tagú szám-tani sorozatokra igazolták, és nehézsége alapján nem volt várható, hogy a közeljövőben általánosan is igazolják. A bizonyítás számos, külön-külön is nehéz módszert kombinál. Az olvasó meggondolhatja, hogy a Green–Tao-tételből adódik tetszőleges  $k \geq 3$ -ra  $k \times k$ -as, különböző prímekből álló bűvös négyzet létezése.

#### Ikerprímek

Mivel két egymás utáni természetes szám közül az egyik mindenképpen páros, nem lehet mindkettő prím, leszámítva a (2,3) párt. Ez az okoskodás nem zárja ki, hogy egymás utáni páratlan számok prímelek legyenek, és éppen ez az ikerprím-sejtés: van végtelen sok egymás utáni páratlan számokból álló prím-szám-pár: (3,5), ..., (17,19), ... Először Alphonse de Polignac publikálta 1849-ben ezt a sejtést abban az általánosított formában, hogy minden  $k$ -ra van végtelen sok egymás utáni prímből álló  $2k$  különbségű szám-pár.

A prímszámok száma  $n$ -ig aszimptotikusan  $n/\log n$  (ez a híres prímszám-tétel, itt és később  $\log$  a természetes logaritmust jelenti), így a szomszédosak különbsége átlagosan  $\log$

$n$ . Mivel a prímelek sorozata nem egyenletes, várható, hogy sokszor lényegesen  $\log n$  alá megy egy  $n$  nagyságú prím távolsága a rákövetkezőtől. Először Erdős igazolta 1940-ben, hogy létezik olyan  $c < 1$  szám, amelyre a fenti távolság végtelen sokszor kisebb  $\log n$ -nél. Erdős bizonyítása nem adott konkrét értéket  $c$ -re. Később Enrico Bombieri és Harold Davenport a  $c=0,467$  értéket nyerte, amit lassan szorítottak le, Helmut Maier 1985-ös  $c=0,248$  értékét sokáig nem javították meg. Csak 2005-ben történt további előrehaladás, de az szenzációs volt: Daniel Goldston, Pintz János és Cem Yıldırım igazolták, hogy bármilyen pozitív  $c$  érték megfelelő. Később igazolták, hogy a különbség végtelen sokszor lecsökken kb.  $\sqrt{\log n}$ -re. Már ez is váratlan és hatalmas előrelépés volt, de 2013-ban jött a még nagyobb szenzáció: a korábbi eredményeket további ötletekkel kiegészítve az amerikai Yitang Zhang igazolta, hogy van olyan  $K$  szám, amely végtelen sokszor fordul elő szomszédos prímelek különbségeként. Ő a  $K \leq 70\,000\,000$  becslést kapta, később ezt sikerült 4680-ra leszorítani. A bizonyítás érdekessége, hogy noha tudjuk, hogy van ilyen fenti tulajdonságú  $K$  szám, semmilyen konkrét számra nem tudjuk megmutatni ezt a tulajdonságot.

#### Polymath

Az utóbbi években a matematikusok együttműködésének új formái kezdenek kialakulni.

Sokan, főleg a fiatalabbak, felrakják cikkeiket honlapjaikra. Ez a törekvés a másik végen is érzékelhető, egyre több folyóirat teszi mindenki számára hozzáférhetővé korábbi tartalmait, többnyire egy néhány éves „mozgó fal” közbeiktatásával. Szaporodnak a nyíltan hozzáférhető elektronikus folyóiratok. Sok kutató valamennyi cikkét elhelyezi az arXiv internetes cikkgyűjteményben.

A számos matematikai blog közül csak Timothy Gowersét és Terence Taoét emelem ki. Gowers blogja szorosán vett matematikai tárgyú közlemények mellett érdekes esszéket is közöl például a blogger vitájáról az Elsevier tudományos kiadóval. Tao pedig elképesztő terjedelemben vázolja a legkülönbözőbb (általa vagy mások által kitalált) bizonyításokat, ezeket időről időre kötetben adja közre, eddig 6 ilyen kötet jelent meg. Gowers javaslatára jött létre a Polymath kezdeményezés, ami az intenzív internetes együttműködés egy formája. Polymath projekt jöhet létre egy konkrét feladat megoldására. A tagok ahelyett, hogy egy teremben a tábla előtt beszélnének, a számítógépükön keresztül kommunikálnak. Az internet különböző helyein levő releváns információkat a résztvevők által szerkesztett honlap fogja össze. Végül a cikk megírása is közösen történik. Ha a cikk megjelenik, szerzőjeként Polymath-ot adják meg (a valódi szerzőket és grantjaik adatait feltüntetve). Egy ilyen Polymath projekt adta az eddigi legegyszerűbb bizonyítást Szemerédi Endre tételére (ez a Szemerédi tiszteletére rendezett konferencia kötetében jelent meg), egy másik projekt pedig Zhang tételére a fent említett  $K \leq 4680$  becslést számolta ki. Ez utóbbi projekt mintegy tizenöt résztvevője között van a magyar Harcos Gergely és Pintz János is.

Támogatás: OTKA K 81121

Kulcsszavak: *matematika, számelmélet, prímszámok, híres problémák*

#### IRODALOM

Erdős Pál – Surányi János (1996): *Válogatott fejezetek a számelméletből*. Második, bővített kiadás. Polygon, Szeged • ArXiv: <http://arxiv.org/> • Gowers weblogja: <http://gowers.wordpress.com/> • Tao blogja: <http://terrytao.wordpress.com/>

# A JOG ÉS TUDOMÁNYA

Ferenczy Endre Hugó

az állam- és jogtudományok kandidátusa, tudományos főmunkatárs,  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Üzleti jog Tanszék  
ndrferenczy5@gmail.com

Tényleg így van: van a jog és annak alkotását, működését tanulmányozó tudomány. De nem mindig volt így: volt, hogy a tudományból eredeztették a jogot. Justinianus tudósok – Gaius, Ulpianus, Papinianus – és mások szövegeit emelte törvénné. (Diódsi, 1973; Nótári, 2011) Előfordul ugyan ma is, hogy jogtudósok törvényeket írnak, de ma sem ez a fő dolguk. A jogi termékeket: alaptörvényt, törvényeket, rendeleteket, irányelveket, körlevelet, határozatokat, ítéleteket stb. nem ők csinálják. Közbevetőleg: mintha nem lenne alaptalan az a nézet, amely szerint az az igazi jogtudós, aki törvénytervezet is tud írni. (Verebics János szerint a törvénytervezet minősége lesz a vízvázlatzó a Dilettáns és a Hozzáértő között.) Nem vitás: egy ilyen vélekedés, mármint az előző, akár túlzottan gyakorlatközpontú is lehet. Ugyanakkor, Gillemot László úgy nyilatkozott egyszer: „Én csak egy szakmunkás vagyok, aki alkalmazza az elméletet.” Azt meg John Maynard Keynes mondta állítólag: „Mindenki az elmélet szerint cselekszik, legfeljebb nem tud róla.” Nagyon nehéz azt hinni, hogy ez nem így van a jogi dolgokban. Mellesleg, úgy tartják, a kínaiak közel álltak ahhoz, hogy az európaiak előtt felfedezzék a törvényszerűséget, de megijedtek az út végétől. Azt is tudni vélük sokan, hogy a próbálgatás olyan módszer, ami helyettesíti az elméletet. Így aztán egyesek azt terjesztik:

a kínaiak kísérletezéssel találták meg, hova is kell helyezni a vitorlarudat a hajó fedélzetén. Akárhogy is volt, az ismétlődés ténye az elmélet lelke. Tudomásul kell venni: a tudósok munkája a tudomány műfajainak – enciklopédia, illetve lexikon-szócikk, monográfia, kommentár, tanulmány, recenzió – művelésére szorítkozik. Ez a jog és tudománya közötti első különbség. De ez a mesterség nem egy hivatásrend monopóliuma, mások is űzik: ügyészek, bírók, ügyvédek, végrehajtók is írnak cikkeket és könyveket.

A jogot lehet, hogy időnként tudósok írják, de politikusok csinálják, és ez egy nagy eltérés a két terület között. Ez utóbbiból vannak is konfliktusok, amelyekről egyaránt lehet olvasni a szaklapokban és a napisajtóban. Ilyen természetű probléma nincs a természettudományokban. A fizikát csak fizikusok csinálják, nincs külön fizika és annak tudománya. Egyébként, a joghoz leginkább a zene és az irodalom hasonlít: vannak a művészek, és vannak, akik írnak róluk. És persze vannak művek, tudjuk, itt is különböző műfajokban, mint regény vagy dráma, illetőleg opera és szimfónia, és azoknak is – kritikái. A jogtudomány és a jog másik különbözősége épp ez: az előbbiben van kritika (Sajó, 1983), az utóbbi nem kritizálja önmagát.

Magáról a jogról számos munkát írtak, a témának van szakirodalma mindenféle nyel-

veken; leegyszerűsítve mindegyik mondanivalóját, azt lehet mondani: a jog nem más, mint szabályok hierarchikus rendben. Maga a szabály norma, amelynek szerkezete egyszerű, mint a zseniális dolgoké: hipotézis, diszpozíció és szankció. De norma csak normával alapozható meg, ezt az állítást (Kelsen, 1934) evidenciaként kezelik a jogászok. Azaz, nem lehet minden mondatot jogként eladni. Szemben a szépirodalommal, amelyben nem emelhető kifogás valamilyen megfogalmazással szemben, főleg ha betartja a nyelvtan szabályait.

Nem mindenki kezd neki a jog magyarázatának a fenti módon. Ronald Dworkin például a bíróságok működésének megértése és megértése nélkül elképzelhetetlennek tartja, hogy valaki megértse a jog működését. Így igaz, szemléltetésül: ha a bírák folyamatosan nem hívnak fel egy jogszabályt, nem alkalmazzák, azaz nem említik ítéleteikben, úgy arra a normára nehezen lehet azt mondani, hogy élő lenne. Ebből is látszik, hogy azért, mert egy törvény hatályos, nem biztos, hogy élő. Érdekes. Van *up to date* politika, de a politikatudomány örök igazságokat keres benne, legalábbis Henry Kissinger vákuumelmélete (Kissinger, 2008) ezt látszik visszatükrözni. Hogy aztán azzal hogy számolnak el a tudomány művelői, hogy semmi sem olyan régi, mint az utolsó előtti divat, azt el se tudjuk képzelni. A politikatudománynak csak azzal szabadna foglalkoznia, hogyan lehet megnyerni a választást. Ennek a praktikusak nagyon örülnének.

A jogtudomány – nemzeti, úgymint angol (Péteri, 1975), német, magyar stb. A többi tudomány ilyen nem ismer. Nincs külön magyar filozófia, ahogy matematika vagy fizika se. Ugyanakkor időben osztható a jogtudomány, ti. beszélnek középkoriról, újkoriról, mint Bató Szilvia és így tovább.

Jogos kérdésként vetődik fel: és aztán mi is a jogtudomány módszertana? Nem vagyunk abban a helyzetben, hogy erre a kérdésre más választ adjunk, mint azt: a jogtudomány módszere az összehasonlítás (Hamza, 1992; Fekete, 2011). Összehasonlítja a különböző országok jogát, illetve az ún. nagy jogrendszereket, mondjuk a kontinentálist az angolszásszal vagy az iszlámot a hinduval, az összes lehetséges változatot most nem soroljuk fel. A szakirodalom önálló témaköre a módszertan. A jogtudomány művelői többnyire valamilyen jogi fogalmat analizálnak, de előfordul az is, hogy a jogban nem definiált fogalmakkal foglalkoznak, olyanokkal, amelyek más tudományok centrális témái. A témák rendkívül sokfélék; találunk cikket a büntetésről, de ugyanígy az érdekkutatásról, a bírói lelkiismeretről vagy a tartalomszabályozásról (Pázmándi, 2011), és sokáig folytatható lenne a felsorolás. Ebben a tudományban is kiemelkedik a többi közül az a tanulmány vagy könyv, amely elméletet közöl, (Sárközy, 1985) igaz ezekhez néha fogalmakat vesznek kölcsönbe más tudományokból (Mádl, 1985).

Tovább mutatva a jogtudomány és a jog közötti különbségeket: az biztos, hogy a tudósok tudománya vélemény, viszont, ami a jogba van beleírva, az nem az. Ennyiben a jog hasonlít a matematikához vagy a fizikához, mert amit azokból tanítanak, az sem nevezhető álláspontnak. Amit a matematika vizsgál, az a létező valóság: a számok, a mértani alakzatok stb. Ezek nem ábrándok, nem spekulációk. Lehet-e hamis matematikát csinálni? – vetődik fel a kérdés. Persze, lehet félrevezető dolgokat írni, hibás bizonyításokat készíteni, ám azokról ki fog derülni: nem matematika. Viszont, ellenben: valamely jogra nem lehet azt mondani, hogy hamis, a diktatúrák joga sajnos nagyon is élő valóság. Közös továbbá

a matematikában és a jogban az, hogy mindkettő elég elvont, és mindkettő használ szimbólumokat, tetejébe a jog nem csak állandóan absztrahál, de néha igen nehezen követhető a jelölési rendszere: vegyük például azt a kifejezést, *terminus technicusát*, hogy „osztályra bocsájtás” vagy egy ház „tulajdonjoga”. Elsőre nem igazán kitalálható fogalomtartalommal bíró kifejezések. A *Juristen* szó majdnem behelyettesíthető a hírhedt goethei mondatba a *Mathematiker* helyére. „Die Mathematiker sind eine Art Franzosen; redet man zu ihnen, so übersetzen sie es in ihre Sprache, und dann ist es alsobald ganz etwas anderes.”<sup>1</sup> Azért majdnem, mert a jog jogászok nélkül is jog, a matematika viszont nem; ahogy Rényi Alfréd mondja, törzsszámok nincsenek matematikusok nélkül. Hogy aztán a jogtudomány miért nem számít reáltudománynak, amikor amit górcső alá vesz, a szerződések, a szabályok, az ítéletek mindmind valóságosak – az nekünk megválaszolatlan kérdés. Meg aztán, ha az embert elítélik a büntetőjog alapján, vagy kártérítést kell fizetnie szerződésszegésért a polgári jog szabályai szerint, az nem puha következmény, az nem Hermann Hesse-i *Glasperlenspiel*.<sup>2</sup> És ha a kótáblákra írt parancsokra gondolunk, nem is értjük elődeinket, hogyan gondolhatták, hogy nem a jog a legkeményebb, a legreálisabb valami az emberiség történetében.

Amúgy lehet szépeket is hinni és írni a jogról, lásd Weöres Sándor gondolatát: „A szabály semmit se ér, ha elhatározás-szerűen viseled, ha komoran és konokul csörömpöl rajtad; a szabály akkor jó, ha érzéseidbe ivódik és finoman hajlékonyan támogat”, vagy Bibó

<sup>1</sup> „A matematikusok olyanok, mint a franciák; az ember beszél velük, ők ezt lefordítják a saját nyelvükre, és akkor már valami egészen mást jelent.”

<sup>2</sup> Magyar címe: *Az üvegöngyjáték*.

Istvánét, akiről azt írja Percz László: „...a fiatal Bibó számára a jog magatartásokat és szabályokat egyaránt átfogó jelenségvilága természetesen a »valóság« és az »érték« fogalmi dualitásában ragadható meg, a jogtudomány pedig a valóságtudományokkal szembeállított értéktudományok egyike lesz.” (Percz, 2008, 243.) Kommentálva e két mondatot: talán idealizmus, talán nem, úgy beállítani a jogot, ahogy azt Lános Petra Lea teszi, mint ami értékeket keres (ezen az alapon azt is lehet mondani, hogy a közgazdaságtan pedig a boldogság kék madara után fut, ami paradox módon nem tévedés, mármint: sem ezt állítani sem ezt tenni), az viszont tény, hogy a jog nem magyarázza önmagát, nincs önreflexiója. (Úgy értjük: a jogszabály a jogszabályban nem szól magáról, ahogy az ítélet se az ítéletben.) Talán az ún. értelmező rendelkezések és néhány preambulum a kivétel. És az Univerzum is hallgat, az se magyaráz magáról semmit, a számokról nem is beszélve: a nulla mennyi ideig hallgatott magáról! A fránya irracionális számokat ne is említsük! A jog annyiban hasonlít a Természetre, hogy egyik se ismeri be tévedését. Később igen, javítanak magukon, szerencsés esetben...

Persze, nemcsak nemzeti jogok vannak, hanem nemzetközi jog is, bár arról is a nemzetállamok állapotának meg, de az nem sokat foglalkozik velünk, emberekkel, mert fő tárgyköre az államok, vagy ahogy Friedrich Nietzsche nevezi őket, a *les monstres froids*, egymás irányába való viselkedése.

És van még a nemzeti jogokon felül az európai jog (Verebics, 2004), ezt is államok, a tagállamok alkotják, egy kicsi más szint a Bizottság azért hozzákeverhet. Van, aki szerint pont fordítva van, de lényegileg az egész nem más, minthogy a tagok megígérik egymás-

nak; ha egymáshoz vendégségbe mennek, mindig lesz virág az asztalon, a függöny félre lesz húzva, megengedett a *couchsurfing* vagy épp ellenkezőleg – tilos.

Annyiban viszont tényleg humán tudomány a jogtudomány, hogy maga is kritizálja vizsgálódása tárgyát, ilyen a természettudások nem tesznek. Nem mondják, hogy lenne alternatívája annak, ami van: olyan értekezést nem olvastunk, amely szerint másképp is fel lehetne építeni az atomot. Szóval hiába mondják egyesek magukat militáns materialistának, aligha van más ötletük az Univerzum teremtésének mikéntjére, mint Albert Einstein Nem Kockajátékosának, ahogy Walter Isaacson is megemlékezik a híres anekdotáról. Meg aztán, ha tévedett volna is valamiben a fizika Shakespeare-je, mondjuk az Univerzum tágulása tekintetében, ne feledjük el azt az intelmet, amely így szól: „Fiam, nem a legnagyobb emberek tévednek a legritkábban.” A jog nemcsak hierarchizált mondatok halmaza, hanem sajátos nyelvezettel rendelkező struktúra, amely furcsa módon nem használja a felszólító módot, kérdő mondat meg egyáltalán nincs benne. (Ez azért van, mert annyira biztos a dolgában? Igen, az író bíró, illetve a jogalkotó; a beszélő ügyvéd és ügyész biztos a dolgában, vagy legalábbis annak kell látszania, tehát nem lehet úgy valaki Hamlet színész, hogy kételkedik Hamlet szövegében.)

Egyedül a tudós kételkedhet a jogban. Választ valami témát, és annak kapcsán okvetetlenkedik. De nincs könnyű helyzetben, mert a kutatónak csak témái vannak, a jognak meg tárgykörei, ezeket kell összegereblyéznie. Jó meghatározás a jogra a következő: „Jog az, amit keresnek.” (Zódi, 2012) A jogtudomány akkor kapcsolódik a joghoz egyenesen, ha valami keresett tárgykörrel foglalkozik; ettől függetlenül vannak olyan témák a jogtudo-

mányban, amelyek fontosságát csak úgy lehet érzékeltetni, ha az ember azt mondja: „Ez alap kutatás.”

Sokak számára kérdéses, miért van szükség jogra. Ők valószínűleg nem ismerik Csányi Vilmos meghatározását: „Az ember ravaszkodó állat.” A jog erre a minősítésre reagál: a szemben álló felek vitáját egy harmadik, egy kívülálló szemével nézi, nem a szituáción belül lévők szemüvegén keresztül. De a jog nem terapeuta, nem az érdeklő, ami az asztal alatt van, hanem ami az asztalon. A jog voltaképpen a ravaszkodókkal szembeni kínai fal. A jog mibenlétét azzal a felismeréssel lehet illusztrálni, ami egy amerikai szenátor volt, aki egyszer így kiáltott fel: „Kontrollálni kell az államot, különben fejünkre gyújtja a házat, mert őrült.” Van, aki szerint, ha ezt a németek tudták volna, nem jutottak volna oda, hogy Drezdát újjá kellett építeni. A jog hiányában lévő úr érzékeltetésére szokták még azt a gondolatkísérletet említeni, amely szerint, ha száz gorillát föl rakunk a buszra, egy se fog élve megérkezni száz kilométerre lévő úticéljukhoz.

A szabály jellemzően mindig előír valamit, vagy ellenkezőleg, tilt. Az előírás, illetőleg a tilalom többnyire mindenkire kiterjedő, de kivételezés is megfigyelhető. A szabály alkotása mennyiségileg nem esik korlátozás alá, az más kérdés, hogy a sok szabályt egyes irányzatok ellenzik. Minőségi szempontból viszont a jog a civilizáltnak tartott államokban az alkotmánybíróságok vagy legfelsőbb bíróságok szigorú kontrollja alatt áll. Ezek a szervek megemmisíthetik, hatálytalanná tehetik az élő jogot. Ennek oka, hogy az elméleti felismerés és történelmi tapasztalat, miszerint mind a parlament, mind pedig a rendeleti úton kormányzó végrehajtó hatalom képes az ún. törvényes jogtalanságot, a *gesetzliches Unrecht*-et létrehozni. A jog tehát veszélyes

üzem, de azért több mint a törvények összeadva. Mondják; a jog olyan szerkezet, ami ön-maga fölé visszahajlik (Szabó, 2011). Tényleg: a jog önmagára hivatkozik, így aztán nem mindent ismer el jogosnak, ez valami olyasféle, mint a Shylock- eset. És fordítva: nem mindent tart jogtalannak, ami, úgy gondolnánk, az előzőekből következően jogellenes lenne.

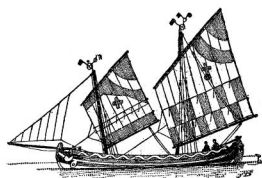
Szóval bonyolult egy konstrukció a jog, a fentiekből következően a tudomány gyermeke, aztán az más kérdés, hogy mindig megtudja-e, meg tudta-e nevelni csemetéjét. Nagyon úgy látszik, hogy mostohaatyjának, a politikának, mások a nevelési elvei.

Kulcsszavak: *jog, jogtudomány, reáltudomány, szabály, norma, módszertan, összehasonlító jog*

## IRODALOM

- Diósi György (1973): *A római jog világa*. Gondolat, Budapest
- Fekete Balázs (2011): *A modern jogösszehasonlítás paradigmái*. Gondolat, Budapest
- Hamza Gábor (1992): Az összehasonlító jogtudomány kibontakozásának útjai Európában. *Állam- és jogtudomány*. 38, 3–4, 275–296.
- Kelsen, Hans (1934): *Reine Rechtslehre: Einleitung in die rechtswissenschaftliche Problematik*. Deuticke, Leipzig 2008-as kiadás: • [http://www.google.hu/books?id=BpcDJKGjiPwC&dq=Kelsen,+Reine+Rechtslehre:+Einleitung+in+die+rechtswissenschaftliche+Problematik.&lr=&source=gbs\\_navlinks\\_s](http://www.google.hu/books?id=BpcDJKGjiPwC&dq=Kelsen,+Reine+Rechtslehre:+Einleitung+in+die+rechtswissenschaftliche+Problematik.&lr=&source=gbs_navlinks_s)
- Kissinger, Henry (2008): *Diplomácia*. Panem Grafo, Budapest
- Mádl Ferenc (1985): Vékás Lajos munkája a jogtudomány relativitás-elméletéről. *Állam- és jogtudomány*. 28, 2, 374–382.
- Nótári Tamás (2011): *Római köz- és magánjog*. Scientia, Kolozsvár

- Pázmándi Kinga (2011): A média-tartalomszabályozás hazai modelljének néhány aktuális kérdéséről. *Gazdaság és Jog*. 19, 1, 18–22.
- Perecz László (2008): *Nemzet, filozófia, „nemzeti” filozófia*. Argumentum, Budapest
- Péteri Zoltán (1975): A jogösszehasonlítás kezdetei az angol jogtudományban. *Állam- és jogtudomány*. 13, 3, 393–414.
- Sajó András (1983): *Kritikai értekezés a jogtudományról*. Akadémiai, Budapest
- Sárközy Tamás (1985): A jogi személy elméletének alakulása. *Közgazdasági és Jogi*, Budapest
- Szabó Miklós (2011): A jog alkotmányosságáról. *Miskolci Jogi Szemle*. 6, 183–195.
- Verebics János (2004): *Az európai magánjog fejlődésének főbb irányai, a jogegységesítés útjai és újabb állomásai*. Stratek, Budapest
- Zödi Zsolt (2012): *Jogi adatbázisok és jogi forráskutatás: gépek a jogban*. Gondolat, Budapest



## Tudós fórum

### IN MEMORIAM SÁRINGER GYULA (1928–2009) AKADÉMIKUS, A KÍSÉRLETES ROVARÖKOLÓGIA ÉS -ETOLÓGIA MAGYARORSZÁGI MEGTEREMTŐJE<sup>1</sup>

Horváth József

az MTA rendes tagja, professor emeritus,  
Pannon Egyetem Növényvédelmi Intézet, Keszthely  
ppi@georgikon.hu

Amikor felkérést kaptam arra, hogy a 81. élet-  
évemben elhunyt Sáringer Gyuláról, az MTA  
rendes tagjáról halálának 5. évfordulóján, az  
évtizedeket együtt eltöltő kollégáról és barát-  
ról emlékezzem, akkor döbbsentem rá igazán  
arra, hogy az emlékezés milyen szép, milyen  
fájdalmas és milyen nehéz is. Ha elfogadjuk  
a társadalmtudósok megállapítását, hogy  
egy generációnyi idő húsz-huszonöt év, akkor  
ma itt a jelenlévők háromgenerációnyi törté-  
nelmi tapasztalatait kellene közel hoznom  
egymáshoz, emberről, munkáról, hitről, sze-  
retetről és sok minden másról, hogy kimond-  
va, de leginkább kimondatlanul megértsük  
egymást. Nem gondoltam, hogy ez a feladat

próba elé állít, de olyan évtizedekre kell visz-  
szatekintennem, amelyekben négygene-  
rációnyi életünk felében a társadalom szöve-  
tét megfigyelők és megfigyelték, jelentők és  
jelentettek egyik oldalon, a mások oldalon a  
pártfogók és pártfogoltak alkották. Közöttünk  
lévők, akik ezt nem élték át, nem élték meg,  
azok számára az elmondott történetek hihe-  
tetlenek lehetnek, és elmondani talán nem is  
méltóak egy humánus, az elmúlt évek rostá-  
ján átesett visszaemlékezéshez, azon kevesek  
számára pedig, akik jelen vannak, és átélték  
vagy megélték a megsebzett kort, a visszafog-  
gott megemlékezés az előadó amnéziájára,  
emlékeztetkiesésére vallhat. Az is befolyásol,  
hogy mai rohanó, hangrobbanásos világunk-  
ban a régi értékek átrendeződnek, a példák  
elértéktelenednek, az emlékek feledésbe me-  
rülnek, vagy felejtésbe kényszerülnek.

<sup>1</sup> A Sáringer Gyula akadémikus emléktáblájának felava-  
tásán elhangzott beszéd írott változata (Pannon  
Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 2014. január 22.)

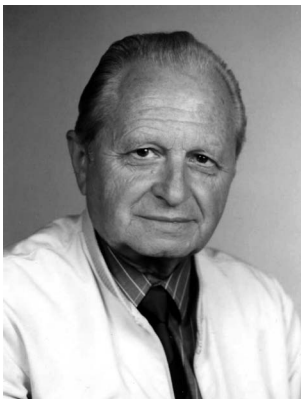
A laudációban nehéz elérzékenyülés nélkül arról beszélni, aki nagyon közel állt hozzám. Sáringer Gyula közel állt hozzám, és én közel álltam hozzá, közös, több mint fél évszázados hosszú utunk jó ismerői vagyunk. Kiterjedt publicisztikai írásait megbeszéltük, és amikor megjelentek (vagy az íróasztalban maradtak) átadta vagy elküldte őket nekem; a dedikáció mindig így hangzott: „*Horváth Jóska barátomnak arcom útjai régi ismerőjének.*” Könyvtárnyi írása, gazdag forrása *Élők és holtak* című hazai és külföldi gyűjteményemnek.

A legkönnyebb persze az lenne, ha ismertetném Sáringer Gyula roppant gazdag szakmai életútjának állomásait, de ennél többet szeretnék, hiszen egymás életének ismerői is vagyunk, és ő, az Ember több volt, mint akinek csak szakmai életútja van.

Több mint fél évszázad örömei és bánatai, igazsága és igazságtalansága, a fiatalság, a felnőtté válás és a megélt öregség együttléte kísérte utunkat két munkahelyen (a budapesti Növényvédelmi Kutató Intézet keszthelyi Laboratóriumában és a Pannon Egyetemen, Keszthelyen), amelynek ajtaját naponta együtt, talán elsőként és talán utolsóként nyitottuk és zártuk. Szükséglet volt, hogy naponta egymás ajtaját is kinyissuk és találkozzunk. A mindig bizalomra épült, hitet adó tartás kötötte össze napjainkat és sorsunkat is.

1957 decemberének egy ködös, hideg délelőttjén találkoztunk először. Három ember, három egymásra talált és egymásra utalt ember. Az egyik a negyvenegy éves Rainiss Lajos (1916–1974), a II. világháború hadifogságából betegen hazatért biológus tanár, a Keszthelyi

Mezőgazdasági Akadémiáról az 1956-os forradalom és szabadságharc eseményei miatt eltávolított akadémiai tanárom. A másik a somogyi kántortanító fia, a huszonkilenc éves Sáringer Gyula, akit 1945. január 28-án – két hónappal a 2. világháború (nagybajomi) befejezése előtt – összegyűjtötték, és 16–48 év közötti társaival Drezdába vittek,<sup>2</sup> majd 1945.



májusban orosz hadifogságba esett, és a tizenéves gyermek hadifogolyként 1945 nyarán hazatérve gondolkodhatott a kilátástalan jövőjéről. A harmadik, a huszonegy éves Horváth József, a Keszthelyi Mezőgazdasági Akadémiát egy hónapja elvégzett pályakezdő, az 1956-os forradalom megtorlásaitól még mindig félelemben lévő tudományos gyakornok. A talál-

kozásunkkor Sáringer Gyula már élvezte a budapesti Növényvédelmi Kutató Intézet híres tudósainak, professzorainak: Ubrizsy Gábornak (1919–1973) és Jermy Tibornak (1917–), később az MTA rendes tagjainak, valamint Reichart Gábornak (1917–1979), Bognár Sándornak (1921–2011), Nagy Barnabásnak (1921–) és Homonnay Ferencnek (1917–2006) a bizalmát és pártfogását a budapesti intézet keszthelyi Burgonyakutató Laboratóriumában. Rainiss Lajos és én a keszthelyi Délnyugat-dunántúli Mezőgazdasági Kísérleti Intézetben kaptunk rövid időre (1957 decemberétől 1959 decemberéig) állást Belák Sándor (1919–1978) igazgató és Láng

<sup>2</sup> Sáringer Gyula *A Somogy megyei Nagybajomból elhurcolt levente háborús élményei (1944–1945)* című, magánkiadásban, 2004-ben megjelent könyvében írta meg a tizenhat éves gimnazista elhurcolását és viszonttag-ságos hazatérését. Ezt az írást emlékül hagyta rám.

Géza (1916–1980) egyetemi tanárok, az MTA későbbi tagjai támogatásával, azzal a feladattal, hogy szervezzünk Növényvédelmi Csoportot az intézetben. A Keszthely Vásár-téri Kiskastély könyvtárszobájában, egy hatalmas tölgyfaasztal mellett ábrándoztunk a jövőről.

Azon a bizonyos decemberi napon, amikor Sáringer Gyulával találkoztunk, nyílt meg Rainiss Lajos számára és számomra is egy mindmáig felejthetetlen Sorsajándék, nevezetesen az, hogy az öreg menedéket adó Kiskastélyból vendégkutatóként Jermy Tibor laboratóriumvezető (Rainiss Lajos Eötvös-kollégista egykori társa) segítségével átköltöztünk a budapesti Növényvédelmi Kutató Intézet 1957. év végén felépült, modern keszthelyi Burgonyakutató Laboratóriumába, az öthektáros, gyümölcsfákkal teli „Édenkertbe”, ahol Sáringer Gyula is dolgozott, és ahol családjával is élt. Családjá, gyermekei, az 1957-ben született Mária, az 1958-ban született Magdolna és az 1961-ben született Tamás derével töltötték meg napjainkat.

A keszthelyi Délnyugat-dunántúli Mezőgazdasági Kísérleti Intézet (ahol Rainiss Lajos és én is dolgoztam 1957 és 1959 között) és a keszthelyi Mezőgazdasági Akadémia mint oktatási intézmény fúziója egyre közelebb került egymáshoz, és ez az 1956-os forradalomban kompromittáltak számára a foglalkoztatás végét jelentette. Két év múlva Rainiss Lajos és az én állásomat is felfüggesztették („szolgálati érdekből áthelyezve”), és befogadást nyertünk a budapesti Növényvédelmi Kutató Intézetbe és a Jermy Tibor vezette keszthelyi Burgonyakutató Laboratóriumba, ahol később Sáringer Gyula vezetői megbízást kapott. Rainiss Lajos számára 1961-ben újból megnyílt az oktatói pálya a keszthelyi Felsőfokú Mezőgazdasági Technikumban. Majd a technikum és az egyetem integrációja során

Rainiss Lajos 1972-ben az általa alapított egyetemi Növényvédelmi Intézet igazgatója lett, amelyet korai, 1974-ben bekövetkezett haláláig vezetett (Horváth, 2013, 41–42.).

A laboratórium nemcsak menedékhely volt számunkra, hanem szakmai otthon is, amelyben a szeretet és a tudomány művelése mindenképp felett állt. A Keszthelyi Laboratóriumban két évtizedet – egy generációnyi időt – töltöttünk együtt. Az intézet és a laboratórium szellemi központja meghatározó, mondhatnám sorsdöntő volt életünk alakulásában. A budapesti központi intézetnek és a keszthelyi laboratóriumának szellemét a kiválóságok szelleme, műveltsége és erkölcsi példamutatása határozta meg. Ez jelentette az intézet és a laboratórium belső tartalmát, lényegét és kisugárzását, amely olyan képzeletbeli és mégis valóságos világot tudott – a nehéz években is – teremteni, amelynek lényege a tudomány szeretetében, az emberbaráti szeretetben és az egymás iránti emberi és szakmai segítségnyújtásban nyilvánult meg. A Növényvédelmi Kutató Intézet és a keszthelyi Laboratórium azért is válhatott kiemelkedővé, mert az emberi és szellemi értékeket megfelelően méltányolta, mert diktatúrától, politikától és irigységtől mentes volt, és nem utolsósorban azért, mert nem lepték el a kistílú karrieristák. Falai között tülekedésmentes baráti közösség élt és dolgozott (Horváth, 2005, 571–573.; Horváth, 2009, 37–39).

A budapesti Herman Ottó úti intézet és a keszthelyi laboratórium, az „Édenkert” szelleme biztosította Sáringer Gyula számára is azt a szabad akaratot, amely képessé tette őt arra, hogy a jó és a rossz, a jóság és a gonoszság, a szeretet és a bűn között válasszon. Erich Fromm *A szeretet művészete* c. 1993-ban megjelent könyvében a következőket írta: „...az emberiség jelenleg egy új tudatosság megszü-

letésének folyamatát éli, amely a félelem, a tudatlanság és elszigeteltség fölé emelheti.” Ehhez azonban az embertársak iránti szeretet képességével, valódi alázattal, hittel és fegyelemmel kell rendelkezni. Ez volt Sáringer Gyula hitvallása is.

Giovanni Martinetti *A mai hit észérvei* című, 2001-ben megjelent könyvében Max Planck fizikai Nobel-díjas tudóst idézi, aki a világ megismerésével kapcsolatban a következőket mondta: „...intellektusunk megköveteli, hogy a természet törvényei között felismerjük azt a két hatóerőt, amely titok, de minden tudást áthat: a rendet, amelyről a tudományok, s Istent, amelyről a vallások beszélnek.” Sáringer Gyula szerint is ezek határozzák meg az ember érzéseit, gondolatait, döntéseit, cselekedeteit és életének egész értelmét. Sáringer Gyulának a vallásos neveltetés, a konzervatív, keresztény felfogás és az ebből fakadó intellektus – miként minden, a természet törvényeit kutató és tisztelő ember számára – biztosította a két hatóerőt. A tudós ember azonban sokszor beleütközik a megismerés határaiba, amelyet mindenkori ismereteinek vagy technológiai ismereteinek hiányos volta határoz meg. Az ember kulturális evolúciójába a hit beépített szükséglet, ezért a tudós – miként Sáringer Gyula is – törvényszerűen jutott el a hit kereséséhez és megtalálásához. A megismerésbe, vagy ha úgy tetszik, a tudományba vetett hit eredménye az a tudás, amelyet elért, és amelyet képes volt késői tanítványainak is átadni. Az igazi tudósi aforizma – amely Albert Einsteintól származik – „A lét válna kibírhatatlanul unalmassá, ha nem próbálnánk megfejteni azokat a titkokat, amelyeket Isten elrejtett előttünk” az a hajtóerő, amely az embert a természet törvényeinek, titkainak kutatása közben fokozatos és részleges megismeréshez segítette. Ein-

stein azonban a *The Human Side* című, 1979-ben megjelent könyvében arra is felhívta a figyelmet, hogy „Bárki, aki tudományos kutatásba fog, nem kerülheti el azt a meggyőződést, hogy abban, amit mi természettörvénynek nevezünk, valamilyen szellem nyilvánul meg. Mérheterlenül kiválóbb szellem ez, mint az emberi értelem, s az embernek a maga szerény képességével alázatot kell érezni előtte.” József Attila *Isten* című versében oly szépen fejezi ki ezt az érzést: „Most már tudom őt mindenképpen, / Minden dologban tetten értem. / S tudom is, miért szeret engem – / tetten értem az én szívemben.”

Most, amikor visszaemlékezésemben ismételen megemlítem munkásságunk első két évtizedének keszthelyi tudományos „Édenkertjét” – amely a dél-nyugat-északi és kelet-nyugati történelmi utak kereszteződésében, a Kármelita Bazilika tőszomszédságában terült el –, akkor óhatatlanul a *Biblia* képes hasonlataira, színes metaforáira gondolok, a Termékeny félhold területén virágba borult ligetre, amelyet a keszthelyi hegység övezte Balatonra néző táj, gondosan ápolt, virágzó alma- és körtefákkal teli kertjével és az 1956-os szabadságharcban és forradalomban való részvétellel megvádolt, de a laboratóriumot létrehozó „teremtőktől” bizalmat élvező, rokonlelkű emberek életteréhez, szállás helyéhez tudok hasonlítani.

A bibliai történeteknek, miként az otthonunknak is tekintett laboratórium történeteinek is erkölcsi mondanivalójuk van. Az éden a bibliai utalásokban termékeny tájat, héberül gyönyört jelent. Ilyen volt a laboratórium is: a tudomány számára termékeny volt, hiszen rövid két évtizedes fennállása alatt munkatársainak és a laboratóriumban hosszabb-rövidebb ideig dolgozóknak a tollából 397 magyar és idegen nyelvű dolgozat, két

egyetemi doktori értekezés, négy magyar és két angol nyelvű kandidátusi értekezés és három akadémiai doktori értekezés jelent meg. A laboratóriumban végzett tudományos munka Jermy Tibor, Sáringer Gyula és Horváth József akadémikussá válásában is döntő szerepet játszott. A laboratóriumban rövidebb-hosszabb időt eltöltő kutatók (Bánki László toxikológus, Dohy János mikológus, Gáborjányi Richard virológus (2001–2006 között a Pannon Egyetem Növényvédelmi Intézetének igazgatója, majd egyetemi tanára és professzor emeritusa), Hunyadi Károly gyombiológus (1984–1992 között a Pannon Egyetem Növényvédelmi Intézetének igazgatója), Jenser Gábor entomológus, Keve András ornitológus, Klement Zoltán bakteriológus, Kozár Ferenc entomológus, Kuroli Géza entomológus, Mihályi Ferenc entomológus, Móczár László zoológus, Nagy Barnabás entomológus, Szelényi Gusztáv entomológus, Varjas László rovarfiziológus, V. Németh Mária virológus és mások a hazai oktatási-kutatási intézményekben kiemelkedő pályát futottak be. A laboratórium azonban nemcsak termékeny volt, hanem az emberi élet számára, számunkra gyönyörűségekkel volt tele; ebben részesült az itt dolgozó, vagy a húsz év alatt idelátogató több mint kétszáz külföldi és hazai vendégkutató is, közöttük olyanok, mint az angol Sir Frederic Charles Bawden, a holland Jan de Wilde, Lute Bos, a francia Jean René Le Berre, a német Klaus Schmelzer, Franz Nienhaus, Heinz B. Schmidt, a cseh Ctibor Blattný, a horvát Nikola Juretić, Djordje Mamula, az amerikai Robert N. Goodmann, Michael Kosztarab, az indiai Bankey Behari Nagaich, az egyiptomi Esmat A. el-Kady, Ali Mohamed, Waheeb Hanna Besada és a magyar növényvédelmi tudomány számos képviselője.

A laboratórium két évtizedes történetének hiteles feldolgozásában (Sáringer, 2002, 423–450.) Sáringer Gyula megemlíti, hogy „Ebben a laboratóriumban született meg a kísérletes rovarökológia és -etológia, valamint a víruskutatás felvirágzása is; [...] a laboratóriumban elért kutatási eredmények igazi paradigmaváltást jelentettek a XX. század második felében végzett növényvédelmi, entomológiai és virológiai kutatások terén.” A laboratóriumi „Édenkertben”, ahol az Élet fája és a Tudás fája állt, átvitt értelemben földet, táplálékot és szellemiséget kaptunk azzal a ki nem mondott feltétellel, hogy a „jó és a rossz tudásának fájáról” nem ehetünk. A *Biblia* héber szövege szerint a tiltás értelme az, hogy „ne magad döntsd el, hogy mit szabad és mit nem szabad megtenned.” Ebben van a Teremtő teremtette ember erkölcsé. A megkísértés és a kiűzetés azonban a laboratóriumi „Édenkertet” is elérte. Nem a kígyó – amely az ártatlanság és a bűn közötti határvonalat jelenti – és nem a kígyó képében megjelenő Sátán – amely a héber nyelvben és tágabb, mélyebb értelemben „jövőbe látót” jelent –, hanem Keszthely városfejlesztési szükségessége és a Növényvédelmi Kutató Intézet budapesti létének bizonytalansága, az evakuálás évről évre visszatérő veszélye és a magyar növényvédelmi tudomány budapesti központi intézete megmentésének racionalitása indokolta az áldozat meghozatalát. Ezért 1978-ban „bűnbeesés nélkül” félelemmel és fájdalommal tele, örökre elveszítettük a földi paradicsomot, mint ahogy annak csodálatos ábrázolása a Sixtusi kápolna *Bűnbeesés* című freskóján látható, és elveszítettük a két évtized alatt a kutatómunkához nélkülözhetetlen alapvető tárgyi feltételek legnagyobb részét, az alkotómunkához szükséges kiegyensúlyozott létet, és az új egyetemi munkahelyen szembe kellett

nézni a bizonytalan tudományos jövővel, a még kilátástalanabb oktatói pályával és az előttünk álló, megpróbáltatásokat sem nélkülöző évekkel. A laboratóriumi „Édenkert” ezért örökre emlék marad. Kár, hogy ezt az emléket oly kevesen őrizzük.

1978-ban Sáringer Gyulával a Pannon Egyetem Növényvédelmi Intézetébe kerülünk tudományos tanácsadóként (Takács – Várnagy, 2012). Mindketten a mezőgazdasági tudományok doktora tudományos fokozattal (az MTA doktora) ugyan javítottuk az egyetem tudományos statisztikáját, de a szelekciós kritériumoknak nem feleltünk meg, ezért méltatlannak találtattunk arra, hogy részt vehessünk az egyetemi hallgatók oktatásában, tudományos szakdolgozatok vezetésében és bírálatában. Itt jegyzem meg, hogy Sáringer Gyula az 1974/75-ös tanévben – tehát még az egyetemre kerülésünk előtt – Rainiss Lajos az egyetemi Növényvédelmi Intézet igazgatójának közbenjárásával a *Növényvédelmi állattan* című tantárgyat adta elő az agrárkémia szak III. évfolyamos hallgatóinak. Rainiss Lajos 1974-ben bekövetkezett halála után azonban Sáringer Gyula előadásait az egyetemen megszüntették. Az egyetem másodosztályú polgárai voltunk; Sáringer Gyula ekkor ötven, én negyvenkét éves voltam. Ma már jól tudom, hogy ez a kor a szellemi képességek kibontakoztatására és megvalósítására (ha engedik) a legjobb idő. Sáringer Gyula egyik írásában ezzel kapcsolatban öt pontban megfogalmazta véleményét: (1) Minden tehetséges kutatónak negyven-negyvenkét éves korig maximális kutatási feltételeket kell biztosítani, (2) A negyvenedik életév körüli idő az iskolateremtő professzori idő, (3) A negyvenöt év utáni idő az utánpótlás képzési ideje és a tudomány szervezése, (4) Ötven év körül a nagy összefoglaló munkák

(tankönyvek írása), rektori, dékáni pozíciók ideje van, (5) Jóval ötven után a reprezentáció éve következnek (tudományos bizottságok stb.). De hangsúlyozta azt is, hogy bárkinek, aki tudományos munkába kezd, előtte el kell döntenie, hogy erre a teljes életét rá tudja-e szánni. Ha csak kötelező munkaidőben gondolkodik, hozzá se fogjon!

Nem titkolom, hogy Sáringer Gyula és én sem készültünk a Pannon Egyetemen vezetői pozícióba – ilyen reményünk nem is lehetett – de igenis változást akartunk, szeretnünk volna. A változás, a változtatás lényege az egyetemi oktatás színvonalát emelő tudományos iskola megteremtése és a nemzetközi kapcsolatok kiszélesítése lett volna. Sáringer Gyula számára és számomra is méltatlan, kirekesztő volt az 1978–1990 közötti évtized. Erről az évtizedről ebben a visszaemlékezésben nem kívánok beszélni. A munka megtalált és a költő üzenete: „Mikor elhagytak, / Mikor a lelke roszadozva vittem, / Csöndesen és váratlanul / Átölelt az Isten.” (Ady Endre.: *Az Úr érkezése*) elérkezett hozzánk.

A „Teremtéstörténet” az 1989/90-es évekkel folytatódott, azzal, hogy a hatvanegy éves Sáringer Gyulát és ötvenharmadik évemben engem is megajándékozott a *továbbéléssel* – miként az „Édenkerten” kívül rekedt Ádám és Éva elsőszülött fiuk, Káin a földet művelte, úgy másik fiuk, Ábel a juhokat őrizte – azzal, hogy Sáringer Gyula későbbi tanítványi és tanítványaink „benépesítették” a hazai agrár-tudományok, ezen belül az entomológiai és virológiai tudományok földjét, hogy gazdagon teremjen.

A Pannon Egyetem és Növényvédelmi Intézete 1990-ben új fejlődési pályára állt, és ebben meghatározó szerepe volt Sáringer Gyulának. Visszaemlékezve örömmel tölt el,



Sáringer Gyula emléktáblája a Pannon Egyetem Georgikon Karán, Keszthely, 2014

hogy a Növényvédelmi Intézet igazgatójaként első intézkedésem közé tartozott Sáringer Gyulát kutatóprofesszorrá, majd 1993-ban egyetemi tanárrá felterjeszteni és kinevezetni. Az az egyetem, amely szakmai kvalitásainak teljében, iskolateremtő képességeinek birtokában 1978-ban nem adta meg Sáringer Gyula számára az egyetemi tanárrá, az egyetem első osztályú polgárává válás lehetőségét, ugyanaz az egyetem „arcképváltása” 1993-ban, hatvanöt éves korában a Pannon Egyetem rektorává, első emberévé választotta. Rektori székfoglaló beszédének (1993. szeptember 6-án) első mondata így hangzott: „Isten házából jöttünk, életem legjelentősebb szolgálatát *in nomine Dei* kezdem meg”. Ekkor volt a Georgikon alapításának 175. évfordulója is. Sáringer Gyula egész életét szolgálatnak tekintette. Az egyetem vezetésével kapcsolatos rektori elképzelései is minőségi változás szükségességére utaltak. Ezeket öt pontban fogalmazta meg 1993-ban: (1) A vezetők csak erkölcsileg hiteles személyek lehetnek, (2) Magánéletükben példaeértékűnek kell lenniük, (3) Szakterületükön hazai és nemzetközi viszonylatban is elismertnek kell lenniük, (4) A legmagasabb tudományos fokozattal, akadémiai doktori címmel kell rendelkezniük, (5) Jó empátia-képességgel kell rendelkezniük.

Rendíthetetlen optimizmusa és emberi jósága, a hasznos szolgálat, a jótevés ösztöne indította arra, hogy hetvenévesen, 1998-ban mint a nemzeti, konzervatív keresztény, párton kívüli vagy a pártokon felül álló, a Zala megyei listáról, egykori szülőföldjéről a FIDESZ-Magyar Polgári Párt frakciójába kerüljön, ahol 1998–2002 között dolgozott. Erről az időről egy nekem elküldött levelében, 2002. május 28-án a következőket írta: „Szokatlan volt számomra a politikai szereplőknek a beszédstílus és az eseményekhez való hozzáállása. Rájöttem, hogy a napi politika az a szakma, amely teljesen más, mint a tudomány, ezért csendes szemlélődőjévé váltam az országgyűlési eseményeknek.”

A hetvenedik születésnapján, 1998-ban azzal a kívánsággal köszöntöttem, mi szerint élt: *Labora tanquam in aeternum viveres, et ora quasi statim mori de beres.*<sup>3</sup> (Horváth, 1998) Élete utolsó éveiben kutatóprofesszor volt, 2002-ben az egyetem professzor emeritusa, 2008-ban *Dr. honoris causa* lett. Élete utolsó percéig dolgozott, szakmai és emberi példaképe volt munkatársainak és az egyetem hallgatóságának. Szakmai, vallástörténeti és filozófiai elmélyülései és megbocsátó képessége tette széppé és meglegedetté életét, mások számára pedig példamutatóvá.

Fájdalommal búcsúztunk el Tőle, 2009. február 26-án, amikor nyolcvanegyedik életében visszaadta lelkét Teremtőjének.

Nemcsak nemzetközileg elismert tudós, hanem igaz ember, egy igazi, megbízható barát is volt, aki most is nagyon hiányzik.

Nosztalgiaiával gondolok rá, távozásával egy emberi értékrend, mentalitás és ízlésvilág is szegényebbé vált. Keszthely város, ahol

<sup>3</sup> Úgy dolgozz, mintha örökké élnél, és úgy imádkozz, mintha mindjárt meghalnál.



leélte életét, büszke lehet tudós professzorára, de sajnos, csak halála után ismerték el, amikor a város díszpolgára lett. Emlékezzünk rá, élete legyen példa a fájdalmat elviselőknél és

a Sors által megajándékozottaknak is. *Abiit, non obiit.*<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Eltávozott, de nem halt meg.

Kulcsszavak: *Sáringner Gyula, Növényvédelmi Kutató Intézet, Keszthelyi Laboratórium, Pannon Egyetem, rovarökológia és -etológia, hit, erkölcs*

#### IRODALOM

Horváth József (1998): *A 70 éves Sáringner Gyula akadémikus köszöntése*. Pannon Egyetem, Keszthely 1998. december 18-án (Kézirat).

Horváth József (2005): A Herman Ottó úti szellem: Valóság és misztérium. *Növényvédelem*. 41, 571–573.

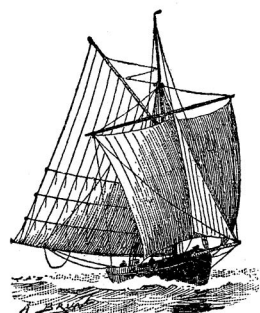
Horváth József (2009): Volt egyszer egy Laboratórium (1958–1978). *Növényvédelem*. 45, 37–39.

Horváth József (2013): Dr. Rainiss Lajos előadóterem avatása a Pannon Egyetem Georgikon Kar Növényvédelmi Intézete fennállásának 40. évfordulóján. *Növényvédelem*. 49, 41–42.

Sáringner Gyula (2002): A Növényvédelmi Kutató Intézet (Budapest) Keszthelyi Laboratóriumának története (1952–1977). *Növényvédelem*. 38, 423–450.

Sáringner Gyula (2004): *A Somogy megyei Nagybajomból elhurcolt levente háborús élményei (1944–1945)*. Magánkiadás, Keszthely

Takács András Péter – Várnagy László (2012): A Pannon Egyetem Georgikon Kar Növényvédelmi Intézetének története (1972–2012). Georgikon Alapítvány, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely



## MAGYAR FELSŐOKTATÁSI RANGSOROK, HALLGATÓI PREFERENCIÁK KONFERENCIAISMERTETÉS\*

Nagy Andrea Magda

PhD hallgató,  
Pannon Egyetem (PE)  
andreamagda.nagy@gmail.com

A felsőoktatási rangsorok, habár könnyen használható és rendkívül népszerű „eszközök”, mégis, hiányosságai gyakran kérdésessé teszik létjogosultságukat. A rangsorolás mikéntjeire keresték a választ a *Magyar felsőoktatási rangsorok, hallgatói preferenciák* című konferencia résztvevői.

A rendezvény első előadója Mihályi Péter (Pannon Egyetem Gazdaságtudományi Kar) volt, aki a felsőoktatási intézmények teljesítményének mérhetőségét elemezte. Példákkal illusztrálta, hogy milyen eltérő eredményeket kaphatunk egy olyan „csekély” változtatással is, mint a mérésre használt skála. Előadása második részében a hazai felsőoktatási rangsorokkal kapcsolatos néhány tapasztalatát osztotta meg. Ha a rangsorolásnál számít a minősített oktató, akkor az intézmények hajlamosak lesznek a jobb helyezés érdekében átcsoportosítani, ha pedig a könyvtár mérete számít, akkor majd remittendákkal töltik fel a könyvtáraikat. Az eredmények megbízha-

tóságát két további tényező is torzíthatja. Egyrészt megfigyelhető, hogy a nagyobb egyetemek az objektív mutatók nagy részénél előnyt élveznek (ez a méret nagyság hatása), másrészt egy valamikor nagy presztízsűnek titulált egyetem hosszú éveig élvezheti ennek pozitív hatásait függetlenül attól, hogy a későbbiek során hogyan teljesít.

Fábi György (Eötvös Loránd Tudományegyetem Pedagógiai és Pszichológiai Kar Pszichológia Intézet Társadalmi és Tudománykommunikációs Kutatócsoport) röviden ismertette, miért is alakultak/alakulhattak ki egyetemi rangsorok. Kiemelte a média szerepének fontosságát, illetve rávilágított arra, hogy a tömegmédiák kikerülése csak illúzió. Az előadás második felében a magyar felsőoktatási rangsorokat elemezte. Szóba került a népszerű és sokat hangoztatott igény, hogy legyen magyar egyetem a nemzetközi TOP200-as listában. Fábi György szerint ez egyetlen módon lehetséges, és pedig, ha megalakul a „Budapesti Tudományegyetem”. Ha követjük Indonézia példáját, és több nagy egyetemet egy közös intézménnyé „gyúrunk össze”, akkor ott lehetünk az élvonalban. A kérdés persze az, hogy egy ilyen „szuperegye-

\* A Pannon Egyetem Kvantitatív Módszerek Intézeti Tanszéke és az MTA–Pannon Egyetem Regionális Innovációs és Fejlesztési Hálózati Kutatócsoportja 2013. november 19-én, a Pannon Egyetemen szervezett konferenciát.

tem” minőségi javulást is jelent-e, vagy csak egyszerűen rangsorbeli pozícionyerést.

A következő előadást Kiss László (Educatio Nonprofit Kft.) tartotta, aki a magyarországi rangsorkészítés jellemzőit ismertette, kiemelve azok gyenge pontjait (érvényesség, megbízhatóság, teljeskörűség problémája). Külön kitért a Magyarországon alkalmazott rangsordimenziók bemutatására is: jelentkezői, hallgatói és oktatói kiválóság, illetve a munkaerő-piaci presztízs és a hallgatói elégedettség. Prezentációja végén megfogalmazott néhány kritikus kérdést a rangsorokkal kapcsolatban: mi a célja a rangsorolásnak, mit akarunk elérni vele, milyen is a jó rangsor, illetve milyen nemzetközi trendek figyelhetők meg ezzel kapcsolatban?

A konferencia első felét Telcs András (Pannon Egyetem Gazdaságtudományi Kar) előadása zárta. Telcs és szerzőtársai (Kosztján Zsolt Tibor, Török Ádám) új rangsorkészítési eljárásra tettek javaslatot. Az általuk kidolgozott módszer a hallgatói preferenciákra épít. A cél az volt, hogy egy objektív, egydimenziós rangsort alakítsanak ki. A Felvi adatbázisát használták. A felsőoktatásba jelentkezők választásait figyelve állították össze a magyar egyetemek és főiskolák rangsorát.

A soron következő előadást Temesi József (Budapesti Corvinus Egyetem Nemzetközi Felsőoktatási Kutatások Központja) tartotta, aki részletesen elemezte a legismertebb nemzetközi felsőoktatási rangsorokat (THES, ARWU, Webometrics), illetve bemutatott néhány kevésbé ismertet is (U21 Ranking). Összefoglalta, hogy a magyar felsőoktatási intézmények hol helyezkednek el ezekben a rangsorokban. Akárcsak Fábri György, Temesi József is megkérdőjelezte annak a „célnek” a létjogosultságát, amely szerint a magyar felsőoktatási rendszer akkor lesz/lehet külföl-

dön is elfogadott, ha legalább egy intézménye bekerül a nemzetközi TOP 200-ba. Itt újra megfogalmazható a korábban is szóba került problémakör: van-e értelme létrehozni egy, több felsőoktatási intézményt magába foglaló, nagy „Budapesti Tudományegyetemet”?! Temesi előadásában bemutatta még az U-Multirank és U-Map nemzetközi projekteket is, amelyek célja egy felhasználóbarát, felsőoktatási intézmények összehasonlíthatóságát elősegítő rangsor és interaktív felület kiépítése. Ezeknek a módszereknek magyar viszonyokra való alkalmazására történtek már próbálkozások, de a teljes kiépítés még várta magára.

Kruzslicz Ferenc (Pécsi Tudományegyetem Közgazdaságtudományi Kar) egy új elemzési módszert ismertetett, nevezetesen a *duo-mining* eljárást. Az előadó különböző szakindítási kérelmeket vizsgált meg a fentebb említett módszer segítségével. Olyan kérdésekre kereste a választ, hogy a vizsgált szakok mennyire gyakorlatorientáltak, melyek a legfontosabb elérendő célok az egyes programokkal, melyek tekinthetők „vegyes”, „általános”, és melyek „sziget” szakoknak, az egy tárgyra jutó kreditértékek mely szakterületeken a legmagasabbak, és mely területeken a legkisebbek. Az alapszakokat abból a szempontból is megvizsgálta, hogy melyek azok a szakok, amelyek tartalmi eltérése nem éri el az 50%-ot. Eredményeiből kitérünk például, hogy az üzleti BSc-programok hasonlósága nagyon erős, véleménye szerint „mintha elég lett volna egy üzleti alapszakot meghirdetni...” Ez a megállapítás összecseng Mihályi Péter észrevételével, miszerint az egyetemek hajlamosak „újabb és újabb jól hangzó programneveket” kitalálni a több hallgató, esetlegesen jobb helyezés reményében. Az egyes szakterületek egymáshoz való viszonyának

ábrázolására Kruzslicz Ferenc egy átfedési hálózatot is bemutatott, amely jól visszatükrözi az egyes szakterületek besorolását.

A konferencia utolsó előtti előadásában újra a hallgatói preferenciák vizsgálata került előtérbe. Csuka Gyöngyi (MTA–Pannon Egyetem Regionális Innovációs és Fejlesztési Hálózati Kutatócsoport) 2009 óta tartó kérdőíves felméréseinek eredményeit mutatta be. Arra kereste a választ, hogy az érettségiző, leendő hallgatók milyen szempontok alapján választanak felsőoktatási intézményeket, mennyire ismerik a különböző felsőoktatási rangsorokat, illetve, abban az esetben, ha ismerik, akkor mennyire veszik figyelembe ezeket döntéseik során. A vizsgálat eredményei szerint a diákok majdnem háromnegyede ismer legalább egy rangsort (kivéve a 2012-es év, ahol ez az arány csak 48 százalék). A döntéseiket azonban leginkább a következő tényezők befolyásolják: az oktatás minősége, a használható tudás és a végzés utáni elhelyezkedés esélye.

A rendezvény utolsó előadója Kosztján Zsolt Tibor (Pannon Egyetem Gazdaságtudományi Kar) volt. Előadásában a felsőoktatás értékelésének kérdéskörét szintén a hallgatói preferenciák oldaláról közelítette meg. Először a preferencia-sorrendek és az oktatói

kiválóság kapcsolatát vizsgálta meg, majd gravitációs és potenciál modell segítségével a hallgatói áramlásokat modellezte. Előadása harmadik részében pedig a jelentkezési sorrendeket elemezte logit modellek és neurális hálókat alkalmazásával. Eredményei alapján elmondható, hogy Budapest befolyása és központi szerepe megkérdőjelezhetetlen, a hallgatók többnyire az elsőhelyes jelentkezésnél választanak tudatosan, a vidéki egyetemeken esetében a hallgatói döntéseket erőteljesen befolyásolja a távolság és az oktatói kiválóság.

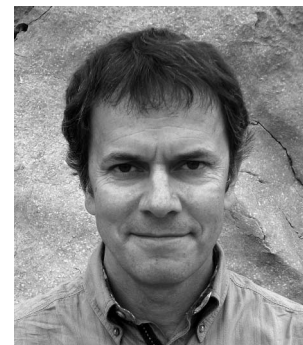
A konferencia során megismerhettük a legnépszerűbb felsőoktatási rangsorok módszertani, elméleti alapjait, láttunk példákat új eljárásokra, vizsgálati szempontokra. Az elhangzott előadásokból kitérünk, hogy a jelenleg használatos rangsoroknak számos gyenge pontjuk van, ugyanakkor a könnyű használhatóságuk és népszerűségük miatt igen jelentős befolyásoló szereppel bírnak. Az is egyértelművé vált, hogy rangsorolni kell, mert „az ellenállás felesleges”, ugyanakkor nem mindegy, hogyan. A rendezvényen elhangzott előadások által talán egy kicsit közelebb kerültünk ennek a „hogyan”-nak a megválaszolásához.

Kulcsszavak: *rangsor, felsőoktatás, preferenciák*

### *Kedves Olvasóink!*

Régi szokásunk, hogy az MTA új levelező tagjait a *Magyar Tudományban* körkérdésekre adott válaszaik segítségével mutatjuk be. Idén négy kérdésre kértünk választ.

1. Hogyan emlékszik vissza, mi volt a döntő mozzanat, pillanat az életében, amikor eldőlt – vagy eldöntötte –, hogy éppen ez a kérdés, probléma, tudományterület érdeklí?
2. Mi az Ön eddigi legfontosabb tudományos eredménye?
3. Mi az a kérdés, probléma, ami az Ön tudományos területén ma nemzetközileg foglalkoztatja a kutatókat?
4. Kivel cserélné pályát? Akár egy másik tudományterületre, esetleg művészi pályára is gondolva...



PÁLFY JÓZSEF (1962)

Földtudományok Osztálya • Szakterület: paleontológia, geokronológia, földtörténet • Kutatási téma: • alsó jura ammonitesz-biostratigráfia, jura időskála kalibrációja, triász végi tömeges kihálás • foglalkozás: tanszékvezető egyetemi tanár, kutatócsoport-vezető, Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar, Földrajz- és Földtudományi Intézet Földtudományi Központ, Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, MTA–Magyar Természettudományi Múzeum–ELTE Paleontológiai Kutatócsoport

1. Visszagondolva, valóban volt néhány kulcsfontosságú tényezője annak, hogy most kutatóként földtörténettel foglalkozom. Az egyetemen a geológus szakot a természet és a természetben űzött sportok szeretete miatt is választottam (akkoriban ez számomra a tájfutás volt), azaz olyasvalamit akartam tanulni, hogy majdani munkám a szabadban, hegyek között legyen végezhető. Korábban a geológiával először akkor kerültem kapcsolatba, amikor rokoni szálak révén tizenévesen sokat fordultam meg Nagybörzsönyben, és sokat olvastam a falu régi bányászmuljtjáról és a környékbeli aranyércesedésről. Az egyetemen a paleontológiai mellett azért kötöttem

ki, mert szerettem Géczy Barnabás Őslénytani Tanszékének hangulatát, felnéztem Galács tanár úrra, akit szakdolgozati témavezetőmnek választottam, és akit az idén Akadémiai Díjjal tüntettek ki, és megfogott az ősmaradványok szépsége, megtalálásuk öröme, és a fossziliákkal kapcsolatos tudományos kérdések izgalma. Már szakdolgozóként részben a Magyar Természettudományi Múzeum Őslénytárában tevékenykedtem, ahol Vörös Attila irányításával éltem át az első ősmaradványhatározás izgalmát, majd bölcs mentorságra alatt kezdtem bontogatni szakmai szárnyaimat. Kanadában doktoranduszként tárult számomra tágra a világ szakmailag is, Paul Smith diákjaként értettem meg, hogy a paleontológia mellett a földtörténet megértéséhez érdemes más módszerekbe is beletanulni. Az akkor felszedett radiometrikus kormeghatározási és izotópgeológiai ismereteim, és az ott rám ragadt széles kitekintésű földtörténeti oknyomozó szemlélet nélkül nem tudtam volna elérni azokat az eredményeket, amelyeket számon tartanak, és amelyek elismerésének tekintem az MTA tagjává választásomat.

2. A földtörténeti középkor jura időszakának időskáláját a korábbinál pontosabban sikerült kalibrálnom, az ammoniteszek (kihalt tengeri őslények) evolúcióján alapuló kormeghatározás és vulkáni tufarétegek cirkon ásványain mért U-Pb radiometrikus korok ötvözésével. Ezekből a vizsgálatokból arra is fény derült, hogy a triász és a jura időszakok határán bekövetkezett nagy kihálási esemény, és a kora jura során tapasztalható kisebb krízis egyidős egy-egy nagy magmás provincia kialakulásához vezető vulkáni tevékenység csúcsával. Ezen a nyomon elindulva, kollégáimmal egy magyarországi lelőhelyről a világon elsők között mutattuk ki azt, hogy mintegy 200 mil-

lió évvel ezelőtt, a triász időszak végén a Föld szénkörforgása is súlyos zavart szenvedett. Adataink hozzájárultak annak megerősítéséhez, hogy a földtörténetben ritka, de annál intenzívebb vulkáni epizódok lehettek a kiváltó okai az egykori légkört és az óceánokat érintő klíma- és környezetváltozások láncolatának, amelyek az élővilágot is megtizedelték.

3. A fenti kérdéskör távolról sem tekinthető lezártnak. A kihálási eseményekkel kapcsolatban a paleontológusok még mindig nem elég biztosak a kihálások hirtelenségében, időbeli lefolyásuk és szelektivitásuk kérdésében. Egyre több jel mutat arra, hogy a légköri CO<sub>2</sub> növekedése indította el a globális felmelegedést, de mértékét fontos lenne jobban számszerűsíteni, és a melegedést erősítő mechanizmusokat jobban megérteni. További

geokémiai vizsgálatok kellene annak tisztázásához is, hogy mekkora szerepe lehetett az óceánok savasodásának a mézsvázu tengeri élőlények kihálásában. Bízom benne, hogy ezeknek a megválaszolásához kutatótársaimmal együtt a jövőben is sikerül hozzájárulni.

4. Fiatalabb koromban bántam, hogy nem volt több tehetségem a sporthoz. Szinte minden érdekelt, ami a futáshoz kapcsolódott, tájfutás, maratoni futás, sífutás. Annak idején valószínűleg elcséréltem volna a tudományos pályát egy sikeres sportkarrierre. Ma már nem sajnálom, hogy középszerű maradtam a sportban, a nagy eredmények elmaradásáért kárpótolt a sportolás élethosszig tartó öröme. A tudományos pályára pedig talán elhoztam magammal a sikerért való kitarító munka képességét és a versenyszellem ösztönző hatását.



Előző számunkban az új levelező tagként bemutatott Kecskés László neve és személyes adatai helyett fia, András neve és adatai jelentek meg. Az érintettektől és Olvasóinktól elnézést kérünk; a helyes adatok a következők:

### KECSKÉS LÁSZLÓ (1953)

Gazdaság- és Jogtudományok Osztálya • Szakterület: polgári jog, nemzetközi magánjog, az Európai Unió joga • Foglalkozás: egyetemi tanár, Pécsi Tudományegyetem Állam- és Jogtudományi Kar Polgári Jogi Tanszék

## Kitekintés

### A MESTERSÉGES KÉZ NEM CSAK FOGNI, ÉREZNI IS KÉPES

Egy német, olasz és svájci agykutatókból, mérnökökből, sebészekből és robotikai szakemberekből álló nemzetközi csoport létrehozta az első olyan bionikus kezét, amely valós idejű érzékelésre képes. Az újdonságot nem maga a kéz jelenti, hanem egy új elektronika és szoftver, melyek együttesen teszik lehetővé, hogy a kézprotézis által érzékelt információkat az agy is értelmezni tudja.

Silvestro Micera professzor (École polytechnique fédérale de Lausanne, Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa) és munkatársai olyan szenzorokat építettek be a mesterséges kézbe, amelyek rögzíteni és mérni képesek az érintés során szerzett információkat. Ezen érzékelők elektromos jeleit alakítja át egy számítógépes algoritmus olyan impulzusokká, melyeket az érzőidegek értelmezni tudnak.

A kézprotézist egy Dennis Aabo nevű harminchat éves dán férfi segítségével próbálták ki, aki tíz évvel ezelőtt, egy tűzijáték okozta baleset során elveszítette a bal kezét. A teszteléshez szükséges műtétet Rómában végezték. A mesterséges kéz ujjaiiban lévő érzékelőket négy elektródával Aabo felső karjának pici perifériás idegeihez implantálták. A kipróbálás során a férfi bekötött szemmel is érzekelte a tárgyak formáját, illetve keménységüket vagy puhaságukat. Az egyik kutató szerint azonban a legizgalmasabb pillanat az

volt, amikor egyszercsak felkiáltott: „*Ez fantasztikus! Érzem, ahogy a hiányzó kezem becsukódik*”.

Dennis Aabo egyébként az operációt megelőzően egy hónapot a kutatókkal töltött a laboratóriumban, hogy az érzékelők műtét előtti tesztelésében is a segítségükre legyen.

A férfire még egy műtét vár, hiszen az elektródákat majd el kell távolítani.

Raspopovic, Stanisa – Capogrosso, Marco – Petrini Francesco Maria et al.: Restoring Natural Sensory Feedback in Real-Time Bidirectional Hand Prostheses. *Science Translational Medicine*. 5 February 2014. 6, e 222, 222ra19. DOI: 10.1126/scitranslmed.3006820

### AZ ANTIOXIDÁNSOK MEGVÉDIK A RÁKSEJTÉKET

Svéd kutatók (Sahlgrenska University Hospital, Göteborg) molekuláris magyarázatot találtak arra a statisztika adatokból már ismert jelenségre, hogy bizonyos antioxidánsok, például a béta-karotin, az E-vitamin vagy a C-vitamin nagy dózisban növelik a tüdőrák vagy a prosztatarák kockázatát, illetve gátolják a kemo- és sugárterápia-kezelések hatékonyságát.

A sejtekben bizonyos biokémiai folyamatok során igen reakcióképes szabadgyökök keletkeznek, amelyeknek különféle károsító hatásuk lehet. Ma már nagyon sok olyan

terméket forgalmaznak, amelyek az ilyen szabadgyököket csapdába ejtő antioxidánsokat tartalmaznak, és amelyekről azt állítják, hogy lassítják az öregedést, vagy védelmet nyújtanak bizonyos betegségekkel, egyebek között rákos betegségekkel szemben.

Az elmúlt években azonban több olyan klinikai vizsgálatot publikáltak, amelyek ennek ellenkezőjét bizonyították: az antioxidánsok nem hogy nem védenek a rák ellen, hanem segítik bizonyos daganatos betegségek kialakulását. Például egy 2011-ben befejezett, a prosztaták megelőzésének lehetőségeit vizsgáló tanulmány megállapította, hogy azok a férfiak, akik a megelőzés érdekében öt és fél éven át E-vitamint szedtek, tizenhét százalékkal nagyobb eséllyel kapták meg a betegséget, mint azok, akik a tanulmány során placebót kaptak.

A svédok által publikált kísérletekben Martin Bergö és munkatársai egerekben állati és emberi daganatokból származó sejtek segítségével kicsiny tüdőrákot idéztek elő, majd az állatok egy-egy csoportja antioxidánsként E-vitamint, illetve N-acetilciszteint kapott, míg a többiek semmit. A kutatók szerint az eredmények drámaiak voltak: az antioxidánsokkal kezelt egerekben a tumorok száma, mérete és agresszivitása kb. a háromszorosára nőtt, a túlélési idő pedig legalább ötven százalékkal csökkent.

Bergöék molekuláris biológiai vizsgálatokkal azt is megállapították, hogy az antioxidánsos csoportok állatainak ráksejtjeiben jelentősen csökkent egy olyan gén, az ún. p53 aktivitása, amelynek fontos szerepe van a rákosan elfajult sejtek felismerésében és elpusztításában. Úgy tűnik, hogy az antioxidánsok kikapcsolták ezt a fontos tumorszupresszor gént.

A kutatók hangsúlyozzák, hogy vizsgálataik semmit nem mondanak arról, hogy vajon

egészséges emberekben az antioxidánsok növelik-e a tüdőrák kialakulásának kockázatát. Az azonban kijelenthető, hogy azok számára, akiknek tüdejében már kialakult egy tumor, vagy dohányoznak, illetve COPD-betegségben szenvednek, az antioxidánsok fogyasztása kockázatos.

Bergöék a továbbiakban az antioxidánsok más rosszindulatú daganatokra, például a festékes bőrdaganatra, a melanomára, illetve a bélrákokra gyakorolt hatását szeretnék megvizsgálni.

Sayin, Volkan I. – Ibrahim, Mohamed X. – Larsson, Eric et al.: Antioxidants Accelerate Lung Cancer Progression in Mice. *Science Translational Medicine*. 29 January 2014. 6, 221, 221ra15. DOI: 10.1126/scitranslmed.3007653

## AZ AGY NEME

A férfi és a női agy különbözik – ezt régóta tudjuk. Most azonban a Cambridge University kutatóinak vezetésével egy hatalmas metaanalízis készült, melyben több mint húsz év szakirodalmát dolgozták fel. Az emberi agyról képalkotó eljárással készült olyan felvételeket elemeztek, amelyeket a *Web of Knowledge*, a *Scopus* és a *PubMed* adatbázisában szereplő összesen 126 cikkben 1990 és 2013 között publikáltak. A korösszetétel az újszülöttektől a nyolcvanévesig terjedt.

A több ezer kép alapján megállapították, hogy a férfi agy összterfoglata átlagosan 8–13 százalékkal nagyobb, ugyanakkor legalább tucatnyi terület esetében a női agyban nagyobb a szövetsűrűség.

Az eredmények arra hívják fel a figyelmet, hogy a nemek közötti különbségeket az idegrendszeri kutatásoknál figyelembe kelle-

ne venni, de a differenciák fontosak lehetnek neurológiai vagy pszichiátriai betegségek kezelésében is.

Ruigrok, Amber N. V. – Salimi-Khorshidi, Gholamreza – Lai, Meng-Chuan et al.: A Meta-analysis of Sex Differences in Human Brain Structure. *Neuroscience & Behavioral Reviews*. In Press, available online 26 December 2013.

DOI: 10.1016/j.neubiorev.2013.12.004

## OSZTOZKODÁS IGAZI MATEMATIKÁVAL

Észak-amerikai és osztrák matematikusok két olyan algoritmust alkottak meg, melyeket nem feldarabolható javak két fél közötti igazságos elosztására lehet használni. A probléma egyidős az emberi civilizációval. Az első írásos emlék az Ótestamentumban található Ábrahám és Lót osztozkodása – írják a szerzők most megjelent cikkük bevezetőjében. Úgy vélik, bemutatott módszerük a gyakorlati életben is eredményesen működne, például váláskor vagy közös vagyon öröklésekor.

Első lépésként a két fél egymástól függetlenül felállít egy-egy preferencia-sorrendet, hogy a tételek közül melyiket szeretné leginkább, melyiket másodsorban stb. Ennek a rangsorolásnak egyértelműnek kell lennie, és a manipuláció kizárhatóságának feltétele, hogy a felek ne ismerjék egymás preferenciáit. A módszer működését a kutatók különböző szituációkban példákkal mutatják be.

Brams, Steven J. – Kilgour, D. Marc – Klamler, Christian: Two-person Fair Division of Indivisible Items: An Efficient, Envy-Free Algorithm. *Notices of the American Mathematical Society*. February 2014. 61, 2, 130. DOI: 10.1090/noti1075

## A FÜLZSÍR IS INFORMÁCIÓFORRÁS?

Amerikai vegyészek részletes analízisnek vetették alá az emberi fülzsírt. A néhány ezer kis mirigy által termelt, a dobhártya és a külső hallójárat védelmében fontos szerepet játszó váladék illékony komponenseit vizsgálták, abból a feltevésből kiindulva, hogy más mirigyek által termelt illatanyagokhoz hasonlóan esetleg ezek is részt vehetnek az emberek közötti információcserében.

A kaukázusi, illetve afrikai típusú emberek által termelt fülvédő anyag fizikai megjelenésében, színében is eltérő a kelet-ázsiaiakétól. A tömegspektroszkóppal kombinált gázkromatográfiás (GC/MS) analitikai vizsgálatokhoz egyenlő számban használtak a két csoportból származó mintákat. A mintavétel és -kezelés részletekbe menően standardizált volt.

Az eredmények szerint a kaukázusi és nyugat-ázsiai emberektől származó mintákban ugyanazok az illóanyagok találhatóak, de a mennyiségi arányokban jelentősek az eltérések. A kutatók szerint a könnyen párolgó anyagok nagy része a mirigyek által termelt zsírok baktériumok által történő oxidatív lebontása során keletkezik.

A kutatók elképzelhetőnek tartják, hogy bizonyos betegségek diagnosztizálásához is fel lehetne használni ezt az egyszerűen nyerhető mintát.

Prokop-Prigge, Katharine A. – Thaler, Erica – Wysocki, Charles J. – Preti, George: Identification of Volatile Organic Compounds in Human Cerume. *Journal of Chromatography B*. In press, Available online 5 February 2014. DOI: 10.1016/j.jchromb.2014.01.043

Gimes Júlia

## Könyvszemle

### Fénykör

Varga Károly új műve a 2003-ban *Az értékek fénykörében* címmel megjelent kötetének átdolgozott és kibővített kiadása.

Hadd kezdjem néhány általánosabb megjegyzéssel. Varga Károly a magyar szociológia kiemelkedő egyénisége. Több mint négy évtizede végez empirikusan gondos, elméletileg megalapozott kutatómunkát az „értékszociológia” témakörében. Varga megítélésem szerint a nemzetközi irodalomban a legtájékozottabb magyar szociológus, egészen hihetetlen irodalomismerettel rendelkezik, a legújabb irodalmat is figyelemmel kíséri, arra nyomban reagál.

Úttörő szerepet játszott nemcsak Magyarországon, hanem nemzetközileg az „értékszociológiai” megközelítés képviselőjeként. Amikor a 60-as évek elején megkezdte értékszociológiai kutatásait, a szakmát a Marx–Weber-vita s a makroszociológiai struktúra-felfogás dominálta. Két-három évtizeddel megelőzte a mai szociológiában uralkodóvá váló „kultúrszociológiai” megközelítést. Ennek lényege, hogy nem a társadalmi struktúrából magyarázzák a kultúrát (ez volt az, amit a kultúra szociológiájának nevezünk), hanem a kultúrából értelmezik a társadalmi struktúrát (ezért értékszociológia vagy kultúrszociológia). Ezt az elméleti megközelítést Jeffrey Alexander vezette be a 90-es évek közepén; őt Varga majd három évtizeddel előzte meg.

Varga módszertanilag is megelőzte korát. A szociológia hagyományos módszere a *survey*

volt, véletlen mintákon, kérdőívvel elvégzett felvételek. A survey módszerével szemben az utóbbi évtizedben sok kritika fogalmazódott meg, főleg, mert az így előállított adatok alkalmatlanok az ok-okozati kapcsolatok vizsgálatára (minta-kiválasztási – úgynevezett *sample selection* – problémák miatt: ok-okozati kapcsolatok vizsgálatához „kísérletre” lenne szükség, vagyis nem az alanyok véletlen kiválasztására, hanem véletlen „kijelölésére” (*random assignment*). A Varga által használt társadalompszichológiai teszt módszere nem oldja meg a véletlen kijelölés feladatát, de jó irányban lép az empirikus szociológia nagy módszertani problémájának kezelésében.

Végül Varga a számomra meggyőző módon kezeli a tudomány és a társadalmi gyakorlat kapcsolatát. Kutatásait a weberi „értékmentesség” jegyében végzi. Tudja, a kutató nem függesztheti fel értékeit, de számomra meggyőzően azzal érvel, a kutató a különböző világnézeti és politikai álláspontok között megbékéltető, közvetítő (ökumenikus) szerepet tud játszani. Nem rejti véka alá: a keresztény-katolikus világnézet áll közel hozzá, s politikailag konzervatív álláspontot foglal el, de ez nem akadályozza meg abban, hogy olyan baloldali, hitetlen beállítottságú kutatókról, mint jómagam, ne csak tárgyilagosan írjon, hanem termékeny dialógust hozzon létre a különböző felfogású társadalomkutatók között. Imponáló teljesítmény.

Előző kötetének 2003-as megjelenése óta is közelről követte a hazai és nemzetközi iro-

dalom vitáit, s jó érzékkel azokat a hazai politikai-ideológiai vitákra alkalmazta. A *Fénykör* ilyen értelemben akár új könyvnek is mondható; nem mértem pontosan fel, de úgy vélem, körülbelül a szöveg egyharmada új, s

a régi könyv néhány aktualitását veszített részét Varga törölte az új kéziratból. (*Varga Károly: Fénykör. Budapest: Akadémiai Kiadó, 2013*)

Szelényi Iván  
szociológus

### Jövőalternatívák, a virágzástól a pusztulásig

A hazai tudományos jövőkutató szakma, Nováky Erzsébet és Tóth Attiláné szerkesztésével, ismét egy jelentős művet készített tizenhárom tudományos írással, a világ és Magyarország jövőjéről, a *Gazdaság, Társadalom* sorozat II. köteteként.

A mű, ahogy azt a címe is mutatja, a jövőről szól, de nem korlátozódik pusztán a jövőre. Benne van a jelen és a múlt is. A szerzők saját bevallásuk szerint úgy szerettek volna „írni a jövőről, hogy a mostani helyzet, a 2012-es évre jellemző állapotok hangsúlyt kapjanak”, ami magában foglalja a jelenen túl a közeli és a távoli múlt területenkénti bemutatását is.

Azt, hogy milyen lehet a jövő, a szerzők ezúttal nem foglalják nagytávlatú és koherens rendszerbe, hanem életpasztalataikra és kutatási területükre építve külön-külön mutatnak be a jövő szempontjából lényeges területeket. Milyen lesz ez a jövő? A könyv alapján: globalista, feminista, individualista, urbanizált, IT-alapú, öregedő, magányosodó, vérszegény, energiaszegény, kriminalizált és korrupt. Nézzük meg ezeket a területeket külön-külön.

A jövőnk mindenképpen számítógép és internetalapú lesz. Balogh Zoltán bemutatja, hogy az internetes közösségi oldalak milyen rohamos fejlődésen mentek keresztül az elmúlt évtizedekben, hogyan váltak azok a XXI. századi emberi érintkezés elsődleges formáivá,

mennyire nélkülözhetetlen eszközzé váltak a progresszív vállalkozásoknak, és, hogy milyen veszélyeket és lehetőséget rejtenek az informatikai kibertér aktorai számára.

Deák István az egészségügyet hozza hozzánk közelebb a vérellátás jövőbeli lehetőségeit boncolgatva. Hippokratésztől a modern orvostudományig bemutatja, hogyan alakult át a vérről alkotott fogalmunk a lélek lakhelyétől folyékony kötőszövetévé, amelynek adása társadalmi felelősségvállalásunk egyik legfontosabb megnyilvánulása kell hogy legyen, mivel vérhány miatt rengetegen veszítik el életüket. Ismerteti, hogy a világ sok helyén (például Afrika) a túlélés csak akkor lesz biztosított, ha rendelkezésre fog állni elegendő művér, mivel a természetes vértutánpótlások fertőzöttek lesznek.

Fáy Árpád Paul Chefurka kanadai jövőkutató cikkét elemzi, aki az energiaellátást vizsgálva nem túl optimista képet fest az emberiség jövőjéről. Chefurka nemhogy szakít a közfelfogással, miszerint a Föld túlnépesedik, hanem egyenesen sokkoló adatokat közöl, ami szerint az emberiség lélekszáma 2100-ra egymilliárd főre fog visszazuhanni, mely csökkenésnek az energiaforrások kimerülése lesz az oka. Modellje a megújuló energiák exponenciális elterjedését és új technológiák ipari alkalmazását nem tartja reálisnak, így szándékoltan nagyon borús jövőképet fest, hogy mindenki kellően cselekvésre ösztönözve érezze magát.

Györgypál Katalin írása az olvasót a mélylélektan és a művészetek világába repíti.

Munkája az egyént mint érző lényt mutatja be, állításai rádöbbentik az olvasót a létezés nem(csak) materiális oldalaira, hanem azokra a területekre is, amelyekről az ember több, mint a földi élőlények bármelyike: egy érző, társadalmi lény, aki törekszik arra, hogy önmagát minél tökéletesebben kifejezze, létének értelmet, magának megérő társakat találjon. Írásán keresztül érzékelteti, hogy jövőnk nagyban függ emberképünk alakulásától.

Kiss Endre *Félelem, demokraciáelmélet, tudomány módszertan* című írása a globalizációt mutatja be mesterien. Munkájában rávilágít a globalizmus mint precedens nélküli új történelmi világhelyzet számos paradoxonára, melyek közül az egyik fő megállapítása, hogy a „tudat nem felel meg a létnek.” Ez az ambivalencia a *soft–hard* valóságértelmezések kettősségéből táplálkozik, aminek egyik hajtóereje, hogy a személy mint *homo globalisticus* érzékeli a globalizáció sikertörténetét, ugyanakkor elszemvedti a széteső, fragmentálódó politikai és szociális valóságot, amelyben ő már csak pária. Ez a kettősség érhető tetten a globalizmus konstruktív és destruktív oldalában is, mely ellentmondásosság táptalajt ad a szélsőjobboldal megerősödésének. Nekünk, magyarok számára az írás egyik fő üzenete, hogy legalább próbáljuk megérteni a globalizmust, ha annak kihívásaira egyáltalán válaszokat akarunk adni.

Kiss Éva az urbanizációt vizsgálja, és megállapítja, hogy a XXI. század egyértelműen a városok kora lesz. Munkájából megtudjuk, hogy Magyarország a városok számának tekintetében nem marad el Nyugat-Európától, ám a városi életforma elterjedése többszáz éves hátrányban van a Nyugathoz képest. A szerző Szob példáján keresztül mutatja be, hogy a kisebb városok gazdasága kevésbé szilárd talajon áll, ami párosulva a közigazgatási funk-

ciók átszervezésével, tovább differenciálhatja a mennyiségi és minőségi urbanizáció közötti diszharmóniát a következő évtizedekben.

Ligeti Zsombor a XXI. századot egyértelműen a nők évszázadának tekinti. Bemutatja, hogy a nők elmúlt évtizedekben tanúsított gazdasági szerepvállalása többet adott hozzá a világ GDP-jéhez, mint az egész kínai gazdaság, valamint szemléletes példákkal igazolja, hogy a nők tudásban semmivel sem maradnak alul a férfiakhoz képest. A szerző megállapítja, hogy a XXI. század gazdasági növekedését a „mennyiségi” nők helyett a „minőségi” nők fogják ösztönözni. Írásának egyértelműen pozitív üzenete van: minden nőnek érdemes tanulnia!

Tóth Attiláné munkája a nyugdíjasok jelenét és jövőjét mutatja be. Írásából megtudjuk, hogy a nyugdíjasság az ipari fejlődés eredménye, mivel a korábbi nagycsaládos háztartási gazdálkodások felbomlásával és a városba költözéssel atomizált családok jöttek létre, ami az időseket inaktivitásba kényszerítette. A folyamatok következménye, hogy a hatvanöt év feletti korosztálynak nagy valószínűséggel az egyedüllét vagy a magány válik az osztályrészévé, ha az idősök gyermekei és a társadalom ez ellen nem tesznek semmit. A szerző üzenete, hogy egy kedvezőbb jövőképhez az aktív korúaknak most kell cselekedniük, hogy utódok vállalásával legyen, aki majd segítő kezet nyújt szüleinek.

A könyv második része szisztematikusan a bűnözéssel foglalkozik. Deák István a korrupciót boncolgatja alapos részletességgel, mely jelenség egyaránt veszélyes az egyénre, a társadalomra és a gazdaságra. Az írás sok ötletet ad, hogy melyek lehetnek a korrupció visszaszorítására alkalmas intézkedések.

Diczig István *A bűnözés gyökerei* című munkájában a bűnözés gyökér-okait mutat-

ja be, mely módszertan a bűnözés valódi motivációit keresi. Írásából megtudhatjuk, hogy a kriminológiai tudományos kutatások Magyarországon 1956 után kezdődtek, amikor megszűnt tabunak lenni, hogy a bűnözés nem csak a kapitalista társadalom csökevénye. Így az 1970–80-as években már ismert lett, hogy az alkoholizmus, a játékszenvedély, a kábítószer-fogyasztás kapcsolódik a bűnözéshez, találtak összefüggést a munkanélküliség és a bűnözés között is, de akkoriban azonban még fel sem merült, hogy a rossz kormányzás, az egzisztenciális kilátástalanság, a létbizonytalanság és a társadalmi egyenlőtlenség is kapcsolatban van a bűnözéssel. Erre csak a rendszerváltás után került sor, és munkájában bemutatja, hogy miket tart az elmúlt huszonegy év leginkább elhibázott gazdaságpolitikai intézkedéseinek, amelyek mind hatással voltak a bűnözés terjedésére. Megállapításai alól egyetlen kormány sem mentesül.

A témához szorosan kapcsolódik Kiss Endre 1983. évi totóbotrányról írt munkája, amelyben bemutatja a későkommunizmus pangásának átmeneti kettősségét, hogy a hiány a dúsgazdag nyugat észlelésével párosulva hogyan tudott motiválni embereket olyan cselekvésekre (ti. a bundázásra), amelyekről az elkövetők azt gondolták, hogy az a focit körülövező folklór természetes, semmiképpen sem büntetendő része. A hatásokat mind a mai napig érezzük: a tudás, a tehetség, a győzni akarás szükségszerűen fejlődött vissza, a mérközés eladásában érdekelt „közös akarat” megfojtotta a tehetségek kibontakozását.

Kovacsicsné Nagy Katalin írása a magyar bűnözési statisztikát vizsgálja több dimenzió mentén. Írásából megtudhatjuk, hogy a rendszerváltást követően jelentősen megugrott a bűncselekmények elkövetésének száma.

A bűncselekmények jövőbeli alakulását kutatva a korstruktúra vizsgálatát tartja a legfontosabbnak, mely alapján a legtöbb bűncselekménynél a tizennyolc-huszonöt év közötti korosztály mutatja a legnagyobb kriminalitási valószínűséget. Ezt követően az egyre idősebbek egyre kisebb valószínűséggel követnek el bűncselekményt. Álláspontja szerint a műveltségnek, iskolai végzettségnek jelentős szerepe van és lesz a bűnmegelőzésben.

A könyvet Nováky Erzsébet koherens jövőkutatás-módszertani írása zárja, amelyben a népgazdaság és a társadalmi tulajdon elleni bűncselekmények 1978-as előrejelzését vizsgálja felül, amelynek során jövőkutatási módszerként a regressziós elemzést, a szakértői véleményezést és a kölcsönhatás módszerét alkalmazták. Megítélése szerint, 2012-ből visszatekintve helyesnek bizonyult mindhárom módszertípus alkalmazása, mert ez biztosította a jövőkutatás sokszínűségét a kutatásban, ami sokszor egymásnak ellentmondó eredményeket produkált. Álláspontja szerint az idő igazolta a harminc évvel korábbi megállapításokat, nevezetesen, hogy a bűnözés kedvező irányba történő elmozdulása a pozitív társadalmi-gazdasági tényezőkkel van összefüggésben. Vagyis egy fejlődő magyar gazdaság, amellyel, hogy jólétet teremtsen, képes a bűnözést is visszaszorítani, ami igazolja a gazdaság preventív bűnüldözői szerepét. Ehhez viszont kell, hogy a gazdaság fejlődjön! (Nováky Erzsébet – Tóth Attiláné szerkesztők: *A jövő és 2012. Gazdaság, Társadalom sorozat II. Budapest: Arisztotelész Kiadó, 2012, <http://mek.oszk.hu/11500/11505/11505.pdf>*)

*Prekovits András*

jogász-közgazdász, Pázmány Péter  
Katolikus Egyetem Jog- és Államtudományi  
Kar, Budapesti Corvinus Egyetem

*Időszerű etika*

Boros Jánosnak immár negyedik filozófiai tanulmány- és esszégyűjteménye jelenik meg a Gondolat Kiadó *Iskolakultúra* könyvsorozatában. (Az előző három: *Filozófia!* [2009]; *A tudomány, a tudás és az egyetem* [2010]; *Demokrácia és szabadság* [2011].) A szövegek keletkezéstörténete legalább annyira változatos képet mutat, mint műfaji hovatartozásuk. Tulajdonképpen az elmúlt tizennégy év (1999–2013) termékei. Van közöttük magyarul, van angolul megjelent szöveg is (*Mobile Communication Ethics – Mobil kommunikációs etika. Etika, ígéret és téridő*, 39–46.), van, amelyik már mindkét nyelven napvilágot látott (*Narratív filozófia. Esszé Heller Ágnesről – Engaging Agnes Heller: A Critical Companion*, 126–151.), és vannak olyanok is, amelyek csak francia konferenciaelőadásként voltak eddig hallhatóak. (*A kisebbség fogalma elfogadható-e a demokráciában?* (59–64.); *Interdiszciplinaritás és demokrácia*, 54–58.) Mindenik szöveg a filozófiai etika területéből merít, kiemelve annak általános eszmetörténeti és magyarországi vonatkozásait. A könyv főhőse pedig nem más, mint Immanuel Kant, pontosabban: az ő filozófiájának néhány alapfogalma.

De nézzük meg inkább kicsit közelebbről a kötet (egyébként műfaji diverzitása szerint tagolt) szerkezetét. (i) Az első rész az etika kortárs irányzataival (normatív, narratív, dekonstruktív etika, intuicionizmus, szupernaturalizmus, emotivizmus, metaetika) foglalkozik, annak egyfajta keleidoszkópszerű bemutatását nyújtja. A könyvnek ez az első része több lexikonszerű cikket tartalmaz, amelyek közül a pragmatizmus mint társadalomelmélet tárgyalása például az egyszerű olvasó számára is egyértelműen hangsúlyos szerepet kap, különösen pedig annak „egyéni felelősségen”

alapuló etikafelfogása (24–26.). Ez a módszertani individualizmus a könyvben végig meghatározó szerephez jut, mint ahogyan az a kanti elgondolás is, amely a saját ész használatának bátorságáról szól (22.). A fejezet végül egy, a mobil kommunikáció etikájáról értekező (de tulajdonképpen önálló) írással fejeződik be. Ez az idő problémájának etikai megjelenéséről szóló gondolatokat fog csokorba, végül pedig az ígéret filozófiai fogalmát igyekszik meghatározni.

(ii) A demokrácia etikai megalapozhatóságáról, illetve a demokratikus törvények etikai megalapozottságának kérdéséről beszél a második tematikus egység, amely négy problémafelvető tanulmányt tartalmaz (47–64.).

(iii) A harmadik rész a tudomány és a szabad, felelős társadalom összefüggéseinek témájában tulajdonképpen programatikus tanulmányokat közöl, amelynek egyik központi gondolata, hogy a filozófia sajátossága az „értelmező beszédmód”. Mivel a filozófia ezt műveli, sem a tudományok szolgálóleányának, sem pedig a tudományok kontrollinstanciájának nem tekinthető. Ez adja *autonómiájának* legfontosabb összetevőjét.

(iv) A negyedik egység egyrészt Lukács Györggyel, másrészt pedig a budapesti iskola két emblemikus képviselőjével (és talán két legfontosabb etikai gondolkodójával), Heller Ágnessel és Vajda Mihállyal foglalkozik. Az itt található szövegek vagy kultúrhistoriai motívumokkal is tarkított szabad filozófiai esszék (például *Lélek és város*, 152–156.), vagy pedig élettörténeti-életműtörténeti kísérletek a két utóbb említett gondolkodóról. Ezek a szövegek végül néhány óvatos kritikai megjegyzést fogalmaznak meg (például *Negatív küldetés. Vajda Mihály etikája*, 161–184.).

De tekintsünk most el a műfaji és tematikus változatosságtól. Tekintsünk el szerzőnk

azon szándékától is, hogy valamiképpen a demokrácia filozófiáját járja körül. Ami a könyvet a leginkább átfogja, talán mégsem ez, hanem az az egyre erősödő képzetünk, hogy a tanulmányok szerzője pragmatikus kantiánus vagy – jobban mondván – *kantianizáló pragmatikus*. Nézzük meg azt is, hogy ez utóbbi kifejezés mit is takar. Nos, elsősorban olyan, a pragmatikus individualizmus (egyéni felelősség) elvi alapzatán álló szerzőt, aki Kant filozófiájának egy sajátos értelmezését nyújtja, illetve annak e sajátos értelmezésen keresztül közvetített motívumait használja.

Mint azt egyik szintetikusabb esszéjében mondja Kantról, nála „az etika nem parancsolatok rendszere, hanem az igazságosságra való dinamikus *nyitottság* (kiemelés tőlem), a mozgó és saját törvényeit kereső racionalitás [...]” (161.). Ez a gondolat jól összefoglalja Boros koncepciójának egy fontos elemét, vagyis azt, hogy alapvetően nem egy strukturális ismeretelméleti elemzés felől fogja fel Kantot. Inkább egy olyan transzformatív elvet érvel, amely Kant etikájának alapjait keresi *A tiszta ész kritikájának* (=TÉK) elméleti filozófiájában. Jól illusztrálja ezt a mobilkommunikáció etikájáról szóló tanulmány, amelynek fő tézise, hogy idő és cselekvés összefüggésének tisztázása nélkül nincsen korszerű vagy időszerű etika. Ebben Boros úgy érvel, hogy a kanti ismeretelmélet egy konstitutív rétegének (tér, idő, tiszta szemléleti formák) etikai-regulatív használatát domborítsa ki, mégpedig azért, hogy épp a regulatív oldalról indul ki. Az *ígéret* például olyan kortárs etikai probléma, amelynek regulatív státusza csak a konstitutív elvekre visszamenve érthető meg. A társadalmi együttműködések rendszere (ahogy a nem látható jövőben teljesülő vagy nem teljesülő ígéret is) nem alapítható csak a tér háromdimenziós megismerő for-

májára (45.). Azt ki kell egészíteni az idő által képviselt és ezen túlmutató negyedik dimenzióval. Ez a pragmatikus józan ész bizonyos összetevőivel szemben álló gondolat (a megismerés negyedik, idői dimenziója) kanti fogalmakban azonban koherensen értelmezhető.

Ugyanakkor nagyon úgy tűnik, hogy Boros egy olyan Kant-felfogást használ, amelyben a *szemléleti és értelmi* megismerő-mozzanatok (a megismerés két különböző forrása) tulajdonképpen egyenértékűek: nincs kitüntetett mozzanata az emberi megismerés szerkezetének (egyenragú mozzanatok működnek együtt). Ráadásul ez az a sajátosság, amelyben minden ember egyenként osztozik. Mivel mindenkiben egyenként megvan ez a sajátosság, ez az a pont, amely a közös cselekedetek alapját is megteremtheti. (Lásd Otfried Höffe hasonló koncepcióját, amelyet a TÉK-et elemezve „episztemikus kozmopolitizmusnak” nevez (Höffe, 2011, 286–347.).

A könyvvel kapcsolatos egyik központi kérdésünk ugyanakkor az lehet, hogy megalapozható-e a demokrácia Kant alapján? Ha a demokrácia a liberális individualizmust jelenti, illetve az egyéni önállóság és szabadság egyfajta keretelméletét, akkor nagyon is. Persze ebben az esetben semmilyen fajta kisebbségi-közösségi jogosultságot nem tudunk megalapozni. Mindez annak köszönhető, hogy az ember két világ polgára: érzéki és eszes lény. Érzéki lényként egységes formákkal rendelkezik a környezet felfogására, elrendezésére és (az említett felfogásban) ennek analógiájára eszes lényként – vagyis egyszerűen: emberként – méltósággal is bír. Ezen a méltóságon túl azonban az emberek egyes csoportjainak nincsenek sajátos, még ezen túl is emberibb (de csoportonként változó) tulajdonságai. Ezt a problémát viszi el Boros egy *ad absurdum* érvelés keretében egészen



odáig, hogy a demokráciában (főleg pedig egy ilyen kantianus pragmatista individualizmus szerint felfogott demokráciában) kisebbségi megkülönböztető jegyek tulajdonképpen nincsenek. Ez pedig annak köszönhető, hogy a fenti értelemben csak egyének léteznek, akik ráadásul egyenként mind kisebbségeket alkotnak. Az egyedüli dolog pedig, ami változatlanul összeköti őket, emberi méltóságuk. (Lásd ennek újabb teóriájához Jean-Cristoph Merle szerkesztésében *Spheres of Global Justice* [2013], különösképpen 143–290. Magyarul pedig: Demeter M. Attila Balogh Artúr és a liberális kisebbségvédelem elvi buktatói [2013], 19–30.)

Ha tehát a demokrácia egy olyan eszme-rendszer, amelyből kiindulva – szerzőnk felfogása szerint – egyedül lehet szabad társadalmat alapítani, ha a demokráciát egy módszertani individualista felelősség koncepciója szerint látja elgondolhatónak, valamint, ha minden individuum egyenként alkot egy-egy

teljesen atomizált kisebbséget (ez a tulajdonság pedig úgy illeti meg őket, mint az emberi méltóság), akkor már nem állunk távol a végkövetkeztetéstől: „Csak kisebbségek képesek szabad társadalmat alapítani”, hangzik el a 63. oldalon. Számomra kétségtelen, hogy ez lehet az egyik olyan gondolat, amely könyvünk kapcsán távolabbi kritikai reflexióknak is teret adhat. (*Boros János: Időszerű etika. Esszék a felelősségről. [Iskolakultúra könyvek (szerk. Géczy János) Budapest–Veszprém: Gondolat, 2013. 186 p.]*)

Zuh Deodáth

PhD, tudományos munkatárs  
Pécsi Tudományegyetem

#### IRODALOM

- Demeter M. Attila (2013): Balogh Artúr és a liberális kisebbségvédelem elvi buktatói. *Századvég*, 67, 19–30.  
 öffe, Otfried (2011): *Kants Kritik der reinen Vernunft. Die Grundlegung der modernen Philosophie*. C. H. Beck, München  
 Merle, Jean-Cristoph (ed.) (2013): *Spheres of Global Justice*. Springer, Dordrecht.

### Hasznos kézikönyv az Amerikai Egyesült Államok megformálóiáról és vezetőiről

Hahner Péter neve széles körben ismert az USA és a modern Franciaország történetével és politikai gondolkodásával foglalkozók körében. Több szövegkiadása, legutóbb Alexis de Tocqueville emlékiratai az 1848-as forradalomról és monográfiák tartalmazzák munkái szép hosszú sorát. Ezt a könyvét azonban karácsonyra nem magamnak, hanem a fiamnak vettem, aki egyetemistaként Washington DC-ben volt gyakornok az Amerikai Magyar Koalíció támogatásával, ahol egy ideig élvezhette az amerikai politika szövetségi intézményeinek közelségét. Végül azonban magam

is kézbe vettem, és le se tettem, amíg el nem olvastam. Egy eddig számomra ismeretlen Hahner Péterrel találkoztam, aki a Pécsi Egyetem újságíró szakának vezető tanára, és aktuális kézikönyveket írt és szerkeszt, de még a Vadnyugat történetét is megírta (legalább is ezt állítja a kötet hátsó borítója).

Ismerd meg Dr. Jekyllt, és hirtelen találkozol Mr. Hyde-dal. Ám itt szó sincs a két profil összeegyeztethetetlen ellentétéről, ami a Sigmund Freudot megelőző skizofréniaelemzések klasszikus művének tragikus végkifejletéhez vezetett (legalább is reméljük!). A korábban elméletörténetként megismert most publicista és ismeretterjesztő Hahner megpillantása igazi meglepetés és releváció volt számomra. A könyvet jó szívvel ajánlom elolvasásra az összes akadémiai szak képviselő

lői számára, akik mind tanulhatnak belőle valamit. Mít is? Azt hiszem, aki ma bármelyik akadémiai diszciplínát műveli, nem menekülhet a globális tudomány- és fejlesztés-innováció-politikák elől, amelyek egyik, ha nem legnagyobb centruma – bizonyos területeken feltétlen, másutt nem egészen – az USA, amelynek politikai rendszerét ily módon szerintem mindenkinek meg kell ismernie, aki a tudomány világában neveli „tudós macskáját”!

Miért érdemes elolvasni ezt a kézikönyvet a nyilvánvalóan sok más releváns forrás mellett is *hard cover*-ban (talán ez lenne első kritikai pontom: miért nem *paperback*, mint az amerikai *non-fiction* nagy része)? Én egy atipikus olvasó voltam, hiszen nem kézikönyvként vettem kezembe, kikeresve benne egyik vagy másik elnököt a negyvennégy megválasztott közül, hanem végigolvastam, mint egy monográfiát. Az ismert profilokról, Washington, Lincoln, Kennedy, Theodore Roosevelt stb. szintén sok újat tudtam meg – például ki volt a feleségük, egész pontosan hogyan választották meg őket, hol születtek, milyen iskolákat végeztek. Akiket meg ugyanúgy nem ismertem, mint a magyar átlagolvasó, azoknak most megismerhettem a profilját, politikájuk rövid foglatával együtt.

Jómagam sokat és visszatérően foglalkoztam az amerikai politika különböző szeleteivel, de egy sor fontos fejlődési sor, amelyekből néhányat alább felsorolok, e kötet elolvasásáig eléggé homályos volt számomra. Most, amennyire a kézikönyv kerete megengedi, kicsit belelátok, és ha valami külön is érdekel, tovább tudok majd lépni;

Hogyan lesz egy kezdetben gyenge és befelé orientált politikai közösségből a világpolitika befolyásos tényezője, majd alakítója? • Hogyan alakul és változik meg az USA hí-

resen stabil, de változásokra képes államszervezete, politikai rendszere? • Milyen konfliktusok sora vezetett a polgárháborúhoz, és mi történt azután a vesztes Délen, milyen politikai jelentőségre tett szert a feketék egyenjósítása, és hogyan befolyásolta mindez az elnökválasztásokat és az elnöki politikákat? • Hogyan alakult ki a konkrét folyamatok szintjén az amerikai kétpártrendszer stabil változgasága? • Hogyan viszonyul egymáshoz, és főképp; hogyan fér össze a tőke és a technológia centralizációja és a monopóliumellenesség az USA-ban? • Hogyan jön létre egy népfelkelő seregből a világ ma legerősebb hadereje? • Melyik elnököket próbálták meg megölni, és mire vezetett a merénylet? • Melyik elnök lett alelnökből (választás nélkül), és válhatott-e belőlük igazán jó elnök? • Hogyan alakult ki az elnöki intézmény és a média mára oly fontos viszonya? • A női emancipáció és a First Lady intézménye hogyan kapcsolódik össze a Fehér Ház és az USA történetében? • És végül, de nem utolsósorban: milyen háziállataik voltak az elnököknek? (Így például Theodore Roosevelt, „Gyermekei igen sok állatot tartottak a Fehér Házban, tíz kutyát. . . , öt tengerimalacot, két pónilovat, két macskát, valamint kígyót, disznót, papagájt, tyúkot, borzot, patkányt és egy féllábú kakast.” 354.)

A korántsem teljes felsorolásból nem derül ki, hogy bár többször látogattam az USA-ba szakmai feladatokkal, és igyekeztem jól felkészülni, mégis mi mindent tudtam meg az amerikai politikáról és társadalomról ebből a kötetből! Nyilván a kortárs elnökök esetében mindannyiunk tájékozottsága jóval nagyobb, és itt nehezebb meglepni egy rendszeresebb újságolvasót valami újjal.

No de ki tudja nálunk Barack Obamáról, hogy első ciklusa előtt „Óvatossága miatt »No

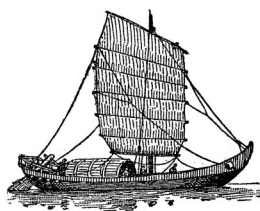
*Drama Obama*« néven emlegették” (kiemelés az eredetiben Sz. M.) (336.), beiktatásakor 1,8 millió ember gyűlt össze (337.), első ciklusa alatt pedig „Egy Bo nevű kutyája van.” (356.) Vagy csak volt? Lett azóta már kölyke avagy társa is? A kötetből a jelenlegi, a sorban 45. elnöki ciklus nyilván még hiányzik, és megírásakor a fentiekhez azért majd jóval több és súlyosabb kérdésre kell választ adnia Hahner Péternek az első fekete elnök második ciklusáról szóló részben az új kiadásban. Addig is

javaslom megfontolásra a szerzőnek a következő mondat átgondolását, szerintem túl erős állításának újrafogalmazását.” Nemzetközi tevékenységével Obama mindent megtett a 2009-ben neki adományozott Nobel-békedíj utólagos kiérdemlésére” (338.).

Tényleg mindent? (*Hahner Péter: Az USA elnökei. Budapest: Animus, 2012, 366. p.*)

*Szabó Máté*

politológus-jogász, ELTE Állam- és Jogtudományi Kar Politikatudományi Intézete



## CONTENTS

### *Attracting Magnetism*

#### *Guest Editor: László Szabados*

László Szabados: Introduction.....	258
Péter Kovács – Balázs Heilig – András Csontos: Geomagnetism .....	259
Gábor Hráskó: Physiological Effects of Magnetic Fields .....	269
Pál Sohár: NMR in Studying Chemical Structures .....	278
László Szunyogh: Nanomagnetism .....	286
János Králik: Magnetic Data Recording .....	294
Miklós Zrínyi – Angéla Jedlovszky-Hajdú – Etelka Tombác:	
Magnetic Fluids and Magnetic Elastomers .....	302
László Kazinczy: Erection and Operation of Railroad Magnet System Transrapid .....	311
Iván Abonyi: Magnetohydrodynamics .....	320
László Szabados: Cosmic Magnetism .....	328

### *Study*

Ernő Mészáros: Meteorology in the Second Half of the 19 <sup>th</sup> Century.	
Development of Hungarian Technical Terminology .....	337
Tibor Koltay: Relationship between New Media and Science.....	345
Péter Komjáth: Recent Breakthrough Results in Number Theory .....	350
Endre Hugó Ferenczy: Law and Jurisprudence .....	354

### *Academy Affairs*

József Horváth: In memoriam Gyula Sáringi (1928–2009) .....	359
Andrea Magda Nagy: Hungarian Higher Education Rankings,	
Student Preferences. A Conference Report .....	367
New Corresponding Members of the MTA	
József Pálffy .....	371

<i>Outlook (Júlia Gimes)</i> .....	373
------------------------------------	-----

<i>Book Review (Júlia Sipos)</i> .....	376
--	-----

# 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 könyvismertetések, de lapunk nem szakfolyóirat, ezért a szerzőktől közérthető, egy-egy tudományterület szaknyelvét mellőző cikkeket várunk.

2. A kézirat terjedelme általában ne haladja meg a 30 000 leütést (ez szóközökkel együtt kb. 8 oldalnak felel meg a *Magyar Tudomány* füzeteiben); ha a tanulmány ábrákat, táblázatokat is tartalmaz, kérjük, arányosan csökkentsék a szöveg mennyiségét. Beszámolók, recenziók terjedelme ne haladja meg a 7–8000 leütést. A teljes kéziratot MS Word .doc vagy .rtf formátumban interneten vagy CD-n kérjük a szerkesztőségbe beküldeni.

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

4. Legfeljebb tíz magyar 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, KAPITÁLCHEN) és aláhúzás nem. A jegyzeteket lábjegyzetként kérjük megadni.

6. Az ábrák érkezhetnek papíron, lemezen vagy e-mail útján. Kérjük a szerzőket: tartsák szem előtt, hogy a folyóirat fekete-fehér; formátuma B5 – tehát ne használjanak színeket, és vegyék figyelembe a fizikai méreteket. Általában: az ábrák

és magyarázataik legyenek egyszerűek, áttekinthetőek. A képeket lehetőleg .tif vagy .jpg formátumban kérjük; fekete-fehérben, min. 150 dpi felbontással, és nagyságuk ne haladja meg a végleges (vagy annak szánt) méreteket. A szövegben tüntessék fel az ábrák kívánatos helyét.

7. A hivatkozásokat mindig a közlemény végén, ábécé-sorrendben adjuk meg, a lábjegyzetekben legfeljebb utalások lehetnek az irodalomjegyzékre. Irodalmi hivatkozások a szövegben: (szerző, megjelenés éve – Balogh, 1957; Feuer et al., 2002). Ha azonos szerző(k)től ugyanazon évben több tanulmányra hivatkoznak, akkor a közleményeket az évszám után írt a, b, c jelekkel kérjük megkülönböztetni mind a szövegben, mind az irodalomjegyzékben. Különösen ügyeljenek a bibliográfiai adatoknak a szövegben és az irodalomjegyzékben való egyeztetésére! Kérjük: csak olyan és annyi hivatkozást írjanak, amilyen és amennyi elősegíti a megértést. Számuk ne haladja meg a 10–15-öt.

8. Az irodalomjegyzéket ábécé-sorrendben kérjük. A tételek formája a következő legyen:

- Folyóiratcikkek esetében: Feuer, Michael J. – Towne, L. – Shavelson, R. J. et al. (2002): Scientific Culture and Educational Research. The Educational Researcher. 31, 8, 4–14.

- Könyvek esetében: Rokkan, Stein – Urwin, D. W. – Smith, J. (eds.) (1982): The Politics of Territorial Identity: Studies in European Regionalism. Sage, London

- Tanulmánygyűjtemények esetében: Halász Gábor – Kovács Katalin (2002): Az OECD tevékenysége az oktatás területén. In: Bábosik István – Kárpáthi Andrea (szerk.): Összehasonlító pedagógia – A nevelés és oktatás nemzetközi perspektívái. Books in Print, Budapest

9. Havi folyóirat lévén a *Magyar Tudomány* kefelevonatokat nem küld, de elfogadás előtt minden szerzőnek elküldi egyeztetésre közleménye szerkesztett példányát. A tördelés során szükséges apró változtatásokat a szerző időpontegyeztetés után a szerkesztőségben ellenőrizheti.

A lap ára 920 Forint