

Magyar Tudomány

MOLEKULÁK TÉRBEN ÉS IDŐBEN

Vendégszerkesztő: Medzihradszky Kálmán

Válságok és megoldások

Darwin – hit, vallás és erkölcs

In memoriam Abraham Lincoln

Reguly Antal az Észak-Uralban

2009•7

Főszerkesztő:

CSÁNYI VILMOS

Vezető szerkesztő:

ELEK LÁSZLÓ

Olvasószerkesztő:

MAJOROS KLÁRA

Szerkesztőbizottság:

ÁDÁM GYÖRGY, BENCZE GYULA, BOZÓ LÁSZLÓ, CSÁSZÁR ÁKOS, ENYEDI GYÖRGY,
HAMZA GÁBOR, KOVÁCS FERENC, KÖPECZI BÉLA, LUDASSY MÁRIA,
NIEDERHAUSER EMIL, SOLYOSI FRIGYES, SPÁT ANDRÁS, VAMOS TIBOR

A lapot készítették:

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

Lapterv, tipográfia:

MAKOVECZ BENJAMIN

Szerkesztőség:

1051 Budapest, Nádor utca 7. • Telefon/fax: 3179-524
matud@helka.iif.hu • www.matud.iif.hu
Kiadja az Akaprint Kft. • 1115 Budapest, Bártfai u. 65.
Tel.: 2067-975 • akaprint@akaprint.axelero.net

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

Előfizetési díj egy évre: 8064 Ft
Terjeszti a Magyar Posta és alternatív terjesztők
Kapható az ország igényes könyvesboltjaiban

Nyomdai munkák: Akaprint Kft. 26567
Felelős vezető: Freier László
Megjelent: 11,4 (A/5) ív terjedelemben
HU ISSN 0025 0325

TARTALOM

Molekulák térben és időben

Vendégszerkesztő: Medzihradzky Kálmán

Medzihradzky Kálmán: Bevezető	770
Perczel András: Gondolatok a „Molekulák térben és időben” mottó kapcsán	772
Czugler Mátyás: A röntgensugárzás szóródása: képpalkotás atomi fölbontással	776
Martinek Tamás: Távol a homokiraltástól, avagy a peptidomimetikumok önrendeződése	782
Somsák László: A szénhidrátkód	789
Huszthy Péter – Tóth Tünde: Koronaéter típusú királis gazdamolekulák enantiomer-felismerő képessége	796
Gáspári Zoltán: Fehérjék tánca	802
Tompa Péter: Rendezetlen fehérjék, amelyek új megvilágításba helyezik a szerkezet–funkció összefüggést	808
Orbán Miklós: Molekulák önszerveződése időben és térben: periodikus kémiai rendszerek	815
Turányi Tamás: Részletes reakciómechanizmusok felhasználásával elért sikerek a környezetvédelemben és a technológiában	821

Tanulmány

Ormos Mária: Válságok és megoldások történelem szemmel	828
Gánóczy Sándor: Hit, vallás és erkölcs Darwin fejlődélmélete és szellemi fejlődése keretében	838
Hahner Péter: In memoriam Abraham Lincoln	849
Klinghammer István – Gercsák Gábor: Reguly Antal észak-uráli térképezése	858
Kézsmárki István: Magneto-optikai spektroszkópia a modern szilárdtestkutatásban – avagy a látható mágnesség	866

Tudós fórum

Az MTA elnökségének nyilatkozata az éghajlatváltozással összefüggő hazai feladatokról ...	873
A Pungor Ernő Asztaltársaság alapítói nyilatkozata	875
Chern-érem	876

Megemlékezés

Gánti Tibor (<i>Szathmáry Eörs</i>).....	877
--	-----

<i>Kitekintés (Gimes Júlia)</i>	883
---------------------------------------	-----

Könyvszemle (Sipos Júlia)

Lendvai L. Ferenc: A fiatal Lukács (<i>Perczel László</i>)	886
Gábor Tüskés – Éva Knapp: Germania Hungaria Litterata (<i>Bitskey István</i>)	889
Bereczkei Tamás: Az erény természete. Önzetlenség, együttműködés, nagylelkűség; Sebes Anna: Emberállat – évmilliók lenyomata kapcsolatainkban (<i>Pléh Csaba</i>).....	893

Molekulák térben és időben

BEVEZETŐ

Medzihradzsky Kálmán

az MTA rendes tagja, professor emeritus,
az MTA Kémiai Tudományok Osztályának elnöke
medzy@elte.hu

Az elmúlt év novemberében, a Tudomány Ünnepe alkalmából a Kémiai Tudományok Osztálya a hagyományoknak megfelelően tudományos ülészakot szervezett. A program összeállítói sokáig fontolgatták, hogy ennek tematikáját hogyan lehetne összekapcsolni az ünnep alap gondolatával, melyet a rendezők a négy klasszikus elem köré csoportosítottak, kiegészítve azt egy ötödikkel, mely magával az elemek által körülvev emberrel foglalkozott. Felmerült az a gondolat, hogy talán a kémiát is teljes terjedelmében, az atomszerkezettől egészen a szupramolekuláig kellene bemutatni, melyben mind a négy elem, s csúcán az ötödik, az ember is találkozik. Végül az ülészak szervezői, Hollósi Miklós és Perczel András professzorok javaslatára a tematikát leszűkítettük, s az előadások kiválasztására más perspektívát választottunk. Így született meg az a gondolat, hogy tekintsük át a kémiai folyamatok térben és időben jellemezhető tulajdonságait.

A kémia azonban – nyilván más tudományágakhoz hasonlóan – széles tudományterületet fog át, melyről egy félnapos ülészak csak szemelvényeket emelhet ki. S noha ügyelünk arra, hogy ez a válogatás minél repre-

zentatívabb legyen, elkerülhetetlen volt, hogy a szervezők – kicsit talán szakmai elfogultságtól indítva – a megérdemelnél nagyobb súlyt helyezzenek a fehérjekémiára, bár kétségtelen, hogy a címben jelzett tulajdonságok e területen hangsúlyozottan jelennek meg.

Az előadások írásba való átültetésekor két alapvető nehézséggel szembesültünk, mindkettő a térbeliség és az időskálák szemléltetésével kapcsolatos. Az előadást könnyen követhetővé tevő színes ábrák és animációk (mozgó molekulák!) eltűntek, helyettük minden lehangoló szürkévé változott, és minden megmerevedett. A szerzők lelki szemei előtt persze megmaradt a valóságot jobban megközelítő ábrázolás, az olvasónak ezt azonban képzelőtehetségével kell pótolnia.

A másik gond az volt, hogy a jelenségek és törvényszerűségek szabatos leírása bizonyos számú kémiai fogalom, s nem utolsósorban a kémiai szakszavak használatát igényli, ezek ismeretének hiányát a szövegben valahogy pótolni kellett. Persze tudom én, hogy egy szociológiai vagy jogi tanulmányt a természettudós sem olvas könnyedén, de azok legalább magyarul vannak. Mindenesetre kértük a szerzőket, hogy ahol csak tudják és

ahol szükségesnek vélik, adjanak rövid zárójeles értelmezést a használt szakkifejezésekről, még ha az egy kicsit meg is zavarja a folyamatos tárgyalásmódot. Hát, ez hol sikerült, hol nem, a jószándék mindenesetre megvolt bennünk.

Az előadó ülés kilenc témát érintett. Perczel András bevezetőnek szánt dolgozata megkísérli óvatosan kalauzolni az olvasót abban a világban, ahol a szerves molekuláknak a különböző dimenziókban tanúsított, különlegesnek látszó, de mégis megmagyarázható, természetes viselkedése válik megismerhetővé. Czugler Mátyás egy kristályszerkezetbe kényszerített, s így térben kimerevített molekulákból álló világot mutat be. Martinek Tamás azt vizsgálja, hogy mennyire szükség-szerű az aszimmetrikus egységekből álló természetes makromolekulák felépítésénél a komponensek azonos kiralitása. Somsák László arra mutat rá, hogy a természetes makromolekulák, a fehérjék, szénhidrátok és nukleinsavak közül a legnagyobb variációs lehetőséget, s ezzel a legnagyobb információkapacitást a szénhidrátok biztosítják. Huszthy Péter és Tóth Tünde előadása talán az első is lehetett volna a sorban, hiszen itt találkozunk először részleteiben az enantiomeria fogalmával, a királis molekulák felismerésével, s az

aszimmetriához kötődő biológiai hatások, s így a kiralitás jelentőségével az élő szervezetben. Gáspári Zoltán bemutatja, hogy a ma használatos modern technikák segítségével hogyan lehet igazolni, hogy a fehérjék életlennek látszó makromolekulája önmagában vagy molekuláris partnereivel kölcsönhatásban milyen dinamikus tulajdonságokkal rendelkezik. Tompa Péter a szerkezet és a biológiai funkció összefüggésének értelmezése kapcsán azzal lép meg bennünket, hogy nemcsak egy jól körülírt szerkezet vezet meghatározott biológiai hatáshoz, de egy rendezetlen struktúra is kiválthat ilyen tulajdonságokat. Orbán Miklós olyan kémiai rendszerekkel foglalkozik, melyeknél adott körülmények közt a térben és időben lejátszódó reakciók makroszkóposan is megfigyelhető periodikus jelenségeket mutatnak. Az utolsó írás, Turányi Tamás dolgozata pedig felüdülést jelenthet azoknak az olvasóknak, akiknek feje már zúg a sok újszerű fogalomtól és kémiai látásmódtól, hiszen könnyen követhető példán mutatja be e tudományterület elméleti eredményeinek gyakorlati hasznosíthatóságát.

Kis monográfiánkat szívesen írtuk, s a jó szándékú olvasó megértő figyelmébe ajánljuk.



GONDOLATOK A „MOLEKULÁK TÉRBEN ÉS IDŐBEN” MOTTÓ KAPCSÁN

Perczel András

az MTA doktora,

ELTE TTK Kémiai Intézet Szerkezeti Kémiai és Biológiai Laboratórium
perczel@chem.elte.hu

A megállapítás, miszerint a molekulák térben és időben létező objektumok, egyszerre triviális és elgondolkoztató! Triviális azért, mert a molekulák, makroszkopikus világunk objektumaihoz hasonlóan szintén szerves részét képezik a háromdimenziós térnek, és időbeliségük, ha másért nem, hát véges voltuk miatt teljesen kézenfekvő. Ennek ellenére valóban olyan evidens megállapítás, hogy háromdimenziós világunkat háromdimenziós parányok töltik ki? Aligha gondoltuk ezt mindig érvényes tételnek. Százötven év sem telt el azóta, hogy két kémikus, a holland Jacobus Henricus van 't Hoff és a francia Joseph Achille Le Bel szinte egyidőben, ám egymástól teljesen függetlenül, elkezdte boncolgatni a molekulák térbeli jellegét. Ahogy azt Le Bel maga írja a felfedezését megelőző tényekről, ma már szinte kézenfekvőnek látszik, hogy azok értelmezése, mintegy explicit módon feltételezi a térbeliséget: „Pasteur és mások munkája teljes mértékben feltárta a molekuláris szimmetria és a forgatóképesség közötti kapcsolatot. Ha az aszimmetria csak a kristályos molekula sajátja, csupán a kristály lesz aktív; ellenben ha a kémiai molekula aszimmetrikus, az oldat mutat forgatóképességet

és gyakran a kristály is, ha a kristály szerkezete megengedi, mint például a sztrichninszulfát és az amil-amin timsójának esetében” írja Le Bel (Le Bel, 1874; Leicester – Klickstein, 1963). E leírásból világosan kitűnhet bárki számára, hogy az oldatokat képező molekulák szimmetriatulajdonságai miatt szükség-szerű a feltételezés, hogy háromdimenziós objektumok! Ma ezt evidenciának, a molekuláris szintű kémia egyik princípiumának fogadjuk el, de azért ne feledjük, hogy ez a felismerés történelmi jelentőségű volt, és azt sem érdemes elvitatni, hogy az ebből és hasonló tényekből levezetett későbbi megfogalmazás igazi virtuóz elmékre utal. Mert – bár sokan láthatták és ismerhették a pasteuri megfigyelést – mégis csak nekik jutott eszükbe ezekből a tényekből kiindulva letenni a molekuláris szintű sztereokémia alapjait. Milyen igaz Szent-Györgyi Albert frappáns megfogalmazása: „A tudós az az ember, aki miközben mászkál a világban, ugyanazt látja, olyan dolgok jutnak eszébe, mint előtte soha senkinek.” (Kassai, 1997)

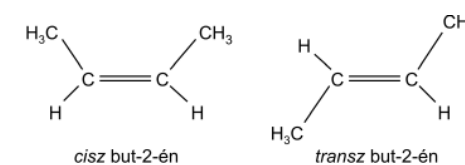
De vajon nekünk, kémikusoknak, a világban körülnézve eszünkbe jut-e annak mole-

kuláris felépítettsége? Amikor legutoljára teánkba mézet kanalaztunk, gondoltunk-e arra, hogy az abban jelenlévő monoszacharidok közül a fruktóz (38,2%), a glükóz (31%) vagy a diszacharidok közül (-9%) a szacharóz, a maltóz, az izomaltóz, a maltulóz, a turanóz és a kojibióz szerkezeti képlete hogy is néz ki pontosan? Valószínűleg nem! És akkor az sem olyan meglepő, hogy nem ötlük szemünkbe a β -D fruktofuránóz kapcsán a molekula elektronsűrűségének térbeli eloszlása vagy az arra könnyedén rátérképezhető elektrosztatikus potenciálértékek nagysága. Miért van ez így? Talán azért, mert a primer tapasztalás szintjén a méz még számunkra is csak egy sűrűn folyó, édes, aranyárga folyadék, nem pedig egy kolloid, így elsősorban az ízére, nem pedig kémiai alkotórészeinek térszerkezetére gondolunk. Mindez persze a tapasztalatainkból levezethető *imprinting*, más néven a tanulási folyamat során kialakított „bevéődés” eredménye. Ugyanis a molekulákkal való személyes kapcsolataink száma a szó hétköznapi értelmében kevés! Miközben minden, ami körülvesz, vagy ami bennünket is felépít, molekulák – valamilyen szinten rendezett – halmaza; aközben erről a mikrovilágról, a parányok „életéről” közvetlen tapasztalataink nincsenek. Egyszerűen azt is mondhatnánk, hogy a molekuláris megtapasztalás szintjén ingerszegény környezetben élünk. Ennek a közvetlen tapasztalatnak a hiánya teszi nehéz-zé a megismerést és megértést, és ennek következtében a kémia atomi vagy molekuláris szintű tanítását is.

Könnyű volt Isaac Newtonnak, mert ő mint Ádám és Éva vagy Tell Vilmos, láthatta megfigyelése tárgyát; az almát! Ám ugyanebben az almában rejtve van mindaz, ami a kémikust érdekli. Az almát: színét, formáját, sőt ropogósan édes ízét közvetlenül megta-

pasztalhatjuk, ám az almát felépítő molekulák közvetlen megismerése nem lehetséges. A kutatói elme leleményes, és ott, ahol az evolúció során kialakult szerveink nem kellően alkalmasak a közvetlen megismerésre, készüléket tervez és épít, hogy az észlelés határait kitolja. Látásunk spektrális tartománya korlátozott, de infravörös vagy ultraibolya tartományban látó egyszerű készülékekkel pótolhatjuk ezt a hiányosságot. Az 1950-es évektől nagyszámú olyan eszköz és készülék kifejlesztése történt, amelynek köszönhetően ma a szerkezeti kémia és biológia területén jobban látunk, mint valaha. Az itt hamarosan szóba kerülő diffrakciós eljárásokkal le tudjuk tapogatni a molekulák elektronsűrűségét, meg tudjuk határozni térszerkezetüket az őket felépítő mágnesesen aktív magok viselkedése alapján. Mindez mára lehetővé tette nemcsak a kémia vagy a biokémia, de az immunológia, a virológia, a növénybiológia és más fontos szakterület számára is, hogy kutatásaik tárgyát, a számukra fontos rendszerek molekuláris komponenseit feltérképezzék. Összefoglalva tehát: mára megnyílt a lehetősége annak, hogy nemcsak a kisebb molekulatömegű vegyületek, de az azokból felépülő akár sok száz vagy ezer kiloDalton össztömegű szupramolekuláris rendszereket is atomi szinten megismerjünk.

Míg a merev térszerkezetű kismolekulák esetében (például 2-butén) a cisz- és transzizomerek megnevezése (1. ábra) már a XIX. század végére tehető (Johannes Wislicenus),



1. ábra

addig a hajlékony bután analóg térszerkeze-
teivel, az ún. szinperiplanáris és antiperiplanáris
konformációkkal csak az 1930-as években
foglalkozott Vladimir Prelog. Mindkét ve-
gyületre jellemző egyébként, hogy egyazon
konstitúció esetében is *egynél több* téralkatot
kell meghatározunk és leírunk. Ma már
tudjuk, hogy a különböző 3D-térszerkeze-
ket – azaz lokális energiaminimumokat – po-
tenciálisenergia-gátak választják el egymástól,
amelyek nagysága szabja meg, hogy adott
fizikai-kémiai paraméterek mellett izomerek-
kel vagy konformerekkel van-e dolgunk. Ha
a különböző szerkezeteket elválasztó gátak
magassága alacsony, akkor konformerekről
beszélünk. Ez utóbbi esetben csak a külön-
böző szerkezetek egyensúlyi rendszerének
megismerését követően alkothatunk a mole-
kuláról hiteles szerkezeti képet. A megkülön-
bözthető konformerekhez tartozó energia-
szintek betöltöttsége az energiaeloszlásnak
megfelelő. Hajlékony molekulák jellemzése
során, a Boltzman-féle *determinisztikus* leírás-
mód értelmében minden egyes konformer
térkoordinátái mellé, szerkezetenként egy-egy
valószínűségi változót is be kell vezetnünk. Ha
ugyanazt a molekulát egy *sztochasztikus* fel-
fogás szerint jellemezzük, akkor a molekulá-
ris rendszer egyfajta „bolyongását” képzeljük
el a konformációs altéren. Ilyenkor a pontos
leírás megköveteli a hagyományos térkoordiná-
táék mellett az úgynevezett *időkoordináták*
bevezetését is. Mindkét leírás mód – determi-
nisztikus vagy sztochasztikus – közös abban,
hogy a szokásos háromdimenziós térkoordiná-
táék mellett egy a negyedik dimenziót is
megtestesítő új koordináta bevezetését teszi
szükségessé.

Vannak merevebb vázú szerves molekulák,
mint például egyes szteroidok; míg más típu-
sok esetében – ilyenek például a polipeptidek

és fehérjék, az oligo- és a poliszacharidok és
még nagyon sok más természetes makromo-
lekula – inherens flexibilitás figyelhető meg.
Az utóbbi típusú vegyületek vizsgálatára ér-
vényes az a már korábban tett megállapítás,
amely szerint csak úgy alkothatunk hiteles
képet a molekulák térszerkezetéről, ha azok
konformációanalízise esetén a konformerek
dinamikus egyensúlyi elegyében szereplő
szerkezetek közül mind többet meg tudunk
különböztetni.

Jól érzékelhető tehát, hogy a legtöbb
makromolekula jellegzetes téralkat-családok-
kal jellemezhető. Ez utóbbiak termodinami-
kai leírása mellett, azaz a konformer-családok
megnevezésén túl, az egymásba alakulásuk
kinetikai jellemzése is fontos rendszerpara-
méter. Ha például veszünk egy fehérjemole-
kulát, melynek feltekeredése jellegzetesen
csak egynéhány másodpercig tart, ugyanene-
nek a molekulának az aggregációja – nagy
szerencsénkre – hosszú napokat vagy hónapok-
at is igénybe vehet. Tehát a fehérje „életére
és mozgására” jellemző időskála egyik végén
napok esetleg hónapok találhatók, olyan idő-
tartamok, amelyek a mi életünkben is értel-
mes egységként kezelhetők. Ugyanakkor
egy-egy fehérje harmadlagos szerkezetének
kialakulását megelőzi a másodlagos szerkeze-
tek feltekeredése, amely leggyakrabban már
a másodperc milliomod részéig sem tart. Még
ennél is gyorsabb a makromolekulák lazább
részeinek, a hurkoknak és kanyaroknak bille-
gő mozgása. Ezek a mi hétköznapi világunk-
hoz viszonyítottan igen gyors mozgások a
parányok világában, ahol az elmozdulásokat
nanométerben, azaz a méter egymilliárdod
részében adjuk meg, nem is olyan gyorsak.
Mindaz, ami a pillanat töredéke a számunk-
ra, kelően hosszú idő ahhoz, hogy molekulák
fel- és letekerjenek, konformációs arányuk

és egyensúlyuk módosuljon. A makromoleku-
lák forgó-haladó mozgása normális viszkozi-
tású közegekben csak néhány nanoszekundu-
mig tart, s ez idő alatt a molekula ugyanúgy
megfordul saját tengelye körül, mint teszi azt
a Föld 24 óra alatt. Ahogy a föld szögsebes-
sége megmérhető, ugyanúgy egy-egy mak-
romolekula szögsebessége is ma már megha-
tározható. A bukácsolva és forogva haladó
molekulákat felépítő atomok sajátos belső
mozgása az előbbinél száz vagy akár ezerszer
is gyorsabb lehet, amely amúgy ultragyors
mozgások még mindig közelébe sem érnek
a kémiai kötések mentén megfigyelhető sza-
kadatlan vibrációk sebességének. Jól érzékel-
hető tehát, hogy a parányok világa ugyanolyan
dinamikus, mint a mi világunk, csak éppen
ott azért minden egészen más. Így tehát a
szerkezet és/vagy komponenseinek a különbö-
ző időskálán történő mozgásai nem mások,
mint a molekulák életútjai térben és időben.

E rövid bevezető, áttekintő és ráhangoló
gondolatok végén hadd emlékeztessem a
tisztelt olvasókat Ludwig Wittgenstein egyik

híres mondására, miszerint „a nyelvem hatá-
rai a világom határai.” (Wittgenstein, 2004)
Ne feledjük, hogy ez utóbbi nem valami tu-
risztikai tanácsadás, hanem egy igen fontos
kijelentés, amelynek értelmében „amit nem
tudunk mondani, azt gondolni sem tudjuk”.
Vagy egy kicsit másként: „Én vagyok a világon;
a világom határa a nyelv, amelyen értek.”
Addig tudok elmenni gondolatban, elmélet-
ben, ameddig kifejezéseim vannak hozzá.
Ebből adódik az is, hogy ezen – mármint a
világomon – túl, amiről még tudok szavak-
ban és kifejezésekben beszélni, nincsen sem-
mi más. Onnan úr vesz körül minket. Így
tehát, ha a molekulák térbeni és időbeni lé-
téről meg tudunk fogalmazni fontos állításo-
kat, akkor remélhetjük, hogy nyelvünk, s
ezen keresztül világunk határa is kitolódik. Mi
más lehetne a természettudós álma és mun-
kájának motorja?

Kulcsszavak: *a molekulák láthatatlan világa, sztochasztikus bolyongás, determinisztikus leírás mód, a molekuláris mozgások időskálája*

IRODALOM

Le Bel, Joseph Achille (1874): Sur les relations qui
existent entre les formules atomiques des corps or-
ganiques, et le pouvoir rotatoire de leurs dissolutions.
Bulletin de la Société Chimique de France, 22,
337–347.

Leicester, Henry M. – Klickstein, Herbert S. (1963): *A
Source Book in Chemistry 1400–1900*. Harvard Uni-
versity Press, Cambridge, Massachusetts
Kassai Tibor (1997): *Szemenszedett bölcsességek*. Calibra,
Budapest
Wittgenstein, Ludwig (2004): *Logikai-filozófiai érteke-
zés, Tractatus logico-philosophicus*. Atlantisz, Bp.



A RÖNTGENSUGÁRZÁS SZÓRÓDÁSA: KÉPALKOTÁS ATOMI FÖLBONTÁSSAL

Czugler Máttyás

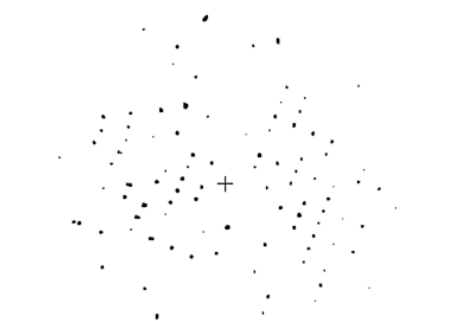
az MTA doktora,
MTA Kémiai Kutató Központ
mcz@chemres.hu

Talán megbocsátható, ha a MTÜ idei mottójául választott négy őselem mellé odaveszünk egy ötödiket, a bort. Ez a sajátos vizes oldat elkísérte és kíséri az emberiség írott és íratlan történelmét, irodalma könyvtárakat tölt meg, jelenléte életünk és kultúránk részévé vált. Nemcsak jelenléte persze, de minősége is.

Ennek a szó igazi értelmében vehető biotermékek esszenciális része a borkősav és sói. Ezek kristályainak megjelenése a hordók falán vagy a borosüvegben mindennapi tapasztalata a borász embernek. Így öcsém pincéjének itt most nem részletezendő okok miatti lehülése az elmúlt évben az egyik ott tárolt korábbi évjárat palackjaiban kristályos üledék kiválását eredményezte. Ezek a szabad szemmel még éppen látható kristályocskák jelzik a hárta, amit közvetlenül látásunkkal fölfoghatunk. Pár perces munkával elkészíthettük egy ilyen kristályka röntgendiffrakciós fölvételeit, amelyek kétség nélkül jelezték, hogy az anyag Ca-tartarát só, tehát semmi ok az aggodalomra. A röntgensugárzás, illetve annak szóródása a kristályos anyag a XX. század hajnala óta ismert jelenség (Kálmán, 1995).

A diffrakció az ember közvetett érzékelése számára olyan világra nyitott ablakot, ami sok-sok nagyságrenddel az általunk közvetlenül érzékelhető alatt van. Ez az atomi és

persze a molekuláris méretek világa, amelyben a kémikus gondolkodik és dolgozik. A röntgensugárzás szóródása a kristályt alkotó elektroneloszlás tér- és időbeli állapotösszegeinek átlagát adja meg. Annak, hogy ezt az átlagot még egy, a kísérleteinkben használt igen kicsi, szabad szemmel épp csak látható méretű kristály esetén is a tér minden irányában nagyjából 1–1 millió molekula elektronsűrűség eloszlásának képeként látjuk, számos, messzire vezető következménye van. Itt most csak arra hívjuk föl a figyelmet, hogy így az egykristály-diffrakciós módszer szigorúan véve nem molekulaszakélat, hanem kristályszerkezet meghatározását adja meg. A módszer részleteiről lásd például: Kálmán Alajos (1995),



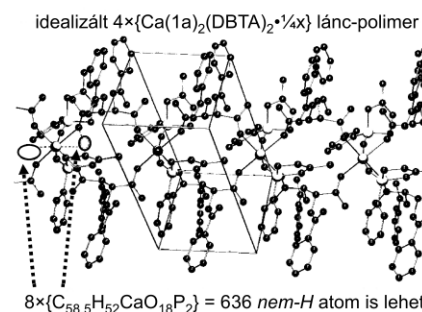
1. *ábra* • Egy röntgensugárdiffrakciós kép, a lemezen megjelenő fekete foltok a szórt sugárzás intenzitását mutatják.

Jenny P. Glusker – Kenneth N. Trueblood (1985). Ez persze az esetek nagy részében nagyon jól illik arra a képre, amit a vegyész molekulaként szeret látni és megérteni. De mégis, ez az „apró” különbség sok olyan jelenség igazi természetét mutatja meg, ami közvetlen érzékelésünk határán túl van, és amelyek kicsit közelebb visznek bennünket tanulmányozott anyagaink igazi természetének megértéséhez. Ilyen, a laboratóriumunkban az elmúlt években vizsgált rendszerekből válogattunk. Elsőként a vegyész számára a kémiában réges-rég használt fogalomnak, a sztöchiometriának a kristályokban való megjelenését, annak molekuláris szinten megnyilvánuló természetét vesszük példaként.

A borkősav egyes származékai a kémia egyik fontos területén, a molekuláris fölismerésben és szelekcióban jutottak lényeges szerephez. Ilyen származékokkal Keglevich György professzor úrral és munkatársaival való együttműködés során is találkozhattunk (Ujj et al., 2008).

Különböző királis foszfolén-oxid vegyületek jól resolválhatóak a borkősav egyes semleges asszociátumként alkalmazott származékaival (Novák et al., 2007). A gazdaságossági szempontból sokkal hasznosabb ionos típusú rendszerek egyike modelljeként meghatároztuk a difenil-borkősav savanyú Ca-sójának a fenil-foszfolén oxiddal keletkezett egykristályának szerkezetét. Ennek a Ca²⁺-ionokon keresztül „végtelen” a láncba szervezett komplexnek a kristályszerkezetén (2. *ábra*) rögtön látható, hogy a „fél-só”-ként való elnevezés mögött a valóságban a 2:2:1 ligandum : rezolvátum : fémion mennyiségek állnak.

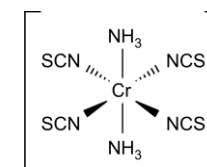
Azonban az elektronsűrűségi kép a végső finomítási állapot közelében világosan mutatta a fémion közelében koordinációs távolságra – de ugyanakkor a karboxi-csoport



2. *ábra* • A $4 \times \{Ca(1a)_2(DBTA)_2 \cdot \frac{1}{4} x\}$ Az idealizált lánc polimer kristályos szerkezetének képe, az elemi cellát jelölő hasábbal.

egy-egy O atomjától is kötéstávolságra – nagyjából $\frac{1}{4} - \frac{1}{4}$ C atomnyi elektronsűrűség megjelenését! Ez arra a kémiai körülményekkel (metanolból történt átkristályosítás) összhangba hozható következtetésre vezetett bennünket, hogy a hosszú kristályosodási idő (több nap) alatti kismennyiségű metil-észter képződése során az kvázi helyettesítő molekulaként, lényegében szilárd oldatként beépült a kristályba. Ennek következménye, hogy ennek az anyagnak a rendezettséget feltételező valódi sztöchiometriáját helyesen a 16:16:8 arány írja le. Egy ilyen szerkezeti modell paraméterei számát tekintve közel jár egy kisebb fehérje- vagy a legnagyobb eddig ismert fémklaszter-szerkezetek méreteihez.

Pár hónappal ezelőtt kutatásokat kezdtünk Hegedűsné Dr. Kudar Veronikával a régóta ismert Reinecke-anion (3. *ábra*) kristályszerkezetének rendszeres vizsgálataira.



3. *ábra* • A Reinecke-anion sematikus rajza

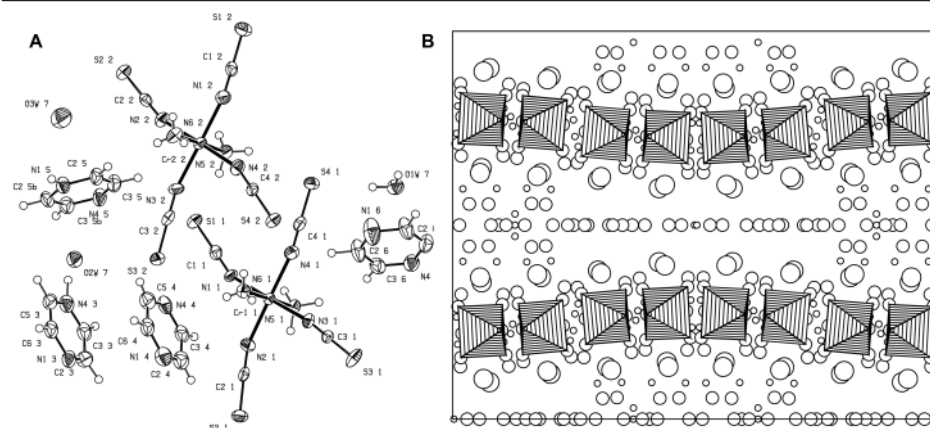
Kísérleteink során sikerült a ma már kissé egzotikusnak tekinthető gél-kristályosítás alkalmazásával kation metatézis reakciókkal több érdekes kristályszerkezetet kapnunk, köztük a B6-vitaminnal is. Magának a Reinecke-sónak is meghatároztuk a helyes szerkezetét. A 4. ábra mutatja e só kation–anion illeszkedését kristályrácsában, valamint a kristályokon megfigyelhető erős diffúz röntgenszórás képet is. Ennek elemzése meghaladja a dolgozat kereteit, csak illusztrációja a módszerben még hasznosítható potenciálnak.

Egy további, még mindig a sztöchiometria és a szilárd fázis valódi szerkezete közti összefüggésre mutat rá a pirazinfőlsőlegben végrehajtott metatézis-reakció eredménye. Ekkor az aszimmetrikus egység – tehát a kristallográfiai vagy akár szupramolekuláris értelemben vett „molekula” – tartalmaz a két-két független kation és anion mellett további két semleges pirazin molekulát és három vízmolekulát is. Tehát ennek a valójában négy különféle alkotóelemből összerakott rendszernek a valódi összetételét a 2:2:2:3 arányok írják le. Külön szépsége a „végtelen” (helyesen a kristály egyik végétől a másikig érő) síkokon hullámlázónak

látszó anion-kationrétegek illeszkedésének, hogy az a neutrális-kationos pirazin-pirazínium helyek tökéletes molekuláris önszerveződésének és fölsimerésének is szép példája (Kudar – Czugler, 2008).

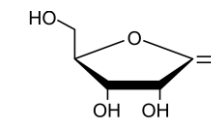
A Dr. Pintér Istvánnal való együttműködésből egy másik szerkezetvizsgálatot azért tartunk érdekesnek, mert az általa fölfedezett ribonolakton : NaBr komplex (D-ribono-1,4-lakton (6. ábra) és Pintér, 2006) kristályos formájában vízzel együtt olyan, végtelen polimerláncokból szerveződött síkokba, amelyek a Na⁺-kationok szempontjából joggal nevezhetők Janus-arcúnak.

Ez a síkpolimer ugyanis a valódi, atomi fölbontással látott szerkezetében kétféleképp viselkedő, kémiaiilag teljesen különböző környezetben látható Na⁺-ionokat mutat (7. ábra). Egyikük a „normális” só típusú kötésekben levő, a Br⁻ anionnal és vízzel kapcsolatban álló kation, míg a másik Na⁺ - kation egy anintól teljesen izolált, csak a „semleges” ribonolakton-molekulák alkotta környezetben ül! A formális 1:1:1 sztöchiometria és a kristályszerkezet közötti kapcsolatot egyrészt a végtelen polimer-szerkezet fölsimerése, más-

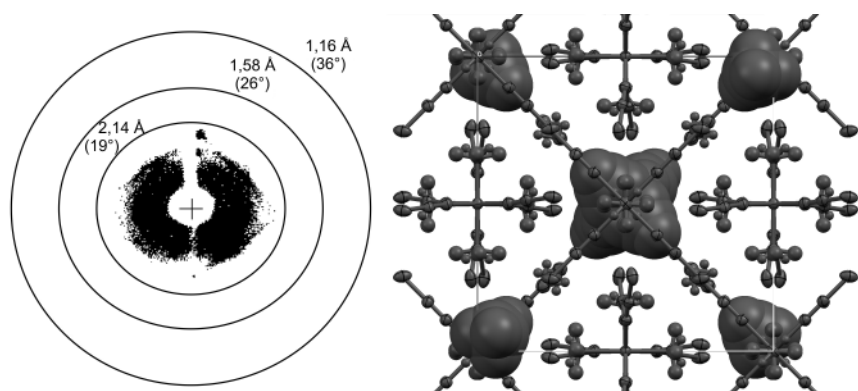


5. ábra • A pirazin-pirazínium reineckát-hidrát aszimmetrikus egységének képe (A) a molekuláris rétegek illeszkedési képével (B). Utóbbin látható négyzetes bipiramisok a Reinecke-aniont szimbolizálják.

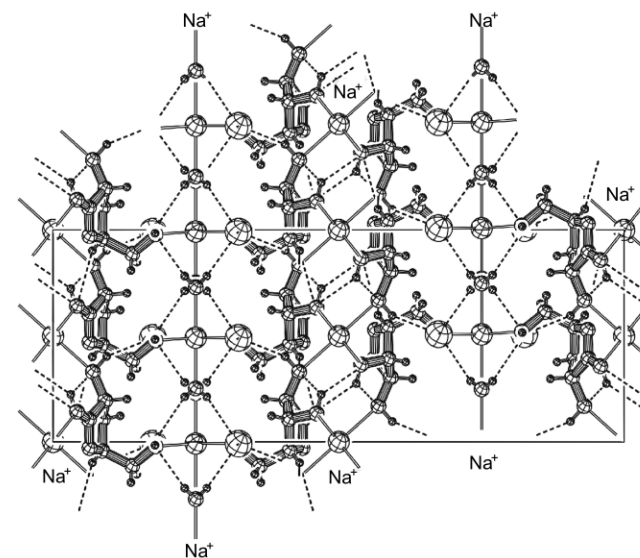
részt a cella aszimmetrikus egységében ülő két független fél Na⁺-ion teremt meg: ezek összege természetesen egy egészet ad. Mivel a valóság természetesen nem állhat „fél atomokból”, így a helyes arányt itt is az első pillanatra redundáns 2:2:2 számsor írja majd le



6. ábra • Ribonolakton molekula, amely NaBr-el és vízzel 1:1:1 arányú stabil komplexet ad



4. ábra • A Reinecke-só diffúz röntgenszórása és a só helyes kristályszerkezete, az ammónium kationok térkitöltő ábrázolásával



7. ábra • A ribonolakton:NaBr:H₂O rendszer kristályszerkezetének atomi fölbontású teljes képe. A kép közepén látszik a semleges ribonolakton-molekulák koordinálta Na⁺-kation réteg.

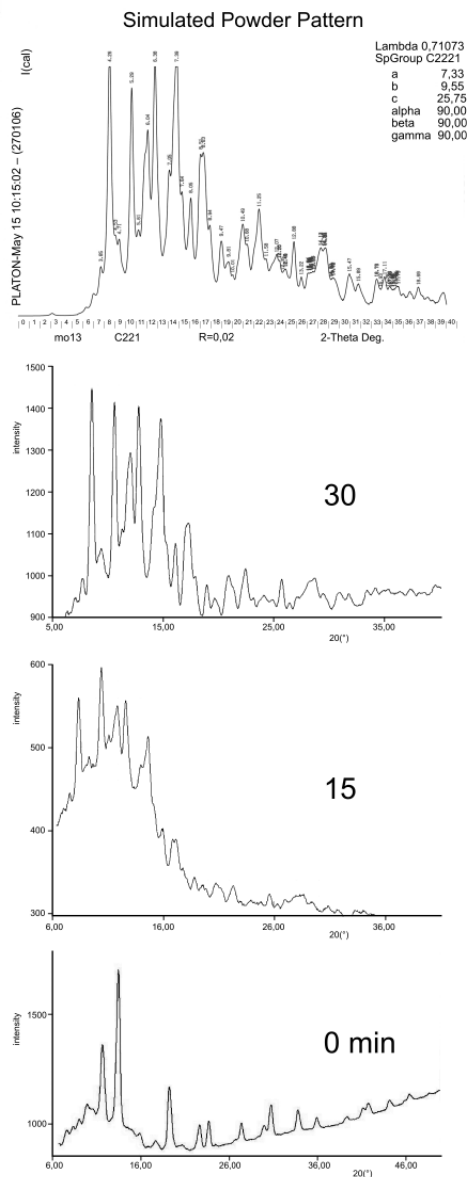
a legegyszerűbben. Ezek a valóság oly finom részletei, amelyek a kutató tekintet előtt csak ebben a mérettartományban tárulnak föl.

A helyes kristályszerkezet ismerete segítette, hogy az említett és más hasonló komplexek szerkezetét igazoljuk, pl. egy rotációs malomban végrehajtott szilárdfázisú reakció lefolyását követve, illetve annak eredményeként.

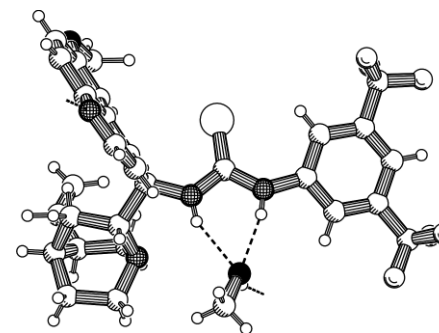
Ilyenkor a porrá őrlődött kiindulási anyagok és a keletkező, porszerű reakciótermék természetesen nem áll egykristály formájában rendelkezésre. Mégis, az ideális kristályszerkezetből számítható röntgendiffrakciós porfölvétel összevetése az őrlés alatt vett mintákkal beszédes tanú (8. ábra).

Végül egy, a laboratóriumunkban intézeti kooperációban Dr. Soós Tiborral és munkatársaival együtt még most is folyó kutatást emlétek, ami az eddigi professzionális közfelfogásnak megfelelő, statikus szerkezet képehez az egykristálydiffrakciótól általában nem várt dinamikus tulajdonságokról ad képet. A metanollal képzett szupramolekuláris addukt képét a 9. ábra mutatja. Ez a kristályszerkezet -150 °C körüli hőmérsékleten „látott” képe. Azonban szobahőmérsékleten a kristály bomlásával együtt drámai változások történnek a molekula közepén ülő tiokarbamid-csoport jól látható elmozdulásával. Ennek nagysága csupán az ebben a dimenzióban szokásos Å-skálájú kötэшossz-mérce ötöde, de ezzel mégis a még egy nagyságrenddel kisebb méretek felé teszünk lépést (10. ábra).

E kristályszerkezetben hőmérsékletfüggő diffrakciós kísérleteink a rendszer idő- és térbeli folyamatainak olyan összetett dinamikus képét sugallják, amelynek további elemzése azzal a reménnyel biztat, hogy talán lehetőségünk lesz a katalitikus szempontból fontos, de eddig láthatatlan molekuláris elmozdulások jobb megértésére is.



8. ábra • Ribonolakton és NaBr porának őrlése víz jelenlétében a 15'-ként vett minták por diffrakciós fölvételei szerint gyorsan vezet a célkomplexhez, amelynek ismert szerkezetéből számított porfölvétele (legfelső rajz) jól hasonlít a már fél óra után látható képre

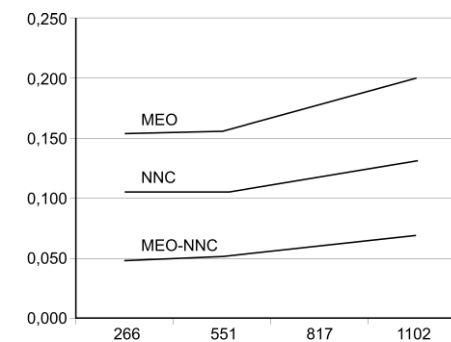


9. ábra • A tiokarbamid központú szerves katalizátor és metanol szupramolekulájának képe

Köszönet illeti támogatóinkat, a vegyészeket: Prof. Keglevich Györgyöt és munkatársait, Dr. Pintér Istvánt, Dr. Soós Tibort és munkatársait, valamint a krisztallográfusokat, Hegedűsné Dr. Kudar Veronikát és Dr. Párkányi Lászlót. Segítségük nélkülözhetetlen volt ezekben a munkákban. Kutatásainkat az

IRODALOM

- Glusker, Jenny P. – Trueblood, Kenneth N. (1985): Crystal Structure Analysis: A Primer. Oxford University Press, NY, USA.
- Kálmán Alajos (1995): A röntgenkrisztallográfia fejlődése. In: A röntgensugárzás egy évszázada. Magyar Tudomány, XL, 9, 1047–1062.
- Kudar Veronika – Czugler Máttyás (2008): A Reinecke-só és származékainak kristályszerkezetei. Publikálásra előkészítve.
- Novák Tibor – Ujj V. – Schindler J. – Czugler M. – Kubinyi M. – Mayer Zs. A. – Fogassy E. – Keglevich Gy. (2007): Resolution of 1-substituted-3-methyl-3-



10. ábra • A tiokarbamid központú hómögzásté-nyezőinek változása a mérési idő alatt (felső), összehasonlítva a metanollal (középső) és attól számított különbséggel (alsó vonal)

OTKA To42642 és K75869 projektjeinek anyagi támogatásával folytattuk.

Kulcsszavak: egykristály röntgenszórás, kristályszerkezet-meghatározás, sztöchiometria, szupramolekuláris kémia, molekuláris önszerveződés

phospholene 1-oxides by Molecular Complex Formation with TADDOL Derivatives. Tetrahedron: Asymmetry, 18, 2965–2972.

Pintér István (2005): New Complexes of Ribose Derivatives. Polish Journal of Chemistry, 79, 323–328.

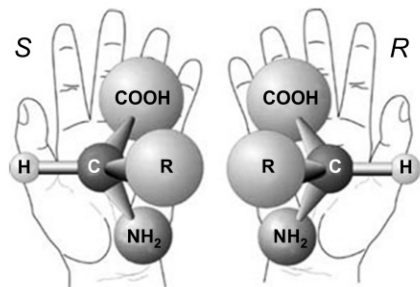
Ujj Viktória – Schindler J. – Novák T. – Czugler M. – Fogassy E. – Keglevich Gy. (2008): Coordinative Resolution of 1-phenyl- and 1-naphthyl-3-methyl-3-phospholene 1-oxides with Calcium Hydrogen O,O'-dibenzoyl-(2R,3R)-tartrate or Calcium Hydrogen O,O'-di-p-toluyll-(2R,3R)-tartrate. Tetrahedron: Asymmetry, 19, 1973–1977.

TÁVOL A HOMOKIRALITÁSTÓL, AVAGY A PEPTIDOMIMETIKUMOK ÖNRENDEZŐDÉSE

Martinek Tamás

PhD, Szegedi Tudományegyetem Gyógyszerkémiai Intézet
martinek@pharm.u-szeged.hu

A földi élőlények felépítésében az aszimmetrikus molekulák kulcsszerepet játszanak. Például a legfontosabb biológiai építőelemek közül való aminosavak többsége két térbeli szerkezetet vehet fel, amelyek tükörképi párjai egymásnak csakúgy, mint a jobb és bal kezünk (1. ábra). Az ilyen aszimmetrikus molekulákat királisnak, a tükörképi viszonyban álló molekulákat enantiomereknek nevezzük. A biomolekulák felépítésében néhány kivételtől eltekintve csak egyetlen enantiomer vesz részt: a fehérjéket csak balkezes aminosavak alkotják. Ezt a jelenséget hívjuk biológiai homokiralitásnak (Pályi, 1999).



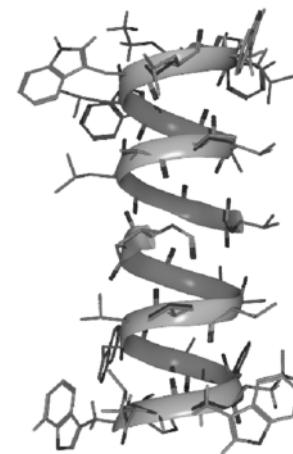
1. ábra • A természetes α -aminosavak lehetséges két térbeli konfigurációja az aszimmetrikus szénatom körül. A bal- és a jobbkezes elrendeződést rendre S és R jelöli, követve a standard kémiai nomenklaturát.

Mivel a tükörképi párok valamennyi akirális közegben vizsgált fizikai és kémiai tulajdonsága megegyezik, a biológiai homokiralitás nem magától értetődő jelenség. Már Louis Pasteur megfogalmazta, hogy az enantiomerek feldúsulása általában az élet jelenlétéről tanúskodik. Nagyon valószínű, hogy a homokiralitás és az élet eredetét közös ponton kell keresnünk, és bár számos hipotézist találhatunk erre vonatkozóan az irodalomban (Meierhenrich, 2008; Carrol, 2009), konszenzusra vezető elmélet jelenleg sincs. Az egyik alapvető kérdés ebben a vonatkozásban, hogy a homokiralitás szükséges előfeltétele-e az életért felelős makromolekulák kialakulásának, vagy csupán egy véletlen, az élet kialakulásával párhuzamos folyamat eredménye.

De miért fontos az építőelemek homokiralitása a makromolekulák létrejöttében és működésében? A biopolimerek funkciója szorosan összefügg a térbeli szerkezetükkel, és ez a térszerkezet jobbra önrendező módon alakul ki. Fehérjék esetén a feltekeredés módja az aminosavsorrendben van kódolva, s ezt információt a DNS tartalmazza. A genetikai kód nem terjed ki az aminosav-építőelemek kiralitására, implicite feltételezi a térbeliség állandóságát. A balkezes aminosavak ki-

választása már a riboszomális fehérjeszintézis magasabb szintjén történik. Az enantiomerek véletlen sorrendű beépülése a fehérjékbe a funkcióért felelős jól definiált térszerkezetek hiányát eredményezné, ami kizárja az életet. Emellett az evolúció alanyába, a DNS-fehérjerendszerbe egy rejtett, statisztikus paraméter is belekerülne, ami lehetetlenné tenné az előnyös tulajdonságok szisztematikus átörökítését.

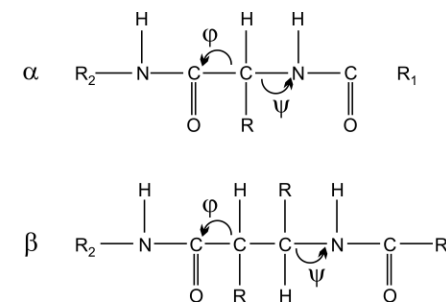
Kivételeket találunk azonban a természetben arra, hogy a balkezes és jobbkezes építőelemeket együttesen tartalmazó biopolimerek rendezett és esetenként funkcióval rendelkező térszerkezetet vesznek fel. Erre jó példa a gramicidin S antibiotikum ún. β -hélice (2. ábra) amelyet a *Bacillus brevis* baktérium termel, természetesen nem riboszomális fehérjeszintézis útján. Ebben az esetben az α -aminosavak tükörképi párjai szisztematikus felváltva épülnek be a láncba, így a szerkezet már nem homokirális, mégis képes az aminosavak sorrend által kódolt helikális önren-



2. ábra • A gramicidin bakteriális eredetű peptid által létrehozott helikális szerkezet (β -hélix). Ez a szerkezet a sejtmembrán közegében alakul ki.

deződésére. Mesterségesen előállított α -peptidoknál az építőelemek térkémiájának sorrendjét tetszőlegesen megválaszthatjuk, és ilyen esetekben is számíthatunk az önrendeződé-
re (Rana et al., 2005).

Látható, hogy a homokiralitás az önrendezés feltételeként való előírása túlságosan szigorú kritérium, ugyanakkor a véletlenszerű beépülés is kizárható. Meddig lazítható vajon a homokiralitási feltétel? Meg kell állnunk az alternáló heterokirális láncoknál, vagy létezik egy általánosabb szabály? A kérdéseink megválaszolásához vizsgáljuk meg, mi adja a fő hajtóerőt a polipeptidok önrendeződé-
séhez. Elsősorban a láncban lévő peptid-csoportok (CONH) közötti elektrosztatikus vonzás biztosítja az energianyereséget, ahol a két kölcsönható csoportnak közel párhuzamos orientációjának kell lennie: CONH—CONH. A peptid-csoportok gerinchez képest felvett irányát a φ és ψ torziós szögekkel írjuk le (Ramachandran- és Balaram-definíciók szerint, 3. ábra). Ilyenkor térben közel kerülhet-



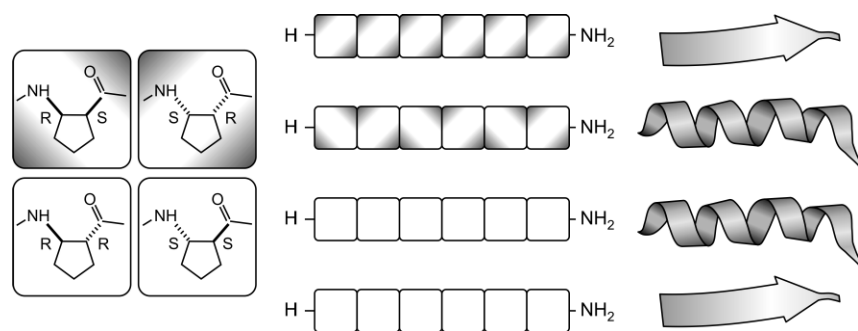
3. ábra • Az α - és a β -peptidok kémiai szerkezetének összehasonlítása. Feltüntetjük a peptidkötések orientációját leíró torziós szögeket. A β -peptidok esetén a két aszimmetrikus szénatom közötti torzió szintén befolyással van a szerkezetre, de ez nem független a φ és ψ torzióktól, és magyarázata túlmutat a jelen közlemény keretein.

nek a csoportok ellentétes töltései. A peptidkötések orientációját azonban a láncban velük szomszédos kiralitáscentrumok, az aszimmetrikus szénatomok térbelisége határozza meg.

Mivel az α -peptidek esetében egy kiralitáscentrum két peptidkötés irányára hat egyidejűleg (3. ábra), a természetes peptidek/fehérjék ebből a szempontból speciális esetnek számítanak. A térbeli konfigurációk és a peptidcsoportok iránya közötti összefüggést olyan rendszereken könnyebb vizsgálni, ahol egy centrum csak egyetlen peptidcsoport-irányra van befolyással. A legegyszerűbb ilyen építőelemek a β -aminosavak. Amíg az α -peptidek egyetlen aszimmetrikus szénatomot tartalmaznak a peptidcsoportok között, a β -peptidekben két potenciálisan aszimmetrikus szénatom található. Ez négyre emeli a lehetséges térbeli konfigurációk számát. A látszólag megnövekedett flexibilitás ellenére, a β -peptidek igen változatos másodlagos szerkezeti mintázatokat tudnak létrehozni már igen rövid lánchosszon. Az eddig ismert β -peptid hélixek már hexamer hosszúságban is nagy stabilitást mutatnak, és a peptidáz enzimek nem emésztik (Goodman et al., 2007). Ugyanúgy, mint a proteineknél, a

másodlagos szerkezetek között megtalálhatjuk a hélix és szál alaptípusokat. Homokiralis építőelemekből többféle hélixet lehet előállítani. A hélixeket az őket stabilizáló hidrogénkötéses gyűrű tagzáma alapján nevezzük el, így léteznek például a H10, H12, H14 típusok (Martinek – Fülöp, 2003). A β -peptidek körében is megtaláljuk az alternáló heterokiralis láncokat, melyek a természetes gramicidin β -hélixével rokon, ún. H10/12 hélixet, valamint a fehérjealkotó β -szálakhoz hasonló nem poláris szálakat hozták létre (4. ábra) (Martinek et al., 2006). A β -aminosavak kombinálhatók a természetes α -aminosavakkal is, és így további változatos struktúrák hozhatók létre. Ezek az önrendeződő peptidomimetikumok egy lényegesen szélesebb körű mintát biztosítanak a térkémi összefüggések feldeírásához.

Mivel a gerincatomok konfigurációja a torziós szögeken keresztül fejtik ki hatásukat, előbb megvizsgáltuk, hogy milyen kapcsolat van a kérdéses torziók (φ és ψ) mintázata és a másodlagos szerkezet típusa között, majd korrelációt próbáltunk találni a jobbkezes és balkezes aszimmetria-centrumok sorrendje (az abszolút konfiguráció) és a másodlagos



4. ábra • A β -peptidek körében felismert összefüggés a homokiralis és az alternáló heterokiralis láncok térszerkezete között

ψ][φ előjelek	másodlagos szerkezet	Peptidcsoport iránya a jobb- (P) és balmenetes (M) hélixekben*
+[+]	hélix	P: paralel; M: antiparalel
-][-]	hélix	P: antiparalel; M: paralel
+][-]	szál	
-][+]	szál	

1. táblázat • A ψ][φ torziós kombinációk által kedvezményezett másodlagos szerkezetek (* NH \rightarrow O=C H-kötés irány a N-vég \rightarrow C-vég irányhoz képest)

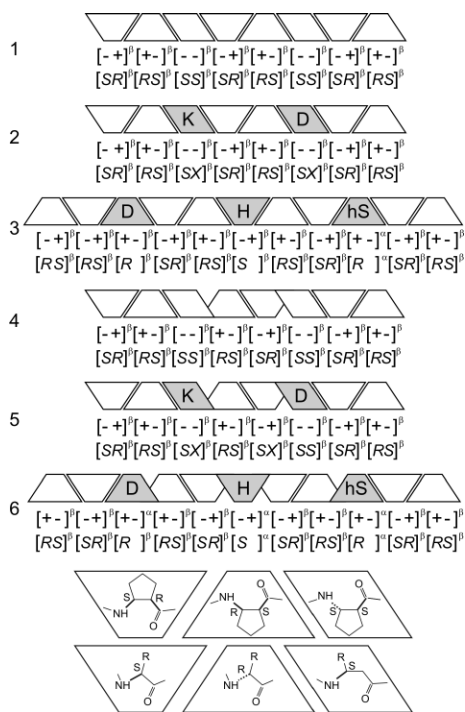
szerkezetekben mért torziós szögek között. Az irodalmi és saját adataink elemzésével az alábbi megfigyeléseket tettük (1. táblázat).

1. Hélixek esetében, a peptidkötések két oldalán csak azonos előjelű ψ és φ torziók fordulhatnak elő: +][+ vagy -][-], ahol a ']' szimbólum a CONH peptidkötést jelenti. A szál-típusú szerkezeteknél eltérő előjelű szögek figyelhetők meg: +][- vagy -][+.
2. Hélixeknél a torziós szögek előjelei meghatározzák a peptidkötés orientációját a gerinc standard irányítottágához (N-vég \rightarrow C-vég) képest. Az irány függ attól is, hogy a hélix jobb- (P) vagy balmenetes (M).
3. Mivel a peptidláncok önrendeződésének feltétele az amidcsoportok közötti (intra) molekuláris felismerés, a kölcsönhatásban lévő szakaszoknál a peptidkötések orientációjának illeszkedőnek kell lennie. Ez megköveteli a gerinc-torziók megfelelő mintázatát, amit azonban csak megfelelő sztereokémiai mintázat hozhat létre. Összegezve kimondhatjuk, hogy a hélixek és redőzött rétegek kialakulásához valóban nem szükséges a homokiralitás. A szükséges feltétel az ismétlődő térkémi mintázat jelenléte.
4. A proteinek és α -peptidek körében jól ismert a Rachandran-féle összefüggés. Ennek folyománya, hogy a balkezes szénatom kizárólag negatív előjelű (-) φ torziót tesz

lehetővé a stabilis másodlagos szerkezeteknél. A ψ szögre a sztereokémia kisebb strukturáló hatással van, mivel az felvehet pozitív (+) és negatív (-) szögeket is. Ez utóbbi valójában az α -aminosavak fent említett speciális voltából fakad. β -peptidek esetében mindkét kiralis szénatom erősen strukturál, és hatásuk elkülönítetten jelentkeznek: balkezes konfiguráció esetén csak negatív előjelű torziós szögeket tesznek lehetővé mind a ψ , mind a φ torzióknál. A jobbkezes konfiguráció pozitív torziókat eredményez.

Hogy megvizsgáljuk ezeknek a szabályoknak az érvényességét és prediktív erejét, két különböző típusú *de novo* szekvenciát terveztünk (1–3), melyek úgy teljesítik a fenti szabályokat, hogy a várt szerkezetük helikális (5. ábra). A tervezésnél alkalmaztuk a hélixet indukáló azonos előjelű torziók és a periodikus sztereokémiai mintázat elvét, és az általánosság kedvéért az α - és β -aminosavakat kombináltunk. Létrehoztunk olyan negatív kontrollláncokat is, ahol a konfigurációkat felcseréltük (4–6).

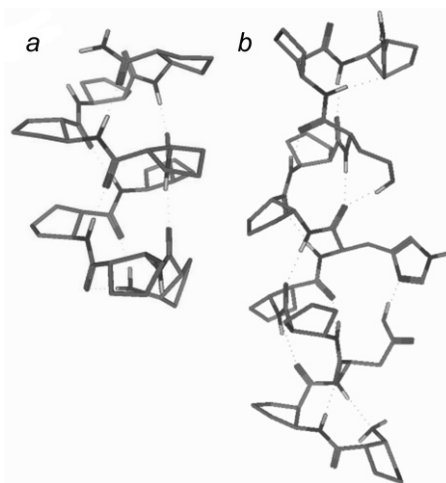
A tervezett és kontroll-peptideket szilárd hordozón, Fmoc kémiával szintetizáltuk meg, és HPLC-vel tisztítottuk. Az anyagokat deuterált dimetil-szulfoxidban, metanolban és vízben jellemeztük. A minták jelfeloldottsága jó volt, a NMR-jelek hozzárendelését a 2D



5. ábra • A *de novo* tervezett β - és $\alpha\beta$ -peptidomimetikum láncok. Az oldalláncok az aminosavaknál szokásos egybetűs kóddal vannak jelölve (hS: homo-szerin). A térbeli konfigurációkat jelölő *S* és *R* meghatározását lásd az 1. ábrán.

homonukleáris korrelációs spektrumok segítségével végeztük el. A peptidkötések árnyékolására jellemző kémiai eltolódás-hőmérsékleti koeficiens jól jelezték a stabilizáló hidrogénkötéseket. A nagyfelbontású szerkezet-meghatározást a távolható keresztrelaxációs kölcsönhatások (ROESY – Rotating frame nuclear Overhauser Effect Spectroscopy) segítségével végeztük el, ahol a térközben lévő hidrogénatomok mutathatók ki. A tervezett szekvenciáknál egyértelműen láthatók a helikális szerkezetekre jellemző kölcsönhatások. A kontrollszekvenciáknál efféle periodi-

kus szerkezetekre jellemző jeleket nem találunk. A modellezést molekuláris mechanikai szinten kényszerfeltétel nélküli mintavételezéssel kezdtük meg. Itt a legalacsonyabb energiájú konformációs családok egyértelműen mutatták a várt helikális rendeződéseket. Az egyik szekvenciánál komplex, 9–10–11–12-tagú, egymásba fűzött H-kötéses gyűrűk stabilizálják a hélixet, és a peptidkötések alternáló orientációt mutattak. A másik modellünknel egy H14/16 típusú hélixet kaptunk, ahol a peptidorientáció (parallel–antiparallel–antiparallel)_n mintázatot adott. Ilyen hélixeket eddig nem találtak. A kontrollszekvenciák nem mutattak helikális rendeződést. A helikális konformáció detektálására elektronikus cirkuláris dichroizmus (ECD-) spektroszkópiát alkalmaztunk. Mindkét hélix esetében Cotton-effektust figyelhetünk meg. A H14/16 kontrollszekvenciája nem mutatott ECD-



6. ábra • Az 1 (a) és 3 (b) peptidláncok helikális szerkezetei. A geometriák igazolását oldatfázisban NMR- és cirkuláris dichroizmus spektroszkópiák, valamint molekulamodellezés segítségével végeztük el.

aktivitást, míg a H9-12 kontrollminta a helikálistól teljesen eltérő ECD-mintázatot mutatott. A tervezett helikális mintáknál az ECD-jelek csökkent intenzitással vízben is megtartották a jellegüket, ugyanakkor a kontrollpeptidek elvesztették szerkezetüket ebben az oldószerben. Ezek a megfigyelések alátámasztják, hogy a tervezett struktúrák a szerkezet kellően stabilisak, a későbbiekben a vizes közegű biológiai alkalmazások szóba kerülhetnek.

A természetes α -aminosavakból felépülő proteinek/peptidek és a mesterséges β -peptidek másodlagos szerkezeteinek átfogó vizsgálatával felismertük, hogy a gerinc szénatomok térkémiája és a hozzájuk kapcsolódó torziós szögek között általánosítható összefüggés áll fenn. Továbbá felfigyeltünk a torziós szögek előjelének mintázata és a másodlagos szerkezet közötti kapcsolatra is. Az összefüggések jól használható eszközt adnak a térkémia másodlagos szerkezetre gyakorolt hatásának megértéséhez. A szabályok prediktíveknek bizonyultak, mivel a segítségükkel új hélixeket tudtunk tervezni, amelyek stabilisnak mutatkoztak oldatfázisban (Mándity et al., 2009). Az eredményeink alátámasztják, hogy a polipeptid láncok önrendeződéséhez nem szükséges a homokiralitás; elegendő az említett szabályok szerinti periodikus térkémia jelen-

léte. A mintázati megközelítés rámutatott arra is, hogy a torziók előjele, illetve az ezt befolyásoló abszolút konfigurációk egyfajta bináris kódot alkotnak, amelyek a másodlagos szerkezet alaptípusát és több tulajdonságát képesek meghatározni. Ebben az összefüggésben ezt egy szoftvernek foghatjuk fel, ami a peptidláncon mint hardveren „végrehajtottva” a másodlagos szerkezetet adja kimenetként. Úgy véljük, hogy a bemutatott módszer utat nyithat újabb hélix-típusok létrehozásához, amelyek a jövőben a gyógyszerkutatás területén nyerhetnek alkalmazást (Kritzer et al., 2005).

Köszönettel tartozom az OTKA (NF69316) anyagi támogatásáért. Köszönöm a külső partnereknek (prof. dr. Tóth Gábor, dr. Fülöp Livia, dr. Hetényi Anasztázia [SZTE Orvosi Vegytani Intézet]; Prof. dr. Hollósi Miklós, dr. Vass Elemér [ELTE Kémiai Intézet]), és munkatársaimnak (Mándity István, Wéber Edit és Szolnoki Éva) az együttműködést és a segítséget. Köszönet illeti mentoromat, prof. dr. Fülöp Ferenc akadémikust.

Kulcsszavak: *peptidomimetikum, sztereokémia, aminosavak, β -aminosavak, β -peptidek, konformáció, NMR-spektroszkópia, cirkuláris dichroizmus*

IRODALOM

- Carroll, James D. (2009): A New Definition of Life. *Chirality*. **21**, 3, 354–358. <http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/fulltext/120082041/PDFSTART>
- Goodman, Catherine M. – Choi, S. – Shandler, S. – DeGrado, W. F. (2007): Foldamers as Versatile Frameworks for the Design and Evolution of Function. *Nature Chemical Biology*. **3**, 252–262.
- Kritzer, Joshua A. – Luedtke, N. W. – Harker, E. A. – Schepartz, A. (2005): A Rapid Library Screen for Tailoring Beta-Peptide Structure and Function. *Journal of the American Chemical Society*. **127**, 14584–14585 (például).
- Martinek Tamás A. – Fülöp Ferenc (2003): Side-chain Control of Beta-peptide Secondary Structures. *European Journal of Biochemistry*. **270**, 3657–3666.
- Martinek Tamás A. – Mándity I. M. – Fülöp L. – Tóth G. K. – Vass E. – Hollósi M. – Forró E. – Fülöp F. (2006): Effects of the Alternating Backbone Configuration on the Secondary Structure and Self-Assembly of beta-Peptides. *Journal of the American Chemical Society*. **128**, 13539–13544.

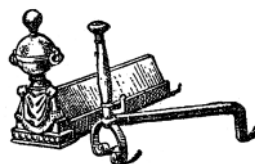
Martinek Tamás A. – Hetényi, A. – Fülöp, L. – Mándity, I. M. – Tóth, G. K. – Dékány, I. – Fülöp, F. (2006): *Secondary Structure Dependent Self-Assembly of β -Peptides into Nanosized Fibrils and Membranes*. *Angewandte Chemie International Edition*. 45, 2396–2400.

Mándity István M. – Wéber E. – Martinek T. A. – Olajos G. – Tóth G.K. – Vass E. – Fülöp F. (2009): *Design of Peptidic Foldamer Helices: A Stereochemical Patterning Approach*. *Angewandte Chemie International Edition*. 48, 2171–2175.

Meierhenrich, Uwe (2008): *Amino Acids and the Asymmetry of Life, Caught in the Act of Formation*. Springer

Pályi Gyula – Zucchi C. – Caglioti L. (eds.) (1999): *Advances in BioChirality*. Elsevier Science, Amsterdam

Rana, Soumendra – Kundub, B. – Durani, S. (2005): *A Small Peptide Stereochemically Customized as a Globular Fold with a Molecular Cleft*. *Chemical Communications*. 207–209. (például) <http://www.rsc.org/Publishing/Journals/CC/article.asp?doi=b413802c>

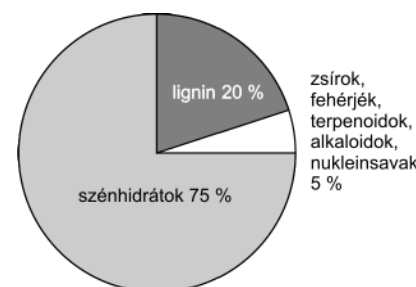


A Földön évente újratermelődő biomassza mintegy 200 milliárd tonna/év tömegűnek becsülhető (Lichtenthaler, 2004). Ennek az anyagmennyiségnek közel 75 %-át szénhidrátok: szénből, hidrogénből és oxigénből felépülő cukorszármazékok teszik ki (1. ábra).

A legnagyobb arányban a cellulóz és a hozzá hasonló, a növények vázanyagát alkotó óriásmolekulák vannak jelen, de számottevő a növényi tápanyag-raktározást szolgáló keményítő is. Ezek a makromolekulák (poliszacharidok) az egyszerű cukrok (monoszacharidok) legelterjedtebb képviselője, a D-glükóz (szőlőcukor) molekuláinak egymáshoz kapcsolódásával épülnek föl. A D-glükóz a fotoszintézis elsődleges terméke, az élő szervezetek többségében pedig az egyik közvetlen energiaforrás, de ha koncentrációja a vérünkben túllépi a szokásos szintet, az cukorbetegséghez vezet. Az egyéb poliszacha-

ridok az élővilág legnagyobb részében (baktériumok, gombák, növények, ízeltlábúak) a sejtfalak alapvető alkotórészei. A szénhidrátok legismertebb, „közkezen forgó” képviselője a (kristály)cukorként megszokott mindennapi édesítőszer, a szacharóz nevű összetett cukor (D-glükózból és D-fruktózból [gyümölcs-cukor] álló diszacharid), melyet a mérsékelt égövön cukorrépből, a (szub)tropusokon pedig cukornádból nyernek ki igen nagy tisztasággal. Mintegy négyötöd részben szénhidrátok keveréke (D-fruktóz ~38 %, D-glükóz ~31 %, maltóz ~7 %, szacharóz ~1–2 %) az ősidők óta ismert és használt méz, amely a fő alkotókon kívül közel 180 egyéb komponenset tartalmaz. A szénhidrátok közvetlen felhasználása, illetve átalakításaik több évszázados, gyakran évezredes múltra tekinthetnek vissza, hogy csak a nagyszámú élelmiszerkészítési eljárást, sörfőzést és borkészítést, papírgyártást, viszkózműselyem-előállítást, szerkezeti- és tüzelőanyagként való felhasználást említsük példaként. Ez a néhány példa mutatja, hogy a különböző szénhidrátszármazékok környezetünkben és az élő szervezetekben milyen elterjedtek, és milyen alapvető szerepet töltenek be.

Gazdag ismereteink vannak a szénhidrátok élő szervezeten belüli átalakulásairól (metabolizmusáról), például a glükóz és más cukrok felépítéséről, lebontásáról, részvételtük-



1. ábra • A biomassza összetétele

ról az energiatermelő és -átalakító folyamatokban, a poliszacharidok szintéziséről és degradációjáról, számos szervezettípusban betöltött kulcsszerepükről (Nelson – Cox, 2005). A szénhidrátok változatos vegyületekké kapcsolódnak össze más molekulatípusokkal is, így alkotva a glikokonjugátumok igen népes csoportját:

- a glikoproteinek fehérjék polipeptidláncához kapcsolódó néhány monoszacharidból álló szénhidrát egysége(ke)t (oligoszacharido(ka)t) tartalmaznak (a hasonló szerkezetű glikopeptidek között értékes antibiotikumokat találunk);
- a peptidoglikánok, melyekben poliszacharid láncokat oligopeptidek kapcsolnak össze, a baktériumok sejtfalának alkotói;
- a proteoglikánok igen nagyszámú glikozaminoglikán típusú poliszacharidot tartalmazó fehérjék, melyek a sejten kívüli tér és a kötőszövetek fő alkotói számos élő szervezetben;
- a glikolipidek egyszerű cukrok és zsírok, a lipopoliszacharidok zsírok és poliszacharidok kapcsolódásával épülnek fel, és a sejtmembránok alkotórészei.

A szénhidrátok, elsősorban a glikokonjugátumok biológiai szerepével, bioszintézisével és átalakulásaival foglalkozó tudományterület, a glikobiológia a cukorszármazékokra vonatkozó sokrétű ismeretanyag fényében akár meglehetősen tradicionális diszciplínának is tekinthető (Roseman, 2001). Maga a megnevezés az 1980-as évek végén keletkezett, és kezdett elterjedni, amikor az elválasztástechnikai és szerkezetvizsgálati módszerek fejlődése lehetővé tette az élő sejtekből igen kis mennyiségben izolált glikokonjugátumok szerkezetének pontos megállapítását. Ez megnyitotta az utat e biológiai molekulák működésének és szerepének részletes feltárása előtt.

Hasonlóan más „omika” (például: genomika, proteomika) területekhez, ma már egy sejt vagy szervezet teljes szénhidrát- (glikán) állományának (a glikomnak) szisztematikus tanulmányozása a glikomika tárgyköre (Turnbull – Field, 2007).

A glikobiológia számos alapvető biológiai folyamatban (így például a megtermékenyítésben (az ivarsejtek egymásra találásában), az embrionális sejt differenciálódásban és szövetszövetfejlődésben, a sejtadhézióban, a sejtösszetartás kontakt gátlásában, az immunválasz kialakulásában, a vírusreplikációban, a parazitafertőzésekben, a gyulladáshoz vezető folyamatokban, hormonok, toxinok sejteken történő megkötődésében) mutatta ki a szénhidrát-származékok, mindenekelőtt a glikoproteinek és a glikolipidek kulcsszerepét (Varki, 1993; Dwek, 1996). Ezekben a jelenségekben közös, hogy lényegüket tekintve felismerési folyamatok és olyan kölcsönhatások révén jönnek létre, melyekben a sejtek felszínén található, akár 140 nm vastagságot is elérő, szénhidrátokat tartalmazó (takaró)réteg (a glikokalix) cukormolekulái vesznek részt. A glikokalix egyed-, sőt sejtszinten jellegzetesen eltérő kémiai szerkezetű cukorszármazékokat tartalmaz, és ezáltal – mintegy azonosítóként – lehetővé teszi a szervezet számára a különbségtételt a saját, egészséges és az idegen vagy beteg sejtek között.

A glikokonjugátumokban a szénhidrát-részek kovalens kötéssel (nagy energiájú, elsődleges kémiai kötőerők révén) kapcsolódnak a fehérjéhez, zsírhoz, stb. Az említett felismerési folyamatokban a szénhidrát-molekulák, illetve a glikokonjugátumok cukorrészei a kovalens kötéseknél lényegesen gyengébb, másodlagos kötőerők segítségével alakítanak ki kapcsolatokat fehérjékkel. A felismerés során az egyik partner, például a sejt szénhid-

rát-azonosítója kerül kölcsönhatásba a másik résztvevő, például sejt, vírus, baktérium szénhidrát-felismerésre szakosodott receptorával (lektinjével), ahol a szénhidrát-rész hordozza az információt, jelenti a kódot, míg a fehérje a kód megfejtésére, kiolvasására szolgáló eszköz (2. ábra). Széles körben alkalmazzák ezekre a kölcsönhatásokra az Emil Fischer által javasolt kulcs (szénhidrát) és zár (lektin) analógiát is, ami a kapcsolatba kerülő molekulárisztruktúrák alakjának kiegészítő jellegére, egymásba illeszkedésére (komplementaritására) utal (Gabiuss et al., 2004). Ha a kölcsönhatásban résztvevő fehérje a felismerés után kémiaiilag át is alakítja a cukorkomponenst (enzimaktivitása van), megváltozik vagy megszűnik az adott szénhidráthoz kapcsolható információ. Ezek a kémiai átalakítások alapvetőek a glikokonjugátumok és a glikánok felépítésében és lebontásában. Az antiszénhidrát-antitestek cukrot (is) tartalmazó antigének felismerésére, és a megfelelő immunválasz kiváltására specializálódtak (Pazur, 1998).

Az élő szervezetekben a biológiai funkciók megvalósulása a fehérjék működéséhez kötődik. A fehérjék elsődleges szerkezete, az aminosavak sorrendje egyértelműen rögzítve van a dezoxiribonukleinsav (DNS) kettős hélixében. Ennek a tervrajznak szigorú szabályok szerint kivitelezett megvalósítása a fehérjeszintézis. Az így elkészült fehérjék túlnyomó

többsége azonban még nem képes biológiai szerep betöltésére. Többféle utólagos módosítás szükséges a biológiai működőképesség eléréséhez, melyek közül a foszforiláció mellett az egyik leggyakoribb a fehérjék mintegy 90 %-át érintő glikozilezés, azaz szénhidrát egység(ek) hozzákapcsolása. A glikozilezés azonban nincs a DNS-ben kódolva, ezért eltérő körülmények között ez eltérő módon valósulhat meg, ami azonos fehérje eltérő működését is eredményezheti. A glikozilezéssel az adott fehérjékészlet (proteom) kémiai és funkcionális diverzitása nagyságrendekkel növekszik anélkül, hogy ez újabb lényeges mennyiségű genetikai információ tárolását és felhasználását igényelné (csak a glikoenzimek szerkezete van kódolva a DNS-ben). Mindez a szénhidrátkészlet (a glikom) kémiai és szerkezeti sokféleségének köszönhető (Turnbull – Field, 2007).

Vizsgáljuk meg, mi teszi alkalmassá a szénhidrátokat ennek a diverzitásnak a létrehozására, miért váltak ezek a molekulák a sejtspecifikus információk hordozóivá. A peptidok/fehérjék kialakulása során tetszőleges számú aminosav (monomer) két funkcionális csoportja (NH_2 és COOH , stilizáltan A és B) kapcsolódhat össze, és alkothat CONH- (A–B) kötést (3. ábra). Nem lehetséges A–A és B–B kapcsolat, és A–B = B–A. A szerkezetet kizárólagosan a monomerek kapcsoló-

szénhidrát-származékok	fehérjék	a kölcsönhatás funkciója
glikokonjugátumok (pl. peptidokhoz, proteinekhez lipidekhez kapcsolt oligoszacharidok)	receptorok (lektinek) (gliko)enzimek	→ felismerés, információátadás → felismerés, kémiai szerkezet, biológiai szerep megváltoztatása (szacharidok és konjugátumok felépítése és lebontása)
mono- és poliszacharidok	antitestek	→ felismerés, immunválasz

2. ábra • Szénhidrátok és fehérjék kölcsönhatásai

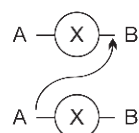
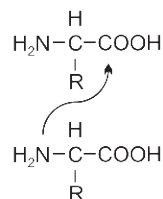
dási sorrendje szabja meg. Az oligoszacharidok képződésekor az egyik monoszacharid kitüntetett hidroxilcsoportja, az ún. glikozidos OH (E) kapcsolódhat a másik monomer bármely csoportjához (E–A, E–B, stb), ráadásul E kétféle szerkezetben, ún. anomer konfigurációban teheti mindezt. Ennek következtében már két azonos monoszacharid is tizenegyféle diszacharidot alkothat. A monomerek számának növekedésével az elágazások lehetősége tovább növeli a diverzitást, ami az OH-csoportok biológiai környezetben igen gyakori kémiai módosításával további nagyságrendekkel fokozható (Laine, 1997).

A 4. ábra a fontos biológiai makromolekulák monomerjeiből (a nukleinsavakat felépítő négyféle nukleotid, húszféle fehérjealkotó aminosav, illetve tízféle gyakori monoszacharid kétféle anomer konfigurációban) felépíthető oligomerek számát foglalja össze

(Werz et al., 2007). A szénhidrátok az OH-csoportok kémiai módosítása nélkül is nagyságrendekkel többféle szerkezet kialakítására képesek, mint a nukleotidok és a peptidok. Ez akkora kódolási kapacitást rejt, amely mindenképpen alkalmas lehet a sejtspecifikus információk tárolására és megjelenítésére.

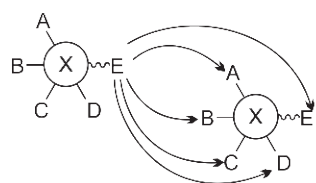
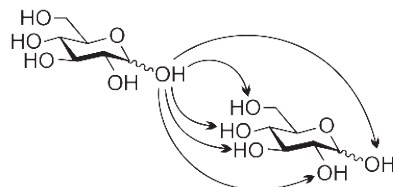
monomer összetétel	termék	eltérő szerkezetek (izomerek) száma	
		peptidok	szénhidrátok
X ₂	dimer	1	11
X ₃	trimer	1	176
XYZ	trimer	6	1056

aminosavak összekapcsolódása peptidekké

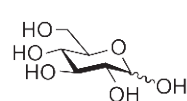


eltérés lehetséges az R szerkezetében, pl.
X: R=H (glicin)
Y: R=CH₃ (alanin)

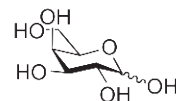
monoszacharidok összekapcsolódása diszacharidokká



eltérés lehetséges a monoszacharid szerkezetében, pl.



D-glükóz



D-galaktóz

a szerkezetet meghatározza:

a kapcsolódás sorrendje (XYZ szekvencia)

a kapcsolódás sorrendje (XYZ szekvencia)
a kapcsolódás helye (E-A, E-B, E-C, E-D stb.)
az anomer konfiguráció
(E kétféle térhelyzetben fordul elő)
elágazások (legalább két, E-től különböző helyre kötődik másik cukor)
további módosítások (az OH-csoportok kémiai átalakításai)

3. ábra • Aminosavak és szénhidrátok kapcsolódási lehetőségei

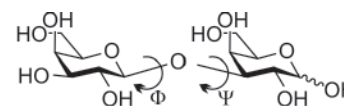
Oligomer mérete	Eltérő szerkezetek (izomerek) száma		
	Nukleotid	Peptid	Szacharid
1	4	20	20
2	16	400	1360
3	64	8000	126 080
4	256	160 000	13 495 040
5	1024	3 200 000	1 569 745 920
6	4096	64 000 000	192 780 943 360

4. ábra • A biológiailag fontos oligomerek sokfélesége

(Werz et al., 2007). A szénhidrátok az OH-csoportok kémiai módosítása nélkül is nagyságrendekkel többféle szerkezet kialakítására képesek, mint a nukleotidok és a peptidok. Ez akkora kódolási kapacitást rejt, amely mindenképpen alkalmas lehet a sejtspecifikus információk tárolására és megjelenítésére.

Az információhordozó kapacitás tovább növekszik a harmadik dimenzióban (5. ábra). A monoszacharidokat összekapcsoló Φ és Ψ kötések mentén a cukoregységek elfordulhatnak (szabatosan a Φ és Ψ az elfordulás során változó diéderes vagy torziós szögeket jelöli). Az így létrejövő téralkatok (konformerek) között azonban több, kb. azonos energiatartalmú kitüntetett elrendeződés is található, amelyek eltérő alakját más és más lektin képes felismerni. Ily módon ugyanaz a szénhidrátkulcs több zárat is nyithat (Gabiuss et al., 2004).

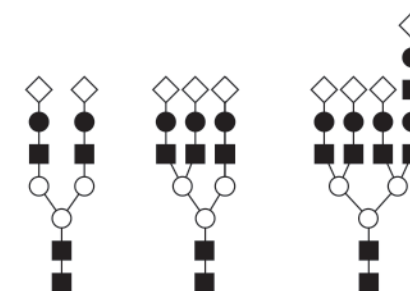
Az ismert információhordozó oligoszacharidok jelentős hányada tartalmaz legalább egy elágazást, de nem ritka a 2–4 elágazási pont sem (Werz et al. 2007). Ennek eredményeként ezek a vegyületek a sejt felszínén mintegy



5. ábra • A téralkat (konformáció) változása a glikozidos kötés mentén

„antenna” formájában jelennek meg (6. ábra). Mivel a lektinreceptorokhoz való kötődésben elsősorban a láncok végén helyet foglaló cukoregységek vesznek részt, ennek a többértékűségnek (multivalenciának) a következménye a kölcsönhatás 10–100 000-szeres erősödése az önmagában kötődő monoszacharidhoz képest (glikozid klaszter vagy kelát effektus) (Lundquist – Toone, 2002).

Gyakran felmerülő kérdés, hogy a genom és a proteom – mint az élő szervezetek alapvető információs és funkcionális molekuláinak összessége – tanulmányozásában elért impozáns áttörések mellett miért szerényebbek a glikom kutatásának eredményei. „Az egyszerű válasz az, hogy a glikokonjugátumok sokkal bonyolultabbak és változatosabbak a fehérjéknél és nukleinsavaknál, és vizsgálatuk



6. ábra • Az oligoszacharid-antennák (az egyes alakzatok különböző monoszacharid egységeket jelképeznek)

jóval nehezebb.”¹ (Roseman, 2001) A szerkezeti és funkcionális sokféleség felderítésére számos vizsgálati módszer összehangolt alkalmazása szükséges. A természetes forrásokból való elkülönítés és szerkezetmeghatározás legfontosabb eszközei a nagyhatékonyságú folyadékromatográfia, illetve ennek tömegspektrometriával kapcsolt változatai (HPLC/MS), mágneses magrezonancia spektroszkópia (NMR), szénhidrátokat kötő fehérje-array-k, szénhidrát-array-k, a molekulamodellezés (Pilobello – Mahal, 2007). Szükséges a megismert szerkezetek sejt- és szövettömbökbe/ adatbázisokba rendezése és informatikai kezelése (Turnbull – Field, 2007). Mindezek mellett és után – mivel az izolálható anyagmennyiségek általában nem elegendők a funkció tanulmányozására – a szintetikus szénhidrátkémia feladata

- a természetes vegyülettípusok (pl. oligoszacharidok, glikoproteinek, glikolipidek), és/vagy lényegi alkotóelemeik (például *N*- és *O*-glikozilezett aminosavak, peptidok) előállítása célszerűen automatizált módszerekkel, amelyek fejlettsége jelenleg jóval elmarad a fehérjék és nukleinsavak esetében rutinszerűen alkalmazottaktól;
- mimetikumok (a természetben található anyagokkal szerkezetükben és/vagy hatásukban analóg vegyületek: pl. *C*-glikozil származékok) készítése (Bernardi – Cheshev, 2008);
- inhibitorok tervezése és szintézise, melyek a természetes folyamatokba való beavatkozás lehetőségét adhatják.

A szénhidrátkód megismerésének része a glikán-fehérje kölcsönhatások funkcionális feltérképezése, melynek során a fehérje-krisz-

¹ „The simple answer is that glycoconjugates are much more complex, variegated, and difficult to study than proteins or nucleic acids.”

tallográfia, NMR-spektroszkópia, felületi plazmonrezonancia, kalorimetria, változatos számítási kémiai módszerek szinergisztikus alkalmazása szükséges (DeMarco – Woods, 2008). A funkcionális glikomika és lektinmika ezek után szénhidrát-alapú vakcinák (Seeberger – Werz, 2007), diagnosztikumok és gyógyszerek előállítását alapozhatja meg (Turnbull – Field, 2007); lehetővé teheti szinte mellékhatások nélküli sejt- vagy szövetspecifikus terápiás módszereket (Davis, 2000); igen pontos hatóanyag-célbajuttatást (Gabius, 2000); hozzájárulhat az antibiotikum-rezisztencia leküzdéséhez (Ritter and Wong 2001). A gyógyszerkémiai szemlélet változását is eredményezhetik a glikomika meggyőző eredményei: manapság a szénhidrátok jószerivel kívül esnek e terület érdeklődési körén a vegyületek bonyolultsága, a várható technológiai nehézségek és a hidrofil jelleg miatt korlátozott biológiai hozzáférhetőség okán.

A vázolt nehézségek és komplexitás dacára már ma is léteznek szénhidrát-alapú, vagy szénhidrátokat utánzó szerkezetű gyógyszerek, melyek megalkotásában (legalábbis részben) már a glikobiológia és glikomika eredményei is fontos szerepet játszottak. Így a cukorbetegség kezelésében alkalmazott Glucobay[™] (Acarbose) pseudo-tetraszacharid szerkezetű, míg a Glyset[™] (Miglitol) és a Basen[®] (Voglibose) glikomimetikumnak tekinthető enzimgátlók. Szintén glikoenzim (neuraminidáz) gátlók az influenza ellen alkalmazható Relenza[®] (Zanamivir; módosított monoszacharid) és Tamiflu[®] (Oseltamivir; glikomimetikum) is. A véralvadásgátló heparin szintetikus helyettesítője az Arixtra[®] (Fondaparinux; pentaszacharid), melyet nagyipari módszerekkel készítenek.

A szénhidrátkód megfejtése és működésének megértése a nukleinsavak és fehérjék

funkcióinak ismerete mellett, illetve azokkal együtt adhatja kezünkbe azokat az eszközöket, melyekkel az életjelenségeket a mainál magasabb szinten magyarázhatjuk, és szükség esetén értően és tudatosan befolyásolhatjuk. Ezek az információk új irányokat szabhatnak

IRODALOM

- Bernardi, Anna – Cheshev, Pavel (2008): Interfering with the Sugar Code: Design and Synthesis of Oligosaccharide Mimics. *Chemistry-A European Journal*. **14**, 25, 7434–7441.
- Davis, Benjamin G. (2000): Hand in Glove. *Chemistry & Industry*. **4**, 134–138.
- Demarco, Mari L. – Woods, Robert J. (2008): Structural Glycobiology: A Game of Snakes and Ladders. *Glycobiology*. **18**, 6, 426–440.
- Dwek, Raymond A. (1996): Glycobiology: Toward Understanding the Function of Sugars. *Chemical Reviews*. **96**, 683–720.
- Gabius, Hans-Joachim (2000): Biological Information Transfer beyond the Genetic Code: The Sugar Code. *Naturwissenschaften*. **87**, 3, 108–121.
- Gabius, Hans-Joachim – Siebert, H. C. – André, S. – Jiménez-Barbero, J. – Rüdiger, H. (2004): Chemical Biology of the Sugar Code. *ChemBiochem*. **5**, 6, 741–764.
- Laine, Roger A. (1997): Information Capacity of the Carbohydrate Code. *Pure and Applied Chemistry*. **69**, 1867–1873.
- Lichtenthaler, Frieder W. (2004): *Carbohydrates As Raw Materials for Chemical Industry. Collection of Lectures of the Summer Schools on Green Chemistry. Green Chemistry Series*. (Tundo, Pietro ed.) Venice, 105–27.
- Lundquist, Joseph J. – Toone, Eric J. (2002): The Cluster Glycoside Effect. *Chemical Reviews*. **102**, 555–578.
- Nelson, David L. – Cox, Michael M. (2005): *Lehninger Principles of Biochemistry*. W. H. Freeman and Company, New York

számos betegség terápiás megközelítésében és a gyógyszerfejlesztésben is (Wong, 2003).

Kulcsszavak: *cukrok, glikokonjugátumok; glikobiológia, glikomika, sejtspecifikus felismerés, szénhidrát gyógyszerek*

- Pazur, John H. (1998): Anti-Carbohydrate Antibodies with Specificity for Monosaccharide and Oligosaccharide Units of Antigens. *Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry*. Academic Press, **53**, 201–261.
- Pilobello, Kanoelani T. – Mahal, Lara K. (2007): Deciphering the Glycocode: The Complexity and Analytical Challenge of Glycomics. *Current Opinion in Chemical Biology*. **11**, 3, 300–305.
- Ritter, Thomas K. – Wong, Chi-Huey H. (2001): Carbohydrate-Based Antibiotics: A New Approach to Tackling the Problem of Resistance. *Angewandte Chemie-International Edition*. **40**, 19, 3509–3533.
- Roseman, Saul (2001): Reflections on Glycobiology. *Journal of Biological Chemistry*. **276**, 45, 41527–42.
- Seeberger, Peter H. – Werz, Daniel B. (2007): Synthesis and Medical Applications of Oligosaccharides. *Nature*. **446**, 7139, 1046–1051.
- Turnbull, Jeremy E. – Field, Robert A. (2007): Emerging Glycomics Technologies. *Nature Chemical Biology*. **3**, 2, 74–77.
- Varki, Ajit (1993): Biological Roles of Oligosaccharides: All of the Theories Are Correct. *Glycobiology*. **3**, 97–130.
- Werz, Daniel B. – Ranzinger, R. – Herget, S. – Adibekian, A. – von der Lieth, C. W. – Seeberger, P. H. (2007): Exploring the Structural Diversity of Mammalian Carbohydrates („Glycospace”) by Statistical Databank Analysis. *ACS Chemical Biology*. **2**, 10, 685–691.
- Wong, Chi-Huey (2003): *Carbohydrate-Based Drug Discovery*. Wiley-VCH, Weinheim, <http://books.google.hu/books?id=hxYCMWAV9CsC&hl=en>

KORONAÉTER TÍPUSÚ KIRÁLIS GAZDAMOLEKULÁK ENANTIOMER-FELISMERŐ KÉPESSÉGE

Huszthy Péter

a kémiai tudomány doktora,
BME Szerves Kémia és Technológiai Tanszék
huszthy@mail.bme.hu

Tóth Tünde

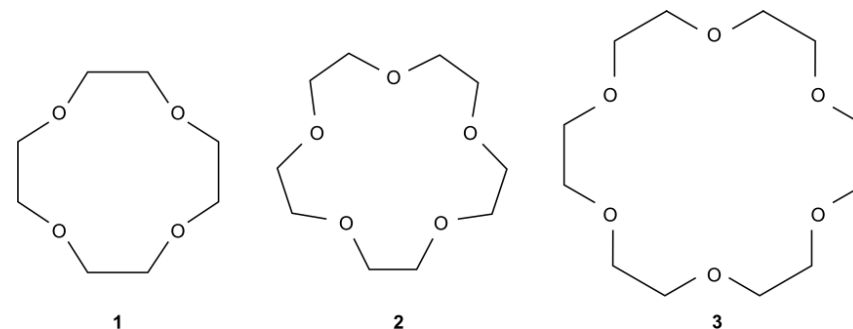
PhD, tudományos munkatárs,
MTA–BME Alkaloidkémiai Kutatócsoport
ttoth@mail.bme.hu

Enantiomer-felismerés alatt azt a jelenséget értjük, amikor egy királis molekula, amelyet gazdamolekulának hívhatunk, eltérő kölcsönhatásba lép egy másik királis molekula, a vendégmolekula két enantiomerjével szemben. (Királis molekula esetén az azt alkotó atomok úgy helyezkednek el a térben, hogy az nem hozható fedésbe a tükörképi párjával, vagyis olyan viszonyban van azzal, mint a jobb és a bal kezünk. Az eredeti királis molekulát, illetve annak tükörképét külön-külön enantiomernek nevezzük). A gazdamolekula egyik enantiomerje a vendégmolekula két enantiomerjének egyikével jóval erősebb kölcsönhatásba lép, mint a másikkal, ezzel enantiomer-megkülönböztetést, vagy más szóval nagyobb mértékű enantiomer-felismerést okozva. A kölcsönhatás nem kovalens kötések révén (a semleges szerves molekulákban az egyes atomokat kovalens kötések tartják össze), hanem intermolekuláris gyenge vagy ún. másodlagos kötőerők által történik. E másodlagos kötőerők lehetnek vonzó, illetve taszító jellegűek. Minél nagyobb számú és minél több fajta másodlagos vonzó kötőerő lép fel, ill. minél kisebb számú és minél kevesebb fajta taszító kölcsönhatás ébred az en-

antiomer gazdamolekula és a vendégmolekula egyik enantiomerje között, annál stabilabb lesz az egyik molekulakomplex (molekulatársulás) a másik vendégmolekula enantiomer alkotta molekulakomplexhez viszonyítva.

A két molekulakomplex egymással ún. *diasztereomer* viszonyban van, ami azt jelenti, hogy ez a két társulás nem azonos és nem is tükörképi párja egymásnak. A diasztereomerkomplex minden tulajdonsága eltér.

Az enantiomer-felismerés gyakori jelenség az élő természetben. Működésére példaként hozhatjuk fel azt, hogy az élő szervezetek egy királis molekulának legtöbb esetben csak az egyik enantiomerjét állítják elő, ami egy meghatározott élettani hatással rendelkezik. Az utóbbi enantiomer tükörképi párja (a másik enantiomer) jobb esetben vagy eltérő, de nem káros élettani hatást fejt ki, vagy esetleg hatástalan, rosszabb esetben viszont igen káros élettani hatással is rendelkezhet. Éppen ezért a modern gyógyszer-, növényvédőszer-, élelmiszer- és illatszeripar egyre inkább arra törekszik, hogy a királis molekulákból álló anyagoknak csak a kívánatos élettani hatással rendelkező enantiomertisztta (csak egyféle enantiomert tartalmazó) formáját hozza



1. ábra • Pedersen koronaéterei

forgalomba. Ezért fontos és időszerű olyan hatékony enantiomerszelektív szenzor (érzékkelő) és szelektor (elválasztó) molekulák kifejlesztése, amelyek jól alkalmazhatók enantiomer-összetétel meghatározására, illetve enantiomer-keverékek elválasztására.

Néhány évtizeddel ezelőtt a tudósok még azt hitték, hogy az enantiomer-felismerés jelenségét kizárólag az élő szervezetekben lévő bonyolult molekulák mutatják. Az azóta eltelt időszak tudományos eredményei azonban egyértelműen igazolták, hogy az enantiomer-felismerés kiváltható viszonylag egyszerű szintetikus enantiomertisztta királis molekulákkal is. E szintetikus gazdamolekulák egyik csoportját alkotják a királis koronaéterek.

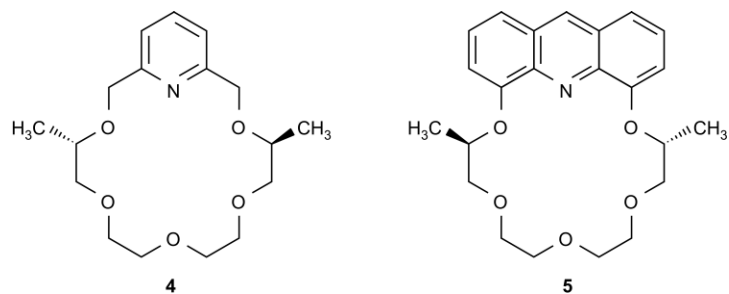
A koronaéterek első, még nem királis, (azaz akirális) képviselőit Charles J. Pedersen állította elő 1967-ben (Pedersen, 1967). (Az akirális molekulák fedésbe hozhatók a tükörképükkel, vagyis azzal azonosak.) Az 1. ábrán a Pedersen által előállított koronaéterek néhány képviselőjét láthatjuk. Ezekben a két szénatomot és az egy oxigénatomot tartalmazó egység ismétlődik. Az utóbbiakat Pedersen azért nevezte el koronaétereknek, mert ezek egyrészt éter típusú vegyületek (a legismertebb, éter típusú vegyület a dietil-éter, vagy hétköznapi nevén éter is hasonló szerkezetű:

$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_3 = \text{C-O-C}$), másrészt a komplexált vendégmolekulát (például a fémiont) úgy veszi körül a koronaéter gazdamolekula, mint fejet a korona. A koronaéter üregméretétől függ, hogy a hasonló tulajdonsággal rendelkező vendégmolekulák (például fémionok) közül melyikkel képzik a legstabilabb komplexet.

A Pedersen-féle akirális koronaéter gazdamolekulák (1, 2 és 3; lásd 1. ábra) azonban nem mutatnak szelektivitást egy királis vendégmolekula két enantiomerjével szemben, erre csak egy bizonyos atomhoz (az ún. királitáscentrumhoz) kapcsolódó különböző csoportok, illetve atomok térbeli elrendeződéséből adódóan a királis koronaéterek képesek.

Pedersen úttörő jelentőségű munkásságát követve, a tudósok a világ számos helyén indítottak el koronaéterekkel kapcsolatos kutatásokat, és a királis rokonvegyületek enantiomer-szelektivitásának növelése érdekében a csak oxigénatomot tartalmazó alapvázat is jelentősen módosították. Ezen módosított koronaéterek közül emelnénk ki az általunk is kutatott királis gazdamolekulákat (4 és 5) (Izatt et al., 1994; Huszthy et al., 1999), melyeket a 2. ábrán láthatunk.

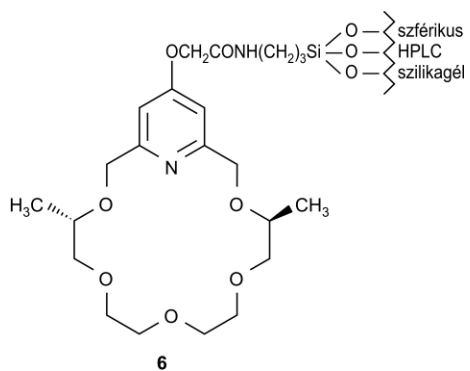
Ezek a koronaéterek igen nagy szelektivitást mutattak élettani szempontból is fontos



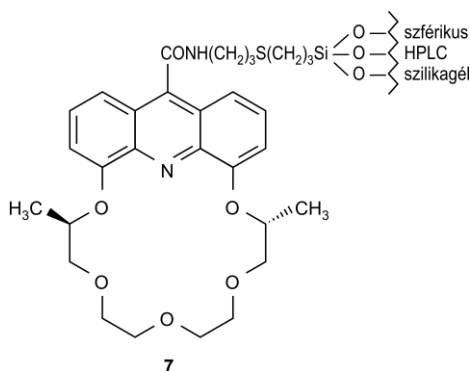
2. ábra • Királis koronaéterek

királis vegyületek enantiomerjeivel szemben (Izatt, 1994; Prodi, 2000). Az ilyen viszonylag egyszerű, szintetikus modellvegyületekkel mint gazdamolekulákkal történő kutatások nemcsak azért fontosak, mert ezek révén jobban megismerhetjük és megérthetjük az élő szervezetekben fellépő bonyolult enantiomer-felismerés jelenségét, hanem azért is, mert az ilyen jellegű kutatások eredményeként olyan új, hatékony enantiomer-szelektív szenzor és szelektor molekulák fejleszthetők ki, amelyek jól alkalmazhatók enantiomer-összetétel meghatározására, illetve enantiomerkeverékek elválasztására. A 4-es és 5-ös képletszámmal jelölt (2. ábra) enantiomer-szelektív komplexképzést mutató királis gazdamolekulákat megfelelő szintetikus eljárásokkal olyan származékokká alakítottuk, amelyek

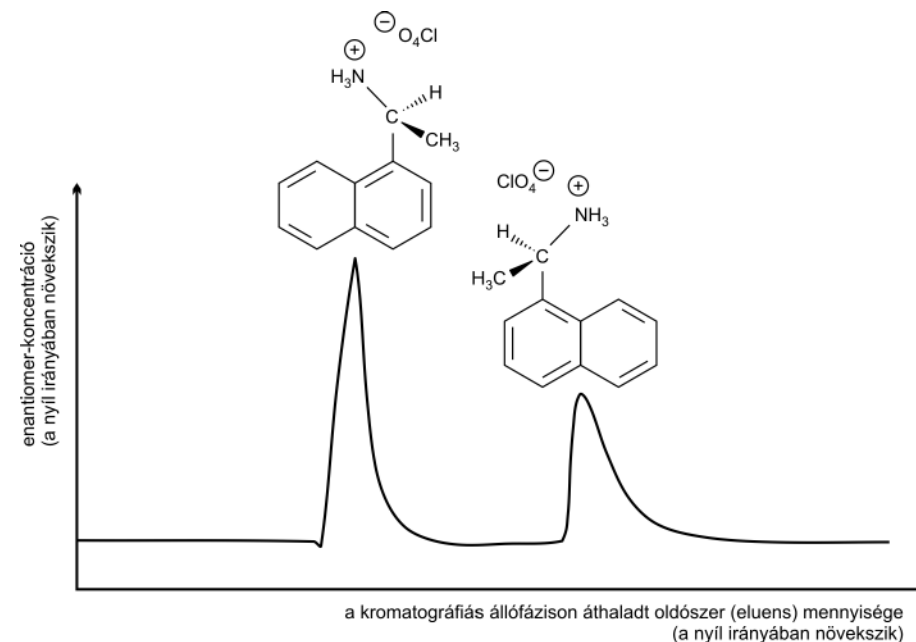
kovalens kötésekkel szilárd hordozóhoz, ún. szférikus HPLC (high performance liquid chromatography ≈ nagy hatékonyságú folyadékkromatográfia) végzésére alkalmas szilikagélhez rögzíthetők, és az így kapott 6, illetve 7 állófázisok (lásd 3., illetve 4. ábra) segítségével 50 %-ban az egyik enantiomert és 50 %-ban a másik enantiomert tartalmazó elegyet választottunk szét folyadékkromatográfiát alkalmazva (Farkas et al., 2006; Lakatos et al., 2008). (Az 50 %-ban az egyik enantiomert és 50 %-ban a másik enantiomert tartalmazó elegyeket „racém” elegyeknek nevezzük). (A folyadékkromatográfia egy olyan elválasztási módszer, ahol a szilárd hordozóra felvitt elegy, amelynek komponensei különböző erősségű másodlagos kötéssel kapcsolódnak a szilárd hordozóhoz kovalens kötéssel rögzí-



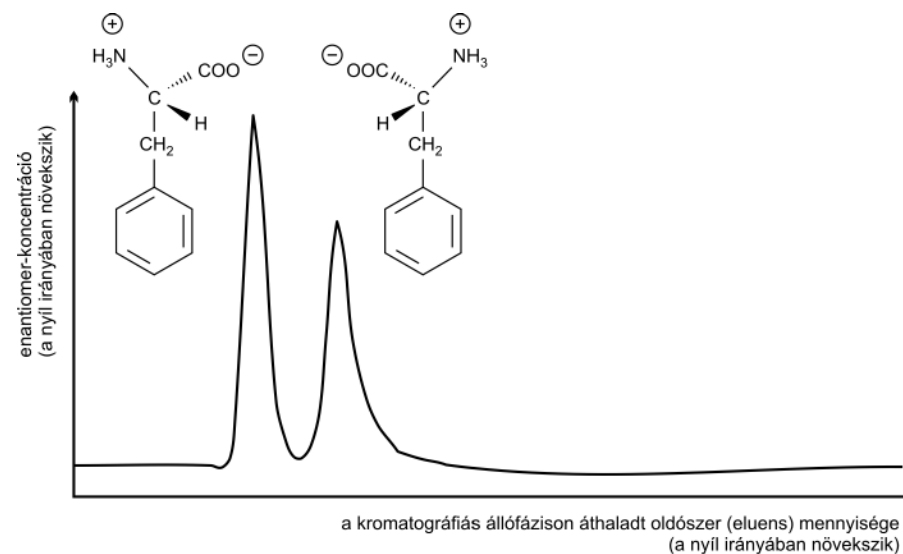
3. ábra • A 6 királis állófázis szerkezete



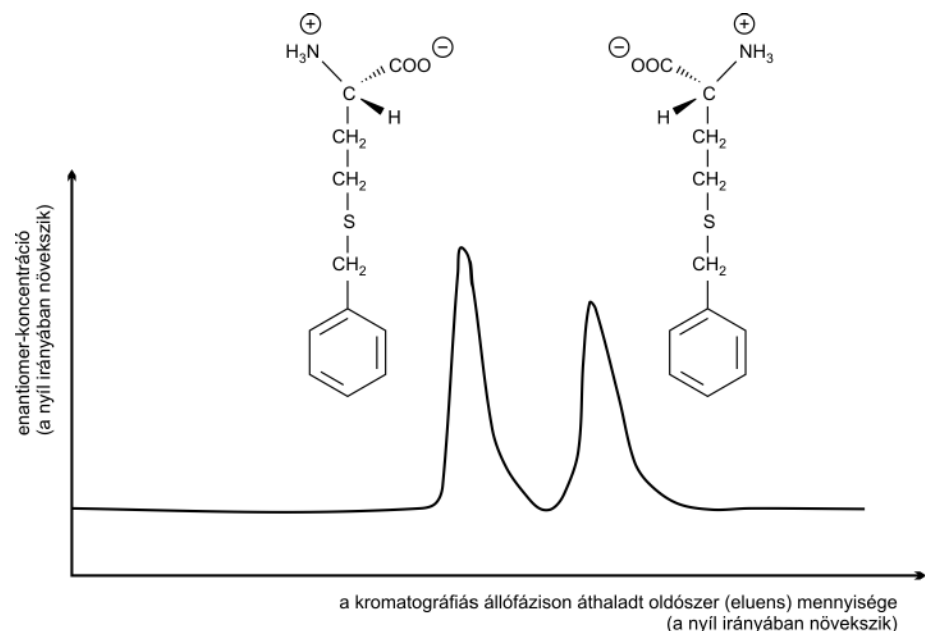
4. ábra • A 7 királis állófázis szerkezete



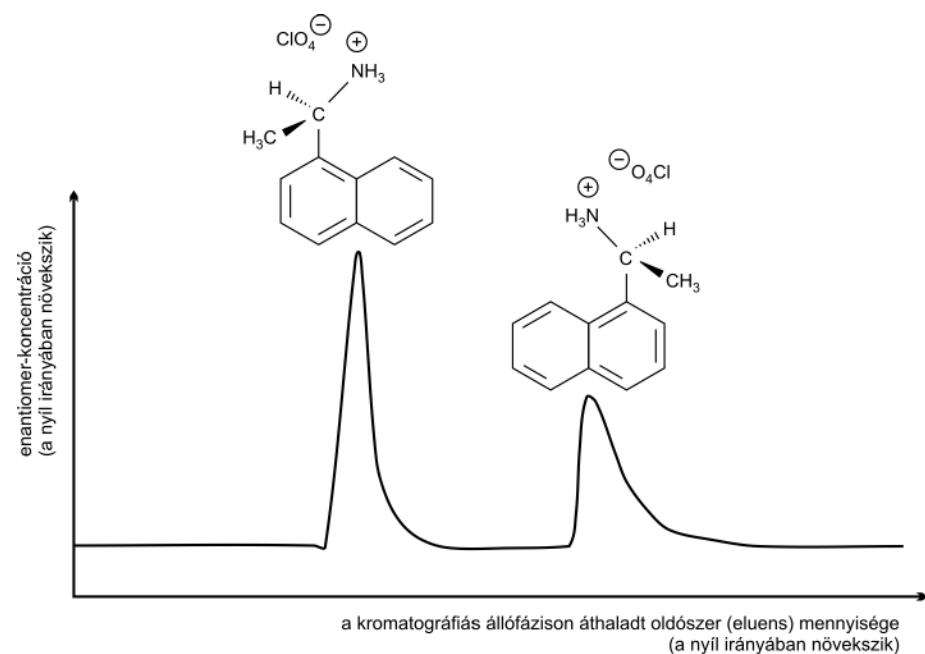
5. ábra • Racém 1-(1-naftil)etilammónium perklorát kromatográfias enantiomer elválasztása a 6 állófázison



6. ábra • Racém fenilalanin kromatográfias enantiomer elválasztása a 6 állófázison



7. ábra • Racém S-benzil-homocisztein kromatográfias enantiomer elválasztása a 6 állófázison



8. ábra • Racém 1-(1-naftil)etilammónium perklorát kromatográfias enantiomer elválasztása a 7 állófázison

tett szelektormolekulához, egy az álló fázison áthaladó megfelelően kiválasztott folyadékban (eluensben) különböző mértékben oszlanak meg, így különböző sebességgel haladnak. Ennek következtében az egyes komponensek eltérő időintervallumban és az állófázison (szilárd hordozón) áthaladó eltérő térfogatotmányban távoznak a rendszerből.)

Az eluensben lévő komponens (jelen esetben az egyes enantiomerek, azaz az egymással tükörképi viszonyban lévő molekulák) koncentrációjának, ill. az áthaladt eluens mennyiségének változását az időben tükrözik az ún. kromatogramok, melyeket az 5-től a 8-ig számított ábrákon tüntettük fel. A kromatogramokon látható csúcsok alatti területek az

egy enantiomerek mennyiségével arányosak. Az itt feltüntetett kromatogramokat meg szemlélve ezek azonosnak tűnnek. (A két csúcs alatti terület 50–50 %-os enantiomer összetétel esetén azonos.) A kromatogramokból az is látható, hogy a két enantiomer minden esetben jól elkülönült a kromatográfias elválasztás során. Először mindig az az enantiomer vendégmolekula távozik a rendszerből, amelyik a kevésbé stabil diasztereomer komplexet képzí a szilikagél hordozóhoz kötött királis szelektorral (gazdamolekulával).

Kulcsszavak: *enantiomer-felismerés, vendégmolekula, gazdamolekula, királis koronaéterek, enantiomerek, kromatográfia*

IRODALOM

- Farkas Viktor – Tóth T. – Orosz Gy. et al. (2006): Enantioseparation of Protonated Primary Alkylamines and Amino Acids Containing an Aromatic Moiety on a Pyridino-crown Ether Based New Chiral Stationary Phase. *Tetrahedron: Asymmetry*, **17**, 1883–1889.
- Huszthy Péter – Samu E. – Vermes B. et al. (1999): Synthesis of Novel Acridino- and Phenazino-18-crown-6 Ligands and Their Optically Pure Dimethyl-substituted Analogues for Molecular Recognition Studies. *Tetrahedron*, **55**, 1491–1504.
- Izatt, Reed M. – Wang, T. M. – Hathaway, J. K. et al. (1994): Factors Influencing Enantiomeric Recognition of Primary Alkylammonium Salts by Pyridino-18-crown-6 Type Ligands. *Journal of Inclusion*

Phenomena and Molecular Recognition in Chemistry. **17**, 157–175.

Lakatos Szilvia – Fetter J. – Bertha F. et al. (2008): Preparation of a New Chiral Acridino-18-crown-6 Ether Based Stationary Phase for Enantioseparation of Racemic Protonated Primary Alkyl Amines. *Tetrahedron*, **64**, 1012–1022.

Pedersen, Charles J. (1967): Crown Ether Compounds. *Journal of the American Chemical Society*, **89**, 7077–7091.

Prodi, Luca – Bolletta, F. – Montalti, M. et al. (2000): Luminescence Signalled Enantiomeric Recognition of Chiral Organic Ammonium Ions by an Enantiomerically Pure Dimethylacridino-18-crown-6 Ligand. *New Journal of Chemistry*, **24**, 781–785.



FEHÉRJÉK TÁNCA

Gáspári Zoltán

PhD, ELTE Kémiai Intézet Szerkezeti Kémia és Biológia Laboratórium, Budapest
szpari@chem.elte.hu

Az élőlények, bár tudományos alaposágú meghatározásuk nem könnyű feladat, általában felismerhetőek néhány alapvető jellegzetességük alapján. Az egyik legfontosabb tulajdonságuk, hogy mozognak: másznak, futnak, repülnek, úsznak, vagy éppen lassan növekednek formájuk megváltoztatásával egyidejűleg. A mozgékonyág eredete után kutatva megfigyelhető, hogy az élő anyag szerveződésének hierarchiájában egyre lejjebb és lejjebb hatolva minden szinten megtaláljuk az arra jellemző mozgásformákat: az izmok összehúzódhatnak, a testnedvek keringenek, a sejtek egymáshoz képest eltolódhatnak vagy elvándorolhatnak, a sejtek belseje nem szűnő, folyamatos áramlásban van. A sejten belül a sejtalkotók és a makromolekulákból álló összetett struktúrák, komplexek világában is találunk számos „mozgó alkatrészt”. Jelen írásomban az ezen képleteket felépítő molekulák, melyek többségükben fehérjék, belső mozgékonyágának jelentőségébe és vizsgálatába kívánok rövid betekintést nyújtani.

A fehérjék húsz különböző fajta aminosav elvben tetszőleges sorrendben és hosszúságig való összekapcsolódásával jönnek létre. Az aminosavak sorrendje, szekvenciája jellemző az adott fehérjemolekulára, és összetett módon meghatározza annak biológiai feladatát. A klasszikus biokémiai nézet alapján a fehérje a szekvencia által meghatározott, háromdi-

menziós térszerkezetet vesz fel, amely célszerű alakjával és a meghatározott helyeken „felkínált” különböző kémiai részletekkel, csoportokkal együtt határolja be és teszi lehetővé az adott molekula biológiai szerepét.¹ Ez a szerep lehet például (messze a teljesség igénye nélkül) más molekulák átalakítása (enzimek), környezeti anyagok érzékelése (receptorok), gének ki/be kapcsolása (transzkripció faktorok), más fehérjék aktivitásának szabályozása, a sejtek alakjának és alakváltozásainak, mozgásainak meghatározása, illetve kivitelezése (a sejtvázas fehérjéi, illetve motorfehérjék). Minden fehérjére igaz ugyanakkor, hogy „társas lény”, azaz mindig van (legalább) egy partnermolekula (mely lehet fehérjetermészetű vagy egyéb), amelyen keresztül a funkció megjelenik (ha más fehérje/nukleinsav/cukor vagy egyéb molekula nem is, a minden fehérjét fiziológias körülmények között körülvevő víz szolgál partnerként, mint például a fagyásgátló fehérjék esetében).

A háromdimenziós alak és a molekuláris funkció kapcsolata az első fehérjeszerkezetek meghatározása, azaz a XX. század 50-es évei óta jól ismert a kutatók számára, elviekben pedig lényegesen régebbre (19. század vége)

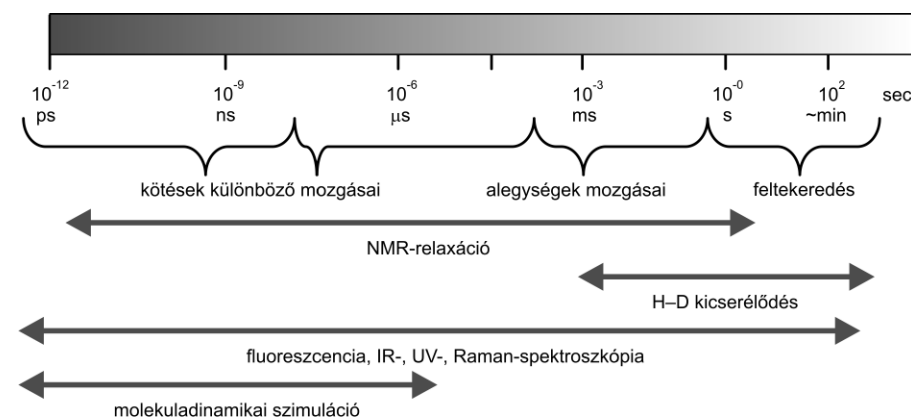
¹ Az utóbbi években felfedezett és egyre jelentősebbnek tartott, önmagukban határozott térszerkezetű nem rendelkező, ún. funkcionálisan rendezetlen fehérjékről Tompa Péter írása szól.

tekint vissza az Emil Fischer által megfogalmazott kulcs–zár elmélet formájában. Eszerint a partnermolekulák tökéletesen illeszkednek a fehérje által felkínált bemélyedésbe, kötőzsebbe, és ez képezi a molekuláris felismerés és funkció alapját. Ebbe a képbe merev, alakjukat egyáltalán nem változtató fehérjemolekulák illenek bele.

A fehérjékről azonban az atomi és magasabb szintű szerkezetük meghatározására kifejlesztett módszerekből tudjuk azt is, hogy számos esetben többféle konformációval (egymásba könnyen átalakuló térbeli szerkezettel) rendelkeznek, aminek sok biológiai folyamatban nagy szerepe van. Jól ismert például, hogy a kalmodulin nevű, általánosan előforduló Ca^{2+} -szenzor fehérje kötőpartnertől függően többféle térszerkezetet vehet fel. A glikolízis egyik enzime, a hexokináz ma már tankönyvi példája az átalakítandó molekula (szubsztrát) kötése által indukált „bezáródásnak”. A sejtek felszínén található, sejt–sejt és sejt–mátrix (sejtközötti állomány) kapcsolatokért felelős integrin nevű fehérjék a villamos áramszedőjéhez hasonlóan rendelkeznek egy inaktív, behajlított és egy aktív, nyújtott tér-

szerkezettel, melyben a partnermolekula megkötésére képesek. Ezen fehérjék esetében a különböző működési állapotokhoz tartozó szerkezeteket külön kísérlet során, egymástól függetlenül határozták meg, azaz statikus képeket vettek fel a molekula különböző konformációiról. Természetesen a kutatókat az egyik szerkezetből a másikba való átalakulási folyamat mechanizmusa és időskálája is foglalkoztatja, mind elméleti, mind gyakorlati (például hatékonyabb gyógyszerfejlesztés) szempontból, ez azonban már jóval nehezebben vizsgálható kérdés.

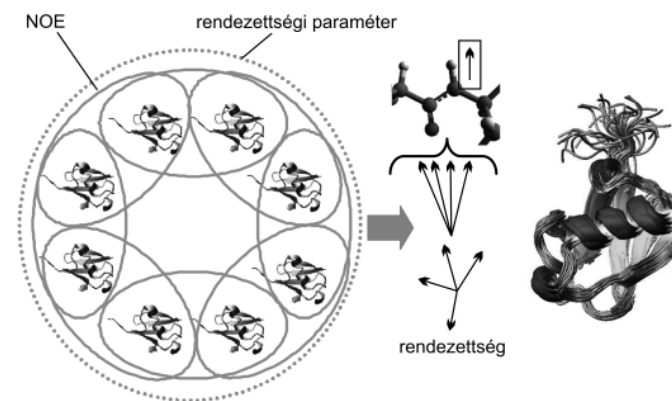
A ma elfogadott kép szerint a fehérjék igen széles időskálán dinamikusak: mozgásaik a minden molekulára jellemző kötési- és feltekeredési folyamatokig (amikor a „kitekert” fehérjelánc felveszi a biológiai funkcióhoz szükséges háromdimenziós térszerkezetét) több mint tizennégy nagyságrendet ölelnek fel, ami nagyobb különbség, mint ami egy szívdobbanás és egy emberi élet hossza között van. Az eltérő időskálájú mozgásformák különböző kísérleti (főleg spektroszkópiai) és elméleti módszerekkel vizsgálhatóak (1. ábra).



1. ábra • A fehérjék mozgásainak időskálája és néhány (tovább nem részletezett) vizsgálati módszer alkalmazhatósági tartománya

A fehérjék térszerkezetének atomi szinten történő vizsgálatára ma leginkább két módszert használnak a kutatók: röntgenkristallográfiát és NMR-spektroszkópiát (NMR – nuclear magnetic resonance, azaz mágneses magrezonancia) Előbbi kristályos fázisban képes a molekula adott konformációjáról/konformációiról igen pontos és részletgazdag, ám statikus képet adni. Az NMR-spektroszkópia ugyanakkor oldatfázisban vizsgálja a molekulákat: itt a fehérjék a kristállyal ellentétben nagy konformációs szabadsággal rendelkeznek, következésképpen a mért spektroszkópiái paraméterek – legalábbis a gyors mozgásokra vonatkozóan – a mintacsőben található konformációs sokaság átlagát tükrözik. A biomolekulák térszerkezet-meghatározása során rutinszerűen a hidrogénmagok távolságáról információt adó nukleáris Overhauser-effektust (NOE) használjuk fel, amely a fentiek értelmében, flexibilis molekulákról lévén szó, egy-egy adott atomtávolság esetében igen bizonytalan (átlag)érték, azaz nem feltétlenül igaz az, hogy az összes mért távolság egyszerre teljesül egy adott molekula esetében. Elegendően sok ilyen atomi távolság felhasználásával azonban kaphatunk egy jól jellemezhető konformert. A ma rutinszerűen alkalmazott térszerkezet-meghatározó eljárások során számos térszerkezetet generálunk, majd ezek közül kiválasztjuk azokat, amelyek egymáshoz hasonlóak, és lehetőleg minden NOE-alapú távolság jellegű kényszerfeltételt kielégítenek. Ezek a szerkezetcsaládok, bár természetesen a szerkezetre/működésre vonatkozóan értékes biokémiai adatokat szolgáltatnak, a röntgendiffrakció precizitását a NOE-adatok pontatlansága miatt nem képesek elérni, ugyanakkor a számítás módja miatt nem tükrözi a molekula valós dinamikáját sem.

A modern NMR-spektroszkópia a NOE-adatok mellett számos egyéb paraméter mérésére, meghatározására alkalmas, és ezen paraméterek némelyike közvetlen kapcsolatban áll a molekulák belső dinamikájával. A tipikusan heteroatomok (^{15}N , ^{13}C izotópok) relaxációs tulajdonságai (gerjesztés után az alapállapotba való visszatérés mikéntje) alapján számolt rendezettségi paraméterek (a szakirodalomban elterjedt nevükön S^2 értékek) az adott atom és a kapcsolódó hidrogén által meghatározott kötésvektor piko- és nanoszekundum időskálájú mozgásának kiterjedtségéről adnak képet (a 2. ábra jobb oldalán). Mivel ez az információ viszonylag könnyen lefordítható térbeli heterogenitásra, néhány éve megjelentek olyan szerkezetfinomító számítási eljárások, amelyek explicit módon figyelembe tudják venni az S^2 értéket. Ezek közül az egyik legújabb módszer a MUMO (Minimal Under-restraining Minimal Over-restraining, Richter et al, 2007), amely esetében lehetőség van arra, hogy a különböző típusú paramétereket más-más méretű sokaságon vegyük figyelembe a szerkezetfinomítás során. A bemutatott példán (2. ábra) nyolc molekula párhuzamos molekuladinamikai szimulációja során az NOE-alapú kényszerfeltételeket páronként, míg a rendezettségi paramétereket mind a nyolc példányra egyidejűleg próbáljuk meg teljesíteni. Ezáltal megfelelően annak a kívánalomnak, hogy a NOE-adatokat kettőnél nagyobb sokaságra nem átlagoljuk, tehát nem engedjük meg a konformerek túlzott eltávolodását egymástól (elkerülve a túllillesztést vagy túlságosan laza megkötést), egyúttal a nyolc példány elegendő teret biztosít a rendezettségi paraméterek által jellemzett heterogenitás megjelenésének (minimális alulillesztés, illetve nem túlságosan szoros megkötés). Egy így



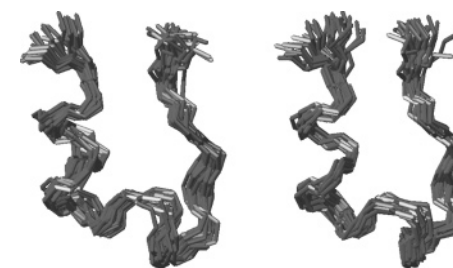
2. ábra • A MUMO-eljárás vázlatja és az eredményül kapott, a kötések dinamikáját térbeli heterogenitás révén tükröző szerkezeti sokaság (az ubiquitin nevű fehérje példáján)

előállított konformációs sokaságtól azt várjuk, hogy az egyes konformerek közötti különbségek a molekula valós dinamikájából adódnak, tehát egy időbeli jellemző biológiailag releváns térbeli leírását hoztuk létre.

A kapott, úgynevezett dinamikus konformációs sokaságok alkalmasak tehát arra, hogy az elvont, számszerűen megkapott rendezettségi paramétereket „lefordítsuk” a teljes molekulában megvalósuló mozgások „pillanatképekkel” jól jellemezhető szintjére, némileg hasonlóan ahhoz, amikor például a ló vágató mozgását gyors egymásutánban felvett állóképek segítségével jellemezzük. Az alábbiakban két, kutatócsoportunkban vizsgált fehérjét mutatok be példaként.

A leírói által Tc5b-nek keresztelt molekula az egyik legkisebb olyan fehérje, amely vizes oldatban jól meghatározott térszerkezetet vesz fel (Neidigh et al, 2002). (A hozzá hasonló méretű fehérjék általában nagyszámú, egymástól jelentősen eltérő konformációval jellemezhetőek.) Éppen ezért jól használható modell a nagyobb fehérjék stabilitásának és dinamikájának megértéséhez (gyakorlati jelentőségét pedig az mutatja, hogy egy szárma-

zeka 2008 óta cukorbetegség gyógyítására forgalomba hozott gyógyszer). Csoportunkban sikerült egyetlen apró kémiai módosítással az eredeti Tc5b egy továbbstabilizált változatát létrehozni (Hudáky et al, 2008). A Tc5b és az előállított Tc6b térszerkezete kissé mértékben különbözik, ami együtt jár a belső dinamika megváltozásával is. A Tc6b esetében megfigyelhető, hogy a belső mozgások valamivel egyenletesebbek és a molekula végei kisebb mértékű heterogenitást mutatnak, mint az eredeti molekula esetében (3. ábra). A stabilitás, a térszerkezet és a dinamika megváltozása tehát elválaszthatatlan egymástól.



3. ábra • Az eredeti Tc5b (jobbra) és stabilizált változatának (balra) dinamikus sokaságai a molekulagerinc sematikus ábrázolásával

Mint arról korábban már szó volt, a fehérjék mindig más molekulákkal kölcsönhatásba lépve fejtik ki biológiai szerepüket. Az általunk vizsgált kisméretű proteázinhibitorok nevüknek megfelelően fehérjéket lebontó enzimek gátlása révén hatnak. Az SGCI rövidítéssel jelölt fehérje kísérleteink alapján igen dinamikusnak mutatkozott: a benne stabilizáló szerepet betöltő három diszulfidhíd (a molekulalánc mentén távoli kénatomjai között létrejövő kovalens kapcsolat) jelenléte ellenére a kapott rendezettségi paraméterek jelentősen elmaradnak a nagyobb fehérjékre általában jellemző értékektől (Szenthe et al, 2004). Ezzel első ránézésre nehezen hozható összhangba, hogy az SGCI kiváló enzimgátló, hiszen ezt a funkciót tipikusan merevebb fehérjéknek és egyéb (például jóval kisebb gyógyszer-) molekuláknak tulajdonítják. Az

SGCI enzimmel való kölcsönhatását NMR-spektroszkópiával vizsgálva az inhibitor egészében látunk változásokat, nem csupán a partnermolekulával közvetlenül kölcsönhatásba lépő, viszonylag kis kiterjedésű részletében (Gáspári et al, 2006). Az SGCI dinamikus sokaságát előállítva fény derült arra, hogy az igen dinamikus molekulának szabad formában felvett konformációi között olyanok is vannak, amelyek igen közel esnek a kötött állapotban megvalósuló szerkezethez. Bár az észlelt szerkezeti változások nem látványosan nagyok, ez a megfigyelés, összevetve az NMR-spektroszkópiával észlelt nagyobb léptékű változásokkal azt sugallja, hogy az enzim nem „a maga képére formálja”, hanem mintegy csupán kiválasztja a megvalósuló sokaságból a kötött állapotnak megfelelő formát, egyúttal megváltoztatva az egyes konformációk

egymásba alakulásának egyensúlyát. A megfigyelt, teljes molekulára kiterjedő változások eszerint tehát nem térbeli, hanem elsősorban dinamikai jellegűek (4. ábra). Egyéb adatokkal együtt az a kép bontakozik ki, hogy a molekuláris partnerek között nem csupán geometriai, hanem mozgékonyági megfelelés, illeszkedés is megvalósul.

A 19. század elején a szerkezeti biológia egyik nagy kihívása a biomolekulák belső dinamikájának feltárása és a biológiai folyamatokban való szerepének tisztázása. Jelenleg képesek vagyunk ezt a dinamikát elsősorban NMR-spektroszkópiai módszerekkel atomi szinten feltárni, és ma már vannak látványos

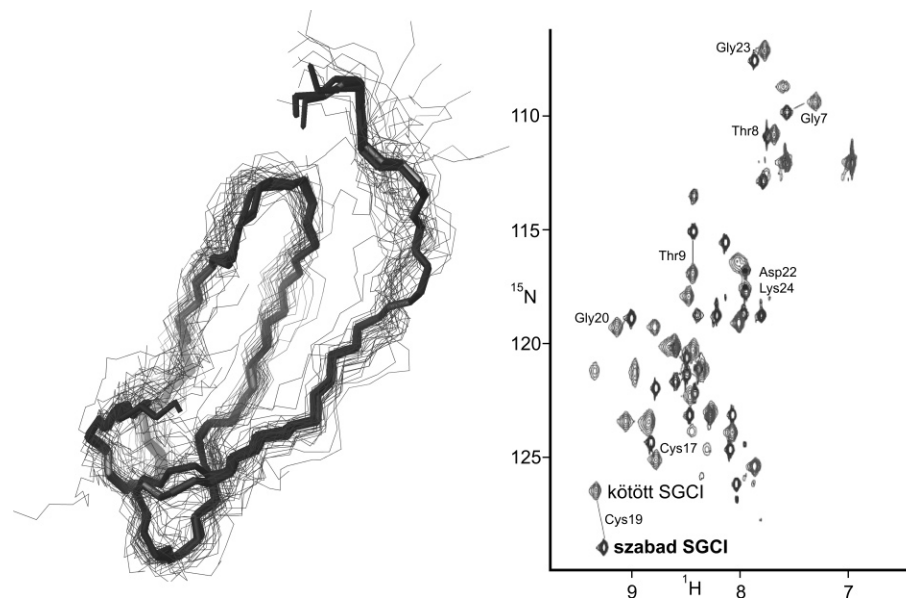
példák arra, hogy ez a dinamika hogyan játszik szerepet például enzimek működésében (Eisenmesser et al., 2005). A dinamika kézzelfogható megjelenítésével, dinamikus sokaságok előállításával pedig közelebb kerülünk a fehérjék valódi természetének leírásához és megértéséhez. Ha megismerjük a fehérjék szülő- és társastáncainak koreográfiáját, valóra válhat az élőlényekben sok tér- és időbeli tartományban jelenlévő mozgás gyökereinek feltárása.

Kulcsszavak: *fehérje, belső dinamika, NMR-spektroszkópia, rendezettségi paraméter, dinamikus sokaság, enzimműködés*

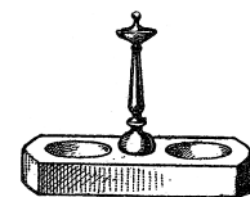
IRODALOM

- Eisenmesser, Elan – Millet, O. – Labeikovskiy, W. et al. (2005): Intrinsic Dynamics of an Enzyme Underlies Catalysis. *Nature*. **438**, 117–121.
- Gáspári Zoltán – Szenthe B. – Patthy A. et al. (2006): Local Inding with Globally Distributed Changes in a Small Protease Inhibitor upon Enzyme Binding. *The FEBS Journal*. **273**, 1831–1842.
- Hudáky Péter – Stráner P. – Farkas V. et al. (2008): Cooperation between a Salt Bridge and the Hydrophobic Core Triggers Fold Stabilization in a Trp-cage Miniprotein. *Biochemistry*. **47**, 1007–1016.

- Neidigh, Jonathan W. – Fesinmeyer, R. M. – Andersen, N. H. (2002): Designing a 20-Residue Protein. *Nature Structural Biology*. **9**, 425–430.
- Richter, Barbara – Gsponer, J. – Várnai P. et al. (2007): The MUMO (Minimal Under-restraining Minimal Over-restraining) Method for the Determination of Native State Ensembles Of Proteins. *Journal of biomolecular NMR*. **37**, 117–135.
- Szenthe Borbála – Gáspári Z. – Nagy A. et al. (2004): Same Fold with Different Mobility: Backbone Dynamics of Small Protease Inhibitors from the Desert Locust, *Schistocerca gregaria*. *Biochemistry*. **43**, 3376–3384.



4. ábra • Bal oldalon: az SGCI dinamikus sokaságának (vékony vonalak) és enzimkötött konformereinek (vastag vonalak) sematikus ábrázolása. Jobbra: az SGCI enzimhez való kötődésekor észlelt változások az NMR-spektrumban: a szabad és a kötött formának megfelelő jelsorozatok nagymértékben különböznek



RENDEZETLEN FEHÉRJÉK, MELYEK ÚJ MEGVILÁGÍTÁSBA HELYEZIK A SZERKEZET–FUNKCIÓ ÖSSZEFÜGGÉST

Tompá Péter

MTA SZBK Enzimológiai Intézet
tompa@enzim.hu
http://tompa.enzim.hu

Összefoglalás

A rendezetlen fehérjék natív, funkcionális állapotukban sem rendelkeznek jól definiált térszerkezettel, leginkább a globuláris fehérjék denaturált állapotaira emlékeztetnek. Funkcióikat gyakran partnerek felismerése, és azok jelenlétében történő feltekeredés révén látják el. Leggyakrabban jelátviteli folyamatokban, a transzkripció és sejtciklus szabályozásában vesznek részt, mutációik ezért gyakran okoznak betegséget. Jelentőségükre utal, hogy az eukarióta genomok mintegy 5–15 %-a teljes hosszúságában rendezetlen fehérjéket kódol. A rendezetlen fehérjék léte és funkciója szükségessé teszi a hagyományos fehérjeszerkezet-funkció összefüggés újragondolását. Szerkezetük és funkcióik részleteivel kapcsolatban ugyanakkor nagyon sok megválaszolatlan kérdés maradt, így a rendezetlen fehérjék vizsgálata napjaink fehérjetudományának egyik leggyorsabban fejlődő ága.

Bevezetés

A hagyományos nézet szerint a fehérje funkciójának elengedhetetlen feltétele egy jól definiált háromdimenziós térszerkezet, amelyben az atomok határozott térbeli pozíciója

biztosítja a molekuláris felismeréshez és katalízishez kulcsfontosságú kölcsönhatásokat. Ez a hagyományos szerkezet–funkció paradigma jól magyarázza enzimek, receptorok és szerkezeti fehérjék funkcióit, sikerét; általános érvényességét jól mutatja a szerkezeti adatbázisban (Protein Data Bank – PDB) található több mint 50 ezer szerkezet. Számos fehérje, illetve fehérjedomén viselkedése azonban nem felel meg ennek a képnek, mivel natív, funkcionális állapotukban sem rendelkeznek jól definiált térszerkezettel, vagyis rendezetlenek (Dunker et al., 2001; Dyson – Wright, 2005; Tompa, 2002).

Szerkezeti szempontból ezek a fehérjék a globuláris fehérjék denaturált állapotaira emlékeztetnek, vagyis nagyszámú, egymásba gyorsan átalakuló szerkezet jellemzi őket. Mivel a rendezetlenség nem környezeti hatások következménye, hanem ezen fehérjék funkcionális szempontból fontos, saját tulajdonsága, a szakirodalom „intrinsically unstructured protein” (IUP) vagy „intrinsically disordered protein” (IDP) néven tartja őket számon. Számos esszenciális fehérje, mint a p53, BRCA1, CREB, RNS polimeráz II és a prion fehérje esetében írtak le szerkezeti ren-

dezetlenséget (1. táblázat). Bioinformatikai vizsgálatok azt mutatják, hogy a rendezetlen fehérjék igen gyakoriak a különböző proteomokban, és gyakoriságuk az organizmus komplexitásával növekszik (Dunker et al., 2000; Tompa et al., 2006; Ward et al., 2004).

A rendezetlenség funkcionális jelentőségét mutatja, hogy igen gyakori a jelátvitelben, sejtciklus szabályozásában és transzkripcióban szerepet játszó fehérjékben, valamint dajkafehérjékben (1. táblázat) (Dunker et al., 2000; Tompa et al., 2006; Ward et al., 2004). A rendezetlenség számos funkcionális előnyt

biztosít a fehérje számára, mint például a kölcsönhatás megnövekedett sebessége, a nagyobb specificitás a kötése erősség növekedése nélkül, illetve hogy ezek a fehérjék egyszerre több, egymástól független funkció ellátására is képesek lehetnek (Tompá et al., 2005). A rendezetlenség a speciális, a fehérje-feltekeredéssel össze nem egyeztethető aminosav-összetétel következménye, amennyiben ezekben a fehérjékben igen gyakoriak a rendezetlenséget elősegítő aminosavak, mint például az Ala, Arg, Gly, Gln, Ser, Pro, Glu és Lys, míg csaknem teljesen hiányoznak belőlük a rende-

Fehérje (IDP)	Partner(ek)	Funkció
<i>entropikus láncok</i>		
Nup2p FG-régió titin PEVK-domén	nem releváns nem releváns	a nukleáris porúsátvitel szabályozása passzív rugalmasság az izomban
<i>bemutató hely</i>		
MAP2	mikrotubulus-asszociált kináz	mikrotubulus kötés szabályozása
ciklin B NTD	anafázist-elősegítő komplex	degradáció a sejtciklusban
<i>chaperonok</i>		
nukleokapszid protein 7/9 α -kazein	virális RNS κ -kazein	RNS dajkafehérje fehérje dajkafehérje
<i>effektorok</i>		
p21 ^{Cip1} /27 ^{Kip1} 4E-BP1	ciklin A/Cdk2 eukarióta transzlációs iniciációs faktor eIF4E	ciklin-függő kinázok gátlása eukarióta transzláció gátlása
<i>összeszerelők</i>		
p53 transz-aktivátor domén	MDM2, transzkripció komplex	sejtciklusból való kilépés, apoptózis
RNS Pol II CTD	mRNS splicing faktorok	transzkripció iniciáció és mRNS-érés
<i>raktározók</i>		
kazein	kalcium-foszfát	kalcium-foszfát stabilizálás a tejben
prolin-gazdag glikoprotein	növényi tanninok	tanninok semlegesítése

1. táblázat • A rendezetlen fehérjék funkcionális osztályozása. A rendezetlen fehérjék működésük során tranziensen vagy permanensen köthetnek valamilyen partnermolekulát, illetve bizonyos funkciók nem igénylik partner kötését. A táblázat a hat funkcionális osztályra ad példát.

zetséget elősegítő aminosavak: a Trp, Tyr, Cys, Phe, Ile, Val, Leu és Asn (Dunker et al., 2001). A rendezetlenség elsődleges fizikai oka így a nagy nettó töltés és alacsony hidrofóbicitás, amelyek együttesen megakadályozzák, hogy a fehérje kompakt, jól definiált térszerkezetet vegyen fel (Uversky et al., 2000).

A rendezetlenség kísérletes bizonyítékai

A rendezetlen fehérjék natív körülmények között, funkcionális állapotukban sem rendelkeznek jól definiált harmadlagos szerkezettel. Alapvetően két vonatkozásban térnek el a globuláris fehérjéktől: 1.) a harmadlagos kölcsönhatások hiányának köszönhetően nem rendelkeznek stabil térszerkezettel, vagyis globularitással, illetve 2.) sokkal kevesebb másodlagos szerkezeti elemmel rendelkeznek, vagyis átlagosan jóval nagyobb bennük a coil konformáció előfordulása. Ezek a különbségek gyakorlatilag minden fizikokémiai technika alkalmazásával kimutathatók (Dunker et al., 2001; Tompa, 2002). A globularitás hiánya feltűnő például hidrodinamikai technikák, úgy mint kisszögű röntgenszórás (SAXS), ultracentrifugálás és gélfiltrációs kromatográfia alkalmazásakor. Ezek a technikák rámutatnak a rendezetlen fehérjék nagy látszólagos hidrodinamikai sugarára, illetve térfogatára (például az azonos molekulatömegű globuláris fehérjénél kétszer nagyobb girációs sugár, R_G , illetve hidrodinamikai sugár, R_H). A differenciál pásztaázó kalorimetria (DSC) szintén rávilágíthat arra, hogy a rendezetlen fehérjék nem rendelkeznek kompakt, feltekeredett szerkezettel, ami a kooperatív olvadási átmenet hiányában nyilvánul meg. A kémiai, illetve hőindukált denaturációval szembeni ellenállás is a kompakt szerkezeti állapot hiányának eredménye. A rendeződés hiányára gyakran hiányzó röntgenkristallográfiás

koordinátákból következtethetünk. Bár a rendezetlen fehérjék nem kristályosíthatók, így önmagukban teljesen hiányoznak a PDB-ből, a nagyjából rendezett fehérjék rendezetlen szakaszai gyakran megfigyelhetők ezzel a technikával. NMR-spektroszkópia esetében a rendezetlenséget elsősorban a kémiai eltolódások igen kicsi diszperziója mutatja. A másodlagos szerkezeti elemek hiányára a távoli UV cirkuláris dikroizmus (CD) spektroszkópia eredményeiből következtethetünk, míg a Raman-optikai aktivitás (ROA) és a Fourier-transzformált infravörös (FTIR) spektroszkópia az ismétlődő, másodlagos szerkezeti elemek relatíve kis mennyiségét mutatja ki. Közvetett megközelítések szintén segíthetnek a rendezetlen fehérjék nem hagyományos szerkezeti állapotának felderítésében. A polipeptid-lánc nagymértékű flexibilitása és hozzáférhetősége extrém proteolitikus érzékenységet eredményez. A rendezetlen fehérjék alacsony átlagos hidrofóbicitásuk miatt gyakran hőstabilak, mivel magas hőmérsékleten sem hajlamosak aggregációra, illetve kevés SDS-t kötnek, így anomáliásan futnak SDS poliakrilamid gélen, ami általában nagy látszólagos M_w értékben jelentkezik.

A fenti technikák alkalmazása nemcsak a fehérje rendezetlenségére szolgáltat információt, hanem részletes szerkezeti karakterizálását is lehetővé teszi. Az ilyen vizsgálatok gyakran a rendezetlen fehérjékben megfigyelhető, funkcióval összefüggő szerkezeti elemekre, lokális stabilitást mutató α -hélix vagy β -turn elem, vagy a nyújtott és teljesen hidralt másodlagos szerkezeti motívum, a PPII-hélix jelenlétére utalhatnak. Számptalan ilyen vizsgálat mutat arra, hogy a rendezetlen fehérjék gyakran nem teljesen rendezetlenek, hanem jelentős mennyiségű szerkezeti elemet tartalmazhatnak, ún. premolten globula

(PMG) vagy molten globula (MG) konformációt vehetnek fel. A lokális szerkezeti preferenciák jelentős korrelációt mutatnak a szerkezettel, amit a fehérje a kötött állapotban vesz fel, ami arra utal, hogy ezek a fehérjék is rendelkeznek tranzien szerkezeti elemekkel. Ezeket az elemeket előre kialakult kötőhelyeknek (preformed structural element – PCS [Fuxreiter et al., 2004]), vagy molekuláris felismerő elemeknek (molecular recognition element – MoRE [Oldfield et al., 2005]) hívják.

A fehérje-rendezetlenség gyakorisága

A rendezetlenséget kísérletes úton mintegy ötszáz fehérje esetében igazolták (lásd *DisProt*, a fehérje-rendezetlenség adatbázisa [Sickmeier et al., 2007]), és ezeknél a fehérjéknél a legtöbb esetben arra is rámutattak, hogy rendezetlenségük a funkció ellátása szempontjából kulcsfontosságú. Ismert például, hogy a p53 tumor-supresszor fehérje transzaktivátor doménje, amely kulcsfontosságú kölcsönhatásokat alakít ki a sejtosztódás-szabályozás, illetve az apoptózis során, teljesen rendezetlen. Hasonlóan, a mellrák kialakulásában szerepet játszó BRCA1 hosszú középső szegmense, ami számos igen fontos kölcsönhatást alakít ki nemcsak a DNS-sel, de a p53, c-myc, Rad50 és más fehérjékkel, nagymértékben rendezetlen. Az RNS-polimeráz II (RNAP II) legnagyobb alegysége C-terminális doménjének (CTD) koordinátái hiányoznak a komplex röntgenszerkezetéből, vagyis ez a domén teljesen rendezetlen. Funkcionális vizsgálatokból ugyanakkor tudjuk, hogy ez a régió a mRNS-érés sokrétű folyamatainak összehangolásáért felelős, eltávolítása az étellel összeegyeztethetetlen (letális mutáció). A prion fehérje rézionkötésért felelős N-terminális fele ugyancsak nem rendelkezik jól definiált térszerkezettel,

ugyanakkor szerepe van a prionállapotba való átalakulásért. Ismert, hogy a Parkinson-betegségben megfigyelhető amiloid rostok (Lewy-testek) kialakulásáért felelős α -szinuklein teljes hosszúságában rendezetlen.

Az is a rendezetlenség biológiai jelentőségére utal, hogy bioinformatikai becslések szerint ezek a fehérjék igen gyakoriak a különböző proteomokban (Dunker et al., 2000; Tompa et al., 2006; Ward et al., 2004). A predikciós algoritmusok, mint a PONDR, FoldIndex és IUPred a rendezetlen fehérjék speciális szekvenciális összetételén alapulnak, és a másodlagos szerkezeti elemeket jósló algoritmusok megbízhatósági szintjén működnek. Egész proteomokra vonatkozó becslések azt mutatják, hogy a prokariótákban a fehérjék 10–20 %-a rendelkezik legalább egy hosszú (≥ 30 aminosav) rendezetlen régióval, míg az eukarióták esetében ez a szám 30–60 % is lehet. Eukariótákban a fehérjék 5–15 %-a teljesen rendezetlen, vagyis nincs bennük egyetlen felismerhető szerkezeti domén sem, és gyakorlatilag teljesen hiányoznak belőlük a harmadlagos kölcsönhatások. Az eukariótákban megfigyelhető nagy gyakoriság valószínűleg azzal magyarázható, hogy a rendezetlenség jól korrelál jelátviteli, sejtciklus szabályozási és génexpresszióval kapcsolatos funkciókkal, amelyek nagy jelentőséggel bírnak magasabb rendű organizmusokban.

A rendezetlen fehérjék működési módjai és funkciói

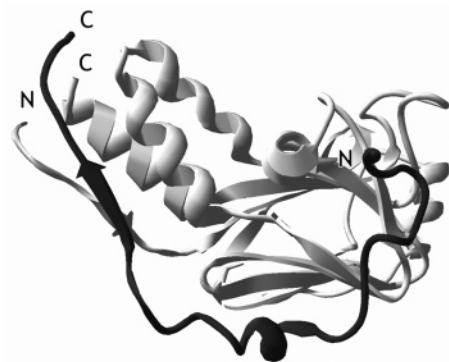
A rendezetlen fehérjék funkciója származhat abból, hogy több szerkezeti állapot között folyamatosan fluktuálnak, vagy abból, hogy adaptív módon különböző szerkezettel képesek egy vagy több partnermolekulához kötődni. Ezek a tulajdonságok igen sokféle molekuláris folyamatban történő részvételt

tesznek lehetővé, ezek alapvetően hat különböző kategóriába sorolhatók (i. táblázat [Tomba 2002]).

A rendezetlen fehérjék első funkcionális osztálya az *entrópiikus láncok*, amelyek nem kötődnek partnerhez, funkciójuk közvetlenül a rendezetlen szerkezeti állapotból következik. Az entrópiikus láncok vagy a szerkezeti változásokkal szemben fejtenek ki ellenállást (elasztikus funkciók), vagy a hozzájuk kapcsolódó domének orientációját/lokálizációját befolyásolják (flexibilis linkerek/spacerek). A további öt funkcionális osztály esetén a rendezetlen fehérjék molekuláris felismerésben vesznek részt, vagyis átmenetileg vagy tartósan más makromolekulákat, illetve kisebb ligandumokat kötnek meg (i. ábra). A partnerüket tranziensen kötő fehérjék olyan posztranszlációs módosítási helyeket hordozhatnak, mint például a foszforiláció vagy ubikvitináció helye, amely gyakran lokálisan rendezetlen szakaszba esik (*bemutatóhely* funkció). Egy másik funkcionális alkategória, a *dajkafehérjék* (chaperonok) szintén tranziensen kötődnek partnerükhöz. Statisztikai elemzések azt mutatják, hogy az RNS-chaperonokban a rendezetlenség mértéke magasabb, mint bármely más funkcionális osztályban, több mint 80 %-uk tartalmaz hosszú rendezetlen régiót (Tomba – Csermely, 2004). Ezekben a fehérjékben a rendezetlen régiók a rosszul feltekeredett partnermolekulák felismerésére, illetve a hibás szerkezet fellazítására szolgálnak.

Azok a rendezetlen fehérjék, amelyek tartósan kötnek partnerüket, három alosztályba sorolhatók, funkciójukat *effektorként*, *összeszerelőként*, vagy *raktározóként* láthatják el. Működésük sajátja, hogy a kötődés során indukált feltekeredésen mennek keresztül, és így gyakran a komplexben kialakuló szerke-

zetük ismert (i. ábra). Az effektorok a partner aktivitását módosítják, leggyakrabban gátolják, ritkábban aktiválhatják is. Az összeszerelők nagy, több fehérjéből álló komplexek szervezésében vesznek részt, esetleg a kapcsolt domének aktivitását irányítják. Tipikus összeszerelő funkció a transzkripció faktorok rendezetlen transzaktivátor doménjének működése. A raktározók kisebb ligandumokat raktározhatnak, és/vagy neutralizálnak, aminek klasszikus példája a kazein, ami megakadályozza a kalcium-foszfát kiválasztását a tejben, mivel képes kisméretű szemcsék gyors és nagy kapacitású megkötésére. Egyes raktározókat fémszivacsoknak is neveznek, mivel nagyszámú fémion gyenge kötésére képesek.



i. ábra • Partneréhez kötött rendezetlen fehérje szerkezete. Néhány rendezetlen fehérjénél röntgenkristallográfia vagy NMR spektroszkópiai vizsgálatokból ismert a komplexben lévő szerkezetük. Az ábrán a TGF-beta jelátvitelben szerepet játszó rendezetlen „Smad-anchor for receptor activator” (SARA, sötét) látható a Smad2 MH2 doménjéhez (világos) kötve. A rendezetlen fehérje nyújtott állapotban, gyakorlatilag egész lánc mentén kötődik, ami nagy kötőfelszín és specifitást biztosít.

A rendezetlenség funkcionális előnyei

A rendezetlen fehérjék funkcionális sokfélesége, illetve a rendezetlenség eukarióta proteomokban megfigyelhető gyakorisága azt sugallja, hogy a globuláris szerkezet hiánya a fehérje funkciója szempontjából gyakran jelentős előnyökkel járhat (Dunker et al., 2001; Dyson – Wright, 2005; Tomba, 2002). Az előny leginkább az entrópiikus láncok esetében nyilvánvaló, amelyknél a funkció közvetlenül a rendezetlen állapotból következik.

A molekuláris felismerés során egy jelentős további előny származhat a partner kötődése által a rendezetlen fehérjében indukált feltekeredés tényéből. Mivel ilyenkor a fehérje konformációs entrópiája jelentősen csökken, a kötődés specifitása és erőssége elválik egymástól, vagyis a nagy specifitással alacsony affinitással párosul, ami a kölcsönhatás reverzibilitásában és szabályozásában jelentkezik. További előnyt jelent, hogy nagymértékben megnövekedhet a kölcsönhatás sebessége, ami szintén a szabályozó funkciók esetében játszhat komoly szerepet. A hatás annak köszönhető, hogy a rendezetlen fehérjék nagy távolságból, és kezdetben aspecifikusan köthetnek partnerüket, ami megnöveli a kezdeti komplex életidejét.

A rendezetlen fehérjék nagy, nyitott kölcsönható felszíne lehetővé teszi, hogy a fehérje sok ponton kötődjön a partneréhez, és/vagy egyszerre nagyszámú partnert kössön. Ennek megfelelően a rendezetlen fehérjék nagy kölcsönható kapacitással rendelkeznek, illetve kölcsönhatásaik igen specifikusak lehetnek, mivel partnerüket több, távoli régióban is kötni képesek. Ez előnyös lehet nagy komplexek összeszerelésekor és különböző partnerek térben történő koordinálásakor is. A rendezetlenség magában hordozza annak

a lehetőségét is, hogy a fehérje különböző partnerekhez adaptálódjon, és többféle funkciót is el tudjon látni. Ismert például, hogy a Cdk inhibitor p21^{Cip1} képes több különböző ciklin-Cdk komplexet is gátolni (Kriwacki et al., 1996). A szerkezeti plaszticitás egy extrém funkcionális kifejeződése, amikor a rendezetlen fehérje több ellenkező funkciót is ellát, különböző partnerek esetében (Tomba et al., 2005). Ez a lehetőség nagymértékben megnövelheti a fehérje-kölcsönhatások komplexitását a gének számának növekedése nélkül.

A rendezetlen fehérjék extrém proteolitikus érzékenysége lehetővé teszi sejten belüli koncentrációjuk hatékony szabályozását is. A degradációs szignállként funkcionáló PEST (Pro-Glu-, Ser- és Thr-gazdag) régiók és a rendezetlenség között fennálló erős korreláció szintén ezt támasztja alá.

További kutatási irányok a rendezetlenség terén

Bioinformatikai vizsgálatok azt mutatják, hogy a rendezetlenség a magasabb rendű eukariótákban, például a humán proteomban nagyon magas szintet érhet el. Kísérletes úton ugyanakkor még csak néhány száz fehérje szerkezeti rendezetlenségét jellemezték, vagyis még nagyon hosszú út vezet ezen fehérjeosztály részletes megértéséig, és a szerkezet-funkció paradigma kiterjesztéséig. A rendezetlen fehérjék nagy számban történő proteomikai azonosítására gyakorlatilag alig történt kísérlet, ezért ezen a területen jelentős aktivitás várható. A rendezetlen fehérjék részletes nagyfelbontású szerkezeti vizsgálata is sok esetben hiányos még, ami szintén kitérített kutatási irányt jelent, mivel a különböző kötődési funkciók részletes megértése csak ilyen vizsgálatokon keresztül lehetséges. A rendezetlen fehérjék funkcionális vizsgálata

is sok fontos eredménnyel kecsegtet, mivel a rendezetlenség funkcionális jelentőségének és mechanizmusának megértése az egyik legfontosabb jövőbeni kihívás. Az ezeken a területeken történő lényeges előrelépés lehetővé teszi majd ennek a szerkezeti érdekes és funkcionálisan fontos fehérjecsoport rész-

letes megértését, és tágabb értelemben a fehérjék szerkezet–funkció összefüggéseire vonatkozó modellünk kiterjesztését.

Kulcsszavak: *szerkezet nélküli fehérje, fehérje-fehérje interakció, indukált feltekeredés, bioinformatika, funkcionális promiszkuitás*

IRODALOM

- Dunker, A. Keith – Lawson, J. D. – Brown, C. J. et al. (2001): Intrinsically Disordered Protein. *Journal of Molecular Graphics and Modelling*. 19, 26–59.
- Dunker, A. Keith – Obradovic, Z. – Romero, P. – Garner E. C. – Brown C. J. (2000): Intrinsic Protein Disorder in Complete Genomes. *Genome Informatics. Workshop on Genome Informatics*. 11, 161–171. <http://www.ist.temple.edu/~zoran/papers/dunkeroo.pdf>
- Dyson, H. Jane – Wright, Peter E. (2005): Intrinsically Unstructured Proteins and Their Functions. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*. 6, 197–208.
- Fuxreiter Mónika – Simon I. – Friedrich P. – Tompa P. (2004): Preformed Structural Elements Feature in Partner Recognition by Intrinsically Unstructured Proteins. *Journal of Molecular Biology*. 338, 1015–1026.
- Kriwacki, R. W. – Hengst, L. – Tennant, L. – Reed, S. I. – Wright, P. E. (1996): Structural Studies of p21^{Waf1/Cip1/Sdi1} in the Free and Cdk2-Bound State: Conformational Disorder Mediates Binding Diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 93, 11504–11509.
- Oldfield, Christopher J. – Cheng, Y. – Cortese, M. S. – Romero, P. – Uversky, V. N. – Dunker, A. K. (2005): Coupled Folding and Binding with Alpha-Helix-

- Forming Molecular Recognition Elements. *Biochemistry*. 44, 12454–12470.
- Sickmeier, Megan – Hamilton, J. A. – LeGall, T. et al. (2007): Disprot: The Database of Disordered Proteins. *Nucleic Acids Research*. 35, D786–D793.
- Tompa Péter (2002): Intrinsically Unstructured Proteins. *Trends in Biochemical Sciences*. 27, 527–533.
- Tompa Péter – Csermely Péter (2004): The Role of Structural Disorder in the Function of RNA and Protein Chaperones. *FASEB Journal*. 18, 1169–1175.
- Tompa Péter – Dosztányi Z. – Simon I. (2006): Prevalent Structural Disorder in *E. coli* and *S. cerevisiae* Proteomes. *Journal of Proteome Research*. 5, 1996–2000.
- Tompa Péter – Szász C. – Buday L. (2005): Structural Disorder Throws New Light on Moonlighting. *Trends in Biochemical Sciences*. 30, 484–489.
- Uversky, Vladimir N. – Gillespie, J. R. – Fink, A. L. (2000): Why Are „Natively Unfolded” Proteins Unstructured Under Physiologic Conditions? *Proteins*. 41, 415–427.
- Ward, J. J. – Sodhi, J. S. – Mcguffin, L. J. – Buxton B. F. – Jones D. T. (2004): Prediction and Functional Analysis of Native Disorder in Proteins from the Three Kingdoms of Life. *Journal of Molecular Biology*. 337, 635–645.



MOLEKULÁK ÖNSZERVEZŐDÉSE IDŐBEN ÉS TÉRBEN: PERIODIKUS KÉMIAI RENDSZEREK

Orbán Miklós

ELTE Kémiai Intézet Analitikai Kémiai Tanszék
orbanm@ludens.elte.hu

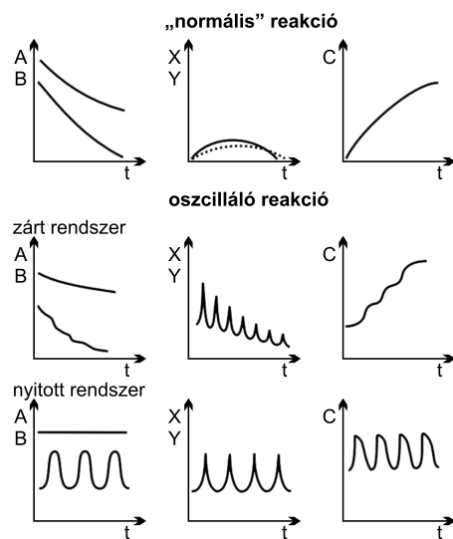
Speciális tulajdonságokkal bíró kémiai rendszerekben – bizonyos feltételek teljesülése esetén – a molekulák makroszkopikus önszerveződése következik be, amely folyamán a kezdetben homogén rendszerek időben vagy térben szabályos (periodikus) struktúrákká rendeződnek. Időben periodikus struktúráként tekintjük az oszcilláló kémiai reakciókat (itt a koncentráció periodikusan változik az időskálán). A térkoordináták mentén kialakuló periodikus koncentrációeloszlás 1-, 2- vagy 3-D formájú mintázatképződés kialakulásához vezet. Az időben és térben jelentkező koncentrációoszcilláció és rokon jelenségeik (multistabilitás, káosz, gerjeszthetőség...) számos kémiai rendszerben megvalósul vagy megvalósítható, kialakulásuk törvényszerűségei tanulmányozhatók és megismerhetők. Az így szerzett ismeretek felhasználhatók az élő és élettelen természetben (biológiai, technológiai, társadalmi folyamatokban) gyakran és sokkal bonyolultabb szinten megnyilvánuló periodikus jelenségek jobb megértésében és befolyásolásában.

Periodikus kémiai jelenségek

A legtöbb kémiai reakcióban a kiindulási anyagok koncentrációja monoton csökken, a

termékek koncentrációja monoton nő, a köztitermékek koncentrációja legfeljebb egy szélsőértéket mutatva változik, amint a reakció a végállapot felé halad. Speciális tulajdonságokkal bíró kémiai rendszerekben azonban, bizonyos kinetikai és termodinamikai feltételek teljesülése esetén a bruttó reakcióban részt vevő molekulák önszerveződése következik be, és a kezdetben homogén rendszerekben szabályos struktúrák jelennek meg. A struktúrákban egyes molekulák koncentrációja periodikusan változik, azaz oszcillál. Az oszcilláció, függően a kísérleti körülményektől, bekövetkezhet az *időskálán* vagy a *térkoordináták* mentén. Ha a periodikus koncentrációeloszlás az időskálán valósul meg, időben periodikus struktúráról, ún. *oszcilláló kémiai reakcióról* beszélünk. Ha a koncentrációoszcilláció a térkoordináták mentén alakul ki, 1-, 2- vagy 3-dimenziójú *mintázatok* képződnek.

A „normális” (monoton lefolyású) és az időben periodikus kémiai reakcióban bekövetkező koncentrációváltozásokat az *1. ábra* mutatja. Ha az oszcilláló kémiai rendszer anyagtranszport szempontjából *zárt*, a kiindulási anyagok és a végtermékek koncentrációja lépcsőzetesen csökken, illetve nő, a köztitermékek koncentrációja oszcillál. Az



1. ábra • Koncentráció vs idő diagram az $A + B \rightarrow (X, Y) \rightarrow C$ reakcióban. A és B : kiindulási anyagok, X és Y : köztitermék, C : végtermék, t : idő

oszcillációk amplitúdója zárt rendszerben csillapított, mert a reakció előrehaladtával a reaktánsok elhasználódnak. Nyitott rendszerben azonban (itt folyamatos reagens betáplálás és termékkelvezetés történik), az összes komponens koncentrációjának csillapítatlan oszcillációja valósítható meg. Az oszcillációk kísérletileg követhetők minden olyan paraméter vagy tulajdonság (például szín, redoxpotenciál, ionszelektív elektród jele, ESR-jel...) mérésével, amelynek kialakításában az oszcilláló speciesz részt vesz. A nyitott rendszerben mért oszcillációs jelek alakja és amplitúdója legtöbbször azonos (egyszerű oszcillációk). Feléphetnek azonban különböző alakú és nagyságú jelekből álló, egymást szabályos szakaszokban követő összetett oszcillációk is, de néha teljesen szabálytalan, aperiodikus oszcillációkkal is találkozunk. Ez utóbbi jelenség neve „kémiai káosz”.

Térben periodikus koncentrációeloszlás (szabályos mintázat) egy, összetételénél fogva időbeni oszcillációkra képes rendszerben alakulhat ki, akkor, ha mechanikus keverést nem alkalmazunk, és a konvekció lehetőségét is kizárjuk (például a reaktánsokat néhány mm átmérőjű csőbe töltve egydimenziós, vékony rétegben – Petri-csészében, gélben, membránban, porózus üvegben – reagáltatva kétdimenziós, oldattömbben háromdimenziós struktúrák képződnek). A mintázatok két változatban, *dinamikus* vagy *mozgó kémiai hullámok* (pulzáló koncentrikus körök, ezek megzavarásával forgó spirálok), vagy *stacionárius állóhullámok* (pontokból, labirintus-szerű csíkokból, sávokból képződött struktúrák), (2. ábra) formájában képződnek. Hasonlóan az időbeni koncentráció-oszcillációhoz, térbeni mintázatok is megjelenhetnek az 1. és 2.



2. ábra • Mozgó kémiai hullámok és stacionárius struktúrák kémiai rendszerekben

ábrán bemutatottakhoz képest összetettebb változatban, sőt kaotikus szerkezetek is kialakulhatnak. Periodikus viselkedés homogén (gáz- vagy folyadékfázisban) és heterogén rendszerekben (szilárd fázis és fluid fázis határfelületén) egyaránt megvalósulhat.

A periodikus kémiai struktúrák kialakulásának mechanizmusa

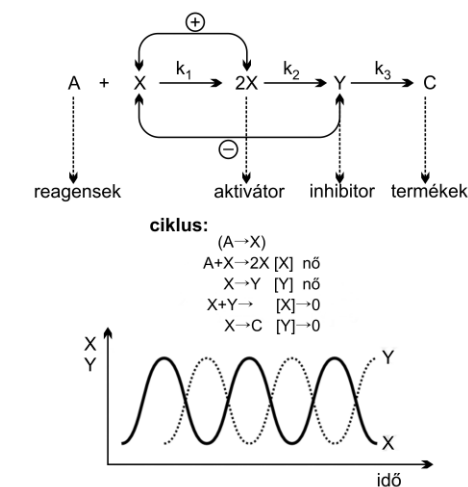
A periodikus kémiai jelenségek kialakulásához *termodinamikai* és *kinetikai* feltételek egyidejű teljesülése szükséges. Egy kémiai rendszerben periodikus koncentráció-változás csak az egyensúlytól távoli állapotban lehetséges (termodinamikai feltétel). Zárt rendszerben a kémiai reakció korai szakasza tekinthető az egyensúlytól távoli állapotnak. Nyitott rendszerben a folyamatos anyagtranszport következtében a nemegyensúlyi állapot mindig fennáll.

Oldatfázisban koncentráció-oszcilláció létrejöttének legalapvetőbb kinetikai feltétele az, hogy a kémiai reakció mechanizmusában (az elemi lépések összességében) pozitív és negatív *visszacsatolások* érvényesüljenek. Kémiai visszacsatolásról akkor beszélünk, ha a bruttó reakció mechanizmusát alkotó elemi lépések egyikében keletkezik olyan köztitermék, amely egy korábbi lépést felgyorsít (a köztitermék neve: „aktivátor”, a jelenség: (+)-visszacsatolás) vagy lelassít (a köztitermék neve: „inhibitor”, a jelenség: (-)-visszacsatolás).

Az időben és térben periodikus jelenségek oldatfázisban történő kialakulásának kvalitatív értelmezése az „aktivátor-inhibitor modell” alapján (is) lehetséges. Az oszcillációs ciklusban szerepet játszó elemi lépéseket (mechanizmust) és a ciklus kialakulását az 3. ábra szemlélteti. Az $A \rightarrow (X, Y) \rightarrow C$ folyamattal leírható oszcilláló kémiai reakcióban (ahol A a reaktánsokat, C a termékeket, az X és Y

köztitermékek közül X az aktivátort, Y az inhibitor képviseli), az iniciáló lépésben (forrás- vagy start-reakcióban) kis mennyiségű X képződik ($A \rightarrow X$), majd lévén X autokatalitikus (önmaga keletkezését elősegítő) speciesz, termelődése exponenciálisan felgyorsul [$(A + X \rightarrow 2X)$; (+) visszacsatolás]. A később megjelenő Y elfogyasztja X -et [$(X + Y \rightarrow \dots)$; (-) visszacsatolás], ezáltal leállítja az $(A + X \rightarrow 2X)$ reakciót, majd (valamilyen köztiterméken át) végtermékké alakulva ($\rightarrow C$) eltűnik a rendszerből. Ezzel zárul az $A \rightarrow C$ ciklus. Újra akkor indul, ha a rendszerben maradtak még reagensek (zárt rendszer), vagy az elhasználdott reagenseket betáplálással pótoljuk (nyitott rendszer).

Az aktivátor-inhibitor mechanizmus érvényesülése a periodikus kémiai jelenségek kialakulásának szükséges, de nem elégséges feltétele. Oszcillációk kialakulásához *parametrikus* feltételek teljesülése is kell. A termodinamikai és kinetikai feltételeket kielégítő rendszer csak bizonyos kiindulási koncentrációknál (ez beállítható) és csak a sebességi

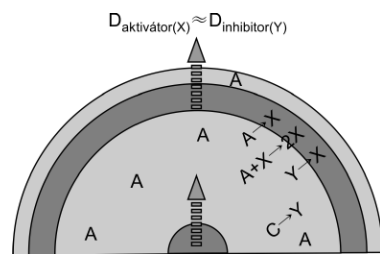


3. ábra • Az oszcillációs ciklus értelmezése az aktivátor-inhibitor modell alapján

együtthatók (ami a reagáló molekulák természetétől függ) szűk intervallumában mutat oszcillációkat. Más paraméterkészlet mellett a tárgyalt mechanizmus vagy monoton reakciót ír le, vagy alapja és forrása lehet egyéb, az oszcillációval rokon dinamikai jelenségek kialakulásának, ilyen például a *multistabilitás* (többféle stacionárius állapot megvalósíthatósága azonos kísérleti feltételek mellett), *gerjeszthetőség* (perturbációk felerősödése), *káosz* (aperiodikus oszcilláció), *fázisszinkronizáció* (oszcillációs jel-erősítés vagy -kioltás kapcsolt rendszerekben) stb.

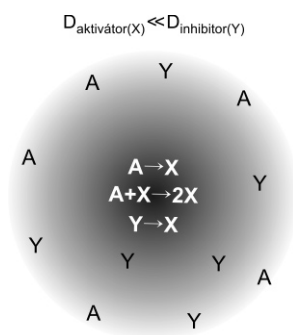
Ha egy kémiai rendszerben az oszcilláció kialakulásának valamennyi feltétele (termodinamikai, kinetikai, parametrikus) teljesül, a periodikus koncentrációeloszlás megjelenési formája az alkalmazott kísérleti körülményektől (a reakció kivitelezési módjától) függ. Intenzív mechanikai keverést alkalmazva a rendszer a reakciótér minden pontján azonos időpontban jut azonos állapotba, ezért a köztitermékek (nyitott rendszerben a kiindulási és végtermékek is) koncentrációja, valamint a velük kapcsolatos paraméterek *időben történő oszcillációját* tapasztaljuk. Mechanikusan nem kevert, konvekciómentes rendszerben a reagáló molekulák csak diffúzió útján (a koncentrációgradiens hatására) mozognak és az oszcillációs kinetika a diffúzióval kölcsönhatásban „reakció-diffúzió” eredetű térbeni struktúrákat, *dinamikus mintázatot* vagy pedig *stacionárius szerkezetet* hozhat létre.

A kétdimenziós dinamikus és stacionárius „reakció-diffúzió” struktúrák kifejlődése a 4. és 5. ábrán követhető. Az összetétele alapján időbeni oszcillációra képes rendszer vékony oldatrétegében a reagensek (A) koncentrációeloszlása kezdetben homogén. Egy bevezető (indukciós) idő után valamilyen heterogenitás (porrészecske, karcolás a reakcióedény



4. ábra • Dinamikus struktúrák (koncentrikus körök, spirálok) kialakulása

falán. . .) vagy fluktuáció hatására a reakciótér egy (vagy több) pontján a reakció elindul, itt az aktivátor (X) nagymértékben feldúsul, és diffúzió útján terjed az A-ban gazdag környezetben. Fáziskéséssel Y, az autokatalitikus reakció inhibitora is megjelenik. A rendszer további önszerveződése az X és Y diffúzió sebességétől [a diffúzióállandók (D) viszonyától] függ. Ha ezek közel azonosak, akkor az X-ben gazdag front kifelé terjed, de a front mögött az (X + Y →) reakció miatt X eltűnik, a maradék Y végtermékké alakul és a frontot követő zóna regenerálódik. Mivel ebben az eredeti reagensek még részben jelen vannak, a hullámok újra és újra elindulhatnak, ami a 2. ábrán bemutatott körkörös mintázatot eredményezi. A hullámfrontok találkozáskor



5. ábra • Stacionárius struktúrák (pontok, csíkok, sávok) kialakulása

egymást kioltják, végül a legerősebb centrumból kiinduló hullámok uralják a teljes reakciótérre. Ha az Y inhibitor jóval – legalább egy nagyságrenddel – gyorsabban diffundál, mint az X aktivátor, stacionárius struktúra fejlődik ki. A startreakció centruma körül kialakuló autokatalitikus zónában fáziskéséssel keletkező Y gyorsan áterjed a zóna határán túli területre, és létrehoz egy Y-ban gazdag környezetet, ami megakadályozza, hogy X diffúzióval bejusson erre a területre. A reakciótér több helyén is beindul reakció következtében további foltok, ezek összeolvadása esetén csíkok vagy sávok jönnek létre (2. ábra). Az eredő mintázat tehát az Y inhibitor-tengerben kialakuló, az X aktivátorban gazdag szigetektől áll.¹

Periodikus kémiai rendszerek laboratóriumban előállított példái

A periodikus struktúrák kialakulásának összes feltétele egyidejűleg kevés kémiai rendszerben teljesül, illetve teljesíthető, ezért az *oszcilláló kémiai reakciók* száma is viszonylag kevés. A ma ismert oldatfázisú oszcilláló kémiai rendszereket – az oszcillációs ciklus kémiájának hasonlósága alapján – nyolc csoportba soroljuk, ezekbe mintegy százötven variáns tarto-

¹ A dinamikus és stacionárius „reakció-diffúzió” szerkezetek kialakulása és a mintázatok alakzata formálisan szemléltethető egy (például villámcsapás által okozott) erdőtüz különböző határfokú elfojtásával, illetve az eloltás után látható képpel. Tekintsük a fák és az aljnövényzet hamuvá válását reakcióként, a tűz az aktivátor, a tűzoltó az inhibitor, aki a tűz terjedését helikopterről permetezett oltóanyaggal próbálja megakadályozni. Ha a tűzoltó a tűz kitérése után (fáziskéséssel) csak a lángok terjedési sebességével vagy lassabban oltja a tüzet, akkor az erdő koralakban leég (majd idővel regenerálódik, így a folyamat a jövőben megismétlődhet). Ha viszont a tűzoltó gyorsabban dolgozik, mint a tűz terjedése, akkor a lepermetezett erdőben csak kiégett sötét folt, több tűzgóc esetén foltok láthatók a zöld zónában.

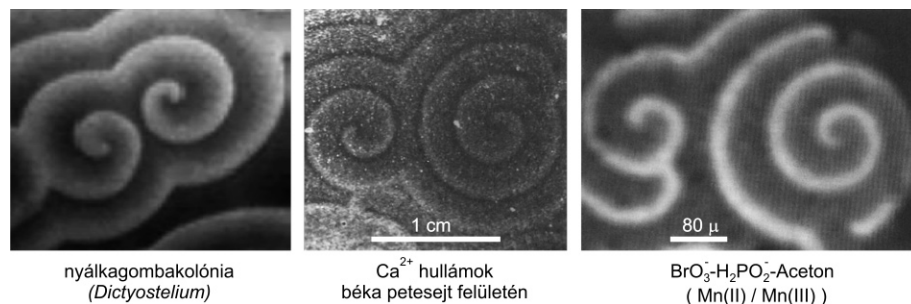
zik. Mindegyikben jelen van egy oxidálószer és egy vagy több redukálószer (működésük a redox kémián alapul), de esetenként fémion-katalizátort, savat, bázist vagy puffert is tartalmaznak. Megkülönböztetünk bromát, klorit, oxigén, hidrogénperoxid, mangán, bromit és Cu(II)-katalizált oszcilláló rendszereket, továbbá pH-oszcillátorokat. Újabban – egy redox oszcillátor és olyan komplexképzési vagy csapadékos egyensúly összekapcsolásával, amelyben a célelem részt vesz – megvalósítottuk nem-redox tulajdonságú ionok (Ca²⁺, Zn²⁺, Cd²⁺, Al³⁺, F⁻...) koncentrációjának indukált oszcillációját is.² *Dinamikus mintázatok*at eddig csak néhány bromát és klorit oszcillátorban, *stacionárius* (Turing-) *struktúrákat* pedig csupán három rendszerben (BZ-, CIMA-, FIS-reakciókban)³ sikerült kísérletileg előállítani.

A molekuláris szintű (kémiai) idő- és térbeni önszerveződés kutatásának jelentősége

Az időben és térben periodikus viselkedési formákkal és a kapcsolt jelenségekkel nemcsak a kémiában, hanem a biológiai rendszerekben, a geológiában, a technológiai folyamatokban, de még a társadalmi és gazdasági szférában is találkozhatunk. Nyilvánvaló a formális hasonlóság például a kémiai oszcilláció és a biológiai ritmusok, vagy a gazdasági válságok, a kémiai káosz és a szívinfarktus, a gerjeszthetőség és az ingerületvezetés, a fázisszinkronizáció és a növények viselkedése a sötét–világos napi ciklusban, a mozgó kémiai hullámok és a nyálkagomba-kolónia

² Az oszcillátorcsaládok és variánsok kb. felét kutatócsoportunk (ELTE Kémiai Intézet Nemlineáris Kémiai Dinamika Laboratórium, OTKA K 67701 és K 62029) állította elő.

³ BZ: bromát-malonsav-ferroin; CIMA: klorit-jodid-malonsav; FIS: ferrocianid-jodát-szulfid

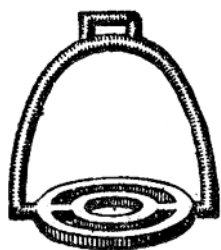


6. ábra • Spirálhullámok kémiai és biológiai rendszerekben

aggregációja, vagy a békapetesejt felületén időszakosan megjelenő Ca^{2+} spirálok (6. ábra), a stacionárius kémiai szerkezetek és a trópusi halakon látható mintázatok között. A hasonló jelenségeknek persze nem feltétlenül hasonló az oka és magyarázata. Valószínűsíthető azonban, hogy a felsorolt jelenségek kialakulása kvalitatíve hasonló módon, egy univerzális mechanizmus szerint történik. Ennek feltárására leginkább a kémia alkalmas, mert a legegyszerűbb szinten, molekuláris

szinten képes a periodikus és rokon viselkedési formákat előállítani, tanulmányozni, szabályokat és törvényszerűségeket levonni, modellezni, megérteni, és végső célként hozzájárulni a kémiai rendszereknél bonyolultabb formában megnyilvánuló periodicitások mechanizmusának tisztázásához.

Kulcsszavak: *periodicitás (kémiai rendszerekben), oszcilláló reakciók, kémiai mintázatok, önszerveződés*



RÉSZLETES REAKCIÓMECHANIZMUSOK FELHASZNÁLÁSÁVAL ELÉRT SIKEREK A KÖRNYEZETVÉDELEMBEN ÉS A TECHNOLÓGIÁBAN

Turányi Tamás

az MTA doktora, egyetemi tanár,
ELTE Kémiai Intézet, Reakciókinetikai Laboratórium
turanyi@chem.elte.hu

Bevezetés

Majdnem minden kémiai folyamat sok reakciólépésen keresztül valósul meg. Ez azt jelenti, hogy a kiindulási anyagok reakciója során először köztitermékek keletkeznek, majd a keletkezett köztitermékek lépnek további reakciókba. Gyakran több száz vagy több ezer reakciólépés lejátszódása után keletkeznek csak az összetett kémiai reakció végtermékei. Ha ismerjük minden reakciólépés kémiai egyenletét és a reakciólépések sebességét, tehát a részletes reakciómechanizmust, akkor teljesen kézben tudjuk tartani a folyamatot. Ez azt jelenti, hogy úgy tudjuk megválasztani a reakció körülményeit vagy a kiindulási anyagokat, hogy a kémiai folyamat nagy hatékonysággal és ugyanakkor kis környezeti terheléssel játszódjék le. A részletes reakciómechanizmusokat felhasználhatjuk új berendezések tervezésénél, meglévő berendezések felújításánál, vagy berendezések hatékony számítógépes irányítására.

A részletes reakciómechanizmusokat alkalmazzák légkörkémi folyamatok modellezésére. A meteorológiai előrejelzések több

napra előre, jó térbeli felbontásban képesek megadni a hőmérsékletet, a szél irányát és erősségét, valamint a napsugárzás erősségét. Ezen információk alapján lehetséges a várható levegőminőség előrejelzése, tehát a kémiai átalakulások sebességének ismeretében Magyarország minden pontjára, több napra előre, tetszőleges időpontra számítható a szennyezőanyagok koncentrációja a levegőben. Ezt az információt fel lehet használni szmogriadó elrendelésére még a környezeti katasztrófa helyzet bekövetkezése előtt. A modellek segítségével számítani lehet a kibocsátást korlátozó intézkedések, mint például a páros/páratlan rendszámú autók közlekedése megtiltásának hatását. Hosszú távú városfejlesztési vagy ipartelepítési döntéseket is lehet alapítani a levegőminőségi modellek számítási eredményére.

Részletes reakciómechanizmusok alkalmazása különösen gyakori égési folyamatok leírására. A kémiai energiát erőművekben tudjuk villamos energiává átalakítani, míg motorokban a kémiai energia mechanikai energiává alakul át. Az égési folyamatok pontos leírásával lehetőségünk van a kazánok és

a motorok hatásfokának javítására és ugyanakkor környezetbarát optimalizálására, tehát adott megkívánt teljesítmény elérése mellett a szennyezőanyag-kibocsátás csökkentésére.

A vegyiparban a technológia fejlesztésére lehet felhasználni a gyártási folyamat részletes reakciómechanizmuson alapuló modellezését. Ilyen módon növelni lehet a hasznos végtermékek kitermelését, és ugyanakkor a környezetvédelmi szempontokra tekintettel lehet optimalizálni a gyártást.

A részletes reakciómechanizmusok alkalmazásának legújabb területe a biokémiai folyamatok reakciókinetikai modellezése. Számos olyan biokémiai rendszer van, mint például a metabolizmus-hálózatok, a molekuláris jelterjedés vagy a sejtciklus modellezése, amelyeknél már nemcsak az ismert, hogy milyen molekulák vesznek részt a folyamatban, és hogy ezek közül melyek reagálnak egymással, de ismert a lejátszódó reakciók kémiai egyenlete és a reakciók sebességi együtthatója is. Ezen ismeretek birtokában ki lehet számítani a koncentrációk időbeni lefutását és a rendszereknek egy korábbinál sokkal pontosabb leírását kaphatjuk meg. Ez teljesen új alapokra helyezheti hatékonyabb gyógyszerek kifejlesztését.

A reakciókinetikai adatok formása

Részletes reakciómechanizmus felírásához ismernünk kell a benne résztvevő reakciólépések sztöchiometriáját (tehát hogy milyen arányban reagálnak egymással a reaktánsok, és milyen arányban keletkeznek a termékek), a reakciólépések sebességi együtthatóját, és hogy ezek a sebességi együtthatók hogyan változnak a hőmérséklettel és a nyomással. A reakciólépéseket gyakran a többi reakciólépéstől elkülönítve, külön-külön meg lehet vizsgálni kémiai laboratóriumban. Az ilyen

kutatási eredményekről szakcikkekkel írnak, amelyek egyetlen vagy egynéhány reakciólépésre tartalmaznak kísérleti adatokat vagy kvantumkémiai számítási eredményeket.

A hetvenes években több olyan könyvet írtak, amelyek táblázatosan összefoglalták a reakciókinetikai vizsgálatok fenti eredményeit. Ma már az ilyen adatbázisok elektronikus formában, az interneten keresztül érhetőek el. Az egyik általánosan használt számítógépes adatbázist az USA Tudományos és Technológiai Intézete (National Institute of Science and Technology – NIST) tartja fenn. A NIST *Reakciókinetikai Adatbázisa* (NIST, 2009) 11 700 gázfázisú reakcióra tartalmaz összesen 38 ezer adatot. Ehhez az információhoz 12 ezer szakcikk feldolgozásával jutottak.

A NIST adatbázisa változtatás nélkül tartalmazza a szakcikkekben megadott adatokat, és azokhoz nem fűz minősítő megjegyzéseket. Ez azért okozhat problémát, mert időnként megjelennek olyan mérési adatok, amelyek nyilvánvaló kísérleti hibát tartalmaznak, vagy esetleg az alkalmazott módszer nem volt alkalmas nagyobb pontosságra a kísérletező legnagyobb gondossága ellenére sem. A NIST-típusú adatbázisokban egymás mellett jelennek meg pontos és kétes adatok. Ha az adatok felhasználója nem szakember az adott területen, könnyen előfordulhat, hogy nem a megbízható adatot választja.

A fenti csapda elkerülésére vezették be az adatok kiértékelésének gyakorlatát. Ez azt jelenti, hogy az adott szakterület legjobb tíztizenöt szakembere munkacsoportot alkot. A munkacsoport első megbeszélésén minden résztvevő elvállalja nagyjából tíz reakció irodalmának áttekintését. Ezek után egy-két évi munkával minden kísérleti vagy elméleti közleményt elolvasnak, ami az adott reakcióról megjelent, a közleményeket részletesen érté-

kelik, és úgynevezett kiértékelte reakciókinetikai adatokat ajánlanak az egyes reakciólépésekhez. Ezek a kiértékelte adatok gyakran nem azonosak egyik kísérleti adattal sem, hanem több, gyakran különböző módszerekkel mért kísérleti eredmény alapján készültek.

Az egyik széles körben használt, kiértékelte adatokat tartalmazó reakciókinetikai adatbázis a Tiszta és Alkalmazott Kémiai Egyesület (International Union of Pure and Applied Chemistry – IUPAC) égisze alatt született. Az IUPAC *Gázkinetikai Adatbázisát* 1999 óta rendszeresen felújítják. Ez a web-adatbázis (IUPAC, 2009) hipertext rendszerrel működik, így egy adott reakció egyik reaktánsára kattintva további információkat kapunk arról az anyagról.

A gyakorlatban használt részletes reakciómechanizmusok méretét jól jellemzi, hogy a hidrogén égésének leírására egy jellemző mechanizmus kilenc anyagfajta negyven reakcióját tartalmazza. A földgáz égését harmincöt anyagfajta háromszázötven reakciójával, a NO keletkezését földgáz égésénél negyvenöt anyagfajta ötszáz reakciójával lehet pontosan leírni. A szénhidrogének nem csak égés közben oxidálódhatnak. Az autók kipufogógázával a levegőbe kerülő szénhidrogének napok, sőt esetleg órák alatt oxidálódnak. Az úgynevezett Kémiai Alapmechanizmus (Master Chemical Mechanism – MCM) százharmincöt szénhidrogén lebomlásának kémiáját írja le a troposzférában (MCM, 2009). A lebomlás során természetesen nagyon sok szerves közttermék-molekula keletkezik, emiatt az MCM összesen 4500 anyagfajta 12 600 reakcióját tartalmazza.

Nitrogén-oxidok kibocsátásának csökkentése

Az elmúlt évtizedek során Magyarországon több lépcsőben csökkentették a megengedett

nitrogén-oxid- (NO-) koncentrációt, amit az erőművek a füstgázzal kibocsáthatnak. A törvényi szabályozás lehetővé teszi, hogy a határértéknél több NO-t kibocsátó erőműveket bezárják, emiatt az erőművek tulajdonosai mindent elkövettek, hogy a légszennyezési korlátozásokat betartsák. Ugyanakkor természetesen cél volt az is, hogy a kívánt határértéket minél olcsóbban ériék el.

Az egyik olyan magyar erőmű, amelyik azzal a problémával szembesült, hogy követnie kell a lecsökkentett NO-kibocsátási határértéket, a százhalombattai Dunamenti Erőmű volt. Az erőmű vezetése több cégtől kért ajánlatot, de minden megkérdezett tanácsadó cég a jelenlegi berendezések jelentős átépítését javasolta, a működő erőmű ideiglenes leállítása mellett. A megbízást végül Barta László (MATŰZ Kft.) nyerte el, aki vállalta, hogy az erőmű NO-kibocsátását jelentősen csökkenti annak leállítása és átépítése nélkül is. Barta László azt javasolta, hogy a jelenlegi berendezések minimális módosításával úgy ériék el a NO-kibocsátás csökkentését, hogy a füstgáz egy részét visszakeverik a lángba, ezzel csökkentik a láng hőmérsékletét, és elnyomják a NO képződéséhez vezető kémiai folyamatokat. A megbízás elnyerése után számítógépes szimulációkat hajtott végre egy olyan részletes reakciómechanizmussal, amely leírta az NO keletkezését metánlángokban. Ezekkel a számításokkal meghatározta az optimális keverési arányokat. A következő lépésben egy olyan számítógépes szimulációs programot alkalmazott, amely már a részletes áramlásokat is figyelembe vette három térbeli dimenzióban, aminek az ára az volt, hogy ez a program a kémiai folyamatoknak csak egyszerűsített leírására volt képes. Utolsó lépésként csaknem egy évig tartó optimalizálási kísérletek következtek az egyik kazánblokk

két égőjének felhasználásával, miközben a kazánblokk működött, és áramot termelt. Az optimalizálási szakasz végére a füstgáz vissza-keverésének olyan módját tudta meghatározni, amely az NO-kibocsátás jelentős csökkenéséhez vezetett. Ekkor a kazán mind a nyolc égőjén végrehajtották a kikísérletezett változtatásokat. Ha a kazánhoz tartozó erőművi blokk 215 MW villamos energiát termel, akkor a módosítások előtt a kibocsátott NO koncentrációja 1100 mg/Nm^3 volt. Az új törvényi szabályozás legfeljebb 350 mg/Nm^3 kibocsátását engedte meg, és a módosítások után az erőművi blokk NO-kibocsátása 200 mg/Nm^3 -re, tehát kevesebb mint ötödere csökkent! Az NO-csökkentési eljárást összesen hat ilyen erőművi blokkon hajtották végre; ezek együttes teljesítménye a magyar villamosenergia-termelés mintegy 20 %-a. Ezt a jelentős szennyezőanyag-kibocsátás csökkentést minimális beruházási költséggel érték el, és siker alapja az égési folyamatok fizikájának és kémiájának pontos megértése volt.

Részletes reakciómechanizmusok alkalmazása autómotorok optimalizálására

Az autómotorok tervezése részben kémiai probléma, hiszen az autómotorban az égési folyamatot úgy kell irányítani, hogy minél hatékonyabban hasznosítsuk az üzemanyagot, és ugyanakkor a lehető legkevesebb szennyezőanyag keletkezzen. Az autómotor minden hengerét gondolatban kis térfogatrészekre lehet felosztani, és ezekben a homogénnek tekintett térfogatokban külön-külön számítják a kémiai reakciók hatását. Minden egyes ilyen térfogatrészben, minden időpontban más a hőmérséklet, a nyomás és az anyagok koncentrációja. Ennek következtében mindenhol más a reakciólépések sebessége és a hőfejlődés is. A térfogatrészek csato-

lódnak egymáshoz és egymás között anyagfajtákat és energiát cserélnek. Ezt a csatolódást pontosan figyelembe kell venni. Létezik ugyanakkor egy csatolás a motor mechanikájával is, hiszen például a nyomást nagyrészt a dugattyú helyzete határozza meg. A kis számítási hibák a szimuláció során felerősödhetnek. Ennek alapvető oka, hogy a legtöbb reakciólépés sebessége a hőmérséklet exponenciális függvénye. Emiatt a számított hőmérsékletben elkövetett kis hiba is rövid idő múlva nagy hibához vezet a kémiai reakciók sebességének számításánál és ezzel a hőmérsékletváltozás számításánál.

Az egyik probléma autómotorok modellezésénél az, hogy a gépjárművek üzemanyaga sokfajta (akár több ezer) kémiai anyagot tartalmaz, és ez az összetétel változik a kőolaj földrajzi eredetétől, a finomítótól, az üzemanyagot árusító cégtől és az évszaktól függően. Azért, hogy az üzemanyagokkal kapcsolatos kísérletek reprodukálhatók legyenek, úgynevezett referenciabenzinek határoztak meg. Egy ilyen referenciabenzin (például az RD387 nevű) már kevesebb (pl. tíz) vegyi anyagot tartalmaz, és ezek aránya az elegyben pontosan rögzített. Míg a referenciabenzinek meghatározása lehetővé teszi a kísérletek reprodukálását, addig a számítógépes szimulációt megnehezítené ilyen sok anyag egyidejű égésének leírása. Emiatt úgynevezett üzemanyag-helyettesítő elegyeket is meg szoktak határozni. Ezek a helyettesítő üzemanyagok (surrogate fuels) csak néhány (jellemzően három-öt) anyagból állnak, amelyeket úgy választanak meg, hogy az elegy fizikai tulajdonságai (viszkozitás, gőznyomás, párolgási sebesség) hasonlítsanak a valódi üzemanyagéra. Cél az is, hogy az olyan kémiai tulajdonságok is közel azonosak legyenek, mint a gyulladási hőmérséklet, a lángterjedési sebesség vagy a lánghő-

mérséklet. Mai kémiai tudásunk már lehetővé teszi, hogy több ezer reakciólépésből álló részletes reakciómechanizmust írjanak fel az ilyen helyettesítő üzemanyagok égésére.

Az autómotorok fejlesztésének fő célja, hogy adott megkívánt teljesítmény mellett a motor minél kevesebb üzemanyagot fogyasztson. A takarékos motort kifejlesztő cég piaci előnyre tesz szert, hiszen kisebb fogyasztású autót a növekvő üzemanyagárak mellett egyre szívesebben vesznek az emberek. Az alacsony fogyasztású autók gyártása várhatóan hamarosan törvényi előírás is lesz az Európai Unióban. A kisebb üzemanyag-fogyasztású autók környezetbarátabbak, mert működésük közben kevesebb üvegházhatású gázt bocsátanak ki a légkörbe. Ha környezetkímélőbb autómotor tervezésére törekszünk, érdemes áttekinteni a most használt motorok két alapvető típusát (Manley et al., 2008).

A belső égésű motorok egyik alapvető fajtája az 1876-ban feltalált Otto-motor, amelynek feltalálója Nicolaus Otto (1832–1891) volt. Az Otto-motorban benzint és levegőt előre elegyítenek, így úgynevezett előkevert tüzelőanyag–levegő elegyet hoznak létre. Elektromos szikra hatására lángfront kezd el terjedni a hengerben. Az Otto-motorban a tüzelőanyag–levegő arányt közel sztöchiometrikusra állítják be. Ez azt jelenti, hogy tökéletes égés esetén benzin és oxigén sem marad a kiegészítő elegyben. Sztöchiometrikus elegy alkalmazásakor a legnagyobb az égés hatásfoka, és ebben az esetben működik a legjobban a kipufogógázokat tisztító katalizátor is. Úgynevezett háromutas katalizátort alkalmaznak, ami az elégetlen szénhidrogének és a szén-monoxid mellett a keletkezett nitrogén-oxidokat is eltávolítja a kipufogógázból. Otto-motor alkalmazásakor viszonylag nagy az adott hengertérfogatra eső telje-

sítmény. Az Otto-motor ugyanakkor nem nagyon hatékony, amit a viszonylag nagy üzemanyag-fogyasztása is mutat. Ha a motor a névlegesnél kisebb teljesítménnyel működik (ez a helyzet általában autózás közben), akkor a motorba jutó levegő és üzemanyag mennyiségét is csökkentik, ami együtt jár a hatásfok csökkenésével. A viszonylag kis hatásfok másik oka, hogy az optimálisnál kisebb sűrítést kell alkalmazni, hogy a motor kopogását elkerüljék.

A belső égésű motorok másik széles körben használt típusa a Diesel-motor, amelyet 1893-ban talált fel Rudolf Diesel (1858–1913). A Diesel-motor hengerében a levegőt hirtelen összenyomják, amitől felforrósodik, és ebbe a forró levegőbe fecskendezik a Diesel-olajat. A Diesel-motor tulajdonságai csaknem minden tekintetben ellentétesek az Otto-motoréival. A Diesel-motor esetén nagyobb hengereket kell alkalmazni, így kisebb teljesítmény jut adott hengertérfogatra, ugyanakkor az üzemanyag-fogyasztás kisebb, tehát a motor hatékonyabb. Diesel-motor esetén a teljesítményt úgy csökkentik, hogy kevesebb Diesel-olajat fecskendeznek a hengerbe. Ez a szabályozás a hatásfok kisebb csökkenésével jár az Otto-motorhoz képest. Ugyanakkor a Diesel-motor hatékonysága is messze van az ideálistól, mert az optimálisnál nagyobb sűrítést kell alkalmazni, hogy az üzemanyag biztosan begyulladjon. A Diesel-motorok sokkal környezetszennyezőbbek, mint az Otto-motorok. Az alacsonyabb égési hőmérséklet miatt ugyan kevesebb nitrogén-monoxid keletkezik, de mivel a Diesel-motorban a cseppek elpárolgásakor helyenként nagyon magas a tüzelőanyag–levegő arány, emiatt jelentős lehet a koromképződés.

A fenti leírásból látható, hogy egyik motortípus sem optimális. Lehet-e olyan motort

tervezni, amely mindkét motorfajta előnyeit ötvözi? A motortervezés Szent Grálja a „homogén töltetű kompresszió-gyújtású” motor (HCCI – Homogeneous Charge Compression Ignition engine). Ezt szokás a népszerű sajtóban benzinnel működő Diesel-motornak nevezni, bár ez túlzott egyszerűsítés. A HCCI-motor esetén a hengerben előkevert benzin–levegő elegy van, amelyet a mozgó dugattyú sűrít. Az összenyomás hatására az elegy felmelegszik, és egyszerre elég. Az Otto-motornál a pontos gyújtást újabban a motor számítógépe teszi lehetővé és az a gyújtás időpontját változtatja a motor fordulatszáma és terhelése függvényében. A HCCI-motor esetén ilyen külső szabályozásra nincs lehetőség, a motor kialakításának kell a pontos gyulladási időpontot biztosítania, emiatt például kifinomult szelepezérlésre van szükség.

A HCCI-motor hengerében a legnagyobb nyomás magas, akár 250 atm is lehet az Otto-motorban megszokott 25 atm-val szemben. Az elegy nem stöchiometrikus, hanem üzemanyagban szegény, emiatt a maximális hőmérséklet 1900 K alatt marad, míg a jelenlegi motorok maximális gázhőmérséklete 2000 K felett van. Az alacsonyabb hőmérsékletű égés és az üzemanyagban szegény körülmények miatt az égés során kevesebb szennyezőanyag keletkezik, a kipufogógázban katalizátor és részecskeszűrő nélkül is kevés az NO és a korom. Ugyanakkor a motor hatásfoka nagy, tehát a motor üzemanyag-takarékos.

A nagy autógyárak rendelkeznek olyan számítógépes modellekkel, amelyek tartalmazzák a tervezett motorban lejátszódó kémiai folyamatok (égés és hőfejlődés) és fizikai folyamatok (például a motor mechanikája, a súrlódások, a gázáramlások, és a hőátadás) pontos leírását. A kémiai részmodell a megfelelő részletes reakciómechanizmuson alapul.

E modellek alapján készülnek azok a motor-prototípusok, amelyek vizsgálatával és további finomításával új motortípushoz jutnak el.

Csaknem minden nagy autógyár fejleszt HCCI-motort, de jelenleg a Mercedes-Benz F700 motorja az egyetlen, amelyet már utcán közlekedő prototípusba is beépítettek. A cég a saját fejlesztésű HCCI-motorját „DiesOtto” motornak nevezi. A négyhengeres, 1,8 liter hengertérfogatú motor teljesítménye azonos a Mercedes S-osztály 3,5 literes, V6-os benzines motorjával. Ugyanakkor az F700 motor fogyasztása csak 5,3 liter/100 km, míg a hasonló teljesítményű Otto-motorok 9,5 liter benzint fogyasztanak 100 km-en. Az előzetes várakozásnak megfelelően az F700 motornak nagyon alacsony az NO- és koromkibocsátása. A motor érdekessége, hogy működése során általában az összenyomás gyűjtja meg az üzemanyag–levegő elegyet, de alapláraton és nagy fordulatszámon szikragyújtást alkalmaznak. Ugyan jelenleg csak egyetlen prototípus üzemel ezzel a motorral és az is egy felsőkategóriás autóban, de várhatóan tíz-tizenöt év múlva a középkategóriás személyautók nagy részében már HCCI-rendszerű motor fog üzemelni.

Összefoglalás

Az elmúlt évtizedek intenzív kémiai kutatásai következtében ma már sok kémiai folyamatot le tudunk írni részletes reakciómechanizmussal. Ez azt jelenti: ismerjük, hogy a kémiai folyamat milyen reakciólépéseken keresztül zajlik le, ismerjük a reakciólépésekben résztvevő anyagokat, és a reakciólépések sebességét különböző körülmények között. Ez lehetővé teszi olyan számítógépes szimulációs modellek elkészítését, amelyek segítségével a folyamatot optimalizálni tudjuk. A legtöbb esetben az optimalizálás célja a környezet

védelme, amit azzal érnek el, ha a hatékonyság javul (például az autó kevesebb üzemanyagot fogyaszt), illetve ha a szennyezőanyagok kibocsátása csökken.

A legtökéletesebb számítógépes modell sem helyettesítheti azt a szakembert, aki kémiai és fizikai ismeretek birtokában megszabja a fejlesztés fő irányát. A fejlesztéshez kell egy alapötlet, mint például az erőművi NO-kibocsátás csökkentésénél a füstgáz visszakeverése, az autómotor-fejlesztésnél a HCCI-elv alkalmazása. Nagyon sok optimalizálandó paraméter egyidejű változtatása egy ipari fejlesztésnél nagyon drága vagy megoldhatatlan. Nem lehetséges motorprototípusok ezreit legyártani, hogy azokon végigpróbálják a változtatható paramétereket. Ilyen próbák

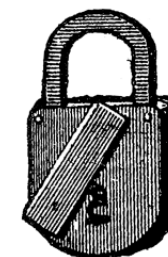
ezreit ugyanakkor el lehet olcsón végezni egy szimulációs modellel, és ezzel közel lehet kerülni az optimális gyártási és üzemeltetési paraméterekhez. Napjaink reakciókinetikai tudása azonban nem elég pontos ahhoz, hogy az optimalizált számítógépes modell valóban a legjobb legyen. Emiatt több évi munkával, további kísérletek végrehajtásával kell megkeresni a valóban legjobb megoldást. A részletes reakciómechanizmuson alapuló számítógépes szimuláció tehát nem helyettesítője, hanem hatékony segítőtje a kémia környezetvédelmi és technológiai alkalmazásainak.

Kulcsszavak: *reakciómechanizmus, reakciókinetikai adatbázis, kiértékelt adatok, levegőszennyezés, fotokémiai szmog, HCCI-motor*

IRODALOM

- Manley, Dawn K. – McIlroy, A. – Taatjes, C. A. (2008): Research Needs for Future Internal Combustion Engines. *Physics Today*. 61, 11, 47–52.
MCM (2009): *The Master Chemical Mechanism* – <http://mcm.leeds.ac.uk/MCM/>

- NIST (2009): *NIST Chemical Kinetics Database* – <http://kinetics.nist.gov/kinetics/index.jsp>
IUPAC (2009): *IUPAC Subcommittee for Gas Kinetic Data Evaluation* – <http://www.iupac-kinetic.ch.cam.ac.uk/>



Tanulmány

VÁLSÁGOK ÉS MEGOLDÁSOK TÖRTÉNÉS SZEMMEL

Ormos Mária

az MTA rendes tagja
ormosm@chello.hu

Szeretjük a válságokat a kapitalizmus rendszerével kapcsolatba hozni, és szeretjük annak gazdasági vonulatára korlátozni. Érthető, ha ezt pénzügyi szakemberek és közgazdászok teszik, történész szemmel azonban a világtörténet másként jelenik meg. Az emberiség történetét sokféleképpen próbálták saját belső törvénye alapján megérteni és magyarázni, ezek közül az elméletek közül azonban egyik sem állt meg a lábán. Az egyetlen vezérlő elvet próbálta megtalálni Hegel, Marx, Oswald Spengler, hogy végül a legtöbb szerző oda lyukadjon ki, úgy látszik, ilyen egységes, megragadható elvi rendszer, egységes törvény nem fedezhető fel, mert minden biztonnal nincs is. Számos szociológus és politikus igyekezett egységbe hozni az emberi életben működő különböző meghatározókat, és rájönni arra, hogy vajon milyen kapcsolatban áll egymással a gazdaság és a pszichológia, a gépesítetttség, valamint a technika a közérzettel, vagy az irodalommal és a művészetekkel. Legutóbb többen hangoztatták, hogy a sok tényezőből összeszerveződő kontextust kell szemrevételezni ahhoz, hogy valamely részegységről érvényes megállapításra lehessen jutni.

Kétségtelen, hogy minden részegységnek megvannak a maga saját törvényei. A zene-történetben nem léphetett fel Kurtág György – mondjuk – Beethoven előtt, Vasarely nem alkothatott Michelangelót megelőzve, és a 20. század történései nem írhatták meg műveiket nemcsak a középkorban, de még a 19. században sem. Nem képzelhető el olyan korszak, amelyben a gótikus építészet, a romantikus zenevilág, az absztrakt festészet és a posztmodern szkepticizmus egyszerre, egymás mellett hat. Mint Wilhelm Dilthey vélte, egy korszaknak megvan a maga sajátos szelleme, amihez magától értetődően azt is hozzá lehet, sőt szerintem kell érteni, hogy megvan a maga gazdasági szintje, technikája, mechanizmusa is. A többi, saját belső törvénnyel rendelkező vonulathoz hasonlóan megvan a gazdaságnak is a maga törvényei, ami miatt annak egyes szakaszai szintén nem cserélhetők fel egymással, és ami miatt a „nagy ugrások” sem lehetnek eredményesek. Egy történész szemével nézve azonban a gazdaság sem élvez nagyobb önállóságot, mint bármi más. A gazdaság a kapitalizmus kerekeiben csakúgy, mint bármikor korábban, szintén kontextusban áll, és valamiképpen

együtt mozog az élet összes többi szegmensével. Miként nem lehet állítani, hogy a kultúra, mentalitás, életérzés stb. pusztán „felépítmény”, amelyet a gazdaságban uralkodó tulajdonviszonyok határoznak meg, ugyanúgy megalapozatlan azt gondolni, hogy a gazdaság érintetlen maradhat az egész rajta kívül álló emberi világtól, vagy, hogy azt mindenestől uralja.

Ez egyúttal azt a lehetőséget is magába foglalja, hogy válságok nemcsak a kapitalizmus történetében fordulhattak elő, de bármikor, és hogy ezekben gazdasági szegmensnek is helye volt. Mi több, állítani lehet, hogy az emberi történet a válságok és megoldások meg-megújuló, ám egyre bonyolultabb összefüggéseket tartalmazó kettősségében zajlott mindeddig. E kettősség lényege, hogy az emberek meghaladtak egy válságperiódust, ám nem tudtak tekintettel lenni a mindenkori jövődő változásokra, ami miatt újabb válságos helyzetbe kerültek. Ezen mit sem változtatott, ha azt hitték, hogy megtalálták az emberi történet örök törvényét, vagy azon belül a gazdaság örök törvényét, és ezért a továbbiakban már biztonságban lesznek.

Európa történetében egy hosszú válságperiódus zajlott le a Római Birodalom megrendülésétől, illetve bukásától kezdve évszázadokon keresztül. Ennek időtartamát az elemzők ugyan eltérően számítják, de abban egyetértenek, hogy a kibontakozás és a lassú felemelkedés kezdetét kontinentális méretekben a legjobb esetben is a 10–11. századra lehet tenni. A római technikai és kulturális eredmények javarészt eltűntek, a művészetek, tudományok produktumai kallódtak valahol, az egykor milliós nagyváros, Róma lesüllyedt egy közepes kisváros szintjére, jórészt feledésbe mentek a termelési kultúrák, kivesztek az írástudó emberek. A válságos évszázadokban

együtt és egyszerre gyakorolt hatást a gazdasági élet korábbi formáinak leépülése és az új, valamennyire már biztonságos szisztéma megtalálásának lassúsága, valamint a kulturális beszűkülés mellett az addig ismeretlen, idegen életformák és kultúrák betörése Európába (népvándorlás), az új vallás (kereszténység) terjeszkedése, ami együttvéve új művelési módot, új életformát, új politikai konstrukciót és új kultúrát eredményezett. Az európai népesség életében alighanem ez volt a legmélyebb és a leghosszabb válságperiódus, amely egyúttal a legnagyobb váltást hordozta magában az élet minden területére és vonatkozására nézve. Úgyszólván egyenesen vezetett el a kora-kapitalizmushoz, és rajta keresztül a kapitalizmus korához. A gazdaságnak és a gazdálkodásnak mindebben eminens szerep jutott, de e korszak egészét a többi meghatározó elem nélkül lehetetlen megérteni. Válságot válthatott ki egyébként egy nagy epidémia-hullám is, amely azonban nem lehetett volna oly hatékony, mint *de facto* volt, ha a gazdaság súlyos gyengélkedése miatt nem sújtja a nyugat-európai populációt az éhínség, amely legyengítette az emberek ellenállóképességét. A probléma lényege abban állt, hogy a földművelés korabeli eredményessége nem állt arányban a demográfiai növekedéssel, vagyis az alultermelés problémája alakult ki.

A történetek várható, normálisnak tekinthető alakulását nem egyszer rendszeren kívül álló hatalmi tényezők is megzavarhatták. Ilyen volt a tatár betörés Magyarországon, és a hosszú tatár uralom orosz földön. Az előbbi demográfiai katasztrófát okozott, az utóbbi évszázadokra sajátos pályára állította Oroszországot. Történésszek tucatjai vélik úgy, hogy Oroszország e korszak hatásait minden vonatkozásban, és ezek között gazdaságában is,

máig magán viseli. Hasonló hatást fejtett ki az oszmán törökök eluralkodása a Közel-Keleten, a Balkánon, Magyarországon és Észak-Afrikában. Ezek az események tartós nyomot hagytak az érintett területek egész életében és azon belül gazdaságukban is.

A reformáció–ellenreformáció által kiváltott válságról gondolhatnánk, hogy pusztán szellemi – közelebről: teológiai és morális – arculata volt, és semmi sem kötötte a gazdasági élethez. Ám kétségtelen, hogy a mozgalom más-más gazdasági érdekekkel rendelkező társadalmi csoportokhoz is kötődött, továbbá, hogy a viszály mentén átalakultak a tulajdonviszonyok, a vallási okokból menekülésre kényszerülők kénytelenek voltak új foglalkozás után nézni, és vitathatatlan az is, hogy a kapitalista erkölcsök és szokások könnyebben vertek gyökeret református környezetben, mint a katolikus vidékeken (Max Weber).

Egy történész szemével nézve az összefüggésrendszer a kapitalizmus történetében sem oldódott szét. Nem tagadva, hogy a piac végül elrendezi a gazdaság dolgait, mégis észre kell venni, hogy mielőtt a piac rendezésig eljutna, számos rajta kívül álló és általa nem kontrollálható elem gyakorol mind rá, mind a gazdasági szereplőkre befolyást, és segíti, vagy – sokkal inkább – akadályozza abban, hogy alapértelmének, feladatának eleget tegyen. Rendszeresen hat működésére a politika, a politikai áramlatok egymás közötti harca és erőviszonyai, a gazdaságtól lényegüket tekintve idegen események, mint amilyen a háború, az összefüggő tőkés nemzetközi egységbe berobbanó új szereplők figyelmen kívül nem hagyható követelményrendszere, nem is beszélve arról a lehetőségről, hogy a piaci törvényeket annak szereplői akár huzamosan is képesek figyelmen kívül hagy-

ni, valamint, hogy *viribus unitis* azokat – átmenetileg – ki is tudják iktatni.

Közmegegyezésnek tűnik, hogy a kapitalizmus történetének volt egy olyan boldog korszaka, amikor az állam szerény nézőként mindössze a tág értelemben vett feltételeket teremtette meg a tőke működése számára, és egyébként hagyta, hogy a „láthatatlan kéz” tegye a dolgát. Nem szölte bele tehát semmi- be, és ennek hála a gazdaság szépen fejlődött. Ez a magyarázat azonban a mesék világába tartozik. Amellett, hogy az európai államok pénz-, adó-, járulék-, jövedékpolitikája nagy szerepet játszott a tőkés fejlődésben, a valószínűségben a szabad kereskedelem elvét se nagyon hagyták érvényesülni, hanem előbb vagy utóbb védeni kezdték a hazai terméket. Az már az adottságoktól függött, hogy mit védtek igazán, az ipart vagy a mezőgazdaságot. A szabad kereskedelem teljeskörű érvényesítése egyedül Nagy-Britanniában következett be, aminek az lett az ára, hogy az agrárszféra padlóra került, és évtizedek munkáját igényelte, hogy újra lábra állítsák. Az utóbbi érdekében az állam minden általa kitalálható eszközt latba vetett. Emellett az infrastruktúrára sehol sem épült ki az állam messzemenő részvétele vagy segítsége nélkül. Az állam hozta létre és működtette az iskolák és az egyetemek nagy részét, amelyek a gazdaság számára szolgáltatták a megfelelő munkaerőt, beleértve a szakmunkásokat és a szükséges értelmiségi rétegeket.

Ha ehhez még hozzátesszük, hogy a leg-sikeresebb gazdasági utat 1945-ig azok az országok futhatták be, amelyek állami asszisztenciával kiépítették a maguk hatalmas gyarmatbirodalmát, amelynek fegyveres védelméről az állam gondoskodott, akkor – a felsorolt tényezőket összegezve – ki lehet jelteni, hogy a kapitalizmus kibontakozása

legalább annyira az állami, politikai tevékenység következménye volt, mint amennyire abban maguk a közvetlen szereplők részt vettek. Mindez fokozottan érvényes a lemaradásuk behozásával küzdő országok esetében.

A két világháború okai között a hatalmi, reváns stb. szempontok mellett a gazdasági tényezőknek kétségtelenül jelentős szerep jutott. Mindazonáltal a gazdaság belső törvényei önmagukban véve nem igényelték a két nagy világgéget, miközben a háborúk kimenetele hatalmas felfordulást vont maga után az egész világgazdaságban. (A gazdasági szereplők közül ebben az időben leginkább a bankárok értették meg, hogy nincs szükségük állami-katonai védelemre tevékenységük szempontjából.) A pénzügyi, gazdasági felfordulás nemcsak azért következett be, mert az állami beavatkozás a háború idején pregnánsa és hétköznapi történetté vált, nemcsak a háborút követő leépülés, infláció stb. miatt állt be, hanem azért is, és talán elsősorban azért, mert már az első világháborút követően felcserélődött az európai és az amerikai szerep, a második után pedig egy merőben új hatalmi világgkonstrukció keletkezett.

A két világháború között helyezkedett el az 1929-ben kezdődő és 1931-ben kiteljesedő gazdasági világválság, amelyet a lefolyása szerint „tisztá” gazdasági természetűnek lehet elismerni, többek között azért, mert hiába próbálkoztak többféle kezeléssel, egyszerűen nem lehetett rá hatni. Úgy tűnt, hogy ebben a történetben valóban kizárólag a gazdaság belső törvényei érvényesültek. Közelebről nézve azonban ez a vélekedés sem fedti a teljes igazságot. Az utóbbihoz ugyanis hozzátartozik, hogy a háború után erőszakos eszközökkel teljesen egyensúlytalanná tették a nemzetközi gazdasági életet. Történt ez főként azon elv mentén, amelynek jegyében mind a

helyreállítás költségeit, mind a győztes európai államok felgyűjtött adósságát a szintén tönkrement vesztesékekkel akarták kifizettetni. Ezt tartotta John Maynard Keynes és jó néhány társa közgazdasági nonszensznek. Az előzetes problémákat tetézte az uralkodó pénzügyi szemlélet, amelynek szellemében a lehető legerősebb valutákat kellett megteremteni és működtetni, ami rosszul hatott mind a nemzeti hozamokra, mind a nemzetközi kereskedelemre. Eltekintve attól a vitától, amely Hoover elnök válságkezelő programjának megítélése kérdésében zajlott és zajlik, minden kétség nélkül állítani lehet, hogy a már kitört válság közép-európai kiteljesedéseért viszont egyedül a politika volt felelős. 1931-ben az osztrák Kreditanstalt Bank súlyos likviditási problémával küzdött, és a nyugat-európai bankok készen mutatkoztak, hogy kisegítsék. A brit és a francia politika azonban a műveletet megakadályozta, mert Ausztria nem sokkal előbb (1931 márciusában) Németországgal együtt bejelentette, hogy létre akarja hozni a német–osztrák vámuniót, amelyhez bármely közép-európai ország csatlakozhat. Megrémülve az Anschluss végrehajtásától, vagy inkább a német Mitteleuropa létrejöttétől, a két kormány megtiltotta az osztrák bank megmentését. Ennek hatására dőlt össze az egész közép-európai bankrendszer. A legsúlyosabb következményei Németországban, Ausztriában és Magyarországon mutatkoztak. Bank- és tőzsdezárlat, teljeskörű leépülés és nagymérvű munkanélküliség járt a nyomában, politikai téren pedig a belpolitikai feszültségek növekedése és a szélsőjobb oldal erősödése követte.

Az 1929-ben kirobbant válságból a kivetető utat a lehető legrosszabb forgatókönyv mentén találták meg. Olaszország 1932-től, Németország 1934-től, illetve intenzíven 1936-

tól, Nagy-Britannia 1935-től (légierő-program) Franciaország 1936-tól fegyverkezni kezdett, és az úgynevezett győri program meghirdetését (1938) követően ezt tette Magyarország is. Magyarországon a legnagyobb ipari növekedés 1939 és 1942 között ment végbe, és e periódusban javult az általános életszínvonal is, míg a munkanélküliség eltűnt. Arról a segítségről már ne is szóljunk, amelyet a gazdasági világválság ahhoz nyújtott, hogy Németország teljhatalmú urává Hitler és a nemzetiszocialista párt váljon. Az út egyenesen vezetett a második világháborúhoz. Ez a világválság ékes bizonyítéka annak az állításnak, hogy az élet különböző szegmensei, az adott esetben elsősorban a gazdaság és a politika, de kíséretükben az ideológia és a tömegpszichológia is csak szoros, egymástól úgyszólván elválaszthatatlan egységes kontextusban értelmezhető.

Az 1930-as évek második fele és az 1940-es évek eleje a pusztázó számok tükrében virágzó korszaknak lenne mondható, de minden más szempont szerint a legsúlyosabb válságtüneteket görgette magával. A gazdasági mutatók emelkedtek, csak hogy a konjunktúrát a fegyverkezés éltette, és a közgazdászok tudták, hogy a fegyverekbe investált összegek legnagyobb részét nem lehet a gazdaságba visszaforgatni. Másként szólva, mindenki állig eladósodik, aki a fegyvereket felhasználja és elhasználja. 1945-ben egy civilizáció állt romokban. A nemzetközi gazdasági rendszer darabokra tört. Európa jelentős részén viszatérttek a cseregazdasághoz. Ipari termékeket és nemesfémeket cseréltek élelmiszerekre, nem törődve semmiféle reális értékkel. A második világháborúban átélt demográfiai, anyagi, kulturális, etikai mélyválsághoz hasonlóan az európai népek ismert történetük során még sosem szenvedtek el.

A második világháború befejeztével Európa romokban állt, és a kérdés az volt, hogy vajon milyen módon áll újra lábára a gazdaság. A gyógyulás jelei nem nagyon mutatkoztak, amikor az amerikai külügyminiszter fantasztikus tervvel állt elő. Mondhatnánk, hogy a Marshall-segélyt a piaci mechanizmusok felismerése indította útjára, ám ezt az addig ismeretlen lépést kétségtelenül a politika tette meg, és nem a piaci automatizmus váltotta ki. Néhány brit közgazdász éppen ezért sorolta utóbb az elfogadhatatlan külső beavatkozások kategóriájába, és hangoztatta, hogy az európai, illetve a brit gazdaság magától is lábra tudott volna állni. Mégis tagadhatatlan, hogy a nyugat-európai gazdaságok az amerikai injekciózással egyidőben kezdtek magukhoz térni, és alapozták meg az 1960-as évek végéig tartó virágzásukat.

Tamás Gáspár Miklós szerint a nyugati világ válsága 1968-ban kezdődött, és a magam részéről nagymértékben egyetértek a felfogásával, midőn az egész európai-amerikai életvitel és szemlélet válságát elemzi. Csak azt teszem hozzá az általa mondottakhoz, hogy nem csak a „korszellem” jutott válságba, de már döccenőként haladt át az úgynevezett „jóléti gazdaság” is, és elkezdődött a nagy alkufolyamat a nyersanyagfogyasztó és a nyersanyagtermelő nagy közösségek között. Az utóbbi annyit jelentett, hogy a fennálló fejlett tőkés rendszert kívülről érkező impulzus zavarta meg. A szerényen „olajválságnak” nevezett jelenség valójában egy hosszú, válságos periódusnak lett a bevezetője. Az egykori gyarmati státusból kiszabadult, nyersanyagban, elsősorban olajban gazdag országok és néhány további ország hirtelen megjelent a piacon, és követelni kezdte, hogy a fejlett tőkés államok számára fontos nyersanyagaiért fizessék meg a piaci árat. Nemcsak az olajról

volt szó, de a gázzól, a gyapotról, a kaucsukról és a ritkafémekről is, amelyekkel ők rendelkeztek, a fejlett országok viszont nem, vagy csak kis mértékben. Az első jelentős nyersanyag-áremelésre 1971-ben, az ennél sokkal drasztikusabbra 1973-ban került sor. A „külső” beavatkozás azonnal belsővé vált, és minden kalkulációt (bekerülési költség, termékár, profit) átalakított. Hozzájött ehhez, hogy Nixon elnök az amerikai költségvetés súlyos problémáira hivatkozva 1971-ben „ideiglenesen” megszüntette a dollár aranyalapját, majd 1973-ban ezt véglegessé tette. Ez nem kevesebbet jelentett, mint hogy a Bretton Woodsban tartott konferencián (1944) elhatározott szabályozott (regulált) pénzügyi rendszer megszünt. Elkezdődött a szabályozatlan (deregulált) pénzgazdálkodás, a valuták úgynevezett „lebegtetése”, ami a velejáró nehézségek mellett utat nyitott a többoldalú spekulációnak és visszaélésnek is.

Spekulációs eszközöket nem kizárólag a pénztoke vett igénybe, de az állami pénzgazdálkodásban is megjelent a manipuláció, mivel a „jóléti állam” fenntartásának igénye jóval tovább élt, mint amennyire a bevételek ezt megalapozták. A „jóléti államok” a „túlvalálás” bűnébe estek, és ebből egyelőre kizárólag Margaret Thatcher brit miniszterelnök asszony vonta le a következtetéseket. Hozzáteendő ehhez, hogy az ő szigorú intézkedései is csak rövid távon ható kiigazításhoz vezettek. Szerintem ez nem is történhetett másként, mert a fedezetlen túlköltekezés nem egyedül az állami gazdálkodásra vált jellemzővé, következképpen kizárólag ennek a korrekciójával az összjelenségen nem lehetett gyökeresen segíteni.

Az 1970-es évektől kezdve a válságjelenségek hol itt, hol ott törtek felszínre, és az 1980-as években elsősorban Japánban és a

Távol-Keleten jelentek meg nyomasztó formában. Ezeket különböző, olykor nemzeti, de elsősorban nemzetközi beavatkozásokkal oldották meg, illetve odázták el. Mindazonáltal egyre nyilvánvalóbbá vált, hogy az új körülmények között az államháztartásokat nem lehet változatlan paraméterek mellett egyensúlyban tartani, ám a kiigazításokat a tőkés működés alapproblémái mellett részben a politikai játszmák, részben a széles lakossági ellenállás következtében szerfelett nehéz volt, vagy inkább lett volna végrehajtani.

A világgazdaság gyökeres átrendeződésében a következő etapot 1989–1991 között ismét egy olyan nagy változás vezette be, amelynek szintén voltak gazdasági összetevői, de magát a váltást a politika színterén hajtották végre. A szovjet rendszer összeomlásában kétségtelenül nagy szerepet játszott a Reagan elnök által nyomatékosított gazdasági (együttal katonai) verseny, amelyben a Szovjetunió lemaradt, mindazonáltal a kelet-európai földcsuszamlásra Mihail Gorbacsov és politikája nélkül aligha kerülhetett volna sor. Egyelőre kiszámíthatatlan, hogy az európai szovjet befolyási övezet felszámolásának, a Szovjetunió felbomlásának milyen konkrét kihatása volt a világgazdaságra, annyi azonban világos, hogy nemcsak a politikai értelemben vett két pólus tűnt el, de vele együtt eltűnt a kapitalizmussal szembenálló, tőle eltérő metódus szerint működő második gazdasági modell is. A kapitalizmus benyomult egy óriási új területre, ami elsősorban a nemzetközi pénztoke előtt nyitotta tágra a kaput. Hozzá kell tenni ehhez, hogy az út a nagytőke számára egy ideje mind szélesebbé vált Ázsiában is, és egy olyan hatalmas egység, mint Kína szintén felmondott a tervutasításos rendszernek, és a tőkés fejlődés (vagy talán inkább: fejlesztés) útjára tért. Kína gazdasági felemel-

kedése egyébként nemcsak azt a tételt teszi kérdéssé, hogy abban lehet-e az államnak egyáltalán szerepe, de ráadásul még azt is, hogy sikeres tőkés gazdálkodás kizárólag a parlamentáris demokrácia kereteiben folytatható, és azt mindenféle diktatúra eleve kizárja.

A potenciális piacbővülés ismeretében mindenestre aligha lehet csodálkozni azon, hogy a pénztőke szemmel már nem követhető száguldásba kezdett. Német illetékesek ekkoriban már azt panaszták: fogalmuk sincs róla, hogy a német tőke merre jár. A kétpólusú vilárendszer felbomlása magával hozta azt is, hogy ettől kezdve a szovjet kihívásra, amely alacsony szinten ugyan, de a biztonságot jelentette a foglalkoztatásban, a szociális ellátásban és az iskolázásban, a másik oldalon már nem kellett feltétlenül reagálni. A nagytőke érdekeit kifejező neoliberais gazdasági elmélet elterjedése, illetve gyakorlati alkalmazása voltaképpen ezt fejezte ki, vagy ezt is kifejezte, midőn mind keményebben támadta az állam „túlvállalásait”. Megalapozói (Milton Friedman, Friedrich Hayek és mások) már jó ideje ezt tették, divatba azonban majd csak a nehézségek idején, az 1970-es években jöttek, és az elméletüknek megfelelő „megszorítások politikája”, amelyet azonban többnyire reformpolitikának neveztek (Thatcher nem számítva), az 1990-es években vált úgyszólván ellenállhatatlanná. A neoliberális politikát elsőként a konzervatív pártok fogadták el, és vitték át a gyakorlatba, többnyire támogatták ezt Európában a liberális (szabaddemokrata) pártok, míg a szociáldemokraták álltak ellen a legtovább, hogy végül ők is megadják magukat (Tony Blair, Gerhard Schröder harmadikutas terve nem sokban tért el a neoliberális elvektől).

Ekkor azonban részben már késő volt, részben viszont az államháztartások átrende-

zése, a fölösleges, kellően meg nem alapozott kiadások csökkentése mit sem változtatott az alapproblémán. A pénztőke száguldásán, láthatatlanságán, a deregulált pénzvilág ellenőrizhetetlenségén nem változtatott, ha lefaragtak valamit a valóban sürgős, túlságosan kiterjesztett szociális ellátási összegekből, ha korlátozták a közigazgatási kiadásokat és így tovább. Bár elkerülhetetlennek lehet tekinteni a bürokrácia apasztását, a közigazgatás racionalizálását, az olyan juttatások kiigazítását, amelyekhez a jóléti állam szellemében mindenki, tehát az is hozzájutott, akinek arra nem volt szüksége, ez semmit sem változtat azon, hogy a pénztőke világában az alig fedezett vagy fedezetlen üzletek tömege valósult meg, hála a manipulációnak, a pilótajáték jellegű pénzkezelésnek, és a félrevezető reklámhadjáratnak. A fedezetlen hitelműveletek és az ugyancsak fedezetlen állami kiadások összességéből adódó súlyos helyzet kiigazításához nem elegendő az egyik, az állami oldal megreformálása, mert a másik, a nagy súlyal rendelkező üzleti fedezetlenség ezáltal még nem szűnik meg.

Felelős elemzők az 1990-es évek vége felé és az ezredfordulót követően már figyelmeztettek rá, hogy a piac ezt a játékot nem tűri el a végtelenségig, a bankszektor azonban erre nem reagált, hanem csak még nagyobb mértékben, talán azt is lehet mondani, hogy kétségbeesetten hitelezett már nemcsak kétes fedezet alapján, de szinte minden fedezet nélkül is. A reálgazdaságban ennek az volt a következménye, hogy sokkal több árut kínáltak eladásra, mint amire létező, valódi kereslet mutatkozott, (Szelényi Iván ezt nevezi túlkeresletnek) ami miatt ebben a szektorban is az irreális, mondhatni: látszólagos eladások tömegére került sor, és ezáltal a gazdaság teljesítménye alatt tátongó lyuk támadt. A piac,

amelynek a jelzéseit a piaci szereplők nem vették tudomásul, hanem a keletkező hiátusokat betömködtek, s e műveletekkel a válságot elodázták, végül kegyetlen bosszút állt.

Mi mondható a nagy válságok megoldásáról történész szemmel nézve a fejleményeket? Ha a korábbi, nem tőkés természetű válságokat figyelmen kívül hagyva a kapitalista világválságokra koncentrálunk, úgy kijelenthető, hogy ezek korábbi „megoldási” módjából aligha lehet profitálni. Az első, már világválságnak tekinthető megrázkódtatás 1873-ban vette kezdetét. Nyugat-Európában elsősorban a modern gazdasági ágazatok, Keleten főként a mezőgazdaság szenvedte meg. Kétségtelenül járt a nyomában modernizálás a technikát, az újonnan fellendülő iparágakat (motorizálás, vegyipar stb.) tekintve, és kezdtek kialakulni a védekezést szolgáló monopóliumok (kartellek és trösztök), ám ez nem akadályozta meg, hogy újabb válságok és válságjelek rendszeresen keletkezzenek továbbra is. Az igazi fellendülés csak a fegyverkezésre történt áttérést követte. Ez viszont már összefüggött az állami hatalmi politikákkal, miközben az államhatalmak befelé fordultak, erőltették a vámvédelmet, és autark rendszerekre kezdtek áttérni. A trend belefutott a világháborúba.

Az 1929-es válságot több országban megkísérelték a hagyományos pénzügyi politika mentén kezelni, amitől csak az USA és Nagy-Britannia tért el. A mértékadó gazdasági, pénzügyi szervezetek egyetlen tanácsa a takarékoságban állt, ami a közszférában leépítést, és a fizetések lenyomását vonhatta maga után. Hoover elnök ezzel szemben azon volt, hogy állami segítséggel jelentős pénzeszközkhöz juttassák a piacot, majd amikor ennek nem mutatkozott pozitív hatása, 1931-ben egy évre moratóriumot hirdetett minden államközi

adósság fizetésére, majd ezt 1932-ben egy évvel meghosszabbította. Jótékony hatása azonban ennek sem mutatkozott. Sokkal eredményesebb volt a Bank of England és a brit kormány együttes döntése a font aranyalapjának megszüntetéséről 1931 szeptemberében, aminek következtében a font értéke egy nap alatt 20 pontot esett, de az export gyorsan emelkedni kezdett, és ez elsőként húzta ki a brit gazdaságot a kátyúból. Hasonló lépésre szánták rá magukat a skandináv államok, és hasonló eredményt értek el.

Skandinávia egyébként éppen ekkoriban tért rá egy sajátos, Európa többi részében még nem ismert útra. 1933 és 1935 között vezető pozícióba jutottak a szociáldemokrata pártok, amelyek tudatos gazdaságélénkítő elgondolásokat kezdtek megvalósítani. Vonatkozott ez az iparra és hangsúlyosan a mezőgazdasági ágazat mindenoldalú állami támogatására, és ezt kiegészítette a szociális gondoskodás kiterjesztése. Mivel ezek az országok semleges politikát folytattak, katonai költségeiket a lehető legalacsonyabb szinten tartották. Európa többi országában azonban tovább tartott a kínlóadás, és ennek következményeire már utaltam. Az USA-ban az új gazdasági politika (New Deal) 1933-tól vette kezdetét, de máig vitatott, hogy az amerikai gazdaság vajon ennek köszönhet-e későbbi száguldását vagy a második világháborúnak. Többben vélekednek úgy, és magam is hajlok véleményük elfogadására, amely szerint a nagy impulzust az amerikai gazdaság élre ugrásához valóban a háború nyújtotta, ennek kihasználásához viszont az alapot megelőzően a New Deal keretében teremtették meg.

Ezekből az előzményekből alig valamenynyit tanulságot lehet levonni a jelenleg hathatós kezelési módra vonatkozóan. A valuta gyengítése általános receptnek semmiképpen

sem tekinthető, mert az importfüggő és a valutájuk szempontjából támadható országok nem engedhetik meg maguknak, vagy csak nagyon korlátozottan tehetik ezt. Ráadásul, a hasonló brit próbálkozások 2008/09-ben a megváltozott világban távolról sem hozták meg azt az eredményt, amelyet 1931/32-ben elértek. Ennek egyik okát talán abban lehet látni, hogy Nagy-Britannia akkor még óriási saját piaccal rendelkezett (a birodalmi piaccal), ami azonban megszűnt létezni. Nem állítható, hogy az állami segítséggel a bankvilágba és a gazdaság más szegmenseibe eljuttatott nagy tőkeinjekciók ugyanolyan hatástalanok maradtak, mint maradtak 1929-től kezdve. A kimenetel valószínűleg attól függ, hogy a pénz végeredményben hol köt ki, és ott milyen hatást indukál. Ha azt szolgálja, hogy lábon maradjanak mindazok az egységek, bankok, autógyárak, építőipari nagyvállalatok, elektrotechnikai cégek stb., amelyek összességükben eddig valójában eladhatatlan tömegű árut állítottak elő, akkor a válságot az ilyen műveletek aligha oldják meg, sőt akár súlyosbíthatják is. Ezzel szemben, ha a tőkesegítség sikerül új és hosszabb távon piacképes ágazatok, termékféleségek, technikák számára hozzáférhetővé tenni, akkor e vállalkozás gyógyító hatást érhet el. Mindenképpen számolni lehet azonban azzal, hogy jelentős számú gazdasági szereplő eltűnik. Ennek hatásaként világszerte növekszik átmenetileg (senki sem tudja megmondani, hogy meddig) a munkanélküliség, és számos kis egzisztencia és középosztálybeli család is megoldhatatlan helyzetbe kerül. Mindennek nyomában pedig növekednek a társadalmi, és velük együtt a politikai feszültségek.

A 2008-ban kirobbant világválság egyetlen pozitív vonása a korábbiakhoz képest abban áll, hogy a megelőző évtizedekben kialakult

és jótékony hatást gyakorló együttműködések, szövetségek (köztük az Európai Unió) az eddigi mintegy fél év során lényegében véve kitartottak, és az államok, ha nem is értenek egyet, de legalább nem követnek a többiek érdekeit sértő saját forgatókönyveket, bár a hatékonynak tekinthető együttműködés elmélyüléséről sem lehet beszélni. Ezzel szemben jelenleg számolni kell egy a korábbiakhoz viszonyítva részben egyszerűbb, de részben mégis nehezebb körülménnyel. Az 1929-es világválságot erősen megterhelte társadalmi-politikai szempontból, hogy a hatalmas munkanélküliséget az államok akkoriban még sehol sem tudták segélyvel elégségesen ellensúlyozni. A fogalom vagy nem is létezett, vagy a segély túlságosan kevés volt. A munkanélküli segély kérdése abban az időben még kormánybuktató tényezőként viselkedett. A kilátástalan jövő elé néző tömegeket a politikai szélsőségeknek viszonylag könnyű volt radikalizálniuk. Ez a probléma a fejlett világban ma nem áll fenn. Fennáll azonban az a körülmény, hogy a nagy tömegek – miként ez a történelemben mindig is megfigyelhető volt – legnehezebben abba nyugszanak bele, ha előzetesen elért életstandardjukat teszik kérdésessé. A legkisebb elvonást, megszorítást is súlyos sérelemként élik át. Márpedig a jóléti állam által nyújtott előnyökkel kapcsolatban egy ideje pontosan ez a helyzet állt elő. Ha nem is lehet ebből messzemenő következtetéseket levonni, annyit biztonságosan állítani lehet, hogy az elégedetlenség mindenütt növekedni fog, és a politikai stabilitás kérdésessé válik. Minden higgadságra, bölcsességre, találékonyságra és jó szándéokra szükség lesz ahhoz, hogy a zátonyok kikerülhetőek legyenek.

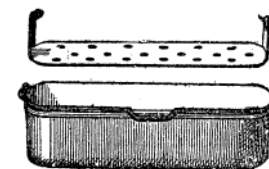
A fent mondottak kellő alappal szolgálnak néhány következtetéshez:

1. Az emberi történet valóban a válságok és megoldások egyre bonyolultabb összefüggésrendszere, amelyek során mély gödrökbe is bele lehet zuhanni, de végül ki lehet belőlük emelkedni egy más, magasabb szinten. Eddig legalábbis, ha óriási áldozatok árán is, lényegében véve ez történt.
2. A tőkés gazdaságnak vannak belső törvényei, de ezek – mint minden más esetben is – széleskörű összefüggésrendszerben helyezkednek el. Nem érvényesülnek rendszeresen, szakadatlan, és nem korrigálják magukat automatikusan. A legnagyobb baj akkor keletkezik, ha e törvényeket akár a piac szereplői, akár mások figyelmen kívül hagyják, kiigazítják, vagy súlyosan megsértik, ahogyan ez az utóbbi mintegy negyven évben többnyire történt.
3. A gazdasági válság még akkor sem egytényezős, ha az arculata döntően gazdasági, hanem mindig komplex természetű. A piaci törvényeket negligálhatják maguk a piaci szereplők, de a válság előzményeiben és kezelésében is rendszeresen szerepe van az államhatalomnak, az egész politikai

mezőnynek, az értelmiségnek, a korabeli mentalitásnak, illetve szerepük lehet merőben új, kívülről érkező impulzusoknak.

4. A megoldást nem lehet egyedül az államtól várni, mivel a játék minimum két főszereplővel zajlik, s ezek csak együtt tudják az elrontott mechanizmust korrigálni.
5. Ezért a válság megoldására belátható időn belül csak akkor lehet számítani, és az csak akkor lehet relatíve tartós, ha az államra tartozó pénzügyi és gazdasági kérdéseken kívül a megoldó formulák tekintetével vannak a többi, így a társadalmi (szociális), politikai és szellemi elemekre. A károkat csak ezen a módon lehetséges minimalizálni, vagy legalább csökkenteni.

Kulcsszavak: *válságperiódusok és válságok a kapitalizmus előtt, az emberi történet anyagi és szellemi vonulatainak viszonylagos önállósága és összefüggése, a tőkés világválságok összetett természete, a korábbi tőkés világválságok (1873, 1929) megoldási kísérleteinek gyengesége, az 1929-es világválság legsúlyosabb következménye, a 2008-ban kitört válság, mint a piac bosszúja*





HIT, VALLÁS ÉS ERKÖLCS DARWIN FEJLŐDÉSELMÉLETE ÉS SZELLEMI FEJLŐDÉSE KERETÉBEN

Gánóczy Sándor

teológus, a Würzburgi Egyetem Teológiai Fakultásának emeritus dogmatikai professzora
alexander.ganoczy@wanadoo.fr

Témám sokak szemében talán szokatlan, meglepő, de azoknak, akik olvasták Charles Darwin két főművét, az *Origin of Species*-t és a *Descent of Man*-t, magától értetődő. Hiszen látják, mennyire túlment Darwin a pusztán élettani evolúció témakörén, egészen az állati társadalom és az emberi civilizáció nagy kérdéseiig. A civilizációról írt szövegei pedig bőven tárgyalnak hitről, vallásról és erkölcsről, és pedig mint fejlődésének csúcsteljesítményeiről. Ezt szeretném előadásom első részében kimutatni. A másodikban viszont a nagy naturalista egyéni vívódásairól lesz szó, főleg önéletrajza alapján. Vívódásairól, amelyek folyamán lassan, de biztosan

eltávolodott fiatalkora vallásosságától úgy, hogy végül is agnosztikusnak vallotta magát. Ebben az összefüggésben felmerül a kérdés: Nem lett volna-e érthető, hogy egyéni szellemi fejlődése hatása alatt, az *Origin* és a *Descent* utolsó kiadásából eltüntette volna a keresztény hitről, vallásról és az arra felépülő erkölcsről szóló elismerő és a fejlődésemélet szempontjából nagyon is pozitív állításait? Minden arra utal, hogy ezt nem akarta. De hát akkor nem kell-e ebből a tényből arra következtetnünk, hogy Darwin, igazi tudós módjára, kutatásainak objektív eredményeit szubjektív problémáival szemben következetesen előnyben részesítette?

HIT, VALLÁS ÉS ERKÖLCS

Mit ért a tudós e három fogalom alatt a civilizáció fejlődéséről szóló elméletében?

1. A hit

A hit szerintem Darwinnál más, több, mint a pusztán hiedelem, még ha mindkettőt ugyanaz a *belief* szó fejezi is ki. A hiedelem inkább abban a primitív népeknél található meggyőződésben áll, hogy léteznek „minden dolgot átható és kormányozó szellemi erők” (spiritual agencies) (Darwin, 2004, 682. vö. 151.). Ma az effajta vallásosságot animizmusnak nevezzük. Darwin úgy véli, hogy ez még közel áll az állati szellemiséghez. Ösztönös adottság, veleszületett tulajdonság. Arra készíti a fejletlen embert, hogy minden természetes folyamat mögött szellemeket lásson, jókat és rosszakat egyaránt, de talán többségben inkább félelmeteseket, fenyegetőket, akiket gyakran áldozatokkal kell kiengesztelni (vö. Darwin, 2004, 118.). Az ilyen hiedelem és az erre alapozott vallásosság erős függési érzéssel párosul. Ezzel szemben az egy Istenbe vetett hitben Darwin a fejlett, civilizált, tulajdonképpen keresztény népek kiválságát ismeri fel. Egyáltalán nem általános jelenség. Csak ott jelentkezik, ahol az ember eljutott az értelmes szellemiség magaslatára. A *ratio* és a *fides* itt közel állnak egymáshoz. A hívő nem hiszékenység, hanem az Istenben való tudatos bízás alanya. Ennyiben biológusunk mint az emberi etológia úttörője, nem áll messze Pál apostoltól.

Miben, kiben hisz, illetve bízunk a hívő? Abban – írja Darwin –, akit mint „egyetemes és jótevő Teremtőt”, „universal and beneficent Creator”-t ismert fel. (Darwin, 2004, 682.). Mivel az általa teremtett világ fejlődő történelem, a hit Istene egyben kormányzó,

„Ruler” is. Az emberiség javára az. A belévetett bízó hitet tudósunk többször „enobling belief”-nek, nemesítő hitnek nevezi (Darwin, 2004, 116., 151.). Hiszen felemeli, gazdagítja és az evolúció előrevitelére alkalmas tulajdonságokkal ruházza fel. Például felkelti benne a képzelőerőt, szintúgy a kérdéses vágyát, a csodálkozni tudást, és főleg az erkölcsi érzéket (Darwin, 2004, 682.).

Ellentétben az akkoriban Angliában elterjedt „természetes teológia” képviselőivel, akik között Darwin William Paley-t elég jól ismerte (Paley, 1794 [1811]), ő nem tulajdonított fontosságot az ún. istenbizonyítékoknak. Mondhatnám talán, hogy jobban érdekelte, milyen a hit Istene, és mily hatásokat tudnak be neki a hívők, mint a kérdés, hogy létezik-e vagy sem. Így azok érvelését, akik a hit elterjedtségéből, sőt állítólagos általánosságából Isten létezésére következtetnek, „elhamarkodottnak” ítélte (Darwin, 2004). Meggyőzőbb volt neki az a meglátás, hogy Isten értelem, és hogy az ember „Istenre hasonlító”, „godlike” értelemmel rendelkezik (Darwin, 2004, 689.).

Másrészt fontos, hogy ez az istenkép megfelel az evolúcióelmélettel adott, abban gyökerező történeti világszemléletnek. A „Creator” egyben „Ruler” is (Darwin, 2004, 116. vö. 518.). Tehát nem elégzik meg a világ egyszeri megteremtésével, hanem továbbra is irányítja fejlődését, amennyiben szabad érvényesülést enged a természet öntörvényűségének. Szerintem jogos így értelmeznünk azokat a mondatokat, amelyeket az *Origin* utolsó oldalain olvasunk, és amelyeket Kampis György fordításában idézek: „Nem felemelő elképzelés-e, hogy a Teremtő az életet különböző képességeivel csupán néhány vagy akár csak egyetlen formába lehelte bele”, és hogy azoknak a „csodálatos formáknak serege,

amely ilyen egyszerű kezdetből származott, nem szünt meg fejlődni és továbbra is fejlődik?” Néhány sorral ezelőtt Darwin ezt írja: „amit a Teremtő által az anyagba beleadott törvényekről tudunk, jobban összhangban áll, ha a föld múlt és jelen lakóinak létrejöttét és elpusztulását másodlagos okok [secondary causes] vezérlik, akárcsak az egyetlen születését és halálát” (Darwin, 2007).

Darwin nem filozófus, még kevésbé Arisztotelészt követő metafizikus. Nem biztos tehát, hogy ezeket a „másodlagos okokat” egy isteni „első okhoz” viszonyítja. Mindazonáltal gondolatmenete szoros kapcsolatba hozza a teremtés gondolatát azzal, amit ma a természet „önszervezésének” nevezünk. Semmi esetre sem zárja ki az utóbbi az előbbi, még ha a kettő két lényegesen különböző megismerérendszerhez is tartozik. Mi ez, ha nem analóg beszéd, amelynek természet-tudásunk egyébként kiváló mestere?

Tudott dolog, hogy ma nem egy újdarwinista szerző az említett két megismerérendszerből a teológiai elhallgatja, sőt jelenlétét Darwinnál különböző ürügyekkel tagadja. Ilyen „redukcionista” módon jár el például Richard Dawkins, aki idézetünkéből a „Creator” nevet egyszerűen kihagyja, ha jól tudom azzal az ürüggyel, hogy azt Darwin 1860-ban külső nyomásra volt kénytelen szövegébe beleírni. Ez ellen a feltételezés ellen szól a tény, hogy szerzőnk 1860 előtti szövegeiben is számos helyen tárgyal a Teremtőről (Gánóczy, 2008, 1468–1486., különösen 1473.).

Számomra fontos, hogy az *Origin*-ben és a *Descent*-ben tett kijelentések semmiképp sem hitvalló szándékra, hanem tudományos megfigyelésre vezethetők vissza. Azaz a szerző arról akar beszélni, amit a fejlett és kevésbé fejlett társadalmakban mint alapvető szellemiséget, meg tudott állapítani.

Ez a vélemény szerintem arra a megállapításra különösképpen vonatkozik, hogy a legcivilizáltabb népeknél a fejlődélméletet harmonikusan össze lehet kapcsolni nemcsak az „egyetemes és jótevő Teremtő”, hanem a lélek halhatatlanságának gondolatával is (vö. Darwin, 2004, 682.). Tudomásom szerint Darwin nem foglalkozott behatóbban a „vadás”, illetve a primitív népek temetési szertartásaival és a túlvilágra vonatkozó mítoszai-val. Így tulajdonítja kizárólag a civilizált népeknek azt a történeti és történelmi életfelfogást, amely a halálnak lényegileg átmeneti jelleget ad. Semmiképpem sem látja benne a folyamatban levő fejlődés megsemmisítését (vö. Darwin, 2004, 171.). Érdekes módon így az örökkévalóság gondolata, bizonyos mértékben és megnevezetlenül, belekerül az evolúcióelméletbe. Ez hasonlít a mai teológia ama tételéhez, amely szerint az, ami örök, sem nem időtlen, sem nem végtelenül meghosszabbított folyamat, hanem fejlődni képes élet, vagy mindig új lehetőségek szakadatlan megvalósulása (lásd Pannenberg, 1980, 188–206.).

Ezen a ponton szeretnék visszatérni a darwini elméletben vázlatosan kirajzolódó istenkép egyik ritka, de érdekes megnyilatkozásához: Isten lényegében Teremtő. Nem csak jótevő, életet és annak javát akaró alkotó, de páratlan szervező is. Az *Origin* 1872-ben, tehát Darwin halála előtt tíz évvel megjelent kiadásában összehasonlítást találunk a távcső mint a technika remekműve, és az emberi szem mint Isten műve között. Idézet: „Van-e jogunk feltételezni, hogy a Teremtő ugyanolyan szellemi képességekkel rendelkezik, mint az ember?” Nem kell-e inkább arra következtetnünk, hogy a szem „mint élő optikai eszköz” annyival tökéle-
sebb az üvegből gyártottnál, „mint ameny-

nyivel a Teremtő műve felülmúlja az ember művét?”¹ Persze Darwin nem lenne Darwin, ha nem idézné fel ugyanakkor a természetes tenyészkiválasztódás elvét is. Hiszen az is közrejátszik az ember látószervének tökéletességében. Ezt kifejteni a természettudós elsődleges feladata. Ily módon egy ritka, teológához hajló kijelentés beleilleszkedik a gyakran tett természettudományos kijelentésbe. A kettő világosan meg lesz egymástól különböztetve, de nem szükségszerűen szétválasztva.

Legyen elég ennyi a hit témájáról, amelyet Darwin az értelmes és jótevő Teremtőbe vetett bízó hitként ír le a civilizált emberről alkotott képe keretében.

2. A vallás

A modern teológiai tudomány különbséget tesz a hit és a vallás fogalma között. Először is tudatában van annak, hogy míg a Biblia az Istenbe vetett hitről behatóan és részletesen tárgyal, nem ismeri a latin *religio*-nak megfelelő fogalmat. Sem azt, amelyet a *religare*, azaz *összekötni* igéből vezetett le egy bizonyos hagyomány, de azt sem, amelyet Cicero és követői a *relegere azaz át- meg át-olvasni* igéből képezték. Ami az elsőt illeti, a *Biblia* különböző szövegei annyira a személyesen és szabadon Istenbe vetett hitre helyezték a hangsúlyt, hogy az azzal járó különböző köztöttségeknek nem juthatott az elsődleges követelmény helye. Sem a választott néphez való veleszületett hozzátartozás, vagy az abban való tagság köteléke, sem egy változatlan erkölcsi törvény által okozott köztöttség, sem pedig tanok, szertartások, fegyelmi szabályok betartása. Már a próféták is

ostorozták azt a vallásosságot, amely számára a betű többet jelent, mint a szellem, a kötelék-re való hivatkozás többet, mint az élő hit.

Ami a második, a *relegere* igéből levezetett vallásfogalmat illeti, amely a szabályok aggályos betartására helyezi a hangsúlyt, az sem lett az őskereszténység éltető elemévé. Azonosságát sokkal inkább a hit aktusa, más szóval az evangélium személyes megismerésre és szabad választásra alapuló igénylése határozta meg. Ez okból keresztelték az Ősegházban nem csecsemőket, hanem csaknem kizárólag eszüket tudó, felelős döntésre képes személyeket. A kereszttség szentségét kérni kellett, elő kellett rá készülni, és nyilvánosan kifejezett egyéni hitvallás révén lehetett elnyerni. Már ezért is nevezték a keresztényt egyszerűen hívőnek és nem *vallásos embernek*, *homo religiosus*-nak.

A vallás tehát inkább a hívők által felépített, szükséges és hasznos intézmény, de ilyen értelemben ugyanakkor másodlagos alkotás. Jellemzői: a tagság egy adott helyi csoportban; részvétel a gyülekezet szertartásán; engedelmesség a vezetőikkel, a klérussal szemben; tanok, törvények, hagyományok követése. Erre határesetekben még nem hívő személyek is képesek voltak, ami a formalizmus veszélyét foglalta magában. Sőt a képzettségét is, hiszen az egyházi hatóság sok esetben a látszat szerint ítél és büntetett.

Nem valószínű, hogy Darwin effajta megkülönböztetéseknek a hit és a vallás között tudatában lett volna. Mindenesetre az egy és jótevő Istenbe vetett hitet az evolúció vívmányának tekintette, és feltehetőleg azt értette a „religious feelings” kifejezés alatt is, amelyet én hol vallásos „érzéssel”, hol pedig vallásos „érzelmekkel” fordítottam le. Nyilvánvaló, hogy a fejlődés alacsonyabb fokán az érzelmi, emocionális elemek uralkodnak, és

¹ *The Origin of Species*. Ch. 6: *The Difficulties of the Theory. Organs of Extrem Perfection and Complication*

az érzék inkább előrehaladott vallásosságnak felel meg, ahol már a hit kerül az előtérbe. Darwin itt is folyamatot látott. Olyant, ami az elején közel van az állati ösztönökhöz, így például egy háziállat gazdája iránti szimpátiájához, sőt szeretetéhez, de amely az evolúció magasabb fokán a tudatos és szabad istenhit jellegzetességét mutatja, és amely természet-szerűleg kifinomult erkölcsi érzékkel párosul (vö. Darwin, 1954, 171.). Annyi biztos: Darwin szerint mindkét érzék, a vallási és az erkölcsi, állati gyökerekből is táplálkozik (vö. Darwin, 1954, 157.).

Tudomásom szerint tudósunk sehol sem ad a vallás jelenségéről pontos fogalom meghatározást. De leírja azt, amit megfigyelt. A vallásos érzék – írja – „igen komplex jelenség”. Miben mutatkozik meg? Készségben arra, hogy maradéktalanul alávessük magunkat egy „titokzatos módon fölényesen rendelt lénynek, az attól való függésünk tudatában, félelemben, tiszteletben, hálában [...], reménységben”. Az erre való képesség „mérésékeltlen magas” fejlődési szintet tételez fel, amelyet azonban nincs jogunk megvetni. Gondoljunk csak legkedvesebb háziállatunkra, a kutyára, amelynek gazdája iránti „mély szeretete [deep love]”, biztosan a vallásosság előlegezett jelenségei közé számítható (Darwin, 1954, 118., vö. 119., 129.).

Vigyázat azonban! Az emberi vallásosság nem csak jó és hasznos tettekben tud megnyilvánulni. Darwin nem vár sok jót az animista szellemhiedelmektől, a fétiszizmustól és a többistenhitől. De még az egyistenhit magaslatára jutott kereszténység történelmében is emlékeztet hol babonák burjánzására, hol erőszakos térítési kísérletekre, hol boszorkány- és eretneküldözésre, vallásháborúkra. Bizony, a legnemesebb vallás sem tudta elkerülni, hogy Istenből, aki jötevé

Teremtő, vérszomjas istent csináljon. Amennyiben a természettudományok egy ilyen vallásosságtól szabadították meg a civilizált nemzeteket, azok mély hálával tartoznak nekik. Mindent egybevetve, a vallás is époly kevésbé mentes a tévedéstől és az eltévelyedéstől, mint az állati ösztön (Darwin, 1954, 119.).

Visszatérve a hit és a vallás fogalma közötti megkülönböztetésre, legyen szabad a következő kérdést feltennem: Azt a tényt, hogy Darwin egyénileg fokozatosan az agnoszticizmus útjára tért, nem lehet-e sokkal inkább a kora és a környezete által gyakorolt vallástól való elidegenedésként, mintsem a keresztény hit elvetéseként értelmezni?

3. Az erkölcs

A darwini fejlődésemélet nem tulajdonít az erkölcsnek kevesebb jelentőséget, mint a vallásnak és a hitnek. Hiszen számára az előbbi az utóbbiak gyümölcse. Lehetetlen a fát gyümölcs nélkül és a gyümölcsöt fa nélkül elképzelni.

Darwin ebben a kérdésben is hű marad az emberi állatóság paradigmájához. Erkölcsi magatartásunk a magasabb rendű állatfajok „szociális ösztöneivel”, egyedeik egymás iránt nyilvánított „szimpátiájával” veszi kezdetét (Darwin, 1954, 120.k; vö. 125., 128.). A fejlődés alacsonyabb fokán persze az ösztönös rokonszenv a saját csoport és faj kereteire van lehatárolva. Az idők folyamán azonban az ösztön egyre inkább tudatos magatartásnak ad helyet, és egyre inkább kiterjed más csoportok és fajok tagjaira is. Másrészt az ösztönös szimpátia még csaknem teljes mértékben az erős és egészséges társak felé irányul. A tudatosított, szabadon akart rokonszenv a haszontalan vagy beteg társ iránt is érdeklődik (vö. Darwin, 1954, 120., 132–134., 149., 159.). Ez a módosulás kockázattal is jár, hiszen

veszélybe hozhatja a saját közösség biológiai minőségét, már azáltal is, hogy fékezi a természetes tenyészkiválasztódás és az életharc érvényesülését. Végül degeneráló hatással is járhat (vö. Darwin, 1954, 120., 159.k).

Ezen a ponton tesz tudósunk egy elmélete számára nagyon fontos megkülönböztetést szimpátia és szeretet között (vö. Darwin, 1954, 129.). Miért képes az utóbbi többre, jobbra, mint az előbbi? Mert nem merül ki érzésekben, emóciókban, spontán és múlandó kapcsolatok létrehozásában. Mivel a szeretet ítélőképességgel párosul, nemcsak érzék, hanem tudó, látó, ítélő és döntésre képes viselkedésmód is. Erejét abból meríti, hogy összehasonlítja egymással múlt és jövő még csak tervezett tetteit, és vagy helyesli, vagy elítéli azokat. Mivel erre az alacsonyabbrendű állat képtelen, Darwin habozás nélkül jelenti ki: „egyedül az embert sorolhatjuk bizonyossággal az erkölcsi létezők [moral beings] közé” (Darwin, 1954, 135.).

Itt jön azonban teljes világosságra az összes idevágó fejtegetés mögött rejlő bökkenő. Hogyan fér meg ez a szereteterköls a „natural selection” és a „struggle for existence” könyörtelen s ugyanakkor minden létezőre kiterjedő törvényeivel? Azzal a megállapítással, hogy a különböző egyedek, csoportok és fajok ugyanazon életér birtoklásáért egymással versengeni kénytelenek. És azzal a ténnyel, hogy ez az életharc a legtermészetesebb módon oda vezet, hogy a jobban alkalmazkodó a kevésbé alkalmazkodót, az erős a gyengét, a magasabbrendű az alacsonyrendűt, a civilizált a „vadat” az élettérből kiszorítja, elnyomja, sőt elpusztítja. Tudott dolog – bár sokan nem hajlandók tudomásul venni – hogy a *Descent* 5. fejezete úgy tárgyal a szelekcióról, hogy rasszista, elitista, nacionalista ideológiák saját elméleteik és gyakorlataik

igazolását találhatták benne. Legyen szabad erre a nyitott kérdésre hipotetikus szerénységgel válasszal próbálkoznom. Annyi biztos, hogy Darwin egy jótányit sem enged meggyőződéséből, hogy a természetes tenyészkiválasztódás és az élettan törvényei nem határolhatók le pusztán biológiai folyamatokra. A civilizációra is kiterjed, szintúgy, mint a különböző nemzetek egymáshoz való viszonyára. Sőt mi több: maga az emberi erkölcs, amely szintén fejlődésnek köszönheti magát és különböző szinteket ér el, az említett ketős törvényszerűség hosszú távú érvényre jutásának tudható be. Beleértve a szereteterkölsöt is, amely esetenként annyira túlmegy a természet által diktált közösségi határokon, hogy gyakorlatilag több értéket tulajdonít a kicsinek, mint a nagyoknak, a gyengének, mint az erősnek, a szenvedőnek, mint a boldognak. Ezekben az esetekben úgy látszik, hogy a szelekció mintegy önkritikát gyakorol. Biztosan szép és jó gondolat ez, de ki mondja ki? Ha maga Darwin tesz erre legalább célzást, hol teszi ezt?

Szerintem a *Descent* következő mondatában: „Mindenfajta fejlődés egymással konkuráló, kedvező körülményektől függ. A természetes tenyészkiválasztódás csupán kísérletszerűen [tentatively] működik. Egyedek és fajok nyertek ugyan általa elvitathatlan előnyöket és mégis elpusztultak, mert más téren hibáztak” (Darwin, 1954, 167.). Úgy vélem: ez a kijelentés kizárja a szelekciótörvény determinista és abszolút értelmezését. Nem működik tehát kérelhetetlen szükségszerűséggel. Ismer kivételeket is. Nem hasonlítható abszolutista egyeduralgó viselkedéséhez. Helyet enged más törvényszerűségeknek is. És amit megvalósít, azt sok esetben hosszú kísérletezések árán teszi, melyek nem mentesek hibáktól és tévedésektől

sem. Mintha a természetre magára is alkalmazhatnánk a kutató tudós munkájának jelszavát: „trial and error”!

Eszerint a darwini alaptörvény több irányban kaphat érvényt, és sok ellenlábás törvénnyel kell megbirkóznia és boldogulnia. Van olyan eset, ahol az élőlények mennyiségét növeli, és olyan, ahol inkább egyedeik minőségét. A civilizáció nemegy esetben megnehezíti maradéktalan érvényrejutását (Darwin, 1954, 161.). Megtörténik, hogy a neki köszönhető haladás megtorpan és visszaesésnek ad helyet. Itt az erősebb jogát támasztja alá, ott meg kivételesen a gyengébb jogait. A haladás nem egyirányú és nem változatlan törvény. Darwin maga írja: nem „invariable rule” (vö. Darwin, 1954, 166.).

Szerintem itt még egy, témánk szempontjából fontos gondolat jelentkezik. Darwin egyes eszmefuttatásaiban egy olyan jelenségről beszél, amelyet én a szelekció „önellenőrzésének” nevezek. Ez a gondolat közel áll a mai fejlődéstanban központi jelentőséggel bíró „önszervezés” gondolatához, de ugyanakkor Darwin erkölctanához is, amely az „önfegyelmet” a „self-command”-ot (Darwin, 1954, 127., 139., 143.: Chastity eminently requires self-command”. vö. 144.) a legfontosabb erények közé sorolja. Nos, amennyiben a szelekció önmaga eredményeit is szelektálja, amennyiben különbségeket tesz, az adott helyzetet figyelembe véve, teljes és részleges, erős és gyenge érvényesülés között, amennyiben az alkalmazkodási követelményt például erkölcsi megfontolások alapján viszonylagossá teszi, megszűnik türelmetlen egyeduralkodó módján működni.

Szerintem Darwinnak ezt a minden bizonnyal mellékvágányon jelentkező, de elvitathatatlanul jelenlevő gondolatmenetet világosabban kellett volna megfogalmaznia,

és a *Descent* 5. fejezetét újra kellett volna írnia. Akkor elkerülhette volna a determinista félreértéseket, és a szelekció törvényét jobban belehelyezte volna a nem kiküszöbölő, hanem összekötő, a koegzisztenciára, a szimbiózisra és a koevolúcióra készítő, szelídebben működő természettörvények összefüggésébe. Így jobban előtérbe kerülhettek volna a közjó, a „general good” (Darwin, 1954, 145.) értékei is. Mindenesetre nem hozok a darwini hagyatékba Darwin-idegen elemeket, amikor hangsúlyozom, hogy ott nemcsak a másokkal, de az önmagukkal vívott harc és küzdelem is fontos szerepet játszik. Minden állat, minden ember saját ösztöneit és érdekeit is kordában hivatott tartani, azokat is rendben tartani az alacsonyabb- és a magasabbrendűség mércéjét követve (vö. Darwin, 1954, 149.).

Szerintem így lehet a szelekció és az erkölcs két alapelvét egymással korrelációba hozni anélkül, hogy az egyik lemondana önmagáról a másik javára. Amennyiben ez az értelmezés elfogadható, a tárgyilagos Darwin-kutató jobban megérti azokat az erényeket, amelyeket tudásunk a civilizált embertől elvár: megértés, tapasztalás, jól felfogott önérték követése, nevelni tudás, készség az önnevelésre, a mások másságának tiszteletben tartása (vö. Darwin, 1954, 163.), az embertárs méltányos megítélése, a közjó szorgalmazása, érzék a jó és a rossz közötti különbséghez, a veszélyben forgó társteremtény, a „fellow creature” – legyen bár az ember vagy állat – megvédelme, szeretet a családon belül és azon túl (Darwin, 1954, 681.).

Logikus, hogy ott, ahol Darwin ezekről az erényekről beszél, visszakanyarodik az Istenbe vetett hit témájához. A következő megfigyelésének ad kifejezést: „A civilizált fajoknál az a meggyőződés, hogy létezik egy

mindent áttekintő istenség, nagy hatással volt az erkölcsiség előrehaladására”. Ez az „istenség” megérdemli a „jótévő Teremtő” nevet (Darwin, 2004).

Darwin szellemi fejlődése

Előadásom második részének fő forrása Darwin önéletrajza lesz, nevezetesen annak 1958-ban unokája, Nora Barlow által teljességében helyreállított és kiadott szövege (Barlow, 1958).

Eredetileg Darwin ezt a rövid, körülbelül százhusz oldalas számláló írást nem kívánta nyilvánosságra hozni. Családi használatra szánta, már azért is, mert sok olyan részletet tartalmaz, amely csak közeli hozzátartozóit érdekelhette. Annak, amit a hit, a vallás és az erkölcs terén személyesen megélt, egy nem egészen tizenkét oldalas exkurzust szentelt. Az *Origin*-nel és a *Descent*-tel ellentétben, kezdettől fogva valláskritikát gyakorol. De számomra jellemző, hogy nem az Istenbe vetett hitet mint olyant teszi szigorú bírálat tárgyává, hanem azt a vallásgyakorlatot, amely korában és környezetében uralkodott, és amely az ő szemében érthetetlen módon nem annyira az *Újszövetség* illetve az evangélium, mint inkább az *Ószövetség* istenképén alapult. Ez pedig, írja Darwin, Istent mint „megtortlásra éhes tirannust” (Barlow, 1958, 85.) festette le; mint olyan Úristent, aki logikus módon csak örök kárhozatra ítélni azokat, akik nem hisznek benne, így elsősorban Darwin saját apját, fivéreit és nem egy barátját. Nos – írja –, ha a keresztények istene tényleg ilyen, akkor ő csak szívből kívánhatja, hogy ne létezzék (Barlow, 1958, 87.). Hiszen nem egyezik meg a „jótévő Teremtő” fogalmával, azzal, aki inkább az evangéliumokban jelenik meg, nevezetesen azoknak helyesen értelmezett metafórái, példabeszédei

tükrében, és amely egy „szebb erkölcsöt” testesít meg és követel (Barlow, 1958, 86.).

Az *Önéletrajz* tartalma nem enged arra következtetni, hogy szerzője valaha is átolvasta volna az egész *Szentírást*, vagy hogy kikérte volna hozzáértő szentírásstudósok véleményét, akik különbséget tudtak volna tenni annak lényeges, maradandó és mellékes, idejétmúlt kijelentései között. Így érthető, hogy tudásunkat egyszer és mindenkorra megbotránkozta a *Teremtés könyvének* ama állítása, hogy Isten hat nap alatt külön-külön és teljesen kész állapotban teremtette volna meg a csillagrendszert, a növényeket, az állatfajokat és az embert. A „separate creations” tételét a tudomány nevében csak elvethette. Persze ma tudjuk, hogy az adott irodalmi mű tulajdonképpen mondanivalója nem effajta mitikus menetrend bizonyítása volt, sokkal inkább Isten és az ember egymáshoz való viszonyának szimbolikus emlékezetbe idézése.

Ámde Darwinnál nem csak az akkoriban már Francia- és Németországban meglévő szöveg- és hagyománykritikai eszközökkel dolgozó szentírásstudomány eredményei hiányoztak. Ugyanakkor kezdett hadilábon állni az Angliában akkoriban elterjedt „természetes teológia” filozófiai törekvéseivel is, már amennyiben az, így például a cambridge-i William Paley *The Evidences of Christianity* című műve, mindenáron istenbizonyítékokat keresett. Azt, amit az okoskodó hittudomány Istenről mint az élőlények személyes és értelmes tervezőjéről és megteremtőjéről bizonyítani vélt, Darwin képtelen volt összhangba hozni a természetes szelekcióra alapozott fejlődélmélettel. Ebben az összefüggésben írja: „A szerves lények változatosságában nem jelentkezik több tervezettség egy értelmes létező által, mint a szél fúvásában.

A természetben minden meghatározott törvények eredménye” (Barlow, 1958, 87.).

Nem akarom firtatni, hogy vajon a hasonlat a szél fúvása és a természetes szelekció között meggyőző-e vagy sem. Inkább azt tartom fontosnak, hogy itt írónk mint kételkedő keresztény nem annyira egy létező vagy nem létező világterv iránt érdeklődik. Sokkal inkább az a kérdés számára, hogy a minden bizonnyal bizonyítható természettörvények lehetővé teszik-e vagy sem, hogy az élőlények boldoguljanak, és hogy ez és ez a konkrét ember még a halál határán túl is kiteljesedése felé tudjon haladni. Személyesen meg van győződve arról, hogy ami csak él, boldogságra lett teremtve, és hogy maguk a természettörvények is végeredményben ezt a célt követik. Ez a szorongó, érzékeny, visszavonultságban élő, de családját szenvedélyesen szerető ember egyáltalán nem pesszimista. Abból, amit megfigyelt, arra következtet, hogy a világban több a jó, mint a rossz, több az öröm, mint a szenvedés. Igaz, úgy mond, hogy egyes írók a szerte a világon feltornyosuló „tengeren szelvényezés” látására kétségbe vonják egy inkább áldásos világrend, egy „generally beneficent arrangement” lehetőségét. Tévdenek. Az életet minden nehézség ellenére érdemes élni. Az igazság az, hogy a természet ölen a jó, a szép, a boldogító többségi jelenlét, bár ezt statisztikailag nem lehet bizonyítani. De ha nem így lenne, hogyan tudnánk megmagyarázni, hogy minden élőlénynek kedve van a szaporodásra, az élet továbbadására. Aki a természettörvények mögött felfedezi Istent, az annak mindenhatóságát spontán módon összekapcsolja jóságával. Még akkor is, ha lépten-nyomon tapasztalja, hogy ez a jóság nem határtalan (Barlow, 1958, 90.). Mindenesetre a jó Isten nem lehet barátja a szenvedésnek.

Nos, ezzel a gondolatmenettel kapcsolja össze Charles Darwin – aki most vallomást tesz, és nem tudományosan következtet – meggyőződését a lélek halhatatlanságáról. Idézem: „Valamikor én is ilyen módon éltem abban a bizonyosságban, hogy Isten létezik, és a lélek halhatatlan [...]. Jól emlékszem meggyőződésemre, hogy van valami az emberben, ami több mint a lélegzet, amely csupán a testet élteni. Igaz, hogy azóta ezen a téren olyan lettem, mint a színvak, aki nem érzékeli a dolgok színpompáját” (Barlow, 1958, 91.). (Megjegyzendő, hogy aki nem érzékeli a színt, nem tagadja szükségszerűen annak létezését).

A következőkben Darwin áttér a jelenidőre: „Ami a halhatatlanságot illeti, az úgy mutatkozik számomra, mint egy csaknem ösztönös hiedelem”. Annak szemében, „aki hiszi, mint jómagam is, hogy az ember a távoli jövőben egy sokkal tökéletesebb teremtmény lesz, mint amilyen ma, elviselhetetlen a gondolat, hogy ő és minden más érző létező ilyen hosszú és lassú haladás után, teljes megsemmisülésre lenne ítélve. Azoknak, akik fenntartás nélkül hisznek az emberi lélek halhatatlanságában, világegyetemünk összeomlása nem tűnik szerfölött fenyegetőnek” (Barlow, 1958, 92.). Hozzáteszem: talán ez a hit vet fényt arra, hogy Darwin utolsó szava – fia, Francis tanúsága szerint – így hangzott: „Egyáltalán nem félek a haláltól” (lásd az *Önéletrajz* német fordítását: Darwin, 1982).

Aztán az *Önéletrajz* így folytatódik: „Van még egy másik forrása is a meggyőződésnek, hogy Isten létezik [...], amely számomra még nagyobb súllyal esik a latba, és amely abból [...] a lehetetlenségből származik, hogy a világegyetemet, beleértve [...] az embert is, vak véletlen vagy szükségszerűség eredményeként fogjuk fel. [...] Én arra ér-

zem készítenve magamat, hogy egy értelmes szellemiséggel bíró első okra gondoljak, amely bizonyos mértékben az emberhez hasonló. Ennyiben megérdemlem, hogy teistának nevezzenek”.

Mire vonatkozik itt a filozófiai és teológiai szakkifejezés: „teizmus”? Olyan személyekre, akik elfogadják, hogy létezik egy személyhez hasonló, szabad és gondviselő Isten, akinek tevékenysége nem szűkíthető le a világ merő megteremtésére, a történelem elindítására. Mármost Darwin – már amennyiben teista –, ennek a Teremtőnek egy „különleges szándékot” „special purpose”-t tulajdonít. Sem a létrejövés, sem az evolúció eseményeit nem bízza a vak véletlenre vagy a szintén vak és kérlelhetetlen szükségszerűsége.

Darwin a *Descent* vallási kérdéseknek szentelt részében tehát a „creatio”-t és az „evolúció”-t olyan döntésnek, illetve döntéshozatalnak tudja be, amelyet össze mer hasonlítani a földműves elhatározásával, hogy szántóföldjét ezzel vagy azzal a veteménnyel veti be, vagy egy emberével, aki élettársat választ (vö. Darwin, 1954, 683.).

Az *Önéletrajz* azonban nem áll meg ezzel a jelenidőben fogalmazott hitvallással. A szerző bevallja, hogy teista istenképe egyre inkább elkopott. Erőt vett rajta a kételkedés. Az évek folyamán hitének átható ereje megcsappant. Elfoglalta helyét a nemtudás tudata. Főleg a világegyetem eredetének titokzatosága lépett előtérbe. Így nyilatkozik: ami a mindenség keletkezésének misztériumát illeti, az – be kell látnunk – felderíthetetlen. Ennyiben „meg kell elégednem azzal, hogy agnosztikus maradok” (Barlow, 1958, 94.).

Persze nem könnyű dolog agnosztikusként élni, ha az ember éles erkölcsi érzékkel van megáldva. Hol keresse életgyakorlata irányelveit, normáit? Idézem Darwint: „Aki

nem biztos egy személyes Isten létezésében vagy a halálon túli életben [...] az csak abban találhatja életének erkölcsi irányítását, hogy legerősebb [...] ösztöneit követi, amelyeket helyesnek ítél. Hasonlóan a kutyaéhoz, aki persze ezt vakon teszi, míg az ember előre és visszafelé tekintve, összehasonlítja különböző érzéseit, vágyait és emlékeit”. Ha szerencséje van, akkor nála nem az alacsonyrendű, hanem a szociális ösztönök kerekednek felül. „Ami engem illet – írja – úgy vélem, helyesen cselekedtem, amikor életemet a tudománynak szenteltem” (Barlow, 1958, 94.).

Néhány következtetés

Több idő kellene ahhoz, hogy Darwin tudományos megfigyeléseit személyes tanúságtételével egybevevessük, és következtetéseket vagy legalábbis magyarázatkísérleteket fűzzünk a mondottakhoz. Erre itt nincs idő. Marad számomra néhány ideiglenes vélemény vagy inkább erős benyomás vázlatos megfogalmazása.

Először is, mint teológus úgy vélem, hogy Charles Darwinnak nem adatott meg egy nevéhez méltó szentírás- és hittudomány megismerése. Kérdései sok esetben teológiai jellegűek, hiszen Isten mivoltára és a fejlődő természethez való viszonyára vonatkoznak. Minden látszat szerint azonban csak igen szórványosan kapott rájuk kielégítő választ.

Így maradt számára a szociológiáig menő természettudományos ítélet. E szerint és ennek értelmében ismerte el a hit és a vallás evolutív jellegét és magasabbrendűségét. Bár egyénileg, főleg egy bizonyos vallásgyakorlattal és az annak megfelelő dogmákkal kapcsolatban egyre több nehézsége lett, tárgyilagossága arra készítette, hogy az egy és jótévő teremtő Istenbe vetett hitnek magas értéket és civilizáló hatást tulajdonítson.

Ez az objektívnek, tehát tudományosnak ítélt felismerés indította arra, hogy két történetiséget hozzon egymással szoros kapcsolatba: a haladásra hivatott evolúcióét és a halhatatlan életre képes emberi személy örökkévaló jövőjét.

E kettős történetiséggel függ össze talán az is, hogy Darwin kész volt a természetes tenyészkiválasztás egyetemes érvényesülését viszonylagossá tenni, amennyiben az sem nem kizárólagos módon, sem nem abszolút szükségzerűséggel irányítja az élők fejlődését, hanem, mint mondja, „kísérletszerűen”, „tentatively”. Mintegy a „trial and error” elvét követve.

Az egyik tényező, amely a szelekció alap törvényét viszonylagossá teszi, nem más, mint a szociális ösztönök és a természetes szimpátia szövetsége. Ebben gyökerezik a szeretet dinamikája is. Azon szülői, gyermeki, a szexuális vágyat és az önfeláldozást közös nevezőre hozni képes szeretetét, amely nélkül nincs valójában fejlett emberi társadalom.

IRODALOM

- Barlow, Nora (1958): *The Autobiography of Charles Darwin 1809–1882. With original omissions restored. Edited with Appendix and Notes by his granddaughter Nora Barlow.* (Idézve zarojelben: A és oldalszám)
- Darwin, Charles (1982): *Ein Leben. Autobiographie, Briefe, Dokumente.* Herausgegeben von Siegfried Schmitz, dtv, München, 162 k.
- Darwin, Charles (2004): *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex.* Penguin Books, London
- Darwin, Charles (2009): *A fajok eredete természetes kiválasztás útján.* Typotex, Budapest, 430 k.

Minden jel arra mutat, hogy ez a becsületes és finomlelkű ember, ez az ízig-vérig kutató és kérdésekkel küzdő boldogságkérésű családján belül, barátai körében és társadalmi felelősségvállalásában ezt az etikát kívánta élni. Hogy ateistává lett volna az idők folyamán? Nagy műveinek áttanulmányozása után úgy vélem: nem. Hogy a teista és az agnosztikus álláspontok között ide-oda járt, az valószínűbb. De itt se ítéljünk elhamarkodva. Az agnosztikus nemtudás, melynek tárgya Darwinnál főleg a világ keletkezésének, illetve „megteremtésének” misztériuma, nem mosható össze az ateista istentagadásával. Szerintem a hívó is bizonyos mértékben megérdemli az agnosztikus nevet. Hisz ő sem tudja mindazt, amit hite tárgyává tesz, miközben élete végső értelmét keresi. A hit útja is keresést jelent, szintúgy, mint a szeretetét.

Kulcsszavak: *evolúció és civilizáció, istenhit, Teremtő, vallásos magatartás, erkölcs, szeretet és tenyészkiválasztódás, teizmus, agnoszticizmus*

- Gánóczy Sándor (2008): A „Kreacionizmus” és az „értelmes tervezettség” a teológiai kritika mérlegén. Magyar Tudomány. 12, 1468–1486, különösen 1473.
- Paley, William (1794 [1811]): *The Evidences of Christianity.* Cambridge, <http://books.google.hu/books?id=AqoHAAAAQAAJ&hl=en>
- Pannenberg, Wolfhart (1980): Zeit und Ewigkeit in Israel und im Christentum. In: Pannenberg, Wolfhart: *Grundfragen systematischer Theologie. Gesammelte Aufsätze.* Band 2. Vandenhoeck und Rupprecht, Göttingen, 108–206.

IN MEMORIAM ABRAHAM LINCOLN

Hahner Péter

tanszékvezető egyetemi docens,

Pécsi Tudományegyetem BTK Történettudományi Intézet Újkortörténeti Tanszék
hahnerpeter@t-online.hu

Aki nem tanulmányozta alaposabban az Egyesült Államok történelmét, talán nem is értheti, miért tisztelik annyira az amerikaiak Abraham Lincoln emlékét. Elvégre nem tudta megakadályozni, hogy elnöksége idején kirobbanjon országa történelmének legvéresebb háborúja, egy polgárháború, amelyben 360 ezer északi és 260 ezer déli katona esett el, s a polgári áldozatokkal együtt a halottak száma minden bizonnyal meghaladta az egymilliót. A felületes szemlélőnek úgy tűnhet, hogy az Unió (az északi államok) elsöprő gazdasági fölénye eleve biztosította a háborús győzelmet a szövetségi kormányzat számára, s ehhez nem sokban járulhatott hozzá az elnök. Ráadásul Lincolnt a háború végén meggyilkolták, s ezért a nemzeti egység helyreállítására sem az ő elvei szerint került sor.

Az életrajz egyes részletei újabb meglepetéseket tartogathatnak. Abraham Lincoln szinte teljesen iskolázatlan volt, semmiféle kormányzati tapasztalattal nem rendelkezett, még csak polgármesteri hivatalt sem töltött be, mielőtt beköltözött a Fehér Házba. (Csak képviselő volt, először Illinois, majd 1847-től két évig az USA képviselőházában.) Az 1860-as elnökválasztáson ellenfelei megoszása nélkül vereséget szenvedett volna, hiszen a viszonylag új Republikánus Párt jelöltjeként csak 40 %-át kapta meg a népi szavazatoknak. Győzelmét kizárólag annak köszönhetette,

hogy a Demokrata Párt több jelöltet indított, s így egyik sem tudott elegendő elektori szavazatot összegyűjteni. Elnöki időszaka meglehetősen dicstelenül kezdődött, mert egy merénylettől tartva szinte titokban érkezett meg a fővárosba. Még csak vonzó külsővel sem rendelkezett: az idealizálás céljával készült szobrok és festmények mára már elfeledték, hogy kortársai számára kifejezetten visszataszító látványt nyújtott. 192 cm-es magassága a XIX. század közepén abnormálisnak tűnt, s azt mondták róla, „olyan, mint egy óriási csontváz, amelyre bőrt feszítettek, és e bőrt ruhadarabokkal takarták el.” Az illinois Bloomingtonban maga mesélte nevetve az újságíróknak, milyen párbeszéd zajlott le közte és egy megdöbben asszony között, akivel lóháton keresztetkék egymás útját az erdőben: „Azt hiszem, maga a legcsúnyább férfi, akivel találkoztam...” „Asszonyom, valószínűleg igaza van, de nem tehetek róla...” „Hát igen, nem tehet róla, de azért otthon maradhatna!” (Boller, 1982, 126.)

Lincoln nemcsak Amerika legcsúnyább elnöke volt, de alighanem egyetlen elnököt sem támadtak még oly sok oldalról és olyan hevesen, mint őt. Az abolicionistáknak és radikálisoknak túlságosan mérsékeltnak tűnt, a konzervatívoknak és az állami jogok védelmezőinek túlságosan merésznek, egyesek azért szidták, mert nem köt békét a Konföderációval.

rációval (a lázadó déli államokkal), mások azért, mert nem nyeri meg elég gyorsan a háborút. Az újságírók elnevezték bitorlónak, bohócnak, árulónak, zsarnoknak, szörnyetegnek, idiotának, eunuchnak, bigottnak, demagógnak, sarlatánnak, holdkórosnak, négerimádónak és még sok egyébnek. Egy New York-i lap csak úgy utalt rá, mint „arra a visszaszító majomra a [Pennsylvania] sugárút végén”, s azt javasolta, hogy Barnum cirkusza „vásárolja meg, és állítsa ki zoológiai különlegesség gyanánt.” (Boller, 1982, 127.)

Minek köszönhető hát, hogy Lincoln emléke mára általános tiszteletnek örvend hazájában, a történészek pedig George Washington és Franklin Delano Roosevelt mellett a legnagyobb elnökök között tartják számon? Emlékművét rengeteg látogató keresi fel az amerikai fővárosban, megszámlálhatatlan életrajz látott róla napvilágot, s jelenleg Steven Spielberg tervezi, hogy filmet készít pályafutásáról.

Elsősorban minden bizonnyal annak, hogy Washingtonhoz és Roosevelthez hasonlóan győzelemre tudta vezetni kormányát egy elhúzó és véres háborúban. Nem tartható fenn ugyanis az az állítás, mely szerint az Unió győzelme elkerülhetetlen és szükségszerű volt, s a szövetségi kormányzat bármilyen elnök irányítása alatt könnyen helyreállítható volna a nemzeti egységet. Az Unió valóban elsőprő fölényben volt, mind a népesség, mind az ipari, mezőgazdasági és kereskedelmi kapacitás, mind a felhalmozott tőke szempontjából. Csakhogy megtörtént már néhányszor a világtörténelemben, hogy egy gyengébb államnak sikerült kivívnia a függetlenségét, mint például Svájcnak a Német-római Császársággal, Hollandiának a Spanyol Birodalommal vagy éppen az Egyesült Államoknak a Brit Birodalommal szemben. Ráadásul a

Konföderáció győzelméhez nem volt szükség az északi államok megszállására vagy hadseregének teljes megsemmisítésére, mindössze arra, hogy elvegye az Unió kedvét a területe elleni támadásoktól, s ezzel elérje háborús célját, a déli államszövetség fennmaradását. Tekintetbe véve a Konföderáció hadseregét irányító, kiváló tiszteket (Robert E. Lee, Thomas J. Jackson, James Longstreet stb.) és a lakosságnak a katonáskodásra való készségét, erre minden esély megvolt. Ráadásul 1863-ra az északi államokban megelégték a magas adókat, a kormány megnövekedett hatalmát, s az északi demokraták körében befolyásos békepárt alakult. New Yorkban még véres népfelkelés is kitört a sorozás ellen. A *Chicago Tribune* című lap szerkesztője megállapította, hogy „1863-ban mindenképpen fegyverszünetre kerül sor. A lázadókat nem lehet legyőzni a jelenlegi eszközeinkkel.” (McPherson, 1988, 590.)

A gazdasági fölény tehát egyáltalán nem volt elegendő a győzelemhez. Arra is szükség volt, hogy Lincoln kormányja meg tudja nyerni a lázadókhöz nem csatlakozott államok támogatását, hogy hatékonyan mozgósítsa az Unió nagyobb erőforrásait a győzelem érdekében, és akkor se kössön fegyverszünetet, amikor úgy tűnt, hogy a Konföderáció katonailag legyőzhetetlen. Az elnök kiválóan ismerte fel a pillanatnyi taktikai követelményeket, s ugyanakkor sohasem veszítette szem elől a háború végső célját, a nemzeti egység helyreállítását. Úgyesen elkerülte, hogy az irányítása alatt álló hadseregek kezdjék meg az ellenségeskedést. Mivel a Konföderáció charlestoni ütegei nyitottak elsőként tüzet a dél-karolinai Sumter-erődre, északon hatalmas felháborodást okoztak azzal, hogy „rálóttak a csillagos-sávos lobogóra.” Hazafias láz tört ki, s oly sokan csatlakoztak a hadsereg-

hez, hogy évekig nem volt hiány újoncokban. Ezután Lincoln a finomabb és keményebb módszerek váltogatásával el tudta kerülni, hogy a „Felső-Dél” rabszolgotartó határ-államai (Missouri, Kentucky, Delaware, Maryland) csatlakozzanak a Konföderációhoz, amelyből Virginia nyugati része kivált, s önálló állammá alakult az Unión belül. Ha ezek a gazdag és stratégiaileg is fontos államok a Konföderációt erősítették volna, a Dél jóval nagyobb erőforrásokkal és kedvezőbb helyzetben harcolhatott volna a függetlenségéért – amelyet talán meg is tud örizni.

Lincoln kormánya azonban felállította a világ legjobban felszerelt és ellátott hadseregét, s ugyanakkor arra is képes volt, hogy a Kongresszussal együttműködve lefedtesse a modern Amerika alapjait. Két éven belül (1862–63) modernizálták az adó-, a bank- és a pénzügyi rendszert, mezőgazdasági minisztériumot alapítottak, fejlesztették az oktatásügyet, nyugati földeket bocsátottak a farmerek rendelkezésére, s megindították a kontinenst átszelő vasútvonal megépítését.

Az elnök megnövelte a végrehajtó hatalom jogkörét a háborús intézkedések hatékonysága érdekében, és ő alakította ki az Unió katonai stratégiáját is. Elnöki rendeleteivel a háború első éveiben ő adott újra meg újra kisebb „lökéseket” a túlságosan passzív és óvatos tábornokoknak. Jó stratégiai érzelme volt, elsőik között ismerte fel, hogy a győzelmet nem az ellenség fővárosának elfoglalásával, hanem a hadseregének a megsemmisítésével lehet kivívni. Tisztában volt azzal is, hogy a Konföderáció győzelmét leginkább egy európai szövetséges biztosíthatná, ezért ügyes lépésekkel meg tudta akadályozni, hogy a nagyhatalmak támogatásban részesítsék a déli államokat. III. Napóleon éppen mexikói beavatkozását készítette elő, és érdekében állt

volna, hogy támogassa a Konföderációt. Brit szövetségese nélkül azonban nem akarta elkötelezni magát, s Lincoln mindent elkövetett a londoni kormány megbékítésére. Miután egy amerikai hadihajó a nyílt tengeren megállította a *Trent* nevű angol gőzöst, és foglyul ejtette a Konföderáció Európába utazó diplomatáit, Lincoln kijelentette, hogy „Egyszerre csak egy háborút”, s a brit tiltakozás után azonnal szabadon engedte az elfogottakat. Amikor pedig a háborús célok közé a nemzeti egység mellett a rabszolgák felszabadítása is bekerült, a brit kormány már nem bízhatott abban, hogy a parlament és a társadalom támogatná a Konföderáció kormányának elismerését.

Lincoln újra meg újra felhívta honfitársai figyelmét arra a tényre, hogy az amerikai polgárháborúnak még a nemzeti egységénél és a rabszolgaság felszámolásánál is nagyobb a tétje. 1861. július 4-én tartott beszédében így fogalmazta meg kormánya háborús céljait: „Népi kormányzatunkat gyakran nevezték kísérletnek. Két szempontból népünk már bizonyított: sikeresen megalapította, és sikeresen működtette e kormányzatot. Még egy feladat maradt: sikeres megőrzése a megdöntésére irányuló, nagy erejű belső kísérlettel szemben. . . Itt nem csak az Egyesült Államok sorsáról van szó. Az emberiség egész családjá számára feltették a kérdést, hogy vajon egy alkotmányos köztársaság vagy demokrácia. . . képes-e fenntartani területi integritását saját belső ellenségeivel szemben.” (McPherson, 1988, 309.)

Lincoln 1862 nyarán látta be, hogy a nagyobb belföldi és külföldi támogatás érdekében neki kell felszabadítani elnöki kiáltványával a rabszolgákat. Az első jelentősebb északi győzelem, az antietami csata (szeptember 17.) után jelentette be, hogy 1863. január 1-től

érvénybe lép a „lázádok” területein élő rab-szolgákat felszabadító, úgynevezett emancipációs nyilatkozata, amelyet a katonai szükség-szerűségre hivatkozva tett közzé. „Soha életben nem éreztem bizonyosabbnak, hogy helyesen cselekszem, mint most, amikor aláírom ezt a papírost!” – jelentette ki. (Sandburg, 1965, 396.) Ezután engedélyezte a feketékből felállított katonai egységek létrehozását is.

Amíg bízott abban, hogy a hadsereg irányítói képesek győzelmet aratni, addig azt sem bánta, hogy tiszteletlenek vele. George B. McClellan, az Unió hadseregének főparancsnoka egyszer nem volt hajlandó találkozni az őt felkereső elnökkel, s lefeküdt aludni, mialatt Lincoln várakozott rá. Az elnök nem sértődött meg: „Ha képes győzelmet aratni, még a lova kantáriját is hajlandó vagyok tartani” – jelentette ki. De azonnal leváltotta McClellant és utódait is, amint nyilvánvalóvá vált, hogy nem képesek megnyerni a háborút. Miután Ulysses S. Grant személyében megtalálta azt a főtisztet, aki képes az offenzív hadviselésre, 1864 márciusában az Unió hadseregeinek főparancsnokává nevezte ki, és minden támadással szemben megvédte.

Bár kortársai közül sokan úgy látták, hogy Lincoln riasztóan megnövelte a végrehajtó hatalom hatáskörét, ő mindvégig hangsúlyozta, hogy erre kizárólag a háború miatt van szükség. A demokrácia alapelveihez szigorúan ragaszkodott, s hallani sem akart arról, hogy a harcokra való tekintettel el lehetne halasztani az 1864-ben esedékes elnökválasztást. Pedig minden jel arra mutatott, hogy vereséget fog szenvedni: Északon egyre terjedt a békevágy, s az Unió csapatai hatalmas véráldozat árán sem vívták meg ki a döntő győzelmet. Lincoln 1864 augusztusában a következő sorokat vetette papírra: „Ezen a reggelen, ahogy pár napja már, rendkívül valószínűnek

tűnik, hogy ezt a kormányzatot nem fogják újraválasztani. Akkor az én kötelességem az lesz, hogy úgy működjek együtt az elnökké választott személlyel, hogy a választás és a beiktatás között megmenthessük az Uniót.” (Donald, 1995, 529.) Az elnök tehát meglepően önzetlennek és nagylelkűnek bizonyult abban a történelmi pillanatban, amelyben kormánya sorsa forgott kockán. Nem függesztette fel a szeptemberi behívóparancsot, pedig azt tanácsolták neki, hogy ezzel növelhetné támogatói számát. Nem sietette két újonnan megalakult állam, Colorado és Nebraska befogadását az Unióba, pedig az itteni választók biztosan órá szavaztak volna. Nem rendelte el, hogy a megszállt déli területek lakói is vegyenek részt az elnökválasztáson, pedig így is nyerhetett volna néhány szavazatot. Vagyis személyes politikai túlélésénél fontosabbnak tartotta a népakarat minden külső manipulációtól mentes érvényesülését, a demokrácia intézményeinek érintetlen fennmaradását.

E szempontból Abraham Lincoln méltó utódává vált George Washingtonnak, aki egy kivételes történelmi pillanatban nagy társadalmi támogatással valósíthatta volna meg az egyeduralmat. A katonai összeomlás, pénzügyi válság és társadalmi anarchia fenyegetése idején, az 1780-as évek elején egyre több katonatiszt, bankár és politikus kínálta fel neki, hogy a haza megmentése érdekében hozzon létre ideiglenes diktatúrát vagy éppen monarchiát, ő azonban felháborodva elutasította ajánlataikat. Katonái lázadását (s egyben az Egyesült Államok első és utolsó puccskísérletét) a híres newburghi tisztgyűlésen személyes fellépésével akadályozta meg 1783. március 15-én. Neki köszönhető, hogy az amerikai történelmi hagyományok közé nem kerülhetett be a „haza érdekeire” hivatkozva

megragadott diktatorikus hatalom, mert az egyeduralom és a diktatúra elutasítását, nem pedig a megszerzését emelte példaértékű politikusi magatartássá.

Lincoln híven követte Washington példáját: „Választások nélkül nem lehet szabad kormányzatunk!” – jelentette ki. Nem politikai manővereinek, hanem Atlanta elfoglalásának köszönhetette győzelmét az 1864-es elnökválasztáson. Ezzel ugyanis nyilvánvaló lett, hogy a háborút hamarosan meg fogják nyerni, s a kormány politikája sikeresnek bizonyult. Lincoln volt az első elnök, akit 1832 (Andrew Jackson második győzelme) után újraválasztottak. Amint azt ő is megfogalmazta: „Ezzel bebizonyosodott, hogy a nép kormánya fenn tudja tartani a választást egy nagy polgárháború közepette is. A világ idáig nem tudhatta, hogy ilyesmi lehetséges.” (Donald, 1995, 546.)

Politikai sikereit Lincoln valószínűleg annak köszönhetette, hogy megmaradt józan, gyakorlatias személyiségnek, aki nem az ideális, hanem az optimális megoldásokat kereste. „Nem állítom, hogy irányítottam volna az eseményeket – jelentette ki – inkább őszintén bevallom, hogy az események irányítottak engem.” (Donald, 1995, 15.) A „szükség-szerűségbe” vagy a „gondviselésbe” vetett hiten alapuló, sajátos fatalizmusa miatt olyan pragmatikus politikussá vált, aki nem szőtt nagy terveket, hanem a közvetlen problémák megoldását tekintette feladatának. „Politikám abból áll, hogy nincs politikám” – állapította meg, s olyan folyami hajóshoz hasonlította magát, aki nem előre eltervezett utat követ, hanem „a hajó menetét mindig csak addig a pontig jelöli ki, ameddig ellát.” (Donald, 1995, 15.) Ez a pont persze fokozatosan változott, s egyre nagyobb távlatok nyíltak meg a „folyami hajós” előtt.

A győzelem közeledtével Lincoln közzétette rendkívül nagylelkű elképzeléseit a déli államok rekonstrukciójáról, az Unió helyreállításáról. A Konföderáció főtiszviselőinek kivételével minden „lázádonak” kegyelmet akart adni, a rabszolgáktól eltérően tulajdonuktól sem kívánta megfosztani őket, s azt tervezte, hogy amikor az 1860-ban szavazati joggal rendelkező állampolgárok (vagyis a felnőtt, fehér férfiak) 10 %-a hűségesküvet tesz az Uniónak, államuk visszakapja önkormányzatát. Nem akarta radikálisan átalakítani a déli államok társadalmi rendszerét sem: azt tervezte, hogy egyelőre kizárólag a műveltebb és a hadseregben harcoló feketék számára biztosít politikai jogokat. Amikor pedig eljutott hozzá a hír, hogy Robert E. Lee tábornok Appomatoxnál letette a fegyvert, a következőket üzentte a győztes Grantnek: „Hagyják, hogy megadják magukat és hazatérjenek otthonaikba, csak fegyvert ne fogjanak újra. Hadd menjenek valamennyien, a tisztek és a többiek, én csak engedelmisséget akarok, nem további vérontást... Senkit sem akarok megbüntetni, bánjanak velük minden szempontból liberálisan. Mi csak azt kívánjuk, hogy ezek az emberek újra az Unióhoz kötődjenek, és alávessék magukat törvényeinek.” (Donald, 1995, 574.) A győzelemmel az elnök minden bizonnyal szert tett akkora tekintélyre és befolyásra, hogy széles körökben elfogadhatta volna elképzeléseit a háború utáni rekonstrukcióról. Minden gesztusa a békét és a kiegyezést szolgálta. Az 1865. április 10-én tartott győzelmi ünnepen például felszólította a zenekart, hogy játssza el a déliek nem hivatalos himnuszát, a *Dixie*-t. Meggyilkolásával a mérsékelt és nagylelkű rendezés lehetősége semmisült meg.

Lincoln már elnöksége előtt is ellensége volt a rabszolgáknak, kortársainak többsé-

géhez hasonlóan azonban olyan nézeteket hangoztatott, amelyeket egyes huszadik századi történészek (némi túlzással) rasszistának minősítettek. Nem támogatta például az aktív fellépést a rabszolgaság ellen, mert úgy vélte, gazdaságtalansága miatt magától meg fog szűnni, s az abolicionisták agitációja csak az önvédelem és önigazolás fokozására készíti a rabszolgatartókat. Nem hitt abban sem, hogy a fehérek és a feketék képesek békésen egymás mellett élni, ezért egészen elnökségéig támogatta a felszabadítottaknak az afrikai Libériába való áttelepítésére irányuló törekvéseket. Úgy vélekedett, hogy a déliek szívesebben válnak meg rabszolgáiktól, ha azok nem maradnak a közelükben, az északi munkások is jobban támogatják az emancipációt, ha nem kell félteniük állásaikat a feketéktől, akik pedig Afrikában bebizonyíthatják, hogy képesek civilizált államot létrehozni. Hamarosan kiderült, hogy a feketék nem kívánnak áttelepülni egy ismeretlen földrészre, a rabszolgatartók ilyen feltétellel sem hajlandók megválni „tulajdonuktól”, az északiak pedig nem tudják biztosítani az áttelepítés pénzügyi feltételeit. Lincoln azonban még 1862. augusztus 14-én, a Fehér Házban tartott megbeszélésen is arra figyelmeztette a fekete politikai vezetőket, hogy ha a rabszolgaságot fel is számolják, a faji előítéletek megmaradnak, s újra felvetette az emigráció lehetőségét. „Ez ugyanúgy a mi országunk, mint a magáé!” – közölte vele egyik tárgyalópartnere, s társai egyetértettek vele. A kitelepítést különben az abolicionisták egy része is ellenezte, arra hivatkozva, hogy inkább az előítéletek ellen kellene küzdeni.

A rabszolgaság más területekre való kiterjesztését azonban Lincoln már politikai pályafutása kezdetétől ellenezte. Nem fogadta el a demokráciára való hivatkozást, amikor

az volt a kérdés, létrehozhatnak-e egy territórium lakói többségi szavazással rabszolgatartó államot. Lincoln számára ugyanis nem a többségi akarat, hanem a rabszolgaság erkölcsi túrheterogenitása volt az elsődleges szempont, s úgy vélte, a többség sem veheti el egy kisebbségnek a *Függetlenségi Nyilatkozatban* megfogalmazott jogait „az élethez, a szabadsághoz és a boldogulásra való törekvéshez”. Vagyis a „néget” elsősorban embernek tekintette, akinek emberi jogai vannak. Metsző gúnnyal reagált azokra a kísérletekre, amelyekkel a rabszolgaság előnyeiről és a fehér faj felsőbbrendűségéről próbálták meggyőzni őt. „Noha köteteket írtak össze annak bizonyítására, – jelentette ki – miszerint a rabszolgaság nagyon jó dolog, sohasem hallottam olyan emberről, aki ebből a jóból oly módon akarta volna kivenni a részét, hogy maga is rabszolga legyen...” Egyszer egy félig írástudatlan pennsylvaniai megírta neki, hogy „a fehér ember első osztályú, a fekete ember másodosztályú, s mindig a fehérnek kell kormányoznia őt.” Lincoln látszólag komoly válaszában megkérte az illetőt, hogy tájékoztassa arról, „fehér ember-e vagy fekete, mert ugyebár egyik esetben sem tekinthető teljesen pártatlan döntőbírónak ebben a kérdésben... Persze ha a sárga vagy vörös bőrű emberek harmadik vagy negyedik osztályába tartozik, akkor véleményének pártatlansága sokkal nyilvánvalóbb lehet...” (Donald, 1995, 520–521.) Annyi bizonyos, hogy faji kérdésekben vallott nézetei sokat változtak a polgárháború alatt, s az egykor „faji szeparatista” nemcsak fegyvert adott a feketék kezébe, s befogadta őket az Unió hadseregébe, de (George M. Fredrickson amerikai történész megfogalmazásával élve) készen állt arra, hogy „egy színvak demokrácia potenciálisan egyenlő polgártársainak tekintse őket.” (McPherson, 2008, 46.)

Hasonlóan nagylelkűnek bizonyult az indiánokkal is. 1862-ben Minnesotában a rezervátum ellátási problémái következtében kiobbant a szánti (*Santee*) sziúk felkelése Kis Varjú főnök vezetésével. Mintegy félezer telepest és katonát öltek meg a harcokban, s ezért a bíróság 303 indiánt halálra ítélte. Lincoln azonban 265 sziút elnöki kegyelemben részesített, s ezért csak azokat végezhették ki, akik gyilkosságot vagy nemi erőszakot követtek el. A kegyelem ekkoriban egyáltalán nem volt népszerű intézkedés, s egy szenátor figyelmeztette is az elnököt, hogy ha több indiánt kivégeztet, nagyobb támogatásra tehet szert a Kongresszusban. Lincoln így válaszolt: „Nem akasztathatok fel embereket szavazatokért!”

Lincoln nemcsak hatékony politikai vezetőnek és nagylelkű, emberséges államférfinak bizonyult, hanem kiváló írónak is. Nem kisebb személyiség, mint Edmund Wilson amerikai kritikus állapította meg 1962-ben, hogy Lincoln stílusa egyáltalán nem vall „népieskedő és jovialis vidékire”, aki „a helyi bolt előtt diskurál”. Wilson szerint „Lincoln volt az egyetlen az amerikai elnökök között, aki más környezetben felnőve jelentős íróvá válhatott volna, és nemcsak politikai szempontból.” (Holzer, 2009, 5–6.) Ennek bizonyítására elég felidézni első elnöki beiktatásán tartott beszédének záró sorait: „Elégedetlen honfitársaim, a ti kezetekben, és nem az enyémben van a polgárháború súlyos kérdése. A kormány nem fog megtámadni benneteket. Nem robbanhat ki a konfliktus, ha nem ti magatok lesztek az agresszorok. Nem tettetek az égben feljegyzett esküöt arról, hogy megsemmisítitek ezt a kormányzatot, én viszont most a legünnepélyesebben esküszöm, hogy fenntartom, megőrzöm és megvédelmezem... Nem ellenségek vagyunk, hanem barátok. Bár a szenvedély megfeszítheti, nem

szakaszthatja el érzelmi kötelékeinket. Az emlékezet misztikus húrjai, amelyek ott húzódnak a csataterektől, a hazafiak sírjától az élő szívekig, a családi tűzhelyekig, behálózva ezt a tágas országot, újult erővel fogják zengeni az Unió kórusát, ha – és én biztosan hiszem ezt – a természetünkben lakozó jobb angyalok ismét megérintik azokat!” (Holzer, 2009, 51.)

A legnagyobb jelentőségre azonban az a pár soros beszéde tett szert, amelyet a gettysburgi csatátér temetőjének felavatásán mondott el 1863. november 19-én. A megrázóan egyszerű és sallangmentes szónoklatot különlegesen ünnepélyes fordulatai miatt igen nehéz lefordítani, ezért az alábbiakban a leghíresebb kifejezést angolul is idézzük: „Nyolcvanhét esztendővel ezelőtt atyáink egy új, szabadságban fogant nemzetet hoztak létre e földrészen, amelyet ama elvnek szenteltek, hogy minden ember egyenlőnek teremtett. Nagy polgárháborúba bocsátkoztunk, amelyben eldőlt majd, hogy a nemzet vagy más, hasonlóan fogant és hasonló elvnek szentelt nemzet tartósan fennmaradhat-e. Mi e háború egyik nagy csatamezején gyűltünk össze. Eljöttünk, hogy e mező egy részét azok végső nyughelyeként avassuk fel, akik itt életüket adták, hogy eme nemzet élhessen. Illő és helyes dolog, hogy így tegyünk. Csakhogy tágabb értelemben nem avathatjuk fel, nem tisztelhetjük meg és nem szentelhetjük fel ezt a helyet. A derék férfiak, az élők és holtak, akik itt küzdöttek, már felszentelték, jobban annál, hogy csekély erőink ehhez bármit is hozzáadjanak vagy elvonjanak belőle. A világ kevéssé figyel, s nem sokáig emlékezik majd arra, amit itt beszélünk, de sosem felejt el, amit ők itt tettek. Inkább nekünk, az élőknek kell magunkat ama befejezetlen munkának szentelnünk, melyet az itt harcolók oly nemes módon mozdítottak elő. Rajtunk a sor, ma-

gunkat kell ama nagy feladatnak szentelnünk, amely előttünk áll – e dicső halottak példája növelje ragaszkodásunkat azon ügghöz, amelyért ők mindent feláldoztak – határozzuk el ünnepélyesen, hogy e halottak nem haltak meg hiába – hogy e nemzet Isten segédelmével újjá fog születni a szabadságban – és hogy a nép kormányzata, a nép által és a népert létrejött kormányzat (...*government of the people, by the people, for the people...*) nem fog eltűnni a Föld színéről.” (Holzer, 2009, 68.)

A maga korában megdöbbentően rövid beszédben Lincoln nem említette meg sem az Uniót, sem a Konföderációt. Csak a *Függetlenségi Nyilatkozatra* utalt, amely régebbi a déliek által megtagadott alkotmánynál is. Nem államról beszélt tehát, nem az Unióról, hanem öt alkalommal is a nemzetet emlegette, amelynek egyetemes feladata van: a világ számára kell bebizonyítania, hogy a demokrácia (...*government of the people, by the people, for the people...*) képes erélyes és hatékony módon megvédelmezni a szabadságot és az egyenlőséget.

Humorérzékének és szellemességének köszönhetően Lincoln néha olyan gondolatokat is felvetett, amelynek hatásosabb megfogalmazásai azóta lépten-nyomon előrángatott idézetekké váltak. Nem tudjuk, hogy olvasta-e Samuel Johnson *Szótárát* (1747–55), amely szerint a hazafiaság „a gazember utolsó mentsége”. Annyi azonban bizonyos, hogy egyszer egészen hasonló gondolatot fogalmazott meg, amikor felidézte az öreg farmert, aki azt hangoztatta, hogy nagyon hazafiasnak érzi magát. „És mit ért ezen?” – kérdezték tőle, mire így felelt: „Szeretnék megölni valakit, vagy ellopnivalamit!” Egy másik története mintha George Orwell *Állatfarm*-jának híres jelszavát előlegezné meg, mely szerint minden állat egyenlő, de némelyik egyenlőbb

a többinél. Egy ír állítólag kijelentette, hogy „ebben az országban az egyik ember éppen olyan jó, mint a másik, sőt, ebből kifolyólag gyakran még jobb is!” Lincoln mélységesen szkeptikusan fogadta azt is, ha arról szóno-koltak előtte, hogy Amerikának önzetlenül harcolnia kell a rab nemzetek szabadságáért: „Az ifjú Amerika igen buzgón kész harcolni a rab nemzetek és gyarmatok szabadságáért, feltéve, hogy van földjük. Amelyeknek nincs, azokról úgy vélekedik, hogy pár száz évig még igazán várakozhatnak.” (Boller, 1982, 125.)

Felidézhetnénk még Lincoln őszinte egyszerűségét és közvetlenségét is: feleségét nagyon bosszantotta, hogy otthon a szőnyegen heverészik, s maga szalad ajtót nyitni, ha csengetnek, ahelyett, hogy megvárná, amíg a cseléd bejelent valakit. Elemezhetnénk azt a különleges gyengédséget, amellyel az állatokkal bánt: nem volt hajlandó vadászni, rendkívül szeretette a macskákat, s fiatal ügyvéd korában egyszer a legjobb ruháját összemocskolva saját kezűleg szabadított ki egy mocsárba süllyedt disznót, mert nem tudta elviselni az állat segélykérő pillantását. (Sandburg, 1965, 67.) Hangsúlyozhatnánk, milyen nagy gonddal került el a korrupciónak még a látogatását is: amikor a polgárháború idején a hadsereg számára levágott szarvasmarhákból a legértékesebb részeket a Fehér Házba szállították, az elnök véget vetett ennek a gyakorlatnak. Amikor valaki arra figyelmeztette, hogy ez elég jelentéktelen ügy, Lincoln így válaszolt neki: „Megfigyeléseim szerint igen gyakran a legjelentéktelenebb ügyekből lesznek a legnagyobb botrányok.” De remélem, hogy felesleges lenne, mert talán már sikerült választ adnunk arra a kérdésre, miért részesíti az amerikai nép oly nagy tiszteletben ennek a langaléta, iskolázatlan, különös egyéniségnek az emlékét.

Kulcsszavak: *Abraham Lincoln, amerikai polgárháború, hatékony kormányzat, humor, rabszolgaság eltörlése, gettysburgi beszéd*

IRODALOM

- Boller, Paul F. (1982): *Presidential Anecdotes*. Penguin, New York
 Donald, David Herbert (1995): *Lincoln*. Jonathan Cape, London
 Holzer, Harold (ed.) (2009): *Lincoln in His Own Words*. Weider History Group, Leesburg

- McPherson, James M. (1988): *Battle Cry of Freedom. The Civil War Era*. Ballantine Books, New York
 McPherson, James M. (2008): The Historian Who Saw through America. The New York Review of Books. 4 December 2008.
 Sandburg, Carl (1965): *Abraham Lincoln*. Gondolat, Budapest



REGULY ANTAL ÉSZAKI-URÁLI TÉRKÉPEZÉSE

Klinghammer István

az MTA levelező tagja, egyetemi tanár,
ELTE Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék
klinghammer@ludens.elte.hu

Gercsák Gábor

egyetemi docens,
ELTE Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék

Reguly Antal (1819–1858) értékes nyelvészeti és néprajzi anyagot gyűjtött az Urál-hegység északi területein. Tudományos kutatásainak az a része, amelyben az általa bejárt terület földrajzát írja le, jelentőségében elmarad említett gyűjtése mögött, de útjáról készített térképe eme munkájából messze kimagaslik. A Regulyt értékelő földrajzi irodalomban a térkép úgy szerepel, mint tudományos kutatóútjának egyetlen nyomtatásban megjelent eredménye. A ritkaságszámba menő térképet a Magyar Földrajzi Társaság először csak 1906-ban adta ki, és Pápay József a kiadáshoz írott szövegben az elkészítés módszerét is tárgyalta (Pápay, 1906). A térkép hasonló kiadásban 1983-ban, az *ELTE Studia Cartologica* 9. kötetében is megjelent, a térképen szereplő földrajzi nevek listájával, Hidas Gábor feldolgozásában. Nem foglalkozott azonban 1955-ig a földrajzi szakirodalom a térkép keletkezési körülményeivel, illetve főleg azzal, hogy ez az eredmény hogyan illeszthető az Északi-Urál megismerése történetébe. Borbély Andor abban az évben kiváló tanulmányban vizsgálta ezt a kérdést (Borbély, 1955).

A korai ábrázolások

Míg Európa felfedező népei Kelet-Ázsia felé a tengeren keresték az utat, addig az oroszok

helyzeti előnyüket kihasználva lassanként birtokba vették Kelet-Európa végtelen síkságait, és elérték az Urált – a „Nagy Sziklát”, ahogy akkor nevezték.

Európa népeinek a 16. századig meglehetősen kezdetleges elképzelései voltak az orosz állapotokról. Oroszországról az első megbízható híryanagot Sigismund Herberstein (1486–1566) német követ hozta, aki először 1517-ben, majd 1525-ben járt az országban, hogy az orosz és lengyel fél között békét közvetítsen. Herberstein figyelő szemmel tanulmányozta az ország földrajzát, és tapasztalatait 1549-ben latin nyelvű könyvben adta ki (Herberstein 1549). Művéhez térképet is mellékel. Ez az első fontos munka, amely Nyugat-Európával megismertette Oroszországot. A térkép helyesbítette az ókori és középkori geográfusoknak még Ptolemaiosztól örökölt tévedését. Oroszország hegysegeit „Hiperborei Mont” néven a Jeges-tenger partján kezdődő és Ny–K-i irányban húzódó láncként jelölték. A Szarmata-síkság közepére egy nem létező „Riphei Montes” hegyseget rajzoltak. A 15. században az orosz síkság közepén több nagy tavat feltételeztek, és ebből eredeztették Kelet-Európa nagyobb folyóit.

Herberstein térképét orosz forrásanyagok igénybevételével készítette el. Térképe volt az

első, amely az Urál-hegységet helyesen, meridionális irányban húzódó hegyláncnak tüntette fel. Ez a térkép lett forrása a 16. század nagy németalföldi kartográfusainak, Orteliusnak és Mercatornak, akik ennek alapján szerkesztették atlaszuk lapjait. A 17. századi cári birodalomban egymás után készültek térképek. Pjotr Godunov (?–1670) 1629-ben és 1667-ben, Szemjon Remezov (1642–1720 után) 1672-ben és 1698-ban adott ki térképet, amelyen Szibériát és az Urál-hegységet ábrázolták. Az 1629-es Godunov-féle térképnek nyoma veszett, a többi térkép másolatokban maradt fenn. Az 1667. évi Godunov-térkép az Urál-hegységet a valóságnak megfelelő irányban ábrázolja. A közel négyzet alakú, 38 x 30 cm méretű térkép déli tájolású. Míg Leo Bagrow mint Remezov térképét közli (Bagrow 1952), addig Konsztantyin Szaliscsev Godunov térképének jelöli (Szaliscsev 1953).

A 18. század elején Ivan Kirilov (1689–1737) hozzáfogott az orosz birodalom atlaszának elkészítéséhez. Atlaszát 1734-ben, tizenöt térképpel adta ki (Kyrilov 1734). Az Urál vonulatát kis árnyékolt kupacokkal jelezte.

Az Urál-hegység ábrázolása további fejlődést mutat az Orosz Tudományos Akadémia 1745-ben elkészült *Orosz atlasz*-ának térképlapján. A térkép hegyábrázolása jellegzetesen kupacos, az Ob folyó torkolati kanyarulatát helyesen ábrázolja (De L'Isle, 1745). Az atlasz szerkesztését a francia Joseph-Nicolas Delisle (De L'Isle) (1688–1768) kezdte el, de késedelm miatt kivették a kezéből a vezetést, és az Orosz Tudományos Akadémián megalapított Földrajzi Szakosztály vette át az irányítást. Az atlasz 1745-ben latin és francia nyelven is megjelent.

Oroszország térképi ábrázolásának kiteljesedése Mihail Lomonoszov (1711–1765) nevéhez fűződik. A jeles tudós 1758-ban állt

az akadémia Földrajzi Szakosztályának élére, és fő feladatának az *Orosz atlasz* helyesbített, új kiadását tekintette. A szakosztály hatalmas munkát végzett, 250 (!) térkép összeállítását és kiadását gondozta.

A 18. század második felében a birodalomban megindult vízszabályozási és útépitési munkálatokat, a természeti kincsek feltárását irányító hivatalok is önálló térképezésbe kezdtek. A térképezés a 19. század elejére sokoldalúvá vált.

Reguly térképének forrásai

Reguly Antal felhasználta mindazokat a térképeket, amelyek a 19. század elején az Északi-Urálról megjelentek.

Térképének északi partvonalát Ivanov kormányos Pecsora és az Ob folyók torkolata közti felmérése alapján, a Tengerészeti Minisztérium Vízrajzi Osztályának 1843-ban kiadott térképe felhasználásával készítette el. A keleti határt két kutató, a német Adolf Erman (1806–1877) az Ob folyó melletti Obdorszk (1933-tól Szalehard) és Berezov (mai néven Berezjovo) települések, illetve az orosz csillagász, Vaszilij Fjodorov (1802–1855) Tobolszk városának csillagászati helymeghatározása alapján rajzolta meg. A déli határvonalat ugyancsak Fjodorovnak a Tura folyó melletti Turinszk és Bogolovszk csillagászati helymeghatározása alapján tűzte ki. A nyugati határt Paul von Kruzensternnek (1809–1881) 1843-ban a Pecsora folyóról készített felvétele alapján ábrázolta (Keyserling 1846). Az Usza folyót szintén erről a térképről vázolta fel. Ennek térképezését Popov mérnök alezredes még 1806-ban elvégezte (Stuckenberg 1841). Felhasználta még a permi kormányzótól kapott ún. Laszkij-féle térképet is, amelynek kéziratosa példány megvan Reguly hagyatékában (Borbély Andor közlése szerint MTA

Kézirattára, Tört. Földr. 4. r., 2. sz.). Az orosz szövegű kéziratos térkép címe *A permi kormányzóság térképe, 1843* (Borbély 1955). A térképet a kormányzóság hivatalnokai készítették el számára a permi tartományi helynévlistával együtt. Az adatokat Reguly felhasználta térképén a néprajzi határok ábrázolásánál. (A Laszkij-féle térkép az É. sz. 54°–62°, és a ferrói hosszúság 68°–86° közti területet ábrázolja. Ferro – mai néven Hierro – a Kanári-szigetek tagja, és Greenwichől csaknem 17° 40'-nyire nyugatra fekszik.)

Reguly említést tesz még néhány térképről, amelyeket főleg utazásainál használt fel. Toldy Ferenchez intézett 1847. október 27-i levelében ezeket a térképeket az MTA Könyvtárának ajándékozta. Így a Schubert-féle térképek hat szelvényét említi a Volga vidékéről, és egy svéd térképet a Lappföldről (Theodor Friedrich Schubert [Fjodor Subert], 1789–1865). Schubert lapjairól megjegyzi, hogy „ez jelenleg Oroszország legteljesebb térképe, amelybe a legutolsó felmérések is be vannak dolgozva.” Hatvan lapból álló térképműve Bonne-féle vetületben, 1:420 000 méretarányban az 1821–1839 közötti években készült. A minden tekintetben kiváló munka csak az Európai-Oroszország 1:420 000 méretarányú, 152 szelvényből álló, ún. „tízversztes térképének” (1 hüvelyk : 10 verszt) 1865–1871-es megjelenése után avult el (1 hüvelyk = 2,54 cm, 1 verszt = 1067 m).

Reguly Antal térképe

Ezek a térképek álltak Reguly rendelkezésére, amikor északi-uráli útja során 1843-ban a vogulok földjére érkezett. Reguly az általa bejárt területről térképvázlatokat készített (az MTA Kézirattárában a M. Nyelvtud. 4. r., 5 sz. alatt öt darab vázlata található.). Regulynak az volt a szándéka vázlataival, hogy azokat a

bejárt terület néprajzi térképének elkészítéséhez felhasználja (1. és 2. ábra). Ezek a vázlatok a hozzájuk tartozó feljegyzésekkel együtt igen jó térképi alapanyagok, és mint az Északi-Urál első részletes térképezési emlékei különös érdeklődésre tarthatnak számot. Borbély Andor 1955-ös tanulmányában a vázlatok részletes leírását adja:

No. 1 „Das Gebiet der Oberen Lozva.” 1844, kéziratos tintarajz, 22,3×35,3 cm, méretaránya 7,1 cm : 60 verszt. A nyelvhatárok piros-kék színnel jelöltek.

No. 2 „Karte des Flussgebietes der nördl. Sossva, nach Alexei Kasimovs Nachrichten.” 1844, kéziratos tintarajz, 35,5×43 cm, méretaránya 4,6 cm : 80 verszt. A nyelvhatárok kék színnel rajzoltak, bőséges helyrajzi feljegyzésekkel.

No. 3 „Manysi oder Wogulen. Das Flussgebiet der Tavda und Konda mit einheimischen und russischen Namen.” 1844, kéziratos tintarajz, 48,8×35,6 cm, méretaránya 6,8 cm : 100 verszt. Piros-kék nyelvhatárokkal, helyrajzi bejegyzésekkel. (1. ábra)

No. 4 „Quellengebiet der nördl. Sossva des Pelim und der Tapsija.” 1845, kéziratos tintarajz, 35,6×43,4 cm, méretarány nélkül.

No. 5 „Übersicht des ostjakischen und samojidischen Uralgebietes.” 1845, kéziratos ceruzarajz helyenként tintával utána húzva, 43,6×48,5 cm, méretarány nélkül. Bőséges helyrajzi feljegyzésekkel. (2. ábra)

A felsoroltakon kívül Borbély még a következő vázlatokat találta a Reguly-féle hagyaték-csomóban:

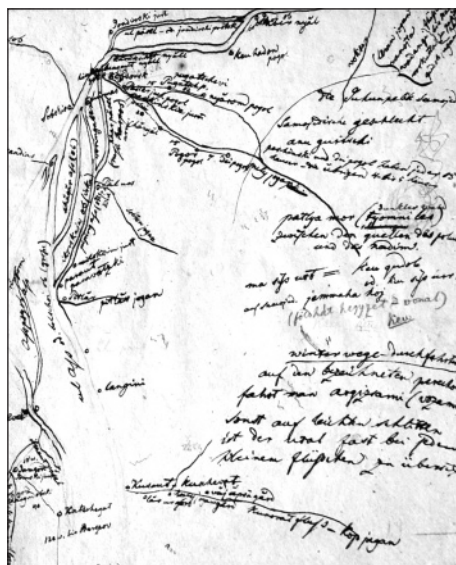
Tavda–Pelim folyam vidéke. Évszám nélkül, kéziratos ceruzarajz tintával áthúzva, 35,5×42,8 cm, méretaránya 2,5 cm : 25 verszt. Feljegyzésekkel, távolsági és területi adatokkal.



1. ábra • Reguly vázlata a Tavda és Konda folyók vidékéről

Krai Tobolszka. Évszám nélkül. 1. Tsajt: Karta Tobolskova Okrug. Kéziratos tintarajz, 42,8×35,5 cm. 2. Tsajt: Konda és mellékfolyói. Kéziratos tintarajz, 42,8×35,6 cm. Helyrajzi feljegyzésekkel.

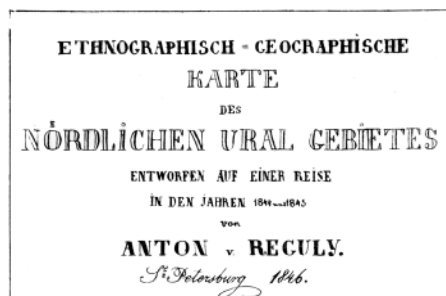
A vázlatokhoz csatolt jegyzetben Reguly leírja: „Abroszomon egész terület összesen térszen: vogul (vörös színbe foglalt) 3825 négyzetmérföld, osztjak (zöld színbe foglalt) 2555 négyzetmérföld, (fehér színbe foglalt) 1990 négy-



2. ábra • Reguly vázlata az Ob alsó szakaszáról

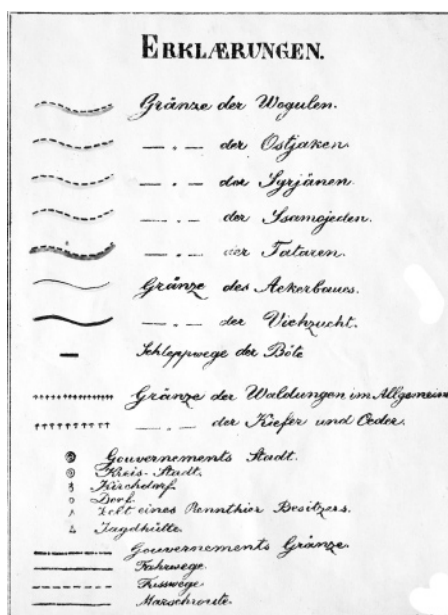
zetmérföld, [együtt] 7970 négyzetmérföld.” (1 földrajzi mérföld = 1/15 egyenlítői fok, azaz 7421 m; a bejelölt terület kb. 440 ezer km²-nek felel meg.)

Az Orosz Földrajzi Társaság megalakulásakor (1845) felmerült az a gondolat, hogy az Északi-Urál kutatására és térképezésére expedíciót küldjenek ki. A felfedezőút szervezésének idején érkezett meg Reguly Pétervárra. Az ottani tudományos körök (Baer, Köppen és Struve akadémikusok) már előzőleg is tájékozva voltak útja eredményéről, és amikor kutatóútjának befejezése után, 1846. augusztus 25-én Pétervárra érkezett, felkérték, hogy gazdag helyrajzi anyagát ott dolgozza fel, és rajzolja meg az általa bejárt vidék térképét. Reguly az ajánlatot elfogadta – belátta, hogy sehol alkalmasabb hely nem kínálkozik munkája elkészítéséhez, mint Pétervár. Gyenge egészségi állapota miatt azonban csak 1847. január végére készült el német nyelvű térképpel és a hozzá fűzött magyarázatokkal (MTA Kézirattár, Tört. Földr. 4. r., I. sz.).

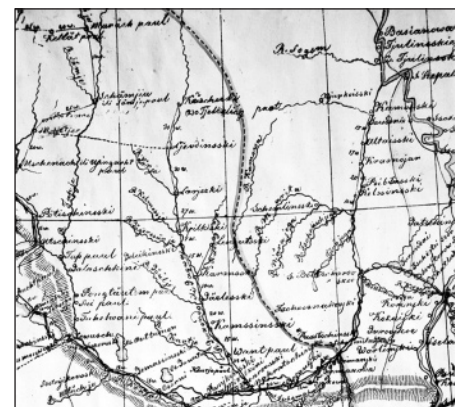


3. ábra • Reguly térképének címezeje

A térkép az északi szélesség 58°–70°, és a keleti hosszúság 72°–89° között kb. 1,1 millió km² területet ölel fel. Ma már nagyon ritka, hazánkban csak az MTA Kézirattárában található (3., 4. és 5. ábra). Címe: *Ethnographisch-geographische Karte des Nördlichen Ural Gebietes. Entworfen auf einer Reise in den Jahren 1844 und 1845 von Anton v. Reguly*. St. Petersburg 1846. A könyvmegos térkép kb. 1:1 200 000 méretarányban, 16 negyedréte oldalon, 76×108



4. ábra • Reguly térképének jelmagyarázata



5. ábra • A Konda folyó vidéke Reguly nyomtatásban megjelent térképén

cm nagyságban került ki a nyomdából. A térkép gazdag névjajza – közel hatszáz földrajzi nevet tartalmaz – megkönnyíti a rajta való eligazodást. A hegyeket csíkozással ábrázolja, magassági adatokat nem tüntet fel. Vízrajza igen bőséges, a kisebb hegyi patakokra is kiterjed. Az úthálózat bemutatására háromféle megkülönböztetést használ, saját útvonalát nyilakkal ellátott vonallal jelzi. Különleges gonddal tünteti fel a településeket, a nagyobbak jelölésére körök kombinációját használja. Meghatározó tartalma Reguly térképének a néprajzi határoknak és a földművelés és állattenyésztés határának bemutatása. A térkép tartalmát Márton Máttyás tanulmánya dolgozza fel (Márton, 2008).

Reguly térképének megjelenését nagy örömmel fogadták a pétervári tudományos körök. Még azon frissiben méltatta a térképet a *St. Petersburger Zeitung* 20. száma. Többek között azt írják róla, hogy „Reguly lankadattal szorgalommal vizsgálta és megfigyelte a vogulok országát és népét, akiket ő a magyarok legközelebbi nyelvokonainak tart. Térképével és a hozzáfűzött magyarázatokkal Oroszország néprajzának és földrajzának tu-

dományában egy meglehetősen nagy terra incognita felfedezője lett.” A térképet a Földrajzi Társaság által 1847-ben az Északi-Urál feltárására kiküldött Hofmann-expedíció eredménnyel használta (Ernst Hofmann [Ernst Karlovics Gofman], 1801–1871). Az expedíció vezetése több példányban sokszorosította, és minden tagja kapott belőle – így a térkép az expedíció útikalauza lett.

Tudománytörténeti érdekesség, hogy a kutatóút tudományos eredményeit tartalmazó első kötetben elmulasztottak megemlékezni Regulyról (Kowalski 1853). Az expedíció 186 földrajzi helymeghatározást és 72 tengerszintfeletti magasságmérést végzett, és elkészítette az Északi-Urál és a tengerparti Paj-Hoj-hátság részletes térképét. A leírásban az olvasható, hogy a térképet Ivanov és Berejnih kormányosok 1821–1828. évi partfelmérési adatainak, valamint Kruzenstern 1843-ban végzett felméréseinek felhasználásával teljesen a kutatók megfigyelései alapján készítették. Regulyt nem említették, pedig térképe nagy segítséget jelentett számukra. (Az expedíció egyetlen magyarországi térképe Pápay József hagyatékából került a debreceni Református Kollégium Könyvtárába.) Amint Reguly az első kötet megjelenéséről értesült, 1853. március 15-én levelet írt Pétervárra. Aziránt érdeklődött, hogyan használták fel az általa nyújtott adatokat. Amikor megtudta, hogy az expedíció a nyomtatásban megjelent leírásban nem emlékezett meg róla, nagyon megsértődött (MTA Kézirattár, Reguly hagyaték, 131. levél). Hofmann ezredes, a kutatás vezetője a második kötetben jóvátette a mulasztást, és elismerte Reguly érdemeit. Könyve bevezetésében megírta, hogy Reguly kérésükre nemcsak megfigyelései eredményét bocsátotta rendelkezésükre, hanem Lüttke admirális kívánságára az Északi-Urál térképét is elké-

szította. Ez nagy hasznára volt az expedíciónak, mert hegyek és folyók nevének tömegét, települések helyét és elnevezését jegyezte fel. Hogy az expedíció részéről adott elégtétel teljes legyen, az MTA könyvtára részére küldött kötet belső lapjára Hofmann sajátkezű ajánlósorokat írt, amelyben elismerte Reguly érdemeit.

Reguly akadémiai előadása térképéről

A Hofmann-expedíció második kötetének megjelenése után az MTA történelemtudományi osztályának 1856. június 2-i ülésén Reguly bemutatta térképét, és ismertette annak készítésének módját. A következő ülésen – június 30-án – folytatta előadását, és mivel Redennek, a bécsi Földrajzi Társaság alelnökének szíveségéből ekkorra már megkapta a Hofmann-expedíció térképét, a két térképet összehasonlíthatta. A bécsi Földrajzi Társaság 1857. január 20-án tartott ülésén Reden is egybevettette a két térképet, és a használhatóság szempontjából Reguly térképét a Hofmann-expedíció térképe elé helyezte: „Összehasonlítottam a Reguly által készített térkép vázlatot az expedíció később készült térképével és a pontos csillagászati megfigyelések előnyét az utóbbira nézve el kell ismernem. Reguly térképének ennek ellenére az a nagyobb érdeme, hogy a vízfolyásokat és hegyvonulatokat pontosabban ábrázolja, valamint az ott előforduló tárgyakat pontosabban megjelöli.” Akadémiai előadásainak szövege, amint arra Pápay is hivatkozik 1906-os dolgozatában, megvan az MTA Kézirattárában. (A Magyar Nyelvtud. 4. r., 5. sz. csomóban a június 2-i előadás a „t” jelzés alatt németül, az „x” jelzés alatt magyarul van meg, míg a június 30-i előadás szövege „b” jelzés alatt magyarul, a „c” jelzés alatt németül található.) Ismertetésével már Pápay is megpróbálkozott, azonban a kézirat annyira

tele van javításokkal és pótlásokkal, hogy összefüggő ismertetésre nem volt alkalmas. Ezek a lapok valószínűleg Reguly előadásának első fogalmazványai voltak. A két akadémiai előadás szövegét 1955-ben Borbély „fejtette meg” Abella Miklós segítségével.

A két akadémiai előadás után Reguly nem foglalkozott többet térképével. A térképezés tudománya iránt azonban továbbra is érdeklődött. 1856 őszén, bécsi tanulmányútján meglátogatta a híres katonai földrajzi intézetet, felkereste a legkiválóbb kartográfusokat, többek között Franz Hauslab tábornagyot (1798–1883), Josef Scheda ezredest (1815–1888) és Valentin Streffleur (1808–1870) domborzatábrázolási szakértőt, és az MTA Kézirattárában (Történelem. Reguly naplója, 8. r., 3. sz.) meglévő feljegyzései szerint alaposan tanulmányozta a térképfelvétel és a térképkészítés eljárásait. Tanulmányai eredményének felhasználására már nem kerülhetett sor, mert éppen 150 évvel ezelőtt, 1858. augusztus 23-án váratlanul elhunyt.

Összegzés

Reguly Antal északi-uráli expedíciója nem tartozik az ún. nagy felfedezőutak csoportjába. Munkájával azonban hozzájárult Oroszország egy számunkra is fontos részének megismeréséhez. Prioritását az orosz források is elismerték. Az újabb irodalomban megfedkeznek térképezésének úttörő jellegéről, és inkább mint nyelvész és néprajzi gyűjtőt méltányolják. Levéltári adatok és a kortársak írásai alapján azonban megállapíthatjuk, hogy térképe megjelenésének idejében igen szoros szolgálatot tett, adatait a tudományos körök a gyakorlatban felhasználták. Szorgalmas megfigyeléseinek eredménye azoknak a munkáiban él tovább, akik kutatóútjának bőséges adathalmazából merítenek.

Igazat kell adnunk Regulynak, amikor második akadémiai előadásán kijelentette: „az érdem, melynél fogva amaz örök homály-

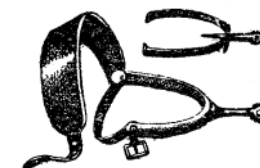
lyal fedett tájakat az ethno- és geográfiai tudás színvonalára emeltem, nem lehet, hogy tőlem megvonassék.”

Kulcsszavak: *Ural, térképtörténet, terepi adatgyűjtés, nyelvészet, néprajz*

IRODALOM

- Bagrow, Leo (1952): The First Russian Maps of Siberia and Their Influence on the West-European Cartography of N. E. Asia. *Imago Mundi*. IX., 83–95. (A Remezovnak tulajdonított térkép a 82. és 83. oldal között.)
- Borbély Andor (1955): Reguly Antal térképének szerepe az Észak-Ural megismerésében. *Földrajzi Közlemények*. 3, 231–242.
- Herberstein, Sigismund von (1549): *Rerum Moscovitarum Commentarii*. Basileae
- Keyserling, Alexander von (1846): *Wissenschaftliche Beobachtungen auf einer Reise in das Petschora-Land, im Jahre 1843*. Carl Kray, St. Petersburg, <http://books.google.hu/books?id=nZUNAAAAQAAJ&hl=en>
- Térképmelléklete: Geognostisch-geographische Übersicht des Petschora-Landes, zusammengetragen nach fremden und eigenen Beobachtungen von A. v. Keyserling und P. v. Krusenstern.
- Kowalski, Marian (1853): *Der Nördliche Ural und das Küstengebirge Pai-Choi, untersucht und beschrieben von einer in den Jahren 1847, 48, 1850 durch die Kaiserl.*

- russische geographische*. Gesellschaft ausgerüsteten Expedition. Bd. I. Ortsbestimmungen und magnetische Beobachtungen, angestellt von M. Kowalski. St. Petersburg, Wien
- Kyriłow, J. (1734): *Imperii Russici tabula generalis quo ad fieri potuit accuratissime descripta opera et studio Ioannis Kyriłow*. Petropoti, <http://www.historicemapy.cz/ASIE/106-IMPERII-RUSSICI-TABULA-GENERALIS.html>
- De L'Isle, Joseph Nicolas (1745): *Mappa Generalis Totius Imperii Russici*. Acad. Petropolitana, St. Petersburg https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/32589/N_1213_k20.jpg?sequence=1
- Márton Máttyás (2008): *Reguly Antal, Észak Körösi Csomája* (kézirat)
- Pápay József (1906): Reguly Antal uráli térképe. *Földrajzi Közlemények*. 1906/9, 349–370
- Stuckenberg, Johann Christian (1841): *Beschreibung aller im Russischen Reiche gegrabenen oder projektirte Schiff- und flussbaren Canäle*. St. Petersburg, 298.
- Szaliscsev, Konsztantyin (1953): *A kartográfia alapjai*. II. füzet. kézirat, 185



MAGNETO-OPTIKAI SPEKTROSKÓPIA A MODERN SZILÁRDTESTKUTATÁSBAN – AVAGY A LÁTHATÓ MÁGNESSEG –

Kézsmárki István

PhD, egyetemi docens,
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Fizika Tanszék
kezsmark@dept.phy.bme.hu

A látás, bár csak egyike az öt alapvető érzékünknek, önmagában nagyon sokrétű információt közvetít felénk a környező világból. A túlélés szempontjából talán legfontosabb ezek közül a kontraszt – a tárgyak felületének, kiterjedésének, távolságának – érzékelése. Ezen túl a látvány sokszínűsége számos, az élethez nélkülözhetetlen ismeretet juttat még el hozzánk: a színek kavalkádja nem csak esztétikai értékkel bír, az élővilágban legtöbbször határozott funkciója van, differenciál, kiemel, elrejt... A látás képességére ritkán tekintünk úgy, mint a fény és az anyag közti kölcsönhatásnak köszönhető adományra. Hasonlóképpen, szemünkre – amely a fény intenzitásán túl képes színeket észlelni, azaz felbontani a spektrumot különböző energiájú fotonokra – nem úgy gondolunk, mint egy kiváló és érzékeny optikai spektrométerre, pedig méltán tehetnénk. Bár a modern spektrométerek észlelési tartománya jóval szélesebb, mint amit a szemünk képes átfogni (a mikrohullámoktól a röntgenig terjed), úgy tűnik, a létért folytatott küzdelemben elegendő befogadnunk a látható fény tartományából kapott információkat. Ráadásul az evolúciós tanulási folyamatban – újabban tudományak is

hívjuk – az önmagáért beszélő látványon túl kevésbé nyilvánvaló, közvetett ismeretekre is szert tettünk. Egy vörösen izzó tárgyat nem érintünk meg, még ha nem is érezzük távolról a melegét. Átlátszó anyagok esetén tudjuk, hogy szigetelőkkel van dolgunk, melyek nem vezetnek az elektromos áramot, míg csillogó, jól tükröző felületek esetén sejtjük, hogy fémből készültek. Ha egy közeg opálos, szórja a fényt, annak az az oka, hogy sűrűség-ingadozásokkal van teli. Feltehetjük magunknak a kérdést, hogy *mi az anyagi tulajdonságoknak az a legtagabb köre, amit látásunk révén megismerhetünk*. Pusztán ránézésre meg tudjuk-e mondani egy tárgyról, hogy könnyű-e vagy nehéz? Mágneses avagy nem? Sós vagy édes?

*Jobb- és balkezesség
a fény-anyag kölcsönhatásban*

Az utóbbi két kérdésre Michael Faraday és Louis Pasteur nyomán mintegy másfél évszázada már tudjuk, hogy a válasz: igen. Faraday 1845-ben megfigyelte, hogy mágneses térbe tett anyagokon áthaladva a fény polarizációja megváltozik, aminek segítségével eldönthetjük, a látott tárgy mágneses-e (Faraday, 1846). Négy évvel később Pasteur felfedezte,

hogy borkősavkristályok mágneses tér nélkül is képesek elforgatni a lineárisan polarizált fény polarizációs síkját.¹ Ráadásul két kristály, melyek formájukat tekintve egymás tükörképei, ellentétes polarizáció-változást okoz. Az így szétválogatott jobb- és balkezes kristályokat feloldva azt találta, hogy ezen tulajdonságuk az oldatban is megmarad, és ennek alapján megjósolta az úgynevezett királis szerkezetű molekulák létezését. A két királis módosulat vagy enantiomer, bár egymás síkra vetített tükörképei, más módon fedésbe nem hozhatók, ahogyan igaz ez jobb és bal kezünkre. Azóta tudjuk, hogy kiralitással rendelkezik a bennünket alkotó szerves anyagok – aminosavak, cukrok és enzimek – többsége, sőt vércukorszintünket is gyakran ezen az elven, optikai úton mérjük.

A két tudós által leírt jelenségek, a mágneses cirkuláris kettőtörés és a természetes cirkuláris kettőtörés lényegét könnyen megérthetjük. Az utóbbi esetben, mint Pasteur rámutatott, a királis – jobb- vagy balkezes – szerkezetek különbséget tesznek a kiralitás tulajdonságát szintén hordozó fotonok között, az anyagbeli *fénysebesség eltérő lesz jobb- és balkezes fotonokra*. Így a kezdetben lineárisan polarizált fény, amely e két állapot egyenlő arányú keveréke, polarizációja megváltozik, ha a közeg az egyik enantiomerből többet tartalmaz. Az irodalomban gyakran használt optikai forgatás elnevezés félrevezető lehet, ugyanis nem pusztán a polarizációs sík elfordulásáról van szó, hanem a mintán áthaladó vagy arról visszaverődő fény általános esetben elliptikusan polarizálttá válik, amit a Θ és az

¹ Pasteur felfedezésének voltak előzményei. François Jean Dominique Arago már 1811-ben kvarckristályoknál megfigyelte a jelenséget, amit ugyanebben az időben Jean-Baptiste Biot szintén tapasztalt szerves molekulák gőzében és oldatában.

η paraméterekkel jellemezhetünk. Az előbbi azt írja le, hogy a szórt fény polarizációs ellipszisének nagytengelye mennyire fordul el a beérkező fény polarizációs síkjához képest, míg az utóbbi az ellipszis kis- és nagytengelyének arányát adja. Faraday azt tapasztalta, hogy *mágneses térbe helyezve tetszőleges anyag cirkuláris kettőtörést mutat, ami az időtükrözési invariancia sérülésének általános következménye*. A természetes optikai forgatással analógiában gondolhatunk rá úgy is, hogy a mágneses tér jelenlétében az anyagban lévő elektronok maguk is királis objektumokká válnak, és a fotonok saját kiralitásuktól függő módon szóródnak rajtuk. A jelenséget először optikailag átlátszó anyagoknál figyelték meg, de fellép fényt elnyelő közegek esetén is, ekkor magneto-cirkuláris dikroizmusnak nevezzük, míg felmágnesezett felületről való visszaverődés esetén magneto-optikai Kerr-effektusról beszélünk.

Meg kell jegyezzük, hogy Pasteur és Faraday a természetes és mágneses cirkuláris kettőtörés felfedezésekor nem pusztán a szemükre hagytak. Mivel a szem nem érzékeny a fény polarizációjára, méréseikben segédeszközként polarizátort alkalmaztak. Éppen ezért mégsem biztatnék senkit arra, hogy pusztán szemmel próbálja meg egy anyagról eldönteni, hogy mágneses-e, illetve sós-e vagy édes.

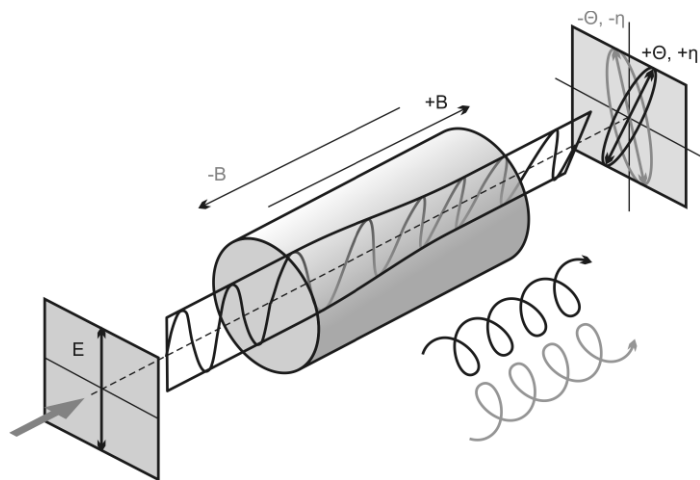
A látható, valamely érzékünk által közvetlenül is észlelhető dolgok megismerése és megértése minden korban intenzíven foglalkoztatta az embert, és a kutatások előterében állt. Ebben komoly szerepet játszik a személyes tapasztalás öröme, ellentétben az általunk csak közvetett módon, komplex kísérletek és absztrakciók révén megismerhető dimenziókkal és mérettartományokkal, mint amilyen például az anyag szubatomi skálája. Nem

véletlen, hogy a *cirkuláris kettőtörést is először a látható fény tartományában fedezték fel, bár megnyilvánul a teljes elektromágneses spektrumban*. Néhány évtizeddel később, 1879-ben Edwin Hall megfigyelte a jelenség egyenáramú analógját. Azt találta, hogy ha a mágneses térbe helyezett vezetőre az indukcióra merőleges síkban elektromos feszültséget kapcsol, akkor nem csak longitudinális (feszültséggel párhuzamos) áram folyik, hanem megjelenik egy transzverzális (a mágneses térre és a feszültségre egyaránt merőleges) áramkomponens is – ez a jól ismert Hall-effektus (Hall, 1925). Majd fél évszázados késéssel követte ezt a ciklotron rezonancia, a mágneses magrezonancia és az elektron spin rezonancia felfedezése, illetve a mindössze két évtizede alkalma-

zott röntgen mágneses cirkuláris kettőtörés. Mindezek háttérben a korábban tárgyalt jelenségkör áll.

Mágnesség nagy érzékenységű optikai detektálása akár mikroszkopikus skálán

Mivel a magneto-optikai effektusok jóval erősebbek ferromágneses anyagokban, mint amit paramágnesek mutatnak laboratóriumi körülmények között előállítható terekben, elterjedten használják őket az anyagok spontán mágneszettségének mérésére. A rájuk alapozott kísérleti technikák kiváló érintés- és roncsolásmentes vizsgálati módszerek, hiszen a fotonok polarizációs állapotát, a fényszóródás során abban bekövetkező változást használjuk detektorként. Ha biztosítani tudjuk,



1. ábra • A Faraday által először megfigyelt magneto-optikai forgatás jelensége. Mágneses térbe helyezett anyag esetén az elektromágneses hullámok leírásánál nem választhatunk tetszőlegesen két ortogonális polarizációs állapotot, ahogy azt vákuumban, izotróp közegben vagy magas szimmetriájú kristályokban megszoktuk. Ehelyett a két cirkuláris polarizációjú állapot – jobb- és balkezes kiralitású fotonok – adja a Maxwell-egyenletek hullámmegoldását. A vákuumból érkező lineárisan polarizált fény a mágneses anyagban nem lesz polarizációs sajátállapot, azaz a két királis állapot eltérő terjedésének köszönhetően a polarizáció megváltozik, elliptikussá válik. Hasonlóan, a Pasteur által felfedezett természetes optikai forgatás esetén az anyag királis szerkezete miatt lesz eltérő a fénysebesség a jobbra és balra cirkuláris fotonokra.

hogy a polarizáció a fény terjedése során ne változzon, leszámítva a mágneses anyaggal való kölcsönhatást, akkor a mérési információ kiolvasása nem lokális: a fényforrást követő polarizátor és a fotodetektor előtt található analizátor tetszőleges távolságra szeparálható a vizsgált mintától. Ez lehetőséget teremt arra, hogy anyagok mágneses viselkedését akár extrém körülmények (alacsony hőmérséklet, nagy mágneses tér, magas hidrosztatikus nyomás) között is figyelemmel kísérhessük, a nyalábot egy optikailag átlátszó ablakon keresztül juttatva a mintát tartalmazó térrészbe.

Ráadásul a módszer gyakran érzékenyebb még a szupravezető kvantum interferométerre alapozott, köztudottan nagy pontosságú mérőrendszereknél is. Különösen igaz ez ultravékony, mindössze néhány atomi rétegből álló mágneses filmek vizsgálatánál. Ilyen vastagságú fémek, illetve kis tiltott sávú félvezető rétegek nem teljesen átlátszóak, már szabad szemmel is láthatók. Az optikai és magneto-optikai spektroszkópiában egyaránt érvényesül az az elv, hogy amit látunk, azt meg is tudjuk mérni. Valóban, néhány nanométer vastagságú anyag mágneszettségének detektálására ez az egyetlen, kellő érzékenységű mérési eljárás. Ráadásul, lefókuszálva a fénynyalábunkat a felület mindössze egy négyzetmikronos tartományára összpontosíthatunk, azaz *egy ezred köbmikromnyi anyag mágneszettségét is megmérhetjük*. Ez a térbeli felbontás lehetővé teszi a mágneszettség laterális változásának nyomon követését mikrométeres mérettartományban, betekintést nyújtva például a mágneses alkotók térbeli eloszlásába vagy az anyag doménszerkezetébe.

A magneto-optikai mikroszkópia eredményességét jól szemlélteti a következő példa, ahol egy anyagcsalád mágneses fázisdiagramját tudtuk feltérképezni mindaddig egyedül-

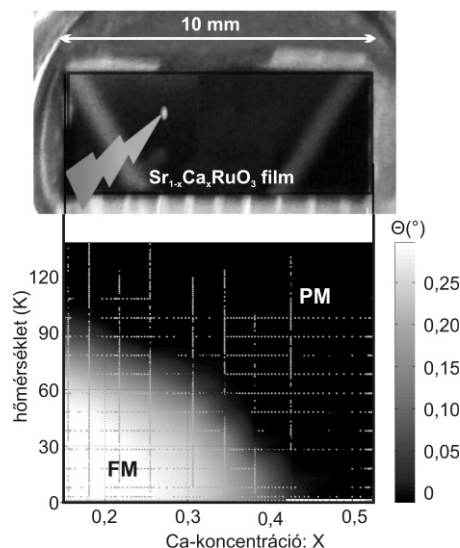
álló részletességgel. A SrRuO_3 egy ferromágneses fém, melyben lényegében mind a mágnességért, mind az elektromos vezetőségért a Ru^{4+} ionok elektronjai felelősek. Ebben a vegyületben a Sr-ot Ca-ra cserélve – ezzel egyik ion töltésállapotát sem változtatva – a mágneszettség eltűnik, bár a rendszer fémes marad. Ennek oka, hogy az erősen eltérő ionsugarú Sr^{2+} és Ca^{2+} cseréjével a kristályszerkezet megváltozik, és a szomszédos Ru^{4+} ionok közötti mágneses kölcsönhatás, amely ferromágnesesen képes rendezni a spineket, lecsökken. A mindennapi életben gyakran találkozunk hőmérsékletváltozás hatására bekövetkező fázisátalakulásokkal, ilyen például a víz fagyása vagy olvadása. A fázisátmeneteknek létezik egy másik osztálya, az úgynevezett kvantum fázisátalakulások, amikor abszolút zérus hőmérséklethez közel valamely külső hatásra vagy az összetétel bizonyos értékénél változnak meg radikálisan az anyag tulajdonságai. A kutatók széles körét foglalkoztatja a kérdés: vajon a fenti anyagcsaládkhoz hasonló rendszerekben az összetevők folytonos változtatásával egy kritikus értéknél ferromágneses-paramágneses kvantum fázisátmenet következik be? Ennek eldöntésére egy olyan atomi réteg simaságú (ún. epitaxiális növesztéssel készített) vékony réteget használunk, ahol a koncentráció a film síkjában egy irányban egyenletesen változik, azaz ahogyan a *2. ábra* mutatja, a $\text{Sr}_{1-x}\text{Ca}_x\text{RuO}_3$ mintában a Ca-tartalmat jelentő x paraméter a pozíció függvénye. Közel zérus hőmérsékleteken ($T=2\text{K}$) a mintát egy néhány mikron átmérőjűre lefókuszált lézernyalábbal végigpásztáztuk, és a magneto-optikai forgatásból meghatároztuk a lokális mágneszettséget a pozíció, vagyis a Ca-koncentráció függvényeként. A mérést magasabb hőmérsékleteken megismételtük, *feltérképeztük ezáltal a $\text{Sr}_{1-x}\text{Ca}_x\text{RuO}_3$*

anyagcsalád mágneses fázisdiagramját. A Ca-koncentráció és a hőmérséklet egy kiterjedt tartományában a rendszer ferromágneses viselkedést mutat. Azt találtuk: a Ca-koncentráció növelésével az átalakulás hőmérséklete folytonosan csökken, és közel azonos Sr- és Ca-tartalom esetén zajlik le a ferromágneses állapotból paramágnesesbe vivő kvantum fázisátalakulás (Hosaka et al., 2008).

Magneto-optikai spektroszkópia a modern szilárdtestkutatás és anyagtudomány szolgálatában

A magneto-optikai Kerr-effektusra – illetve a mágneses cirkuláris kettőtörés más megjelenési formáira – alapozott nem-diagonális optikai spektroszkópia a polarizált fénynek mágneses anyagokon történő szóródását követő polarizációváltozást, polarizáció elfordulást (Θ , η) méri a fotonenergia függvényében. A módszer a mágnesezettség optikai úton történő detektálásán messze túlmenően lehetővé teszi más fundamentális fizikai paraméterek meghatározását (Sugano et al., 1996; Antonov et al., 2004). A molekulák, kristályos és amorf anyagok elektronszerkezetének megismeréséhez leggyakrabban infravörös spektroszkópiát használunk, ahol a fotonok energiájának függvényében vizsgáljuk, hogy milyen mértékben nyelődik el a fény az anyagban, vagy éppen verődik vissza annak felületéről. Így megadhatjuk a kristályt alkotó atomok elektron nívóiból formált sávok szélességét és az őket elválasztó tiltott sávokat, egyszóval az anyag sávszerkezetét. Ennek tükrében már meg tudjuk mondani, hogy fémmel, félvezetővel vagy nagy tiltott sávú szigetelővel van dolgunk. Kölcsönható elektronrendszerek fontos sajátja, hogy bennük az elektronok (töltés, spin vagy pálya szabadsági fokuk révén) komplex mintázatokat,

rendeződési formákat hoznak létre. Az elektronok közötti korreláció abban is megnyilvánul, hogy külső hatásra kollektíven reagálnak: mint ahogy emberi közösségekben is tapasztalunk csoportos reakciót, úgy egy teljes elektronrendszer állapota is megváltoz-

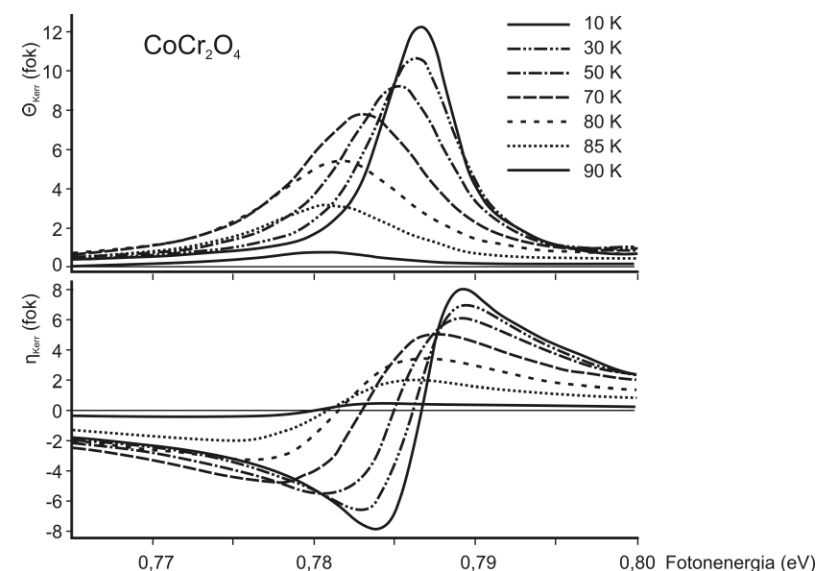


2. ábra • Az ábra felső része a molekulásugaras epitaxiális növesztéssel előállított $\text{Sr}_{1-x}\text{Ca}_x\text{RuO}_3$ mágneses vékony réteget mutatja. A Ca-tartalom a minta síkjában balról jobbra haladva az $x=0,15-0,53$ tartományban egyenletesen változik. A méréshez használt pásztázó fénynyaláb, melynek foltátmérője a minta felületén néhány mikron, szematikusan szintén fel van tüntetve. Az ábra alsó részlete egy szintérikép, amely a Ca-koncentráció és a hőmérséklet által meghatározott fázisikon mutatja a magneto-optikai forgatás erősségét, ami arányos a film lokális mágnesezettségével. A színek és a Θ -val jelölt magneto-optikai Kerr-forgatás közötti kapcsolatot a jobb oldali skála mutatja. A fázisdiagram két jól elkülöníthető tartományra bomlik: a világos ferromágneses és a sötét paramágneses régióra.

hat egyetlen foton elnyelésekor. Ezen kollektív gerjesztésekről is számot ad az optikai spektrum (Kézmárki et al, 2008; Okimoto et al., 2007).

A magneto-optikai spektroszkópia tovább árnyalja a képet, hiszen képes azt is megmondani, mely elektronsávok mágnesesek, mekkora az elektronok közötti mágneses kicserélődési kölcsönhatás, erős-e a mágneses elektronok relativisztikus eredetű spinpálya csatolása, illetve a kollektív gerjesztések megváltoztatják-e az anyag mágneses tulajdonságát. Komplex mágneses rendszerek esetén pedig specifikus információt szolgáltat az egyes összetevőkről: *összetett kristályos anyagok esetén ez az „ion-szelektivitás” lehetőséget kínál az egyes mágneses alrácok különálló vizsgálatára* (Kézmárki et al., 2005; Mihály et al., 2008).

A CoCr_2O_4 spinell szerkezetű szigetelő kristály alacsony hőmérsékleten úgynevezett multiferro rendet mutat, azaz a ferromágnesesség (jelen esetben pontosabban szólva ferrimágnesesség) mellett a bonyolult spinstruktúrának köszönhetően ferroelektromosság is megjelenik benne. Ráadásul elektromos polarizációja külső mágneses térrel könnyen változtatható, ami egy koncepcionálisan új információátvitel lehetőségét teremti meg, továbbá jól használható mágneses érzékelőként. Mindezek igen vonzóvá teszik technológiai alkalmazások számára. Ahhoz azonban, hogy e bonyolult mágneses rendszer viselkedését mélyen, mikroszkopikus szinten megértsük, szükség van a kristályt alkotó eltérő ionok mágnesezettségének külön-külön történő detektálására. Ezt sikerült megvaló-



3. ábra • A CoCr_2O_4 ferrimágnes kristály magneto-optikai spektrumában megfigyelt, szigetelőkben eddig példátlan nagyságú Kerr-forgatás. A telekommunikációban leggyakrabban használt közeli infravörös tartományban jelentkező optikai átmenet a Co^{2+} ionok gerjesztésének köszönhető. A mágneses fázisban ($T_c=93\text{K}$ alatt) felnövekvő óriási magneto-optikai aktivitásért részint a Co^{2+} ionok környezete (az úgynevezett lokális kristálytér) másrészt a tökéletesen polarizált alrács-mágnesezettség felelős.

sítanunk magneto-optikai spektroszkópiával, ugyanis a mágneses ionok (Co^{2+} , Cr^{3+}) gerjesztési energiában jól elkülönülnek egymástól, és függetlenül mérhetőek. Ráadásul azt találtuk, hogy a Co^{2+} ionok magneto-optikai aktivitása a közeli infravörös és a látható tartományban igen erős: az általunk megfigyelt $\Theta=12^\circ$ magneto-optikai Kerr-forgatás (lásd 3. ábra) mágneses szigetelők esetén abszolút rekordnak számít, és tipikusan két nagyságrenddel nagyobb a jelenleg ipari alkalmazásban lévő anyagokra jellemzőnél.

Összegzés

A nagy mágneses-optikai effektust mutató anyagok az optikai kommunikáció és adattárolás alapvető építőkövei. Mivel közülük csak kevés integrálható a napjainkban elterjedt félvezető technológiákba, nagy igény mutatkozik új mágneses félvezetők előállítására, melyek óriási magneto-optikai aktivitással bírnak. Így a téma napjaink szilárdtestfizikájának egyik legintenzívebben kutatott területévé vált. Sa-

ját kísérleti eredményeinken keresztül igyekeztem betekintést adni a tudományterület néhány érdekes, aktuális kérdéskörébe. Mindezek alapján azt gondolom, hogy a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Fizika Tanszékén folyó magneto-optikai kísérletek mind az alkalmazott technológiák, mind az alap kutatás szemszögéből fontosak. A jelenleg fejlesztés alatt álló egyedi, szélessávú magneto-optikai spektrométer a hozzá csatolt mikroszkóppal együtt – a mágneses rendszerek vizsgálatán túl – komoly interdiszciplináris potenciállal is rendelkezik. Kiváló eszköz lehet fehérrék másodlagos szerkezetének meghatározására (Greenfield, 2007), hiszen kiterjeszti a proteinek cirkuláris kettőtörésen alapuló vizsgálatát az ultrabolya és látható fény tartományán túl a széles infravörös spektrumra.

Kulcsszavak: magneto-optikai effektusok, cirkuláris kettőtörés, optikai spektroszkópia, mágneses anyagok, multiferro rendeződési formák

IRODALOM

- Antonov, Victor – Harmon, B. – Yaresko, A. (2004): Electronic Structure and Magneto-optical Properties of Solids. Kluwer Academic Publishers, Amsterdam
- Faraday, Michael (1846): On the Magnetization of Light and the Illumination of Magnetic Lines of Force. Burndy Library. The Royal Society, London
- Greenfield, Norma J. (2007): Using Circular Dichroism Spectra to Estimate Protein Secondary Structure. *Nature Protocols*. 1, 2876.
- Hall, Edwin H. (1925): Measurement of the Four Magnetic Transverse Effects. *Physical Review*. 26, 820.
- Hosaka, Noriko – Yamada, H. – Shimada, Y. – Bordács S. – Kézsmárki I. et al. (2008): Magneto-optical Characterization on the Ferromagnetic-Paramagnetic Transitions in the Composition-spread Epitaxial Film of $\text{Sr}_{1-x}\text{Ca}_x\text{RuO}_3$. *Applied Physics Express*. 1, 113001.
- Kézsmárki I. – Onoda, S. – Taguchi, Y. et al. (2005): Magneto-optical Effect Induced by the Spin Chirality of the Itinerant Ferromagnet $\text{Nd}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$. *Physical Review B*. 72, 94427.
- Kézsmárki I. – Tomioka, Y. – Miyasaka, S. – Demkó L. et al. (2008): Optical Phase Diagram of Perovskite-type Colossal Magnetoresistance Manganites with Near-half Doping. *Physical Review B*. 77, 75117.
- Mihály G. – Csontos M. – Bordács S. – Kézsmárki I. et al. (2008): Anomalous Hall Effect in (In,Mn)Sb Dilute Magnetic Semiconductor. *Physical Review Letters*. 100, 10721.
- Okimoto, Y. – Matsuzaki, H. – Tomioka, Y. – Kézsmárki I. et al. (2007): Ultrafast Photoinduced Formation of Metallic State in a Perovskite-type Manganite with Short Range Charge and Orbital Order. *Journal of the Physical Society of Japan*. 76, 43701.
- Sugano, Satoru – Kojima, Norimichi (1996): *Magneto-optics*. Springer-Verlag, Berlin

Tudós fórum

AZ MTA ELNÖKSÉGÉNEK NYILATKOZATA AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁSSAL ÖSSZEFÜGGŐ HAZAI FELADATOKRÓL

Az éghajlatváltozás a XXI. század meghatározó tényezője a társadalomban, az ember és a természet kölcsönhatásaiban egyaránt. Minden ország közös érdeke a földi éghajlatra tett emberi hatások csökkentése, és ezáltal az éghajlati tényezők olyan stabilitásának megteremtése, amelyhez még alkalmazkodni képesek a természeti rendszerek és a társadalmak, és amely minimalizálja a szélsőséges időjárási események káros következményeit. Ezért sürgős feladat a globális, a regionális és a nemzeti szintű intézkedések kidolgozása és végrehajtása mind az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére, mind pedig a megelőzés, a védekezés és a helyreállítás (összefoglalóan: az alkalmazkodás) érvényesítésére.

Magyarországon a klímaváltozás hatására felmelegedés, kiszáradás, az extrém időjárási jelenségek gyakoriságának és károsításának növekedése valószínűsíthető az előrejelzések alapján. A klíma- és időjárás-változás jelenségeivel kapcsolatban (aszály, özvényszerű helyi esők, áradások, belvizek, sárlavinák, jégverés, hóakadályok, szélviharok, tornádószerű jelenségek, hőség hullámok, bozót- és erdőtüzek stb.) igen fontos a társadalom és a helyi lakosság felkészítése a megelőzésre, a kárenyhítésre, az esetlegesen bekövetkező károk helyre-

állítására, amiben a tudományos tevékenység is fontos szerepet játszik.

Az éghajlatváltozással kapcsolatban új tudományos kutatási és innovációs feladatok jelentkeznek. Ezek négy nagy csoportba sorolhatók:

- Az éghajlattal összefüggő természeti és társadalmi folyamatok nyomon követése, a változási tendenciák kimutatása, illetve előrejelzése.
- Az üvegházhatású gázok kibocsátását csökkentő technológiai eljárások fejlesztése, illetve a természetes karbonnyelő rendszerek hatékonyságának növelése.
- Az alkalmazkodás (megelőzés, védekezés, helyreállítás) jelenlegi módszereinek és eljárásainak javítása.
- A társadalom klímatudatosságának növelése az oktatás, a nevelés, ismeretterjesztés és a szaktanácsadás segítségével.

Az éghajlatváltozás hatásai általában károsak, de esetenként hasznosak is lehetnek. Ezek a hatások a társadalmi cselekvés szinte minden területét érintik (természetvédelem, mezőgazdaság, erdészet, vízgazdálkodás, energetika, ipar és szolgáltatások, közlekedés, települések, egészségügy, turizmus, gazdasági és jogi szabályozás, oktatás és kultúra). Ezért valamennyi

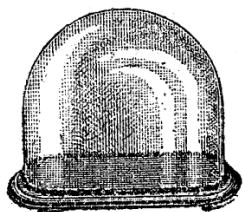
tudományterület (természettudományok, matematika, agrártudományok, orvosi tudományok, műszaki tudományok, társadalom- és gazdaságtudományok) egyaránt érdekelt az új tudományos kutatási és technológiai feladatok ellátásában.

Az MTA kutatóintézetei és tudományos bizottságai felölelik ezeket a területeket, így módon alkalmasak a rendszerszemléletű interdiszciplináris problémák vizsgálatára, a szükséges és lehetséges válaszintézkedések tudományos megalapozására.

A klímaváltozás részbeni okozója és káros hatásainak elszennvedője az ember. A hatékony védekezés a klímaváltozás ellen, továbbá az alkalmazkodás jelentős társadalmi, gazdasági

megterhelések és változások kiváltója lehet, ezért alapvetően fontos a klímaváltozás társadalmi összefüggéseinek a vizsgálata. Hatékony cselekvési programok csak a társadalom valamennyi rétegének az összefogásával valósíthatók meg.

Az MTA Elnöksége készségét fejezi ki a kormányzati szervekkel, a vállalati-üzleti szférával, az önkormányzatokkal, a szakmai és civil szervezetekkel, az egyházakkal és a médiával való együttműködésre az éghajlatváltozással összefüggő új kihívásokra adandó válaszok kidolgozásában az ország természeti és kulturális értékeinek védelme, a lakosság létfeltételeinek biztonsága és a gazdasági élet hatékony működése érdekében.



A PUNGOR ERNŐ ASZTALTÁRSASÁG ALAPÍTÓI NYILATKOZATA

Az alapítók: **Bendzsel Miklós, Dudits Dénes, Fodor István, Pakucs János, Szendrő Péter, Závodszky Péter.** Az Asztaltársaság felkért társult tagjai: **Bogsch Erik, Chikán Attila, Freund Tamás, Patkó Gyula, Pártos Ferenc, Tulassay Tivadar.**

Az asztaltársaság tagjainak célja: szakmai tekintélyük latba vetésével közösen munkálkodni a magyar szellemi értékek, az innováció, a műszaki és természettudományos alkotások létrehozása, érvényre jutása, megismerése és hasznosulása érdekében. Feladatuknak tekintik a mindenkori kormányzati döntéshozók és a gazdasági élet prominens szereplőinek meggyőzését az ország szellemi potenciáljának növelése érdekében.

A társaság megalakulásával, szándékaival kapcsolatos további információkért, nyilatkozatért keressék bizalommal Fodor Istvánt, az Ericsson Magyarország korábbi elnökét (Tel.: 06-309-411-114) valamint Szendrő Péter egyetemi tanárt, a Szent István Egyetem korábbi rektorát (Tel.: 06-309-487-313).

Dürr János

az asztaltársaság titkára

Tel.: 06-30-466-5908 • durrib@t-online.hu

CHERN-ÉREM

A Nemzetközi Matematikai Unió – amelynek elnöke **Lovász László** akadémikus – és a **Chern-érem Alapítvány** új matematikai díjat alapított a kitűnő kínai matematikus, **Shiing-Shen Chern** emlékére.

A díjat azok a magánszemélyek kaphatják meg, akik a matematika terén egy életen át végzett munkásságuk alapján méltók erre. A díjjal érem jár, valamint 500 ezer USD, amelynek felét a díjazott által megnevezett intézmény kapja a matematika kutatásának, oktatásának, valamint a matematikával kapcsolatos ismeretterjesztés elősegítésére.

A Chern-érmet első ízben 2010. augusztus 19-én, az indiai Hyderabadban, a Matematikusok Nemzetközi Kongresszusának megnyitóján adják át.

INFORMÁCIÓK: A NMU sajtóközleménye: http://www.mathunion.org/fileadmin/IMU/Prizes/Chern/Chern_MedalPress_Release_090601.pdf; Részletek a díj odaítéléséről: http://www.mathunion.org/fileadmin/IMU/Prizes/Chern/Chern_Medal_Program_Guidelines.pdf

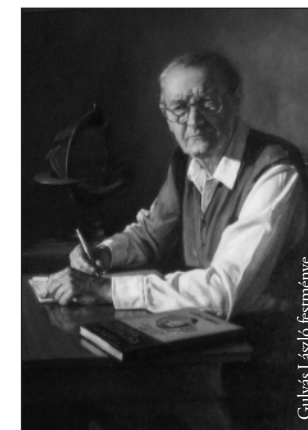


Megemlékezés

2009. április 15-én hosszú szenvedés után elhunyt Gánti Tibor vegyészmérnök, a biológiai tudományok doktora, az ELTE volt címzetes professzora, az élet mibenlétének és keletkezésének kivételes kutatója, a rendszerkémi szellemi atyja. Hamvait kívánságának megfelelően Zebegegy fölött szeretett Dunájába szórtuk. Érdekes és küzdelmes életutat járt be. Meggyőződődésem, hogy néhány évtized múlva életművét – ha életét nem is – diadalmasnak fogja tekinteni az utókor. Ezt az életművet szeretném igen nagy vonalakban felvázolni.

Gánti Tibor iskolás korától kezdve természetbúvár volt: az élőlényektől a barlangászatig minden érdekelt. De nagyon korán elgondolkodott azon is, hogy miként is foghatjuk fel az élet lényegét. Meggyőződésévé vált, hogy a kérdés logikailag a kémiába nyúlik, ezért is ment vegyészmérnöknek. Később észrevette azt is, hogy történetileg is a kémia a forrás; és az élet keletkezése kutatásának legjobb hazai ismerőjévé vált.

Mikrobiológiai ismereteit az Élesztőgyár élesztőlaboratóriumának vezetőjeként (1958–1965) kamatoztatta, majd a REANAL Finomvegyszergyárban dolgozott a biokémiai üzem főmérnökeként (1965–1974). Ebben az időben dolgozott ki és szabadalmaztatott számos



Gulyás László festménye

GÁNTI TIBOR

1933–2009

megkönnyítette, hogy korábban röntgenkristallográfiai munkát is végzett. Ezirányú érdeklődése az első, a témáról szóló könyvben (*Forradalom az élet kutatásában*, Budapest: Gondolat, 1966) csapódott le, mely hézagpótló volta miatt például az orvosegyetemen évekig tankönyvként szolgált. Az utolsó fejezet (*Élet és halál*) az eljövendő, alapvető elméleti biológiai munkásságot előlegezi meg. Kevéssel ezután az ELTE-n biológusoknak ipari biokémiát oktatott (1968–1972).

Ezt követően nagy művén, *Az élet princípiuma* (Budapest: Gondolat, 1971) című munkán dolgozik, mely ismeretterjesztő álcában jelenik meg; egyszerűen azért, mert a szerző nem látott reálisnak semmilyen egyéb próbálkozást. A könyv első fele (*Az új adatok*) időszerű összefoglalását adja a molekuláris

ipari termelési eljárást, melyek manapság a „mesterséges anyagcsere” technológiai vonulatába illeszkednek. 1974-es kandidátusi disszertációja (*Ipari szintézisek enzimes reakcióhálózatok irányított működtetésével*) e tevékenység összefoglalója, egyszersmind elméleti kutatásainak egyik alkalmazott hivatkozási pontja. Ipari tevékenységének rövid szüneteiben könyvtárakba járt, így követte a kibontakozó molekuláris biológia eredményeit. Tájékozódását

biológiának (mintegy a korábbi könyv átdolgozott kiadásának tekinthető), míg második fele kifejti azt, amit ma chemoton-elméletként ismerünk, és amit – lassan – így ismer a világ is. Gánti elképesztő intellektuális bátorsággal lándzsát tör amellett, hogy az élet minimális szerveződésében az enzimek nem játszanak alapvető szerepet. E felfogás – Gántinak a molekuláris biológiát magyarázó ismeretterjesztő tevékenységének fényében – nem is kicsit meghökkenítő. Felismerése abban áll, hogy az élet alapvető egységének egyszerűnek kell lennie, miközben az ismert enzimek nyilvánvalóan hosszú evolúció termékei. Másként: az enzimek gyorsítanak, szabályoznak bizonyos folyamatokat, de meg kell azt is kérdeznünk, mi a szabályozott rendszer természete!

Már a *Forradalom az élet kutatásában* című munkában is szerepelt, hogy az életnek kétféle folyamatossága van: az egyik egy irányba hajtja az élő rendszereket (amint az a sejtciklus lépéseiben vagy – általánosabban – az egyedfejlődésben megnyilvánul; s ezt Gánti 1966-ban *főkörnek* nevezte); a másik az anyagcserével és az állandó változás ellenére megmutatkozó állandósággal (a homeosztázissal) kapcsolatos. E gondolatot a *Principium* első kiadásában már az absztrakt kémia nyelvén fejezte ki: a főkört az idealizált templát replikáció, az anyagcsere-folyamatokat egy ciklus jelenítette meg, mely a kiindulási anyagokból a rendszer számára szükséges anyagokat termeli. Mindkét alrendszernek kiemelten fontos sajátossága az autokatalízis, vagyis hogy önmaguk keletkezését katalizálják. Ez a templát replikáció esetében nyilvánvaló volt már akkor is, ám az anyagcserét a kutatók nagy többsége nem tekintette volna autokatalitikusnak. Gánti éveken keresztül vissza-visszatért e kérdésre, és rámutatott, hogy például a Calvin-ciklus vagy a redukív citromsav-

ciklus autokatalitikus a kismolekulák szintjén (miközben az elemi reakciókat enzimek katalizálják). Az önmagát szaporító „kémiai motor” a chemoton-elmélet egyik sarokköve.¹

Feltűnhet, hogy az ily módon definiált chemoton-modell nem tartalmaz térbeli határoló rendszert (membránt). Gánti eredetileg úgy gondolta, hogy a membrán funkciója jelentőségében másodlagos; valahogy úgy, mint ahogy a papír másodlagos a karajhoz képest. Később Domján Dénes meggyőzte arról, hogy feladja ezt az álláspontot, ámde ehhez még egy fejleményre szükség volt: 1972-ben jelent csak meg a biomembránok folyékony mozaik modellje S. Jonathan Singer és Garth L. Nicholson tollából. Ebből Gánti számára nyilvánvalóvá vált, hogy ki kell egészítenie az eredeti modellt egy harmadik, szintén autokatalitikus alrendszerrel, a membrán idealizált modelljével. 1974-től kezdve chemotonnak már a három alrendszerből álló modellt nevezzük. A chemotonelmélet az élet kémiai alapegységét keresi, és alapvető kifejtése logikai. Más kérdés, hogy Gánti már a kezdetektől hangsúlyozta, hogy mentális ugródeszkát jelent az élet keletkezésének megértésében, amennyiben azokat a kémiai evolúciós utakat kutatjuk, amelyek elvezethettek chemoton-szerű rendszerek spontán megjelenéséhez. Felfogása szerint a makromolekulák szekvenciájában megnyilvánuló információ csak az evolúció későbbi szakaszaiban hasznosult, jóllehet a nukleinsavak már korán a rendszer részei voltak.

¹ Csak mostanában derült ki, hogy ez a felismerés milyen mély. Bioinformatikai vizsgálatokat végeztünk azokon mikroorganizmusokon, melyeknek anyagcserehálózatát úgyszólván teljesen ismerjük. Kivételesen igaz rájuk, hogy az anyagcsere nem indítható be csak az összes gén, enzim és tápanyag jelenlétében; ehhez biztosítani kell az autokatalitikus magot is (és ez a heterotróf szervezetekre is igaz).

Így állt az elmélet a 70-es évek első felében, mikor is Gánti összefoglalta elméleti kutatásainak eredményeit az Akadémiai Kiadó *Studia Biologica* könyvsorozata számára. A kézirat több mint fél évtizedig fekvődt a kezeletére illetékeseknél, mire végre 1979-ben megjelent (igaz, akkor váratlanul és párhuzamosan a baltimore-i University Park Press is kiadta).

Mondhatjuk, hogy Gánti munkáját hazánkban jobbra érdeklenség, értetlenség, gúny és rosszindulat fogadta (melyek közül az értetlenség volt talán a legelviselhetőbb). Nemcsak hogy az elméleti biológia nem kapott még akkoriban polgárjogot, de hajmeresztő volt az is, hogy az alapmodellből kihagyta az enzimeket. Azzal pedig, hogy a modelleket egzaktul is jellemezni kell, akkoriban nem sokan értettek egyet. Pedig Gánti itt is meghökkenítő újítással állt elő: feltalálta a körfolyamati sztöchiometriát. Ennek alapgondolata nagyon egyszerű: a szokásos kémiai egyenletekből a katalizátorok (így az enzimek is) kiesnek, hiszen a reakcióban visszaalakulnak. Kvalitatíve úgy kívánják e hibát kiküszöbölni, hogy a reakció nyíla fölé odaírják a katalizátort; ez így viszont nem hordoz mennyiségi információt, nem derül ki, mennyi enzim alakít át mennyi szubsztrátot. Ha viszont mólnyi enzim egy körülfordulás alatt mólnyi szubsztrátot alakít át, akkor egyértelműen beszélünk, de ehhez tényleg szükség van a végrehajtott körülfordulások számára. E gondolatmenet alapján azután sikerült az autokatalitikus ciklusok sztöchiometriájának jellemzése is.

Az elmélet külföldön se járt jobban; talán akkor fogalmazunk frappánsan, ha azt mondjuk, nem értették meg akkoriban, „mi benne a pláne”. Az elméleti biológusok – igen kevés kivételtől eltekintve – az evolúcióval és az

ökológiával foglalkoztak, de nem azzal, hogy kémiai folyamatokat hogyan szervezhetünk élővé. Mint látni fogjuk, az utóbbi években a helyzet radikálisan megváltozott, ami a tudományon igen, elhunyt művelőjén azonban már nem segít.

Az értetlenség dacára a munka tovább folyt. 1978-ban megjelent a *Principium* második kiadása, kiérlelt szerkezettel és tartalommal. S ekkortájt kaptak szerepet az elméletben az enzimek; igaz, meglehetősen szokatlan formában. Gánti visszanyúlt Carl Woese, Francis Crick és Leslie Orgel hatvanas évek végi ötletéhez, és a chemotonokban replikálódó templátok evolúciójának irányát azok direkt enzimikus funkciójában jelölte meg. Magyarán, az enzimikus RNS-ek (ma ribozimeknek nevezzük őket) ettől kezdve nagy szerepet kaptak az elméletben. Valójában Gánti két (1979-es és 1983-as) cikkében az „RNS-világ” teljes pompájában jelen van, noha Walter Gilbert „zászlóbontásként” idézett cikke csak 1986-ban jelent meg.

Gánti 1980-ban védte meg nagydoktori disszertációját. A védelem résztvevők számára nagy élményt nyújtott, negatív értelemben is, Keleti Tamás megátalkodott támadó fellépése miatt. Noha a vita nyilvános és zárt részében is visszakozott néhány mozzanatban, mégis nulla pontot adott az értekezésre. Az értekezés így is átment, és Gánti nemsokára címzetes egyetemi tanár lett az ELTE Genetikai, illetve Növényrendszertani Tanszékén (1999-ig); sokan itt tanultunk tőle elméleti biológiát. Az egyetemen Vida Gábor és Simon Tibor támogatták oktató- és kutatómunkáját; státus szerint az MTA Ökológiai Modellező Csoportjának tudományos tanácsadója volt.

Noha számos tehetséges fiatalat vonzott magához (megkockáztatjuk, ezért sem volt feltétlenül népszerű), megtartani nem tudta

őket; ehhez egyszerűen nem volt elég hajlékony. Ahogy Simonyi Károly írja az egyik tudósról *A fizika kultúrtörténete* című művében, „a saját elméletének foglya” volt, s mindent és mindenkit ebből a szemszögből ítélte meg. Nem értett a mondanivaló különböző használatra történő csomagolásához; ahogy maga is mondogatta, „jó stratégia vagyok, de rossz taktikus”. E kulcsmondat sokat megmagyaráz publikációs nehézségeiből is. „Soha nem tanult meg cikket írni” – mondta róla egy pályatárs, de ezt a kijelentést helyesen kell érteni. Gánti cikkei ugyanis nagyon világosak, csak épp nem tudják „eladni” a koncepciót a gyanakvó olvasók egy részének.

A nyolcvanas években főként két dologgal foglalkozott. Megírta kétkötetes nagy monográfiáját *Chemotonelmélet I–II.* címmel, melyet az OMIKK adott ki (1984, 1989). Főszerkesztője volt a *Térszemle Világa* folyóiratnak, és eközben sok vonatkozásban felrázta, megújította a lapot (1980–1990).

A 90-es években úgy tűnt, az elmélet meghalt, gyakorlatilag senki sem foglalkozott vele. Ekkor hozta létre a *Cogitator* céget, amely – botanikus, zoológus és ökológus szakértők bevonásával – természetvédelmi tanulmányok, jelentések készítésével foglalkozott.

1995-ben jelent meg *Az evolúció nagy lépései* című munka, John Maynard Smith és jelen nekrológ írójának a tollából; ami itt azért fontos, mert e kötetben megkíséreltük beilleszteni Gánti munkáját az őt megillető helyre. Hasonlóan jártunk el a párhuzamos *Nature* szemlecikkekben is. Ettől kezdve a tetszhalott elmélet egyre gyakrabban mutatott életjelenségeket. 2000 környékén többen Gánti munkáinak megjelentetését javasoltuk az Oxford University Pressnek, amire a kiadó szénátusa – a szokásos zártkörű döntési folyamatban – rábólintott. A kötet két korábbi könyv szer-

kesztett változatát, egy további szerzői tanulmányt és a műveket filozófiai és biológiai szempontból értékelő tanulmányokat tartalmaz (James Griesemer, a University of California at Davies filozófiaprofesszora és Szathmáry Eörs tollából). Szinte ezzel egyidőben Mezey Pál sorozatszerkesztő felajánlotta a kétkötetes monográfia angol nyelvű megjelenítését a Kluwer Mathematical and Computational Chemistry sorozatában. Az előkészítő munkák a Budapest Collegiumban folytak, ahol Gánti Tibor egy évig vendégkutató (fellow) volt. Mindkét nagy vállalkozás 2003-ban jelent meg.

Élete utolsó fél évtizedében Gánti a Budapest Collegiumnak a Magyar Űrkutatási Iroda és a European Space Agency által támogatott asztrobiológiai csoportjában mint nagymarosi „bedolgozó” tevékenykedett; tőle származik a koncepció, hogy a marsi sötét dűnefoltokban minden évben néhány hónapig alkalmas életkörülmények lehetnek akár felszínközeli, fotoszintetikus egyszerű élőlények számára. Az idő majd eldönti, hogy tényleg van-e a foltokban élet.

Mint fentebb már jeleztem, nagyot változott a világ. Tavaly európai kezdeményezésre létrejött a rendszerkémia tudománya, amely az autokatalitikus kémiai rendszerek analízisével és szintézisével foglalkozik. Az *in statu nascendi* tudományágat szervező COST-művelet² rendkívül magas pontszámmal végzett a benyújtott pályázatok versenyében, második konferenciája Balatonfüreden lesz idén októberben.³ A kezdeményezés elnöke, Günter von Kiedrowski professzor (Bochum, Németország) Gánti Tibort a kevés alapító atya

² http://www.cost.esf.org/domains_actions/cmst/Actions/Systems_Chemistry

³ <http://www.esf.org/activities/esf-conferences/details/2009/confdetail332.html>

között tiszteli. Ezzel párhuzamosan egymásra jelennek meg azok a közlemények, amelyek munkásságának szellemét követik (néhányat az *Irodalomjegyzékben* idézek).

A legújabb kori tudomány részleges patológiáját mutatja, hogy a hivatkozások még mindig nem tartanak lépést a szóban készséggel elismert intellektuális befolyással. Ennek oka egyszerűen az, hogy a mostani pályázati és publikációs rendszer mintegy rákényszeríti a embereket arra, hogy akkor is eredetinek mutassák magukat, amikor nem vagy nem annyira azok. Ez a viselkedés persze aláássa a szakmai hivatkozás régi, nemes hagyományait is (arra hivatkoznak, aki személyes jóbarát vagy nagy valószínűséggel veszélyes bíráló lehet; a többiek nem igazán számítanak).

Összességében azt mondhatjuk, hogy Gánti szellemi vetése lassanként termőre for-

dul, de a méltó elismerés még várat magára. Ez Gánti Tibornak már mindegy, de a magyar tudományosság számára egyáltalán nem az. Jobb későn, mint soha. Ha jól sejtem, eljön az idő, amikor a chemotonelmélet⁴ a magyar tudomány igen jelentős eredményeként fogják majd értékelni. Gánti érdeklődése és munkássága okán talán a *magister vitae* (kitalált) címre lenne jogosult. Az élet mestereként annak alapjait kutatta, páratlan kitartással és igen szerény támogatással. Életművész biztosan nem volt, a szerencse is inkább csak elkerülte. Viszont az életművészeket el szoktuk felejteni, az élet mestereire pedig sokáig tisztelettel emlékezünk.

Szathmáry Eörs
az MTA levelező tagja

⁴ <http://www.chemoton.com/>

IRODALOM ÉS VÁLOGATOTT PUBLIKÁCIÓK

- Crick, Francis H. C. (1968): The Origin of the Genetic Code. *Journal of Molecular Biology*. **38**, 367–379.
- Gánti Tibor (1966): *Forradalom az élet kutatásában*. Gondolat, Budapest
- Gánti Tibor (1971): *Az élet princípiuma*. Gondolat, Budapest
- Gánti Tibor (1974): A chemoton-elmélet alapjai. *Fizikai Szemle*. **24**, 97–103.
- Gánti Tibor (1975): Organization of Chemical Reactions into Dividing and Metabolizing Units: The Chemotons. *BioSystems*. **7**, 15–21.
- Gánti Tibor (1979): *A Theory of Biochemical Supersystems and Its Application to Problems of Natural and Artificial Biogenesis*. Akadémiai, Budapest–University Park Press, Baltimore
- Gánti Tibor (1979): A prebiológiai evolúció értelmezése a chemotonelmélet alapján. *Biológia*. **27**, 161–175.
- Gánti Tibor (1983): Az öszszekvenciák eredete. *Biológia*. **31**, 47–54.
- Gánti Tibor (1984): *Chemotonelmélet I. A fluid automaták elméleti alapjai*. OMIKK, Budapest
- Gánti Tibor (1987): *The Principle of Life*. OMIKK, Budapest

- Gánti Tibor (1989): *Chemotonelmélet II. Az élő rendszerek elmélete*. OMIKK, Budapest
- Gánti Tibor (1997): Biogenesis Itself. *Journal of Theoretical Biology*. **187**, 583–93.
- Gánti Tibor (2003): *The Principles of Life*. With commentaries by James Griesemer and Eörs Szathmáry. Oxford, University Press
- Gánti Tibor (2003): *Chemoton Theory. Vol. I. Theory of Fluid Machineries*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York
- Gánti Tibor (2003): *Chemoton Theory. Vol. II. Theory of Living Systems*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York
- Gánti Tibor – Horváth A. – Bérczi S. – Gesztesi A. – Szathmáry E. (2003): Dark Dune Spots: Possible Biomarkers on Mars? Origins of *Life* and *Evolution of Biospheres*. **33**, 515–557.
- Gilbert, Walter (1986): The RNA World. *Nature*. **319**, 818.
- Horváth A. – Kereszturi A. – Bérczi S. – Sik A. – Pócs T. – Gánti T. – Szathmáry E. (2009): Analysis of Dark Albedo Features on a Southern Polar Dune Field of Mars. *Astrobiology*. 9 February 2009. [Epub ahead of print]

- Kun A. – Papp B. – Szathmáry E. (2008): Computational Identification of Obligatorily Autocatalytic Replicators Embedded in Metabolic Networks. *Genome Biology*. **9**, 3, R51.
- Mansy, Sheref S. – Schrum, J. P. – Krishnamurthy, M. – Tobé, S. – Treco, D. A. – Szostak, J. W. (2008): Template-directed Synthesis of a Genetic Polymer in a Model Protocell. *Nature*. **454**, 122–125.
- Maynard Smith, John – Szathmáry Eörs (1995): *The Major Transitions in Evolution*. Freeman & Co., Oxford
- Rasmussen, Steen – Bedau, M. A. – Chen, L. – Deamer, D. – Krakauer, D. C. – Packard, N. H. – Stadler, P. F. (eds.): (2009): *Protocells: Bridging Nonliving and Living Matter*. MIT Press, Cambridge, Ma.
- Orgel, Leslie E. (1968): Evolution of the Genetic Apparatus. *Journal of Molecular Biology*. **38**, 381–393.
- Singer S. J. – Nicolson, G. L. (1972): The Fluid Mosaic Model of the Structure of Cell Membranes. *Science*. **175**, 720–731.
- Szathmáry Eörs – Maynard Smith, John (1995): The Major Evolutionary Transitions. *Nature*. **374**, 227–232.
- Szostak, Jack W. – Bartel, D. P. – Luisi, P. L. (2001): Synthesizing Life. *Nature*. **409**, 387–390.
- Woese, Carl R. (1967): *The Genetic Code*. Harper and Row
- Zhu, Ting F. – Szostak, Jack W. (2009): Coupled Growth and Division of Model Protocell Membranes. *Journal of the American Chemical Society*. 26 March 2009. [Epub ahead of print]



Kitekintés

DOHÁNYZÁS ÉS CUKORBETEGSÉG

A nikotin elősegíti a cukorbetegség előszobáját jelentő ún. inzulinrezisztencia kialakulását – jelentették be amerikai kutatók (Charles R. Drew, University of Medicine and Science, Los Angeles) az Amerikai Endokrinológiai Társaság éves kongresszusán.

A kutatók Dr. Theodore Friedman vezetésével felnőtt egereknek két héten át napi két nikotininjekciót adtak. Az egerek vérében megemelkedett a korizol nevű stresszhormon mennyisége, majd szervezetükben kialakult az inzulinrezisztencia, azt követően pedig a cukorbeteg előtti állapot. Ez utóbbi kettő annak ellenére bekövetkezett, hogy a nikotinkezelés hatására az állatok étvágya csökkent, és le is fogytak. A dohányzás tehát annak ellenére növeli a cukorbeteg kialakulásának kockázatát, hogy egy másik rizikótényezőt, az elhízást csökkenti – elemzik eredményeiket a kutatók. A jelenség feltehetően a nikotin stresszhormonokra gyakorolt hatásával magyarázható.

A kutatók további kísérletek során olyan szert adtak az állatoknak, amely elfoglalta a nikotinreceptorok helyét, így a nikotin hatástalan maradt. A nikotin agonistával így kezelt állatoknál a vérben csökkent a stresszhormon szintje, és az inzulinrezisztencia mértéke is kisebb lett. Friedmanék szerint esély van olyan gyógyszerek kifejlesztésére, amelyek a dohányosokat segít megvédeni a cukorbetegségtől.

medlineplus.com, 06. 11.

A DOWN-KÓR ÉS A GÉNEK

Az amerikai Diana Bianchi (Tufts Medical Center, Boston) munkatársaival magzati géneken vizsgálta a Down-szindróma tüneteinek lehetséges genetikai hátterét. A kutatók Down-szindrómás és egészséges magzatok magzatvizéből származó sejtek örökletes anyagát tanulmányozva 414 olyan gént találtak, amely másként működött a beteg, mint az egészséges magzatokban. Érdekes, hogy ezen gének nagy része nem a 21-es kromoszómán helyezkedik el, pedig a Down-szindróma oka, hogy ebből a kromoszómából kettő helyett három van.

A 414 azonosított gén nagy része az ún. oxidatív stressz jeleit mutatja, amely akkor következik be, amikor szabadgyökök hatására károsodás következik be a sejtekben.

Az oxidatív stresszt már korábban is összefüggésbe hozták a Down-kórral. Bianchiék szerint az oxidatív stressz ezen géneken keresztül szerepet játszhat a Down-kór bizonyos tüneteinek, például az abnormális méretű agy kialakulásában.

A kutatók következtetése szerint olyan gyógyszereket kellene fejleszteni, amelyek a gének működését megváltoztatva csökkentik az oxidatív stresszt, s így már a magzati életben megkezdődhetne valami olyan kezelés, amely születés után mérsékli a Down-kór tüneteit.

Proceedings of the National Academy of Sciences (DOI:10.1073/pnas.0903909106)

A HIPERAKTÍV GYEREKEK MÁSKÉNT ÉRZÉKELIK AZ IDŐT

A figyelemzavaros, hiperaktív gyerekek viselkedési problémáinak egyik oka feltehetően az, hogy ezeknek a gyerekeknek nap mint nap a normálistól eltérő időérzékeléssel kell megküzdeniük. A londoni King's College kutatói állítják ezt, akik hiperaktív és átlagos viselkedésű fiúk homloklebenyét, kisagyt, és bazális ganglionjait vizsgálták mágneses rezonancia képalkotó eljárással. Ezen agyterületek mindegyike fontos az idő érzékelése szempontjából. A gyerekeknek meg kellett becsülniük, hogy körök egy képernyőn mennyi időre jelentek meg. A hiperaktív gyerekek agya a vizsgált régiókban kisebb aktivitást mutatott, mint egészséges társaiké, és az időbecsléses feladatokban is rosszabbul teljesítettek.

Ezt követően a figyelemzavaros-túlmozgásos gyerekek olyan gyógyszert kaptak, amellyel gyakran kezelik a hiperaktivitást, és amely az agy dopaminszintjét emeli. Ennek hatására a vizsgált területeken fokozódott az agyi aktivitás, ugyanakkor a hiperaktív gyerekek az időteszteken is elérték az egészséges társak teljesítményét. A kísérletek alapján tehát úgy tűnik, hogy a dopamin nevű ingerület-átvivő anyag az időérzékelésben is szerepet játszik.

Ma a gyerekek kb. öt %-a szenved hiperaktivitásban – elsősorban fiúk. A kísérleteket vezető Kátya Rubia szerint az újdonságkérés viselkedés öngyógyító folyamat, hisz ennek hatására az agyban emelkedik a dopaminszint. Ugyanakkor eltolódott időérzékelésük miatt hosszabbnak és elviselhetetlenül unalmasnak érezhetnek egy viszonylag rövidebb időintervallumot is.

Philosophical Transactions of the Royal Society B, (DOI: 10.1098/rstb.2009.0014)

FOGY AZ ATMOSZFÉRA

Amerikai kutatók úgy vélik, a Föld mágneses erőtere mégsem annyira hatékony védőburok, mint korábban gondolták. Egy konferencián bemutatott eredményeik szerint három szomszédos bolygót összehasonlítva a Föld nagyobb ütemben veszíti az atmoszféráját, mint az elhanyagolható mágneses erőterrel rendelkező Vénusz és Mars.

A mágneses erőter valóban megvédi a földfelszín számos az űrből érkező, élőlényekre veszélyes dologtól – kozmikus sugárzástól, napkitörésektől és a napszélről – ugyanakkor a bolygó atmoszférája inkább veszteséget szenved a mágneses pajzs hatása miatt.

A Napból kilövellt töltött részecskékből álló napszél mágneses tere kölcsönhatásba lép a Föld mágneses terével, és ez a kölcsönhatás sokkal erőteljesebb, mint a Vénusz és a Mars esetében. A látványos sarki fény jelenségén kívül ez azt eredményezi, hogy a légkört alkotó gázok olyan hőmérsékletre melegsznek, amelynél már a napszél mágneses tere mentén elszakadhatnak a bolygótól. Másodpercenként 5×10^{25} molekula szökik meg az atmoszférából, ami sokkal több, mint a Vénusz és a Mars esetében. A kutatók tovább akarják vizsgálni a bolygók közti különbségek okait. Addig is – mondják –, aggodalomra nincs ok, hiszen a Föld atmoszférája a jelenlegi fogyási ütemmel is kitarthat még néhány milliárd évig.

Russell, Christopher T. – Luhmann, J. G. – Strangeway, R. J.: *Planetary Atmospheres in the Solar Wind: Do Intrinsic Fields Really Shield?* American Geophysical Union, The Meeting of the Americas. 24–27 May 2009. Toronto, Ontario, Canada

DARABOKBÓL ÖSSZERAGASZTOTT OLCSÓBB FÉLVEZETŐK

A University of Chicago, a Lawrence Berkeley National Laboratory és az Argonne National Laboratory kutatói olyan ragasztót fejlesztettek ki, amely felgyorsíthatja a nagyobb mennyiségű félvezetőt igénylő technológiák elterjedését. Ilyenek lehetnek például a napelemek vagy a termoelektromos berendezések, amelyek napfény, illetve hulladék hő felhasználásával termelnek elektromos energiát. A nagyméretű félvezető kristályok előállítási költségei miatt ezek az eljárások jelenleg meglehetősen drágák.

A szakemberek a költségek csökkentésére nagy lehetőséget látnak a félvezető nanokristályok felhasználásában. Ezek gyakran csak néhány száz atomból állnak, és viszonylag olcsó a tömegtermelésük is. Ilyen nanokristályokból is felépíthető félvezető-szerkezet, ám problémát jelent, hogy előállításuk során szerves ligandumokat használnak, amelyek beborítják a felületüket, és szigetelő sajátosságuk miatt megakadályozzák a nanokristályok közötti hatékony töltésátadást.

A nanokristályokból felépülő hálózat tulajdonságait azonban nemcsak a kristályok határozzák meg, hanem az őket összekapcsoló kötőanyag is. A most publikált eredmények szerint a félvezető nanokristályok felületét leszigetelő szerves ligandumok helyett sikerült vezetőképű szerves ligandumokat találni, ami az elektromos kontaktus jelentős javulását eredményezte.

Kovalenko, Maksym V. – Scheele, M. – Talapin, D. V.: *Colloidal Nanocrystals with Molecular Metal Chalcogenide Surface Ligands*. *Science*. 12 June 2009. 324, 5933, 1417–1420. DOI: 10.1126/science.1170524

GÁZROBBANÁS MINT KÖZLEKEDÉSI MODELL

Gázrobbanáshoz hasonlító modellel írták le az autópályákon kialakuló spontán torlódásokat kanadai és Egyesült Államok-beli matematikusok. Ezek azok a dugók, melyek látványosan ok nélkül keletkeznek: nem történik baleset, nincs útszűkület, útépítés vagy sebességkorlátozás, semmi forgalmat gátló tényező, mégis a folyamatos haladás helyett a kocsisor egyszer csak elkezd „harmonikázni”, azaz lassítva-gyorsítva araszolni. A helyzet kialakulásához általában elég valamilyen banális ok; egyik sofőr kicsit a fékre lép, a mögötte jövők túlreagálják a helyzetet, még jobban lefékeznek, és beindul egyfajta láncreakció, amelynek végeredményeként egy hosszú szakaszon akár teljesen le is állhat a forgalom.

A modell a forgalmat reagáló gázként kezeli, a dugó kezdetét pedig robbanásként, amelynek ereje végighullámszik, és elsöpör minden útjában állót. Mindennek közlekedési analógiájaként a torlódás néhány autónál kezdődik, és térben, valamint súlyosságában egyaránt rohamosan fejlődik.

A kutatók egyenleteket vezettek le, amelyekkel a várható spontán dugók mérete különböző sebességhatárok és forgalom-erőségek eseteire számolhatóak.

Flynn, Morris R. – Kasimov, A. R. – Nave, J.-C. Rosales, R. R. Seibold B.: *Self-sustained Nonlinear Waves in Traffic Flow*. *Phys. Rev. E*, DOI: 10.1103/PhysRevE.79.056113

Gimes Júlia

Könyvszemle

Lendvai L. Ferenc:

A fiatal Lukács

(*Útja Marxhoz: 1902–1918*)

A monográfia első megközelítésben egy régen elindult, majd hosszú időre megszakadt kötet sorozat darabjának tekinthető: a Lukács György életművének szisztematikus földolgozására vállalkozó tanulmányok sorába illeszkedik. A vállalkozás idestova negyedszázada indult útjára: eddig megjelent kontribúciói a nyolcvanas évek közepén láttak napvilágot gyors egymásutánban. Előbb Zoltai Dénes dolgozta föl a lukácsi munkásság 1945 utáni évtizedét (*Egy írástudó visszatér: Lukács György 1945 utáni munkásságáról*, Kossuth, 1985), majd Sziklai László jelentkezett az „érett marxista” korszak elemzésével (*Proletárfordalom után: Lukács György marxista fejlődése, 1930–1945*, Kossuth, 1986), végül Mesterházi Miklós vállalkozott a „korai marxista” szakasz analízisére (*A messianizmus történetfilozófusa: Lukács György munkássága a hiszias években*, MTA Filozófiai Intézet–Lukács Archivum, 1987). Jó két évtizedes szünet után Lendvai L. Ferenc könyve most a korai, „premarxista” szakaszt nagyítja ki. A sorozat ilyenformán csaknem teljessé vált: a kötetek közül csak a „záró korszakot” – az 1956 és 1971 közötti éveket – földolgozó darab hiányzik.

Nem kis nehézségbe ütközik azonban, hogy ezt az új munkát egyáltalán a korábbi sorozat darabjaként fogjuk föl. Könnyen

belátható ugyanis: 1989-cel a Lukács-kutatás kondíciói radikálisan megváltoztak. A marxista gondolkodó és kommunista ideológus Lukács – aki tudvalévően egyszerre számított a „létező szocializmus” igazolójának és kritikusanak – a politikai átmenettel egyszerre kikerült a diszkutábilis gondolkodók sorából. A hazai filozófiai hagyomány kiemelkedően legjelentősebb alakját – az európai bölcséleti kánon talán egyetlen magyar szereplőjét – manapság csak és kizárólag a koalíciós korszak ideológiai hóhéaraként, ha éppen nem a komün kiskatonákat tizedelő komisszárjaként hajlamos számon tartani a köztudat. Nemzetközi recepciója számottevően visszaesett, idehaza életművének szisztematikus kutatása gyakorlatilag megszűnt: a vele foglalkozó újabb tanulmányok jobbára egykori tanítványai korábban készült földolgozásainak újraközlései vagy külföldi kísérletek fordításai.

A körülményeket azért idézzük föl ilyen hosszadalmasan, hogy aláhúzzuk Lendvai kötetének jelentőségét. A monográfia tehát úgy rajzol teljességre törekvő képet a fiatal Lukács alakjáról, és úgy nyújt kimerítő értelmezést a korszak Lukács-műveiről, hogy szerzője gyakorlatilag nem támaszkodhatott a Lukács-kutatás valamiféle eleven hagyományára. Nagyszabású vállalkozás, ami lényegében magányos munka gyümölcse.

A fiatal Lukács esetében, ismeretes, egyáltalán nem erőltetett a kísérlet, hogy a földolgozás során „élet” és „mű” fogalmait használjuk. A fiatal Lukács ugyanis eredeti értelem-

ben vett filozófus: egzisztenciális kérdéseket fogalmaz meg, és a megfogalmazott egzisztenciális kérdésekre keres választ tehát. Az egzisztenciális kérdésekre pedig saját életének problémái nyomán talál rá: „élet” és „mű” ilyenformán finom szálak sokaságával kapcsolódik össze nála. Figyelemreméltó, hogy gondolati álláspontjának ifjúkori változásai mélyen összefüggnek az életében egymást követő asszonyokhoz fűződő viszonyával: korai pályaszakának talán legsikerültebb földolgozása, Lee Congdon tanulmánya (*The Young Lukács*, University of North Carolina Press, 1983) például éppenséggel asszonynevekhez rendeli korabeli szellemi fordulatait. Nos, ez a kínálkozó adottság jelen kötet esetében szerencsésen találkozik Lendvai, mondjuk így, „konzervatív” filozófiatörténeti beállítottságával. Lendvai ugyanis, láthatóan, régi vágású teljességigénnyel készült, a hagyományos, „Leben und Lehre”-típusú nagymonográfiák hagyományát föl vállaló kötet megírására vállalkozik itt. Olyan művet tesz az asztalunkra, amely – a mai *mainstream* megközelítésekkel folytatott finom vitában is – egyszerre fordít figyelmet „életre” és „műre”. Saját vállalkozásának módszerét az *Előszóban* „belső elemzésnek” nevezi – a művek elemzésén keresztül rekonstruálni a fejlődés utat –, a *Bevezetésben* pedig az életrajz és a hatástörténeti elemzés közötti műfajról beszél – az „életet” vizsgálni úgymond a „mű” vonatkozásában, illetve a „művet” elemezni az „élet” közegében.

A munka, úgy tűnik, három előfeltevésre épül: Lukács korai pályaszakaszának jelentőségéből, előkészítő jellegéből és belső tagoltságából indul ki. Egyrészt tehát, osztja a nézetet, hogy a lukácsi munkásság legjelentősebb szakasza éppen a „premarxista”, illetve a korai marxista szakasz. Beállításában, közelebbről,

a lukácsi munkásság a századelő filozófiai szintéziskeresésének megnyilvánulásaként fogható föl: Lukács reprezentatív filozófiája éppen ennek a szintéziskeresésnek a különféle kísérleteit foglalja magában, középpontjában a megtalált marxista szintézissel, a *Geschichte und Klassenbewusstsein*-nal. Másrészt éppen ezzel összefüggésben abból indul ki, hogy a „premarxista” szakasz előkészítő szerepet játszik: a korai marxista szakasz afféle előzményeként fogható föl tehát. Erre utal mind a kötet alcíme – az *Útja Marxhoz* voltaképp utalás Lukács reprezentatív korszakát lezáró visszaemlékezésére, a premarxista és a marxista szakasz között határozott fejlődésutatót konstruáló esszéire, az *Utam Marxhoz-ra* –, mind elemzéseinek meghatározó iránya: hogy tudniillik a korai, „premarxista” Lukács-szövegekből jellemzően a későbbi, marxista művek motívumait igyekszik föltárni. Harmadrészt, végül, a földolgozás tudatosan számot vet a korai korszak belső tagoltságával. A kötet alapos elemzés tárgyává teszi tehát a fiatal Lukács munkásságában megmutatkozó műfaji változatokat és gondolati váltásokat: határozottan reflektál tehát az esszéisztikus és a szisztematikus filozófiai kísérletek közötti műfaji változatokra, illetve a metafizikai-egzisztenciális és a történetfilozófiai-szociológiai vonal közötti gondolati váltásokra.

Míndez már a monográfia szerkezetéhez vezet bennünket. A korabeli Lukács-írások kiterjedt anyagában – a különféle műfaji kísérletek és egymástól eltérő gondolati beállítottságok között – Lendvai azért tud magabiztosan tájékozódni, mert az elemzés alá vont Lukács-műveket határozott ciklusokba rendezi: monográfiájának szerkezetét pedig ezekhez a mű-ciklusokhoz igazítva alakítja ki. A kötet ilyenformán három nagy szerkezeti egységből áll: az első az *Esztétikai kultúra*, a

második a *Két párhuzamos szintézis*, a harmadik pedig a *Heidelberg és Budapest* címet viseli. Az *Esztétikai kultúra* nem csupán Lukács első, hasonló című kötetének anyagát tárgyalja: a korai színházi kritikáktól kezdve az irodalmi tanulmányokon át a kultúrkritikai esszéig, Lukács valamennyi pályakezdő írását elemzés alá vonja. A *Két párhuzamos szintézis* fejezetének középpontjában természetesen a „művészetszociológiai” drámakönyv (*A modern dráma fejlődésének története*) és az „existenciálfilozófiai” esszékötet (*A lélek és a formák/Die Seele und die Formen*) analízise áll, kiegészítve azonban az egyik oldalon az „irodalomtörténet elméletéről” írott tanulmány meg a „nem-tragikus dráma problémájáról” szóló esszé, a másik oldalon meg az esszékötet árnyékában megszületett, akkor kéziratban maradt, irodalmias esszék elemzésével. A *Heidelberg és Budapest* fejezet végül a heidelbergi kéziratokkal a „művészetfilozófiai szintézist” illetve *A regény elmélete*-vel a „történelemfilozófiai kísérletet” helyezi a középpontba, a *Balázs Béla*-kötet és a „bolsevizmus-cikk” elemzésével eljut azonban egészen a forradalom problémáig és Lukács kommunizmus melletti döntéséig.

A fejezetek szubtilis – javarészt meggyőző, esetenként vitára ingerlő – gondolatmenetét itt most nem tudjuk aprólékosan rekapitulálni. Ehelyett egyetlen problémát veszünk elő: Lendvainak Lukács „megtéréséről” – a kommunista párthoz való csatlakozásáról – adott értelmezését villantjuk föl.

A fordulat megértése, mint ismert, régi kedves problémája a Lukács-értelmezéseknek. Amikor a gondolkodó 1918 decemberében belép a pártba, azt már saját baráti köre is „megtérésként” értékeli: megdöbbennek rajta, hogy Lukács egyik hétről a másikra Saulusból Paulussá változott. Az egyik vasárnapon még

arisztokratikus polgár, a másik vasárnapon már radikális kommunista: a fordulat – a maga gyökeres és váratlan voltával – látszólag tényleg megmagyarázhatatlan. Hitbéli változás ez: tisztán racionálisan nem magyarázható fölfogásváltozás. Amelyik ugyanakkor valamiféle mély logikát is mutat: a „premarxista” korszak éppenséggel határozottan előkészíti a marxista fordulatot. A kommunizmus választása, bizony, gyakorlati-egzisztenciális válaszkísérlet a fiatal gondolkodót kínzó elméleti-egzisztenciális kérdésekre. Nos, Lendvai értelmezéskísérlete mindkét szempontra tekintettel van. Nem tagadja a fordulat irracionális jellegét: az orosz bolsevizmus elfogadása, az eszkatologikus remények beteljesítését ígérő messianisztikus mozgalomhoz való csatlakozás, a „kommunista párt egyházába” való belépés, mint magyarázza, voltaképp a történelemfilozófiai „megváltás” pillanatának fölismerésével egyenlő. Mint „végső ugrásnak”, úgymond, szükségképp „irracionalisnak” kellett lennie tehát. Ugyanakkor határozottan hangsúlyozza a fordulat és a korábbi gondolatok között fönnálló, mély összefüggést. Ahogy a probléma legátfogóbb fölvetése során fogalmaz: ha a marxizmust a „történelmi materializmus” – vagyis a szociológiai szemléletmód – és a „tudományos szocializmus” – az eszkatologikus jellegű marxizmus utópia – összekapcsolódásának tekintjük, nos, akkor a fiatal Lukács fejlődésében mindkétnek fölfedezhető az előzményei. A gondolkodó előbb, „budapesti” korszakában Marx szociológiai eszméivel találkozik, később, a háború előtti és alatti „heidelbergi” korszakában különféle eszkatologikus-utópikus eszméket tesz magáévá, hogy végül, 1918-ban egyesítse a kétféle eszmevilágot. Ebben az értelemben, hangsúlyozza Lendvai, a gondolkodói út valóban Marxhoz vezet.

Monográfiája zárásaként a szerző mérleget von, és kitekintést nyújt. A *Mérleg* a fiatal Lukács korabeli recepciójának néhány reprezentatív megnyilvánulását veszi számba: a tudományról és a politikáról mint hivatásról előadást tartó Max Weber, a *Varázshegy* Naphtájának alakját megrajzoló Thomas Mann, meg a gondolkodóval intenzív párbeszédet folytató Paul Ernst Lukács-képét villantja föl. A *Kitekintés* pedig vázlatot ad a további pályaszakaszokról: Lukács későbbi fejlődésében a húszas évek „messianisztikus szektásságának” szakaszát, a harmincas évek elejétől 1956-ig terjedő „érett marxizmus” korszakát és az 1956 utáni, a filozófiai elmélethez visszataláló, újabb szintéziskísérleteket eredményező korszakot különítve el egymástól. A vázlat célja éppen annak demonstrálása, hogy a fiatal Lukács „premarxista” kérdésközpontjai, megszüntetve megőrzöttek, marxista korszakaiban is fönnmaradnak. A „premarx-

ista” korszak e szerint valóban „pre-marxista”, nem csupán megelőzi a marxista korszakokat, nem is csupán azokhoz vezető „utat” képez: meghaladottan tovább is él majd azokban. A vázlat keretei között Lendvai meggyőzően bizonyítja, hogy a figyelmes értelmező a lukácsi fejlődésben, bizony, nem csupán töreszeket kell lásson: éppen az elemzett „premarxista” korszakra visszamenő folytonosságot is észre kell veyen.

Kései önéletrajzi visszaemlékezésében Lukács annak idején, emlékezetesen, úgy fogalmazott: „az én fejlődésemben, azt hiszem, anorganikus elemek nincsenek”. Lendvai L. Ferenc nagyszabású monográfiája a híres diktum melletti érvelésként is fölfogható. (*Lendvai L. Ferenc: A fiatal Lukács [Útja Marxhoz: 1902–1918]. Budapest: Argumentum Kiadó–Lukács Archivum, 2008*)

Percz László

filozófiatörténész, az MTA doktora

Gábor Tüskés – Éva Knapp: *Germania Hungaria Litterata* *Deutsch-ungarische Literatur-* *verbindungen in der frühen Neuzeit*

A magyar–német irodalom- és művelődéstörténeti kapcsolatokról az elmúlt másfél évtizedben számos új kutatási eredmény született, s ezen belül is figyelemreméltó a kora újkor iránt megnövekedett érdeklődés. Mind magyar, mind német részről számos kiadvány, konferenciakötet, antológia és monográfia járult hozzá a sok évszázados közép-európai szellemi együttélés részleteinek feltárásához, a két kultúrkörben mutatkozó párhuzamos vagy éppen ellentétes jelenségek értelmezéséhez. Szerepelt a témák között a két etnikum egymásról kialakult képének

összevetése (Horst Fassel: *Pannonien vermesen. Ungarnbilder in der deutschen Literatur*, 2004; *Das Ungarnbild der deutschen Historiographie*, szerk. Márta Fata, 2004; *Das Ungarnbild in der deutschen Literatur der frühen Neuzeit*, szerk. Dieter Breuer – Gábor Tüskés, 2005), a költészeti párhuzamok elemzése (Tarnói László: *Parallelen, Kontakte, Kontraste*, 1998), a 16. századi tudományos kapcsolatok feltárása (*Deutschland und Ungarn in ihren Bildungs- und Wissenschaftsbeziehungen während der Renaissance*, szerk. Wilhelm Kühlmann – Anton Schindling, 2004), a német nyelvterületre irányuló magyarországi peregrináció története (*Iter Germanicum*, szerk. Szabó András, 1999; *Peregrinatio Hungarica*, szerk. Márta Fata – Gyula Kurucz, Anton Schindling, 2006), a bajor–magyar kapcsolatok feltárása (*Hungarica in*

Bayern, 2004), a felvilágosodás korának magyar–német kapcsolatai (*Barock und Aufklärung in Ungarn und in Deutschland*, 2005) és még számos egyéb téma, melyeknek felsorolására ehelyütt nem vállalkozhatunk. Köztudott, hogy a müncheni *Ungarn-Jahrbuch*, a stuttgarti *Miteinander* című évkönyv, a wolfenbütteli Herzog August Bibliothek kiadványainak több darabja és a tübingeni Niemeyer Verlag *Frühe Neuzeit* néven futó sorozata egyaránt igen sokat tett a magyar és német kultúra közös múltjának bemutatása érdekében. Ebben a sokirányú interdiszciplináris kutatási témakörben kiemelkedő szerepet játszott már eddig is a Tüskés Gábor–Knapp Éva szerzőpáros, korábbi német nyelvű kötetük ma már alapvető tétel a nemzetközi szakirodalomban (*Völkfrömmigkeit in Ungarn*. Dettelbach: Verlag J. H. Röhl, 1996). Ezt követően jelent meg Tüskés Gábornak a Nádasi Jánosról szóló monográfiája németül (Tübingen, 2001), amely komparatív módszerrel mutatta be a rendkívül termékeny magyar szerző írói munkásságának európai kapcsolatrendszerét. Most pedig újabb, impozáns tanulmánykötete jelent meg a Tüskés Gábor – Knapp Éva szerzőpárosnak a kora újkori magyar–német irodalmi kapcsolatok köréből, s minden remény megvan arra, hogy a berlini kiadó terjesztési programjának köszönhetően ez a könyv is szervesen beépül a nemzetközi szakirodalom vérkeringésébe.

A kötet négy nagy fejezetre tagolva mutatja be a 17. század magyar irodalmi műveltségének kapcsolatait a német nyelvterület szellemi életével. Az első témakör a latin nyelvű költészet és az irodalomelmélet területét vizsgálja, s igen sok új adatot és megfigyelést tartalmaz, eddig nem vizsgált nézőpontokat érvényesít. Mindenekelőtt meg-

győzően illusztrálja azt, hogy a latin nyelvű német jezsuita retorikai munkák nagy számban voltak jelen a Kárpát-medencében, s jelentékeny hatást gyakoroltak a itteni régió irodalmi fejlődésére. A bajor választófejedelem udvari lelkésze, Jacob Balde (1604–1668), akit kortársai egyenesen Horatiushoz hasonlítottak, jól ismert volt a korszak magyarországi jezsuita szerzői előtt, könyvei a rend minden bibliotékájának könyvjegyzékén szerepeltek. Irodalomelméleti tankönyvek, kéziratos feljegyzések, latin versek és iskola-drámák egyaránt mutatják hatását. Egy győri bencés szerzetes, Fojtényi Kázmér Ferenc – igaz, meglehetősen későn: 1859-ben – magyar fordításban is kiadta „a nagy német–latin költő” verseit.

Nem kevésbé jelentősnek bizonyul a vizsgálatok során Jacob Masen (1606–1681) kölni jezsuita teoretikus hatása. Poétikai és retorikai művei (*Ars nova argutiarum*, 1649; *Palaestra eloquentiae ligatae*, 1654; *Palaestra oratoria*, 1659) a magyarországi jezsuita kollégiumok könyvtáraiban nagy számban voltak megtalálhatók, s a tanulmány adatok sokaságával bizonyítja, hogy a német szerzőre sűrűn hivatkoztak mind a magyarországi irodalomelméleti kézikönyvek (főleg a Soarius-átdolgozások), mind a fennmaradt kéziratos jegyzetek; ezen túl hatása egyes irodalmi műfajokban, sőt a drámaelméletben és képzőművészetben is kimutatható. Az utóbbira pregnáns példa a győri jezsuita kollégium díszlépcsőjének freskóciklusa, amelynek ikonográfiai programja Masen emblémaelméletének jegyében készült. Még ugyan ebben az első alfejezetben kapott helyet az a tanulmány is, amelyben a szerzőpáros felderíti a Gyöngyösi István *Rózsakoszorú*-jának forrásául szolgáló verses elmélkedés- és ima-gyűjtemény szerzőjének nevét: eszerint az E.

S. monogram mögött Elias Schiller bécsi udvari kamarás rejtőzik.

A második fejezet Magyarország és Alsó-Ausztria irodalmi- és kegyességtörténeti kapcsolatait tekinti át. Külön is részletes elemzés mutatja be a magyarországi barokk irodalom egyik jellegzetes alkotását, Esterházy Pál nádor mariológiai atlaszát, amely Nagyszombatban kétszer is megjelent (1690, 1696, hasonmás kiadása: 1994), s a Mária-kultusz fellendítésében kulcsszerepet játszott. A szerzők most ennek összefüggését tárgyalják a müncheni jezsuita Wilhelm Gumpfenberg monumentális *Atlas marianus*-ával. E kapcsolat részletes feltárása azért is különösen jelentős, mert a német nyelvterület egyik legnagyobb hatású, sokszor kiadott, népszerű barokk devóciós kiadványának magyar nyelvű adaptációjáról van szó, a neves világi főúr anyanyelvén közvetítette a kor katolikus egyházi tudományosságának eszméit a magyar irodalom és képzőművészet számára. A fejezet harmadik témája Johann Urban Pickeilius máriacelli *Mirakelbuch*-jának magyar fordítása, amelynek három kötete 1753–1766 között jelent meg a Benedek-rendi Páter Imreh fordításában. Ez a munka is jellegzetes ötvöződését mutatja a korabeli katolikus tudományosság, a szóbeli kegyességi tradíció és a retorikai műveltség elemeinek, s alkalmas volt arra, hogy a közép-európai közös szellemi örökségnek részévé váljon mind a német, mind a magyar vallási életben.

A kötet harmadik nagy egysége az emblematika és a jezsuita dráma területén tárja fel a magyar–német kapcsolatok részleteit. Számos ábrával is illusztrálva kapunk itt képet egyrészt a német szerzők Magyarországon kiadott emblémáskönyveiről, másrészt a magyar szerzők német nyelvterületen közzétett műveiről. Az előbbire példa a

Johann Arndt művét fordító Huszti István, valamint a Johann Gerhard könyvét magyarra átültető Inczedy József, az utóbbira pedig a soproni Lackner Kristóf, a jezsuita Hajnal Mátyás és Hevenesi Gábor, akiknek műveit német nyelvterületen is jól ismerték. Külön alfejezet tárgyalja a németül író magyarországi szerzőket: közülük az eperjesi főbíró Weber János volt a legjelentősebb, aki Lőcsén reprezentatív kiállítású, ábrákkal illusztrált német–latin nyelvű fejedelmi tükröt tett közzé (*Janus bifrons*, 1662), s ezáltal a német barokk politikai és emblematikus literatúrának is részévé vált.

Külön alfejezet ismerteti azt az emblémáskönyvet, amelyik *Abgetrocknete Thränen* címmel 1698-ban ismeretlen szerző tollából jelent meg Nürnberg–Frankfurt nyomdahellyel, s amely az egy évvel korábban Máriapócsról Bécsbe szállított könnyező Madonna-képet övező különleges figyelem hatása alatt íródott. Módszerében is újszerű és mintaértékű, ahogyan a szerzők a kiadvány képeinek és a hozzájuk kapcsolódó prédikációs szövegeknek együttes elemzésével bemutatják azt az utat, amelyen a humanista emblematika a barokk vallásos cél szolgálatába állt, módosítva a horatiusi motót: az „*ut pictura poesis erit*” helyett az „*ut pictura cultus erit*” elvét állítva előtérbe. Az emblematikus kép (*imago, pictura*) barokk kori kultuszteremtő hatása mind a jelen kötet tanulmányaiból, mind a szerzőpáros korábbi írásainak egész sorából (főként: *Populáris grafika a 17–18. században*. Balassi, 2004, valamint: Knapp Éva: *Irodalmi emblematika Magyarországon a XVI–XVIII. században*. Universitas, 2003) igazolódik, s jelentékeny hozzájárulást jelent a barokk fogalmának időszerű magyarozatához is. A kép, a jelmondat és a magyarozat (*imago, motto, explicatio*)

hármasságát vizsgálta kiadványában megvalósul, s az így megformált együttes esztétikai hatása járult hozzá a bécsi Mária-kultusz sajátosságainak, aktualizált vonásainak kialakításához, a Magyarországról származó kép „bécsivé” honosításához.

A kötetnek egy további témája a magyar történelmi események ábrázolása a német jezsuita drámákban. Ehhez az elemzéshez tartozik az a függelékben közölt lista, amely teljességre törekvően számba veszi mindazokat a nyomtatott vagy kéziratot drámaszövegeket, melyek a magyar történelemről szólnak, vagy azzal érintkeznek. Mivel a forrásoknak ez a számba vétele a lelőhelyeket is tartalmazza, felbecsülhetetlen segítséget jelent a további kutatások számára.

A negyedik nagy témakör a német pikareszk regény (*Schelmensroman*) magyar vonatkozásainak és kontextusának feltérképezését célozza. Minthogy köztudottan a 17. századi német irodalom egyik legjelentékenyebb teljesítménye Johann Jacob Christoffel von Grimmelshausen *Simplicissimus* című kalandregénye, indokolt ennek magyar vonatkozásait számba venni. A magyar szakirodalom számára is új ötletet jelent Zrínyi Miklós hadtudományi írásainak és a *Simplicissimus* háborúfogalmának az összevetése, a párhuzamosságok regisztrálása. Olykor meglepő hasonlóságok mutatkoznak a két szerző nézetei között, így például a hadiszerencse kiszámíthatatlanságáról egyképpen vélekedik Zrínyi és Grimmelshausen. Ehhez az alfejezethez tartozik a függelékben a Zrínyi-könyvtár hadtudományi műveinek bibliográfiája, amely ilyen elkülönített formában még nem volt elemzés tárgya. A továbbiakban helyet kap itt természetesen a Grimmelshausen-művek magyar fordításainak rendszeres áttekin-

tése, elsősorban Háy Gyula kiválóan minősített fordítói teljesítménye, amelyet a szerzők itt részletesen összevetnek az eredetivel. Az egységnek s egyben a kötetnek is zárótanulmánya Georg Daniel Speer *Magyar Simplicissimus*-ának filmváltozatát, *A trombitás* (1975) című alkotást veszi górcső alá, s annak felemás, az allegorikus értelmezéstől idegenkedő hazai recepciójának okait igyekszik megvilágítani.

Noha a kötet témáinak túlnyomó részéről a szerzőpáros magyar szakfolyóiratokban vagy tanulmánykötetekben már értekezett, az itteni szövegek nem azoknak változatlan fordításai, hanem többnyire továbbgondolt, kiegészített, a német szakmai közönség ismereteihez és elvárásai horizontjához igazított variánsai. Ezzel az eljárással messzemenően egyet lehet érteni, mivel számos tapasztalat mutatja, hogy csakis a külföldi kontextussal összhangba hozott, terminológiájában és nézőpontjaiban ahhoz alkalmazott magyar szaktanulmányok tudnak nemzetközi visszhangot kiváltani.

Igen örömdetes, hogy a berlini kiadó rangos sorozatába felvette a 17. századi magyar–német kapcsolatokat elemző kötetet, a benne foglaltak színvonalát aligha hagy kétséget afelől, hogy a német szakirodalom is jelentékeny mértékben gazdagodhat a magyar irodalomtörténész szerzőpáros rendkívül alapos, adatgazdag, korszerű szempontokat érvényesítő fejtegetései által. (*Gábor Tüskés – Éva Knapp: Germania Hungaria Litterata. Deutsch-ungarische Literaturverbindungen in der frühen Neuzeit. Studium Litterarum, Bd. 15. Berlin: Weidler Buchverlag, 2008, 370 p.*)

Bitskey István
irodalomtörténész

Darwin és az emberi természet

Bereczkei Tamás: *Az erény természete.*

Önzetlenség, együttműködés, nagylelkűség
Sebes Anna: *Emberállat – évmilliók lenyomata kapcsolatainkban*

A Darwin Év szerencsésen meghozta a magyar kiadók kedvét a darwinizmus talán legprovokatívabb üzeneteinek, az emberi természet, biológia és kultúra kölcsönhatásának elemzésére. A két ismertett könyv kiválóan kiegészíti egymást. Bereczkei Tamás munkája elsősorban a modern evolúciós pszichológiából indul, s annak egyik kulcskérdését, az emberi szocialitás természetét, illetve kulturális eredetét tekinti át. Főképp saját kutatásaira alapoz, amelyek különböző szociálpszichológiai elméletek és laboratóriumi lélektani eljárások, elsősorban döntésméleti eljárások segítségével vizsgálják a kulturális egymáshoz illeszkedés finom mechanizmusait. Míg Bereczkei könyvének hangsúlya a terepet tekintve az összehasonlító antropológia az egyik oldalon és a laboratórium a másik oldalon, addig Sebes Anna könyve, mely sokkal inkább tudományos áttekintés, elsősorban az összehasonlító kultúrantropológus és a mai család-kutató szempontjait örvözi. Hangsúlya végig a családi szocializáció, illetve a családi élet szerveződése úgy, ahogyan azt a mai társadalmakban látjuk, s ennek adja meg antropológiai és biológiai értelmezését.

Mindkét könyv diadalmas formájában mutatja meg a darwinizmust. Nemigen foglalkoznak olyan üres vitákkal, mint hogy szabad-e biológiai deterministának lenni a mai társadalomról gondolkodva, vagy, hogy milyen a helyes arány öröklés és környezet vitatott kérdéseinek súlyozásában. Ehelyett konkrét mechanizmusokban mutatják meg a darwini metaelmélet győzedelmességét.

Bereczkei könyve elsősorban azzal foglalkozik, amit ma számos összefüggésben *társas agy* hipotézisnek szoktunk nevezni. Milyen érveink vannak amellett, hogy az ember nem Robinson, hanem eredendően, kiindulópontként, társas lény. Életében és gondolkodás és érzésvilágának biológiai kialakulásában is a mások által jelentett társas szelekciós nyomás jelentette a döntő mozzanatot. Ez a társas lény-mivolt előtérben áll a mai idegtudományi kutatásokban is, ahol a tükkörneuron rendszer, valamint a prefrontális területek és a naiv tudatelmélet, az elmélet, a híres TOM-összefüggését vizsgálják. Előtérben áll a társas elme-felfogás a kognitív pszichológiából származó különféle döntésméleti modellekben is, amelyek ma már igen részletesen vizsgálják nemcsak azt, hogy mikor használunk *fogat fogért* vagy *szemet szemért* stratégiát (Bereczkei sajnos, ezt elfelejti magyarra fordítani és egész könyvében a *tit for tat* anglicizmust használja), hanem arra is, hogy hogyan befolyásolják az együttműködő és a versengő stratégiákat érzelmi állapotaink, hormonális beállítottságunk.

Bereczkei könyvében három mozzanatra helyezi a hangsúlyt. Az egyik a rokonszelekció és a valódi altruizmus viszonya. A második a társas hírnév mint különleges szervező erő az emberi társadalmakban, a harmadik pedig a vonzalmak és személyiség-típusok viszonya. Az első kérdésben, miközben az etológia és a modern szociobiológia kiindulását képező Hamilton-szabályból indul ki (bizonyos társas állatoknál, például rovaroknál az önzetlenség a támogató és támogatott közötti genetikai átfedés függvénye). Ezt nagyon érzékenyen kapcsolja össze az emberi társadalmak sajátos dilemmájával, a támogatás rokonfüggésével és a rokonfelismerő mechanizmusok keletkezésével. Érdekes kísérleteket

is kapunk a szerző saját laboratóriumából arra nézve, hogy az arcvonások milyen mértékig képesek fenotipikus támaszt nyújtani a genetikai rokonság felismerésére. A rokontámogató rendszerek elemzésétől jutunk el oda, hogy vajon milyen is a viszony a mai evolúciós társas elméletekben váltakozva előtérbe kerülő empatikus és machiavellianus emberkép között. Mindkét felfogás az emberré válás során érvényesülő szociális evolúciós fordulat mellett érvel: az egyik azt mondja, számunkra, emberek számára rendkívül fontos volt a képesség arra, hogy kitaláljuk mások gondolatait, illetve beleéljük magunkat mások helyzetébe. Az empatikus hangsúly a koordinációt, a támogatást, az összhangot, a szeretetet emeli ki. Ezzel szemben a machiavellianus hagyomány azt emeli ki, hogy mások gondolatainak követése a racionális csalás, a mások eszén való túljárás eszköze. Bereczkei azon szerzők közé tartozik, akik tisztán látják, és erre saját laboratóriumi eredményei mellett számos antropológiai és idegtudományi adatot is bemutat, hogy az ember sajátos szocialitáshoz mindkettőt fel kell tételeznünk. A „hideg beleélés” és a meleg együttérzés egyaránt szükséges ahhoz, hogy az emberi társas összehangolást megértsük. Nem szabad, hogy illúzióink legyenek. Mi egyszerre vagyunk mások szenvedésével együttérző, empatikus, és mások eszén túljárni akaró, rafináltan szociális lények.

Ennek a szenvtelen és ugyanakkor komplex társas megismerésképpnek különös oldala a *nagylelkűség* finom elemzése. Bereczkei antropológiai adatokat és kísérleti eredményeket egyaránt felsorakoztatva mutatja be, hogy valódi embercsoportokban az erőforrásokkal való hosszú távú stratégiai gondolkodás egy különös módja az, ahol a sok erőforrással rendelkező személy önzetlenül adakozik.

Ezek az adakozások hosszú távon úgy térülnek meg, hogy jó lesz a csoportban a reputációja. Ez a reputációnövekedés a nagyvonalúság hatására figyelhető meg a Kalahári-sivatag szélén a busmanoknál, de ez figyelhető meg a mai, nagyvállalati globalizált világban is. Fontos társadalmi figyelmeztetést is tartalmaz Bereczkei érzékeny elemzése arról, hogy a mai *juppie* kultúra teljesen rámenős és lokálishan egocentrikus megoldásai szemben állnak a hosszú évezredek óta távlatosan érvényesülni képes, éppen az osztogatás révén hatalmát mutató nagyvonalúsággal. A párválasztás, a hasonló alapján való szelekció izgalmas kérdéseket vet fel a különböző személyiségtypusok és az emberi sikeresség egymáshoz való illesztésében. Ez Bereczkei könyvének harmadik izgalmas témája. Sok mindent megtudunk a személyiséglélektanban legtöbbet vizsgált *nagy ötök* (extroverzió, barátságosság, lelkiismeretesség, emocionalitás, okosság) sajátos konstellációiról, amelyek az igazán sikeres emberi stratégiákhoz vezetnek. Nem meglepő módon, ismét az derül ki, hogy számos társadalmi helyzetben a barátságosság és a nyitottság összekapcsolása, valamint a segítőkészség vezet el az igazi sikerekhez. A sikeres emberek azért jószívűek, mert, és ezt már a nagymama is tudta, van miből adjanak. A jó emberi stratégia az adakozás benyomását tudja kelteni. Bereczkei könyve igen sokoldalú anyagot mozgat. Két hiányosságát talán mégis kiemelném. A tudatfejlődésében és a személyiségvonásokban is kicsit fukaron bányáznak azokkal a kutatásokkal, amelyek éppen Magyarországon is világosan feltárják a másoknak való gondolatulajdonítás igen korai fejlődését (Csibra Gergely és Gergely György munkái), illetve azt, hogy az etológiából és a klinikai pszichológiából ismert kötődési stílusok hogyan jelennek meg az emberi szemé-

lyiség életén át való érvényesülésében, s milyen a pontosabb genetikájuk (Gervai Judit és Lakatos Krisztina munkái). Mindenképpen jó könyv azonban, amely saját tudományos erényei mellett biztos, hogy egy évtizeden keresztül tankönyvként is irányítani képes az evolúciós pszichológia szociális mozzanatainak megismerését. Különösen, ha kiegészítjük Sebes Anna könyvével.

Sebes Anna könyvének három különleges jellegzetessége van. Az egyik, hogy a magyar irodalomban, s ebbe beleérttem mind az etológiai, mind az evolúciós pszichológiai irodalmat, meglehetősen háttérbe szorult francia kulturális hatást újra pozícionálja. Dukhemtől és Lévi-Strausstól kezdve Cyrulnicig, Jeannerod-ig és természetesen Piaget-ig gondosan felhasználja a francia irodalmat, olyan részletkérdésekben is, mint például a szeretet vagy a szerelem genezise s hasonlóképpen.

Míg Bereczkei könyvének alapvető hangsúlya az individuális elme döntési mechanizmusokban megjelenő társas mozzanatok elemzése, Sebes Anna könyve nem a biológus, illetve a pszichológus, hanem az antropológus és a szociológus szempontjából indul ki. Számára a kiinduló mozzanat a társas kapcsolatok elemzése. A társaság nem valami új felfedezés, amelyet a szolipszista kognitív mozgalom árnyékában teszünk meg, hanem az antropológus és a szociológus családkutatásának természetes kiinduló mozzanata. Itt az új nem a társaság, hanem az, hogy a biológikumot ismerjük fel a társasban. Míg Bereczkei könyve elsősorban a laboratóriumi ember világára összpontosít, addig Sebes Anna a kapcsolatokban élő emberre. Az ő számára az alapkérdés nem az altruizmus megjelenése és az altruizmus helyes egyetemes biológiai értelmezése, hanem az emberi faj

sajátos társas kapcsolatteremtő módjainak értelmezése. Ezért aztán a kiindulásuk is nagyon eltérő lesz. Bereczkei könyvében a társas kapcsolatokkal foglalkozó könyvhöz képest, majdnem azt mondanám, hogy egy klasszikus pszichológus számára meglepő módon, szinte teljesen hiányzik a szexualitás, Sebes Anna viszont éppen ebből indul ki. Számára az emberi szocialitás megértésének alapkérdése a legalapvetőbb emberi kapcsolat, a párosodási rendszerek elemzése. Finoman és sokoldalúan használja ő is a rendelkezésre álló összes kultúrantropológiai, etológiai, evolúciós pszichológiai, valamint neurobiológiai adatot. Az embert egy olyan különleges lényként értelmezi, aki szexuális szokásaiban egy viszonylag laza, s talán szekvenciális monogám rendszert épít ki. Világos összehasonlítást kapunk más főemlősökkel. Sebes Anna olyan rendszert mutat be, amelyben az emberre oly jellemző korai tapasztalatszerzés és kötődés-alakulás, a ragaszkodás és a szexualitás együtt jelennek meg. Igen tüzetesen elemzi, hogy hogyan is oldja meg ez a lassan nevelődő lény a vérfertőzés tilalmát. A családpszichológiai és összehasonlító antropológiai szemlélet eredményezi azután azt is, hogy Sebes Anna igen részletesen foglalkozik a konfliktus és az agresszió viszonyával. Eltekint minden hagyományos ősi szenteltvízzel élő agresszió-irtogatástól. Az agressziót világosan elemzi, mint sajátos biológiai jelenséget, ugyanakkor típusaiban visszarakja az erőforrásokért, illetve a szexuális kapcsolatokért folyó versengés keretébe. Ennek megfelelően az agresszió nem valamiféle misztikus erő, hanem egy sajátos lépés a dominancia-alakító és a dominancia-szabályzó, és feszültségcsökkentő rendszerekben. Sajátos emberi konfliktusmegoldási módokat is kapunk, amelyek az érzelmszabályozás és a kitüntetett jelentő-

ségű érzelmkifejező rendszerek révén válnak sajátos emberi különlegességgé. Az intimitás, a személyes tér, a családon belüli férfi és női munkamegosztás, mindezek az eredendően szociológiai és társadalomtudományi témák Sebes Anna megjelenítésében különleges biológiai témákká válnak. Izgalmas olvasmány a könyv, amely előítélet nélküli családelemzéseivel, komoly tabutémák felvetésével, például, hogy hogyan lehet hosszú távú cserekapcsolatokkal biztos másodlagos szexuális igényekre szert tenni, vagy fenyegetés nélkül sikert elérni azonos neműek rivalizációi közepe stb. Szerencsés és boldog szintézise mindez a társadalomtudományi adatgazdagságnak és a biológiai nyitottságnak.

Bereczkei könyve szép kiállítású, technikailag jól szerkesztett munka. Még a sokféle képanyag egységes felbontását is megoldotta. Ez kevésbé mondható el sajnos Sebes Anna könyvéről. Nem annyira a szerző, mint inkább a szerkesztők hibája az, hogy igen eltérő felbontású képeket kapunk, s hogy szemben minden hazai szokással a magyarul is hozzáférhető klasszikusok – gondoljunk Jean Piaget vagy Konrad Lorenz munkáira – nem

magyar kiadásban jelennek meg az irodalomjegyzékben. Ez nem akármilyen hiányosság, hiszen egyébként ugyanazt lehet elmondani erről a könyvről is, mint Bereczkei munkájáról. Egy évtizedig fontos tankönyv lesz mind a pszichológusok, mind a szociológusok, mind az antropológusok számára. Ha már összehasonlító elemzést adunk, akkor még egy furcsaságra kitérnék. Ez pedig a könyvek ára. Bereczkei könyvének van támogatója, és így háromszáz oldalt 3400 forintért kapunk, míg Sebes Annának nincs támogatója, s 470 oldalt kapunk 4000 forintért. Valahogy megdöbbenet látja az olvasó, hogy a magyar könyvárképzésben a támogatásnak semmi kapcsolata nincs a könyvek fogyasztói árával. Furcsa evolúciós pszichológiai rejtély, amely mindazoknak a csereelveknek ellentmond, amelyeket a két könyv oly szépen és oly részletesen tárgyal. *(Bereczkei Tamás: Az erény természete. Önzetlenség, együttműködés, nagylelkűség. Budapest: Typotex, 2009, 313 p.; Sebes Anna: Emberállat – évmilliók lenyomata kapcsolatainkban. Budapest: Gondolat, 2008., 475 p.)*

Pléh Csaba

egyetemi tanár, az MTA rendes tagja



CONTENTS

Molecules in Space and Time

Guest Editor: Kálmán Medzihradzsky

Kálmán Medzihradzsky: Introduction	770
András Perczel: Commentaries on „Molecules in Space and Time”	772
Mátyás Czugler: Diffraction of X-Rays: Imaging with Atomic Resolution	776
Tamás Martinek: Out of Homochirality: Folding of Peptidomimetics	782
László Somsák: The Carbohydrate Code	789
Péter Huszthy – Tünde Tóth: Enantiomeric Recognition of Crown Ether Type Host Molecules	796
Zoltán Gáspári: Proteins Dancing	802
Péter Tompa: Intrinsically Disordered Proteins Defy the Structure-Function Paradigm ...	808
Miklós Orbán: Self-Organization of Molecules in Time and Space: Periodic Chemical Systems	815
Tamás Turányi: Success Stories in Environmental Protection and Technology Achieved Using Detailed Reaction Mechanisms	821

Study

Mária Ormos: Crises and Solutions—A Historian’s Eye View	828
Sándor Gánóczy: Faith, Religion and Moral in the Theory of Evolution and the Personal Life of Darwin	838
Péter Hahner: In memoriam Abraham Lincoln	849
István Klinghammer – Gábor Gercsák: Antal Reguly’s mapping in the Northern Ural Mountains	858
István Kézmárki: Magneto-optical Spectroscopy in the Modern Solid State Physics and Material Sciences—Magnetism As We See It	866

Academy Affairs

Communiqué	873
Declaration	875
Chern Medal Award	876

Obituary

Tibor Gánti (<i>Eörs Szathmáry</i>)	877
---	-----

<i>Outlook (Júlia Gimes)</i>	883
------------------------------------	-----

<i>Book Review (Júlia Sipos)</i>	886
--	-----

Ajánlás a szerzőknek

1. A Magyar Tudomány elsősorban a tudományterületek közötti kommunikációt szeretné elősegíteni, ezért elsősorban olyan kéziratokat fogad el közlésre, amelyek a tudomány egészét érintő, vagy az egyes tudományterületek sajátos problémáit érthetően bemutató témákkal foglalkoznak. 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 szöveges tanulmányok esetében általában nem haladhatja meg a 30 000 leütést (ez szóközökkel együtt kb. 8 oldalnak felel meg az MT füzetekben), ha a tanulmány ábrákat, táblázatokat is tartalmaz, kérjük, ezek várható felületével csökkentse a szöveg mennyiségét. Beszámolók, recenziók terjedelme ne haladja meg a 7–8000 leütést. A teljes kéziratot MS Word .doc vagy .rtf formátumban interneten vagy mágneslemezen (CD-n) és 1 kinyomtatott példányban kell a szerkesztőségbe beküldeni.

3. Legfeljebb 10 magyar kulcsszót és a közlemény címének angol fordítását külön oldalon kérjük. A tanulmány címe után a szerző(k) nevét, tudományos fokozatát, a munkahely(ek) pontos megnevezését, és ha közölni kívánja(ják), e-mail címét(eit) kell írni. A külön lapon kérjük azt a levelezési és e-mail címet, telefonszámot is, ahol a szerkesztők a szerzőt általában elérhetik.

4. Szöveg közbeni kiemelésként dőlt (*italic*), (esetleg félkövér – **semibold**) formázás alkalmazható; r i t k í t á s, VERZÁL, KISKAPITÁLIS (SMALL CAPITALS, KAPITÄLCHEN) és aláhúzás nem. A jegyzeteket lábjegyzetként kérjük megadni.

5. A képek, ábrák 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 megjelenő oldalak méreteit. Általában: az ábrák és magyarázataik legyenek egyszer-

rűek, áttekinthetők. A lemezen vagy e-mailben érkező képeket lehetőleg .tif vagy .jpg formátumban kérjük; fekete-fehérben, min. 150 dpi felbontással, és nagyságuk ne haladja meg a végleges (vagy annak szánt) méreteket. A közlemény szövegében tüntessék fel az ábrák kívánatos helyét.

6. A hivatkozásokat mindig a közlemény végén, ábécé-sorrendben adjuk meg, a lábjegyzetekben legfeljebb utalások lehetnek az irodalomjegyzékre. Irodalmi hivatkozások a szövegben: (szerző, megjelenés éve – Balogh, 1957; Feuer et al., 2002). Ha azonos szerző(k)tól ugyanazon évben több tanulmányra hivatkoznak, akkor a közleményeket az évszám után írt a, b, c jelekkel kérjük megkülönböztetni mind a szövegben, mind az irodalomjegyzékben. Különösen ügyeljenek a bibliográfiai adatoknak a szövegben, ill. az irodalomjegyzékben való egyeztetésére! Kérjük: csak olyan és annyi hivatkozást írjanak, amilyen és amennyi elősegíti a megértést. Számuk ne haladja meg a 10–15-öt.

7. Az irodalomjegyzéket ábécé-sorrendben kérjük. A tételek formája a következők szerint:

- Folyóiratcikkek esetében: Feuer, Michael J. – Towne, L. – Shavelson, R. J. et al. (2002): Scientific Culture and Educational Research. The Educational Researcher. 31, 8, 4–14.

- Könyvek esetében: Rokkan, Stein – Urwin, D. W. – Smith, J. (eds.) (1982): The Politics of Territorial Identity: Studies in European Regionalism. Sage, London

- Tanulmánygyűjtemények esetében: Halász Gábor – Kovács Katalin (2002): Az OECD tevékenysége az oktatás területén. In: Bábosik István – Kárpáthi Andrea (szerk.): Összehasonlító pedagógia – A nevelés és oktatás nemzetközi perspektívái. Books in Print, Budapest

8. Havi folyóirat lévén a Magyar Tudomány kefelevonatokat nem küld, de még az elfogadás előtt minden szerzőnek elküldi egyeztetésre közleménye szerkesztett példányát. A tördelés során szükséges apró változtatásokat a szerző időpont-egyeztetés után a szerkesztőségben ellenőrizheti.

9. A cikkeket a lap internetes oldalán, s az időszakos CD-mellékleten is megjelentetjük. Kérjük, jelezzék, ha ehhez nem járulnak hozzá.