

# *Magyar Tudomány*

**EGYSZERŰ ÉS BONYOLULT**

Vendégszerkesztő: ROSKA TAMÁS

---

**2003•3**

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA FOLYÓIRATA. ALAPÍTÁS ÉVE: 1840  
CIX. kötet – Új folyam, XLVIII. kötet, 2003/3. szám

*Főszerkesztő:*

CSÁNYI VILMOS

*Vezető szerkesztő:*

ELEK LÁSZLÓ

*Olvasószerkesztő:*

MAJOROS KLÁRA

*Szerkesztőbizottság:*

ÁDÁM GYÖRGY, BENCZE GYULA, CZELNAI RUDOLF, CSÁSZÁR ÁKOS, ENYEDI GYÖRGY,  
KOVÁCS FERENC, KÖPECZI BÉLA, LUDASSY MÁRIA, NIEDERHAUSER EMIL,  
SOLYMOSSI FRIGYES, SPÁT ANDRÁS, SZENTES TAMÁS, VÁMOS TIBOR

*A lapot készítették:*

CSAPÓ MÁRIA, CSATÓ ÉVA, GAZDAG KÁLMÁNNÉ, HALMOS TAMÁS, MATSKÁSI ISTVÁN,  
PERECZ LÁSZLÓ, SPERLÁGH SÁNDOR, SZABADOS LÁSZLÓ, SZENTGYÖRGYI ZSUZSA, F. TÓTH TIBOR

*Lapterv, tipográfia:*

MAKOVECZ BENJAMIN

*Szerkesztőség:*

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

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

Előfizetési díj egy évre: 6048 Ft

Terjeszti a Magyar Posta és alternatív terjesztők  
Kapható az ország igényes könyvesboltjaiban

---

---

# TARTALOM

Vendégszerkesztő: ROSKA TAMÁS; szerkesztő: SZENTGYÖRGYI ZSUZSA

Egyszerű és bonyolult – fogalmak és mértékek mesterséges és élő rendszerekben	
Roska Tamás: Bevezető.....	290
Csurgay Árpád: A „törpék” valóságos és virtuális világa.....	292
Gyulai József: Bonyolultság az elektronikában és a nanoelektronikában .....	300
Vicssek Tamás: Komplexitás-elmélet.....	305
Falus András: Bonyolultság a genom-léptékű biológiában; adalékok a posztgenomikus agnoszticizmushoz.....	308
Hámori József: Az emberi agy: a racionalizált bonyolultság .....	313
Székely György: Komplexitás az idegrendszerben.....	318
Roska Tamás: Bonyolultság és egyszerűség analogikai hullám-számítógépekben és néhány idegi jelenség modelljében .....	328
Vámos Tibor: Bonyolultság, filozófia, spekuláció és tudományos következetesség .....	332
Csuhaj Varjú Erzsébet: A formális nyelvek bonyolultságáról.....	336
Prószéky Gábor: A természetes nyelvek leírásának bonyolultsági kérdései .....	344
Katona Gyula: Bonyolulttól az egyszerű felé (a matematikában) .....	351
Rónyai Lajos: Birkózás a bonyolultsággal: hatékony algoritmusok .....	356
<i>Interjú</i>	
Középkort oktatni és kutatni Szegeden (Lukácsi Béla beszélgetése Kristó Gyulával) ...	363
<i>Tanulmány</i>	
Solymos Rezső: Akadémiai üdülő-erdő Mátraházán.....	370
<i>2002, a Kozma-centenárium éve</i>	
Keviczky László: Kozma László .....	378
Kovács Győző: Dr. Kozma László elektromérnök, a távbeszélő-technika és a számítástechnika magyar úttörője .....	379
<i>Tudós fórum</i>	
Az MTA és a CNRS (Francia Országos Tudományos Kutatási Központ) közötti kapcsolatokról.....	389
A felvidéki, a vajdasági és a kárpátaljai magyar nyelvű agrárfelsőoktatás helyzete ( <i>Heszky László</i> ).....	391
Felhívás hazánk EU-csatlakozásának támogatására .....	394
Az MTA és az Erdélyi Múzeum Egyesület megállapodása.....	396
A funkcionális genomika szerepvállalása ( <i>Dudits Dénes</i> ) .....	399
Szilárd Leó professzori ösztöndíjak – ötödször .....	400
<i>Megemlékezés</i>	
Salánki János ( <i>Ádám György</i> ) .....	401
<i>Kitekintés (Jéki László – Gimes Júlia)</i> .....	403
<i>Könyvszemle</i>	
Olvasónapló ( <i>Niederhauser Emil</i> ).....	408
Magyar Tudománytár I. kötet – Föld, víz levegő ( <i>Czelnai Rudolf</i> ) .....	412
Földes Anna: Az <i>Irodalmi Újság</i> könyve ( <i>Széchenyi Ágnes</i> ).....	414
Tizenkét év – Összefoglaló az erdélyi magyar tudományos kutatások 1990-2001 közötti eredményeiről ( <i>Berényi Dénes</i> ) .....	416

---

# *Egyszerû és bonyolult – fogalmak és mértékek mesterséges és élő rendszerekben*

## **BEVEZETŐ**

E tematikus számban mellőzve a mindent tudó magabiztosságot és naiv redukcionizmust, tudományos alapossággal szeretnénk reflektálni a címbeli kérdésre. Több tudományterületről kértünk feljeles kutatókat, hogy ahol lehet, tételesen vagy kísérletileg is igazolt eredmények alapján fejtssék ki véleményüket. Sokan közülük – bokros teendők mellett – vállalták, hogy időt szakítsanak a szaktudományos cikk írásától eltérő ismeretterjesztő esszé nehéz műfajában e cikkek megírására. Hálásan köszönjük nekik.

A témakör, illetve kérdésfeltevés szinte minden tudományágban felmerül, itt csak néhányat választottunk ki. Reméljük, korrekt és gondolatébresztő írásokat adunk közre.

A kérdés maga is vitát válthat ki, sokféle értelmezést tesz lehetővé. Mi itt az élettelen és élő természettudomány, valamint az információtechnika, számítástechnika tudománya és részben gyakorlata kérdéseiben jártas szakemberek véleményét közöljük.

Nem kívánjuk ezeket szintetizálni, hiszen önmagukban is értékes esszék gyűjteményét adjuk közre.

A tartalomjegyzék világos képet ad az öt témakörrel és az ezekben található dolgozatok címeiről.

Az első a fizika és nanoelektronika. Csurgay Árpád dolgozata közérthetően ad teljes képet a kvantumszámítógépek fogalmilag drámaian újszerű világáról és a megvalósítás előtt álló nehézségekről. Gyulai József a nanotechnológus szemével tekinti át a közeljövő fejlődési perspektíváit. Vicsek Tamás a fizikusok és közgazdászok által kezdeményezett ún. komplex rendszerekben rejlő bonyolultság fogalmáról ír.

Az élő szervezetek bonyolultságának témakörében az idegrendszer, a genetika és a kapcsolódó immunrendszer áll a következő három dolgozat érdeklődésének előterében. Falus András a genomika jelentőségéről, főbb kérdéseiről és lehetőségeiről ír. Hámori

József az emberi agy bonyolultságát, csak részbeni genetikai adottságát és az ebből adódó felelősséget tárgyalja. Székely György az idegrendszer modulszerkezetének egyszerűsítő hatását elemzi, elsősorban a mozgáskoordináció területén.

A számítógépekről alkotott fogalom és ennek a bonyolultsággal való kapcsolatáról szól a következő két dolgozat. Roska Tamás a számítógépeknek egy új változatáról, az analogikai hullám-számítógépekről mutatja meg, hogy milyen szoros kapcsolatban vannak egyrészt az agyban lejátszódó jelfeldolgozás módjával, másrészt az érzékszerveinkből induló következtetési eljárásaink bonyolultságával. Vámos Tibor a logikai számítógépek és következtetések kiszámíthatósági és megismerési korlátjából indulva a megismerés bonyolultságának és határainak kérdéséről elmélkedik.

A mesterséges és humán nyelvek és nyelvprocesszorok a következő témakör. Csuhaj Várjú Erzsébet a formális nyelvek, valamint a kooperáló és kommunikáló grammatikarendszerek bonyolultságának és kifejező erejének messzire mutató vizsgálatával foglalkozik. Prószéky Gábor pedig a természetes emberi nyelvek, nyelvtanok digitális számítógéppel végzett elemzésének lehetőségeivel – a humán nyelvtechnológiákkal – és ezek korlátaival ismerteti meg bennünket, rámutatva a Chomsky-féle grammatikák elégtelenségére.

Végül a matematika két területéről szól egy-egy esszé. Katona Gyula dolgozata a

bonyolulttól az egyszerű felé vezető utat és a matematikai tételek szépségét elemzi, abban az értelemben is, hogy e tételek a bonyolult fogalomvilágában mutatnak fel egyszerű összefüggéseket. Rónyai Lajos viszont a diszkrét matematika világának néhány újabb, bonyolultságelmélettel kapcsolatos eredményéről ad lényegre törő tájékoztatást.

Nem tudom elhallgatni, hogy most, amikor ezt a rövid tartalmi összefoglalót írtam, Berkeley-ben, egy drámai esemény tanújaként döbbsentem rá, hogy egy fontos témakör komplexitásáról nem szoltunk. Ez pedig az ember tervezte alkotások komplexitási és egyben megbízhatósági korlátai. Éppen pár bekezdéssel előbb tartottam, amikor barátom, Leon Chua professzor, aki a kaotikus jelenségek bonyolultságának is kiváló szakértője, telefonált, hogy menjek a tévéhez, mert az elmúlt percekben felrobbant a Kolumbia űrrepülőgép, és éppen ezt közvetítik. Valóban, mai korunk talán legbonyolultabb, szinte jelképszerű emberi alkotásának, a huszonhét sikeres űrmissziót teljesítő űrrepülőgép tragédiáját láthatta az egész világ.

Természetesen a kutató elme tovább is kérdez és felveti az egyszerűség és bonyolultság kérdését például a zenében vagy a festészetben, netán az emberről alkotott képünket illetően. Ez azonban már egy másik világ, módszereiben is, kérdésfeltevéseiben is, kompetenciájában is.

Berkeley, 2003. február 1.

*Roska Tamás*

# A „TÖRPÉK” VALÓSÁGOS ÉS VIRTUÁLIS VILÁGA

Csurgay Árpád

az MTA rendes tagja, egyetemi tanár,  
Budapesti Műszaki Egyetem, Elméleti Villamosságtan Tanszék

## *I. Az egyszerű és a bonyolult a virtuális valóságban*

A digitális számítógépeink képernyőjén életre keltett *virtuális* tárgy a matematikai modelljeinket jeleníti meg. Nemcsak a valóság megmérhető adatainak egy részét tükrözi, de visszaad valamit a valóság ritmusából és harmóniájából is. A virtuális tárgyak mint új metaforák kiegészítik kommunikációnk eszköztárát. Jó segítőársak, megtevesztően hasonlíthatnak a valós tárgyakra, sőt alkalmasak a tárgyakon a jövőben végzett mérésekbe történő bepillantásra is.

A modellek életre keltéséhez a szimulátor gépnek időre van szüksége. Az a tény, hogy van modellünk, és egy számítógép elvben kezelni tudja a modellt, még nem jelenti azt, hogy a virtuális tárgyat meg is tudjuk jeleníteni, ugyanis a számításához szükséges idő esetleg nagyon hosszú lehet. Ezért oly fontos tudnunk, hogy mennyire bonyolult programot kell írunk számítógépeinkre ahhoz, hogy a kiválasztott tárgyat leíró matematikai modellt életre kelthessük. A bonyolultság (complexity), amiről e cikkben szólni szeretnék, a virtuális tárgy tulajdonsága, nem a valóságos tárgyé. Arra ad választ, hogy adott szimulátor gépen hány műveletre van szükség a virtuális tárgy életre keltéséhez, pontosabban a mögöttes algoritmus lefuttatásához. Ez a bonyolultság nemcsak a matematikai modelltől, hanem a szimulátor-géptől is függ.

A valós tárgyat szigorúan körülhatárolt kísérleti körülmények között (experimental frame) mérésekkel faggatjuk, matematikai modellt alkotunk róla, majd a méréseket (nemcsak a ténylegesen elvégzetteket, de a jövőben végrehajtandókat is) számítógépeinken szimuláljuk [1]. Mesterséges környezetünk tervezése és építése nem volna lehetséges, ha a virtuális tárgy szimulációja nem megfelelően jósolná meg a valós tárgy jövőbeli működését.

Csak csodálkozhatunk azon, hogy a viszonylag egyszerű matematikai modellek jól közelítik jövőbeli méréseink eredményeit. Azon pedig különösen csodálkoznunk kell, hogy rendkívül egyszerű modellekből is nagyon bonyolult tulajdonságok bontakozhatnak ki (chaotic behavior, emerging phenomena stb.). A klasszikus fizikából kölcsönzött dinamikai modellekre épülő digitális világ virtuális valósága lenyűgöző, de a nanoelektronikában érzékeljük ennek korlátait is.

A nanotechnológia (nanos görögül törpét jelent), a *törpék* világát: az atomok és molekulák kvantumeffektusait próbálja munkára fogni. A tér-időben adott erők hatására mozgó „oszthatatlan” testekhez szokott szemlétünk e nanojelenségeket *kísértetiesnek* (spooky) véli [2]. Werner Heisenberg írja: „Emlékszem, hogy volt egy beszélgetésem Niels Bohrral, amikor ő kétségbe vonta, hogy egyáltalán fog-e találni a jelenségek számára adekvát matematikai leírást. Úgy

érezte, hogy a természet esetleg annyira irracionális, hogy egyszerűen semmiféle matematikai leírás kereteibe nem szorítható bele. Így teljesen meg volt lepve, amikor az derült ki, hogy igenis van matematikai leírás...” [3]. Van matematikai leírás, de ennek a digitális gépeken történő pontos megjelenítése szinte lehetetlen az algoritmusok exponenciálisan növekvő bonyolultsága következtében [4, 5].

Úgy tűnik, hogy a kellően felszerelt megfigyelő számára nincs egyszerűbb vagy bonyolultabb valós tárgy. Sokat emlegetett példa egy tömegpont gravitációs térbeli mozgása. Erről Newton almája jut eszünkbe, amint az alma éppen Sir Isaac Newton fejére esik. Ez a klasszikus mechanika legegyszerűbb példája. Pedig az alma egy biológus számára igencsak bonyolult szerves rendszer. Ugyanakkor nem az egyetlen elektron a legegyszerűbb test? Ha valóban az volna, akkor hogyan lehet, hogy a relativisztikus kvantum-térelmélet kutatói Nobel-díjakat kaptak a megismeréséért? Minden valós tárgy egyfórmán bonyolultnak tűnhet. Attól függően, hogy mi, mint megfigyelők mit akarunk vizsgálni, és ehhez milyen műszereink vannak, a tárgyakat – az elemi részektől a növényeken és állatokon át a bolygókig vagy a teljes Univerzumig – hasonló bonyolultságú modellekkel írhatjuk le [6, 7].

A bonyolultságot nem magában a valós tárgyban, hanem a megfigyelő „szemében”, azaz az általa szigorúan kijelölt kísérleti körülményekben kell keresnünk. Ugyanazt a tárgyat attól függően, hogy mi a célunk vele, milyen kísérleti körülmények között kívánjuk *láttni* vagy *működtetni*, aszerint modellezzük [8]. „A tudomány nem próbál végső magyarázatot adni, fogalmakat értelmezni is alig. A természettudomány modelleket alkot. Modell alatt egy olyan matematikai struktúra értendő, amelyik – bizonyos szóbeli interpretáció hozzáfűzésével – leírja a jelenséget. Egy ilyen matematikai struktúra

létjogosultságát az adja, hogy sikeresen látja előre a jelenségeket, tehát működik.” – írta Neumann János.

A nanoelektronika matematikai modelljeinek és algoritmusainak legnagyobb része megszokott számítógépeinken fut. Fontos előrelépést jelent majd az analogikai elven működő processzorok várható elterjedése is [9, 10], de úgy tűnik, hogy a *kísérteties* kvantumjelenségek valós időbeli megjelenítését csak a kvantumszámítógépektől várhatjuk.

## II. Modellek, szimulátorok, algoritmusok

A szimulátorok szigorúan kijelölt kísérleti keretek között működő fizikai rendszerek. Intuitíve minden olyan fizikai rendszer szimulátornak tekinthető, amelyben kijelöltük a bemenetnek tekintett állapotváltozókat, ezeket a processzálás kezdeti időpontjában megfelelően beállítottuk, és kijelöltük azokat az állapotváltozókat is, amelyeket a rendszer egy meghatározott idejű dinamikai mozgását követően mint kimeneteket mérésrel meghatározunk. A bemenet jellegét megkülönböztetjük a kimenetétől, mert a bemenetet mint kezdeti feltételt *beállítjuk*, a kimenetet viszont a dinamika lezajlása után *mérjük*.

Ha a bemenetet két csoportba osztjuk, és az egyik csoportot *programnak* nevezjük, megkülönböztetve az adat jellegű bemenettől, akkor a fizikai rendszert programozhatónak nevezzük. Rögzített program esetén a fizikai rendszer a különböző bemeneti adatokat különböző kimeneti adatokba képezi le, egy függvényt valósít meg. Ha változtatjuk a programot, akkor az adott fizikai rendszer különböző függvényeket tud kiszámolni. Egy kijelölt programú, adott bemenetű és kimenetű fizikai rendszer (a hardver) a programjától függően függvények sokaságát tudja kiszámolni. Ez a függvényhalmaz jellemzi az adott hardver szimulációs képességét. Hogyan bővíthetjük e

halmazt? Ha egyszerűen mellé teszünk egy másik hardvert, amely olyan függvényeket is ki tud számítani, amelyeket az eredeti hardver még nem tudott, és a két gépet egynek tekintjük, akkor a bővített géppel kiszámítható függvények halmaza a két géppel külön-külön kiszámítható függvényhalmazok uniója lesz.

Az információtechnika történetére máig hat Alan Turing 1936-ban közzétett eredménye. Megmutatta, hogy a számítást végző eszközök hardverjének bővítése nem sokáig gazdagítja a kiszámítható függvények körét. Igen hamar eljuthatunk egy olyan gépig, amely ki tud számítani minden, egyáltalán kiszámítható függvényt. Állítását egy „univerzális gép”, a róla elnevezett Turing-gép konstrukciójának megadásával bizonyította. A Turing-gép minden bináris (0-ból és 1-ből álló) sorozatot bináris sorozatba leképező kiszámítható függvényt ki tud számolni. Turing bebizonyította, hogy ami gépével véges számú lépésben nem számolható ki, azt semmilyen gép sem tudja véges számú lépésben kiszámítani. A kiszámíthatóság maga nem elég a virtuális valóság életre kelteséhez. Nem mindegy, hogy az életre keltes ideje hogyan függ a valós mérés idejétől.

A nanoelektronikában virtuálisan szeretnénk megjeleníteni az atomok és molekulák „kísérteties” jelenségeit is. Richard Feynman már 1982-ben megmutatta, hogy *összefon*t (entangled) állapotú kvantumfizikai objektumok tökéletesen (ez alatt elfogadható idejű számítási időt értett) csak összefon állapotra is képes kvantum-objektumokkal szimulálhatók, klasszikus digitális számítógépekkel nem, mert a mérés szimuláló algoritmusok bonyolultsága exponenciálisan nő a mérés idejének függvényében, ami ellehetetleníti a megjelenítést. Gondot jelent a kvantummechanikai mérés problematikája is. Kiszámítani csak valószínűségeket tudunk. Amit mérni fogunk, azt nem. Felmerült, hogy a determinisztikus Turing-gép

(DTM: Deterministic Turing Machine) helyett próbálkozzunk a nem-determinisztikus Turing-géppel (PTM: Probabilistic Turing Machine). Vannak feladatok, amelyekben a PTM hatékonyabb, mint a DTM, de a klasszikus fizika „előítéletei” mindkettőbe be vannak építve, a PTM sem gyorsítja meg az összefonott kvantumállapotok megjelenítését.

Úgy tűnik, hogy a mikrovilág törvényeit követő valós tárgyak megjelenítéséhez olyan új gépekre van szükség, amelyek maguk is a mikrovilág törvényei szerint működnek.

### *III. Az univerzális kvantum Turing-gép (QTM: Quantum Turing Machine)*

Feynman 1986-ban felvázolta a kétállapotú atomsoron mint regiszteren működtethető kvantumszámítógépre vonatkozó elgondolását [11]. A gép memóriája egy atomsor alakú regiszterből és egy programvezérlést végző segédregiszterből áll. A gondolatkísérletben folyó számítás úgy zajlik, hogy a regiszterek állapota egy unitér operátor által előírt módon időlépésről időlépésre halad a végállapot felé, amit a regiszter a lépéssorozat végén vesz fel. Az eredményt a regiszter végállapotának mérésével olvashatjuk ki. Minden elemi utasítás a atomsoron végrehajtott unitér, tehát invertálható művelet. E gépen minden program visszafelé is lefutatható. De tetszőleges  $n$  bitből álló bemenetet a kimenetre leképező függvény invertálhatóságának szükséges feltétele az, hogy a kimenet biteinek száma megegyezzen a bemeneti bitek számával. Ez felesleges bitek kiszámítását igényli. A számítás eredményei között ott van, amit ki akartunk számítani, de egy sor más adat is, amelyek lehetővé teszik, hogy a számítást fordított irányban is végrehajthassuk. Mennyi felesleges információ kiszámításával és tárolásával fizetünk az invertálhatóságért? Nagy memóriára van szükség ahhoz, hogy megőrizzük a számítás *történetét*, hogy aztán visszafelé is végrehajthassuk?

Megmutatták (lásd például [12, 13, 14]), hogy mindig elegendő a bemenet mellett annyi felesleges bitet felvenni, amennyi a kimenet bitjeinek száma. Ha az a feladatunk, hogy az  $s$  bitsorozatot az  $f(s)$  bitsorozatra képezzük le (nem feltétlenül visszafordíthatóan), akkor mindig elegendő, hogy a bemenet az  $s$  bitjein kívül az  $f(s)$  bitjeinek számával megegyező számú  $0$ -t visszafordíthatóan képezzen le az  $s$ -ből és az  $f(s)$ -ből álló kimenetre. Az  $s \Rightarrow [s, f(s)]$  leképezés mindig invertálható, tehát  $s \Leftrightarrow [s, f(s)]$ , és soha nincs szükség több felesleges bit megőrzésére, mint a kimenet bitjeinek száma.

Ez a gondolatmenet vezetett a reverzibilis Turing-géphez (RTM). Feynman e gondolatkísérletéből arra a következtetésre jutott, hogy a természetben működhetnek, és talán hamarosan mesterségesen is előállíthatók lesznek olyan számítógépek, amelyekben az elemi memóriacella egy-egy atom (vagy molekula), és amelyekben az elemi kölcsönhatások a mikrovilág kvantumjelenségeinek törvényeit követik. Megmutatta, hogy e gépek elvben óriási memóriakapacitással, petaflopnak megfelelő sebességgel és rendkívül kis fogyasztással működhetnek.

Amíg egy kétállapotú mikrofizikai objektummal megvalósított memóriacella (például a Feynman-féle kétállapotú atom) minden számítási lépés végén  $1$  valószínűséggel veszi fel az egyik vagy másik sajátállapotát – azaz a cella minden számítási lépés során egyik sajátállapotából a másik sajátállapotába megy át (vagy nem megy át) –, addig a jelprocesszor bináris működésű, klasszikus vagy kvantumfizikai dinamikájától függetlenül bitsorozatokat képez le bitsorozatokba, így nem nyújt többet, mint a reverzibilis Turing-gép. Nem bővíti a tökéletesen szimulálható fizikai objektumok körét, és nem változtat a számítási feladatok komplexitási osztályain sem.

Feynman továbblépett. Mi történne – kérdezte –, ha sikerülne a kétállapotú me-

móriacellában a két sajátállapotot *összefonva* fenntartani? Mi történne, ha ezeken az összefonott állapotú biteken (qubit=kvantum bit) a bitekhez hasonlóan tudnánk műveleteket, számításokat végezni, ha tudnánk olyan gépet építeni, amelyben az információt nem bitek (legalábbis nem *csak* bitek), hanem qubitek is hordozzák?

E kérdések aktív elméleti kutatások egész sorát motiválták. Sokan tettek és tesznek kísérletet qubiteket hasznosító gépek – kvantumszámítógépek építésére is. A qubiteket is a maga szolgálatába állító információtechnika ugyanis nagyon sokat ígér. Nemcsak a számítási kapacitás növelését ígéri, de két szempontból merőben új lehetőségeknek is utat nyit. Ahogy 1936-ban Turing felvázolta az univerzális digitális jelprocesszorban rejlő lehetőségeket, ugyanúgy 1985-ben David Deutsch megadta az univerzális kvantumszámítógép (ahogy ő elnevezte, a Quantum Turing Machine, QTM) konstruktív definícióját [15], és megmutatta, hogy az univerzális QTM-gép minden véges fizikai rendszer *tökéletes* szimulátora, tehát megvalósítója minden véges fizikai rendszerrel egyáltalán megvalósítható leképezésnek.

A QTM az információt qubitek formájában tárolja. Minden kétállapotú rendszer, amelyben két stacionárius állapot összefonódhat (például az atommagok mágneses spinje), alkalmas arra, hogy qubitet reprezentáljon. Ugyanakkor minden lineárisan poláros foton továbbíthat összefonott vertikális és horizontális, a cirkulárisan poláros pedig balra és jobbra is forgó összefonott polarizációjú fényt. Minden atom vagy kvantumpötty (quantum dot) alapenergiájú stacionárius állapota és első gerjesztett állapota is összefonódhat. A mikrofizika sok lehetőséget kínál qubitek megvalósítására.

A kvantumregisztert ilyen, egymás mellé helyezett kétállapotú elemekből építhetjük meg, ugyancsak „összefonva” őket. A

kvantumregiszter egy qubit lánc [16], melynek állapota két stacionárius sajátállapot koherens szuperpozíciója

$$|\Psi\rangle = c_0 |\Psi_0\rangle + c_1 |\Psi_1\rangle \equiv \begin{pmatrix} c_0 \\ c_1 \end{pmatrix}$$

ahol  $c_0$  és  $c_1$  komplex számok, melyeknek abszolút érték négyzete megadja, hogy állapotmérés esetén milyen valószínűséggel találjuk a rendszert egyik vagy másik sajátállapotában. Mivel mérés esetén csak a két sajátállapot valamelyikében találhatjuk a rendszert, ezért:  $|c_0|^2 + |c_1|^2 = 1$

A kvantummechanika szuperpozíció elve értelmében az összefonódott kvantumállapotok egyidejűleg tartalmazzák a két sajátállapotot. Ez klasszikus fizikai rendszerekben nem fordulhat elő, mert a dekoherencia jelensége igen rövid idő alatt valamelyik sajátállapotba viszi át a rendszert. A legegyszerűbb esetben, egy kétállapotú qubitet megvalósító rendszer esetén, az állapot időfüggését szemléltethetjük egy egységnyi sugarú gömb felületére mutató vektorral.

Általános esetben a  $c_0$ ,  $c_1$  komplex számokból álló vektor a gömb felületére mutat, a vertikális koordináta-tengelyre eső vetülete jellemző arra, hogy az összefonódott  $|\Psi_0\rangle$  és  $|\Psi_1\rangle$  sajátállapotok milyen mértékben vesznek részt az eredő állapotban. A vertikális tengely körüli elforgatást mutató szög felel meg az állapot „fázisának”. Ez a fázis ugyan nem befolyásolja a sajátállapotok részesedését, de meghatározó szerepet játszik a kvantuminterferencia jelenségében. Így az eredő állapotban a 0 és az 1 sajátállapot részesedése lehet ugyan azonos, a komplex amplitúdók mégis különbözőek, mert fázisuk különböző.

A választott fizikai realizáció determinálja a  $|\Psi_0\rangle$  és  $|\Psi_1\rangle$  bázist, ezért az állapotot a  $c_0$ , és  $c_1$  komplex amplitúdók határozzák meg, melyeket egy oszlopvektorral adhatunk meg. Az oszlopvektor a sajátállapotok esetén

$$|\Psi_0\rangle \equiv |0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ és } |\Psi_1\rangle \equiv |1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

A kvantumregiszter összefonódott qubitekből épül fel. Két összefonódott qubit állapotát a qubitek állapotainak direkt szorzata adja meg

$$|\Psi^{(1)}\rangle \otimes |\Psi^{(2)}\rangle = |\Psi^{(1,2)}\rangle.$$

Komplex amplitúdó vektorokkal a következő módon reprezentálhatjuk az állapotokat:

$$\begin{aligned} |\Psi^{(1)}\rangle \otimes |\Psi^{(2)}\rangle &= \begin{pmatrix} c_0^{(1)} \\ c_1^{(1)} \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} c_0^{(2)} \\ c_1^{(2)} \end{pmatrix} = \\ &= \begin{pmatrix} c_0^{(1)} c_0^{(2)} \\ c_0^{(1)} c_1^{(2)} \\ c_1^{(1)} c_0^{(2)} \\ c_1^{(1)} c_1^{(2)} \end{pmatrix} = |\Psi^{(1,2)}\rangle = \begin{pmatrix} c_{00} \\ c_{01} \\ c_{10} \\ c_{11} \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Két összefonódott qubitnek négy saját állapota van:  $|00\rangle$ ,  $|01\rangle$ ,  $|10\rangle$ ,  $|11\rangle$  ahol

$$|00\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, |01\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, |10\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, |11\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

és a két qubitből álló regiszter állapota általános esetben a következő:

$$|\Psi^{(1,2)}\rangle = c_{00} |00\rangle + c_{01} |01\rangle + c_{10} |10\rangle + c_{11} |11\rangle$$

Hasonlóan állíthatjuk elő az  $n$  qubitből álló kvantumregiszter állapotát is. Figyeljük meg, hogy 2-qubites regiszter négy különböző klasszikus 2-bites sztring szuperpozícióját, a 3-qubites regiszter nyolc hárombites sztring, és egy  $n$ -qubites regiszter  $2^n$  darab  $n$ -bites sztring szuperpozícióját tartalmazza *párhuzamosan*.

A kvantumregiszter legfontosabb tulajdonsága éppen az, hogy a kvantum-szuperpozíció jelenségét kiaknázva exponenciális mennyiségű klasszikus információt tárol polinom számosságú qubitben.

## IV. Műveletek kvantumszámítógépeken

A kvantumregiszter tartalmát olyan vektorokkal reprezentáljuk, amelynek elemei komplex számok. Az egyes állapotokhoz különböző energiaszintek tartoznak. A vektorok „hossza” (az elemek abszolút értékeinek négyzetösszege) minden állapotban eggyel egyenlő. A legkisebb energiájú állapot ( $|0\rangle$ ,  $|00\rangle$ ,  $|000\rangle$ , ...) vektora is egységnyi hosszúságú. Mindaddig, amíg a kvantumregiszteren mérést nem végzünk, a regiszterben jelen lehet az összes sajátállapot szuperpozíciója is. Ez azt jelenti, hogy a vektor végpontja az egységnyi sugarú gömbön bárhová mutathat. Ha a legkisebb energiájú  $|0000\rangle$  állapotból indulunk, és a rendszer dekoherenciáját sikeresen megakadályozzuk (jól elszigeteljük a rendszert a hőtartályoktól, és mérést nem végzünk), akkor külső erővel (például a Rabi-oszcillációt előidéző elektromágneses impulzusokkal) a vektor végpontját az egységnyi sugarú gömb felületén folyamatosan mozgathatjuk. A külső erő a rendszer Hamilton-operátorát teszi időfüggővé, ami a zárt kvantummechanikai rendszernek az egyik állapotból a másikba való evolúcióját váltja ki. A gömb felületén egy adott számítás bemenő adataihoz is, eredményéhez is jól meghatározott pontok tartoznak. A jó kvantumalgoritmus a számítás végén olyan pontot állít be a gömbön, amely biztosítja, hogy mérés esetén a keresett eredmény valószínűsége közel egy, minden más bináris adat valószínűsége közel nulla legyen.

A kvantumalgoritmusokat elemi műveletekre bontjuk fel. Egy-egy művelet a kvantumregiszter állapotát változtatja meg, „operációt” hajt rajta végre. Megmutatható, hogy egyetlen qubiten végzett műveletekből nem minden operáció építhető fel, de egyedi qubiteken és összefonódott qubit párokon végrehajtott elemi műveletekkel az  $n$  qubitből álló kvantumregiszter bármely

állapotából bármely másik állapotába eljuthatunk. Az  $n$  dimenziós egységgömbön is szemléltethetjük ezt az állítást: egyedi qubitekre és összefonódott qubit párokra alkalmazott műveletekkel a gömb bármely pontjára mutató vektort átforgathatjuk a gömb bármely másik pontjára. Ha teljesülnek a rendszer zártására vonatkozó feltételek, akkor a műveletek lineárisak, és az állapotot reprezentáló komplex elemű vektorokat unitér négyzetes mátrixok viszik át egyik állapotból a másikba.

Ha a kvantumregiszter  $n$  kétállapotú qubitből áll, akkor a regiszteren működő operátor  $2^n \times 2^n$  dimenziójú mátrixszal reprezentálható. Ha egy operátor egyetlen qubiten működik, akkor  $2 \times 2$ -es unitér mátrix alakban írható fel.

Bináris vektort összefonódott állapotba viszi át például a

$$U(\vartheta) = \begin{pmatrix} \cos \vartheta & -\sin \vartheta \\ \sin \vartheta & \cos \vartheta \end{pmatrix}$$

unitér mátrixszal reprezentált operátor.

A logikai kapuk is operátorok. A NOT operátor mátrixa például

$$\text{NOT} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Már említettük, hogy a zárt kvantumrendszerek dinamikáját a Schrödinger-egyenlet határozza meg:

$$|\Psi(t)\rangle = e^{-\frac{iHt}{\hbar}} |\Psi(0)\rangle = U(t) |\Psi(0)\rangle$$

ahol az úgynevezett  $U(t)$  „evolúció” operátor mindig unitér, azaz minden ideális kvantumszámítógép unitér leképezést realizál, logikailag reverzibilis.

A kvantumszámítógépek azonban nemcsak binárisan reverzibilis működésűek, hanem minden unitér leképezést megvalósíthatnak. Láttuk, hogy a NOT és a C-NOT leképezések reverzibilisek, de még binárisak.

A kvantumszámítógépen megvalósítható

$$\begin{pmatrix} \frac{l+1}{2} & \frac{l-1}{2} \\ \frac{l-j}{2} & \frac{l+j}{2} \end{pmatrix}$$

leképzés viszont már nem bináris. Vegyük észre, hogy e leképzés négyzete nem más, mint a bináris NOT, ezért e leképezést  $\sqrt{\text{NOT}}$  kapunkak nevezzük.

#### V. A kvantumszámítógép mint szimulátor

A kvantumregiszter legfontosabb tulajdonsága éppen az, hogy a kvantum-szuperpozíció jelenségét kiaknázva exponenciális mennyiségű klasszikus információt tárol polinom számosságú qubitben. Kiolvasni ugyan csak egyetlen klasszikus bitsort tudunk, de mindaddig, amíg nem hajtunk végre mérést a regiszteren, minden utasítást az exponenciális mennyiségű klasszikus bitsoron párhuzamosan hajthatunk végre.

Ezt a lehetőséget eddig két nehéz, klasszikus probléma gyorsított megoldásában tudták kiaknázni. Peter Shor, az IBM kutatója a nagy számok prím-faktorizációjára adott polinom-rendű algoritmust kvantumszámítógépre [16], ami lehetővé tenné a titkosító kódok feltörését. Lov K. Grover, az AT&T munkatársa nagy adatbázisokban való keresést felgyorsító algoritmust adott [17]. Sikeresek és nagyon ígéretesek a kvantum-kriptográfiai kísérletek [18].

A *Science* folyóirat 2001 decemberében – áttekintve az év legfontosabb eredményeit – az év áttörésének nevezte a nanoáramkörök terén elért eredményeket, nevezetesen a molekulákból „összeszerelt” áramköröket (Service, 2001). Az IBM Almadel kutatóközpontjának honlapján 2001 decembere óta olvashatjuk a bejelentést: sikerült egy hét quantum-bitet (qubit) tartalmazó olyan kvantumszámítógépet megvalósító molekuláris áramkört építeni, amin lefuttatható Peter Shor 1994-ben közölt algoritmus,

amely egészszámok prím-faktorizációját a karakterek számától polinom rendben függő idő alatt végzi el (IBM's Test-Tube Quantum Computer Makes History: First Demonstration of Shor's Historic Factoring Algorithm). 2001-ben új lendületet kapott a molekulák atommagjainak „spin”-jeit qubitként hasznosító kvantumszámítógépek kutatása, és folytatódott az összes többi géptípus fejlesztése is.

A kvantumszámítógép megvalósítása előtt akadályok egész sora tornyosul. Az összefont kvantumállapotok dekoherenciája elleni küzdelem és a hibajavítás nehézségeinek feloldása az egyik kihívás, nagy számú qubit (például 200) integrálása a másik, elfogadható architektúra és konstrukció kidolgozása a harmadik. Szkeptikusok szerint a sokat ígérő algoritmikus adta előnyökért a hardver bonyolultságával kell fizetnünk. A kvantumszámítógépek jelenleg szóba hozott architektúrája nem is hasonlít a logikai kapukból és memóriacellákból felépített számítógépekéhez. Semmiképpen sem versenytársa, legfeljebb lényeges kiegészítő processzora lehet a digitális elven működő gépeknek. A qubitek nem versenytársai, hanem segítői lesznek a biteknek.

Egy területen azonban a kvantumszámítógépek, éppen a kvantumjelenségeket hasznosító nanoelektronikában, nélkülözhetetlenek tűnnek. A kvantumszámítógép ugyanis a kvantumjelenségek természetes szimulátora, virtuális megjelenítésük természetes eszköze. Ahogy a digitális számítógépek új generációit a korábbiak alkalmazása nélkül lehetetlen lett volna kidolgozni, ugyanúgy a kvantumszámítógépek is csak „egymás vállán állva” nőhetnek fel feladataikhoz, a mikrovilág kvantumjelenségeinek valós idejű virtuális megjelenítéséhez.

A kvantumszámítógépek ha felnőnek feladataikhoz, számítógépeink képernyőjén életre kel majd a kvantumvilág, George Gamow *Wonderlandje*, úgy, ahogy azt Mr.

Tompkins megálmodta. A kvantumjelenségek nem lesznek többé kísértetiesek. A mikrovilágot is olyanak látjuk majd, mint amilyen, mérhető adataival, *ritmusával és harmóniájával* együtt. Ki tudja, hogy képzeletünk milyen új metaforákat kölcsönöz

majd a virtuális kvantum-valóságból, mivel és mennyiben gazdagítja majd ezzel kommunikációnkat?

Kulcsszavak: *nanotechnológia, kvantum-számítógépek*

#### IRODALOM

- [1] Zeigler, Bernard P. (1976): *Theory of Modelling and Simulation*. John Wiley, New York,
- [2] Weizsäcker, Carl Friedrich von (1985): *Aufbau der Physik*. Hasner, München
- [3] Simonyi Károly (2000): *A fizika kultúrtörténete*. Gondolat, Budapest
- [4] Feynman, Richard Phillips (1990): *The Strange Theory of Light and Matter*. Penguin Books, NY
- [5] Feynman, Richard Phillips (1982): Simulating Physics with Computers. International Journal of Theoretical Physics. Vol. 21, No. 12. 467-488.
- [6] Wheeler, John A. (1996): Time Today. In: Namiki, Mikio – Aizawa, Youji: *Quantum Physics, Chaos Theory, and Cosmology*. American Institute of Physics Press, New York
- [7] Wheeler, John A. (1991): *Recent Thinking about Nature of the Physical World*. Paper presented at the First Andrei Sakharov International Physics Conference, Moscow, May 1991
- [8] Makus, Robert (2001): Education in the Grip of Technological Thinking: An Analogical Hermeneutic of Heidegger's "Question Concerning Technology". *Existentialia*, Vol. XI/2001/Fasc.3-4. 315-21.
- [9] Chua, Leon O. (1998): *CNN: A Paradigm for Complexity*. World Scientific Series on Nonlinear Science, Series A, Vol 31. World Scientific, Singapore
- [10] Roska Tamás – Chua, Leon O. (1995): *On a Framework of Complexity of Computations on Flow-Implemented on the CNN Universal Machine. Research report of the Analogical and Neural Computing Laboratory DNS-15-1995*. MTA SZTAKI, Bp.
- [11] Feynman, Richard Phillips (1986): Quantum Mechanical computers. Foundations of Physics. June, 1986, Vol. 16. 507-531.
- [12] Csurgay Árpád – Simonyi Károly (1997): *Az információtechnika fizikai alapjai*. Mémöktovábbképző Intézet, Budapest
- [13] Gershenfeld, Neil (2000): *The Physics of Information Technology*. Cambridge University Press, Cambridge
- [14] Williams, Colin P. – Clearwater, Scott H. (1997): *Explorations in Quantum Computing*. Springer – TELOS, New York
- [15] Deutsch, David (1985): Quantum Theory, the Church-Turing Principle and the Universal Quantum Computer. Proceedings of the Royal Society. Series A, 400, 97-117.
- [16] Shor, Peter W. (1997): Polynomial-Time Algorithms for Prime Factorization and Discrete Logarithms on a Quantum Computer. SIAM Journal on Computing. October 1997. Vol. 26. 1484-1509.
- [17] Grover, Lov K. (1996): *A Fast Quantum Mechanical Algorithm for Database Search*. Proceedings of the 28<sup>th</sup> ACM Symposium on Theory of Computing. Philadelphia. 212-219.
- [18] Bouwmeester, Dirk – Ekert, Artur – Zeilinger, Anton (szerkesztők) (2000): *The Physics of Quantum Information. Quantum Cryptography, Quantum Teleportation, Quantum Computation*. Springer, Berlin
- [19] Service Robert F. (2001): Breakthrough of the Year: Molecules Get Wired. Science. 294: 2442-2443.
- [20] IBM's Test-Tube Quantum Computer Makes History. First Demonstration of Shor's Historic Factoring Algorithm.  
[http://www.research.ibm.com/resources/news/20011219\\_quantum.shtml](http://www.research.ibm.com/resources/news/20011219_quantum.shtml)

# BONYOLULTSÁG AZ ELEKTRONIKÁBAN ÉS A NANOELEKTRONIKÁBAN

Gyulai József

az MTA rendes tagja, intézetigazgató,  
MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet – gyulai@mfa.kfki.hu

A fizika tudományának a célja, hogy minden manifesztálódó természeti kölcsönhatást első közelítésben felkutasson, és – megértve annak lényegét – kvantitatív módon leírjon. Ezzel válik – a matematika módszereivel körülbástyázva – valamennyi tudományág nemtőjévé, amint ezt például szépen demonstrálja a kémia XX. századi története, és hasonló történések beindulásának vagyunk tanúi az élettudományokban is. A „minden természeti kölcsönhatás” azt is jelzi, hogy a fizika mindig is a bonyolultság és az egyszerűsítés mezsgyéjén egyensúlyoz. Akár kísérletekre, akár elméleti modellekre gondolunk, a reális megértéshez éppen a *manifesztálódó* kölcsönhatás (azaz a jelenség) letisztítása, a lényeges elemeknek az éppen „mai” szemmel (!) a „lényegtelenről” való elkülönítése jelenti. Egy kutató zsenialitása éppen abban nyilvánul meg, hogy ezt a letisztítást másoknál sikeresebben végzi el. Ez a stratégia vezet el a modellalkotás, a kvantitatív leírás megalkotásához. A megalkotott modellek mentén igyekszik azután a kutatói világ dolgozni, a modelleket megtartani, átmenteni mindaddig, ameddig az új tények egyre több olyan elemet visznek a tudásunkba, amelyek már csak nagyon mesterkelt módon, vagy egyáltalán nem foghatók meg a modellel. Ekkor következnek el – többnyire kitartó harcok árán – a nagy ugrások.

A modellek mára rendkívüli bonyolultságot, azaz a valósághoz nagyon közeli komplexitást is elérhetnek – hála az atomi felbontású analitika, valamint a számítógépes módszerek fejlődésének. Ma már gyakran megkísérelhető a valóságot már alig szimplifikáló matematikai modellek *kvázi* megoldása is. Nem kell az elemi közelítésekig visszamennie sem a fizikusnak, sem a kémikusnak – remélhetőleg rövidesen az élettudományok művelőinek sem. Gondoljunk az *Ürmélybe* látó kozmogónia következtetéseire, vagy az atomi szintű ismeretek szélesedő áramára alapozódó információkezelésre.

A modelleket – személyes értékítéletemben – két kategóriába szoktam sorolni. Az általam nagyra becsültek azok, amelyeknek elemeit a fizika, kémia kvantitatív leírásai, azaz a természettörvényekként nevezett összefüggések adják. Ezek azok a modellek, amelyek jósolni is képesek, és jelzik a továbblépés lehetséges irányait. Sajnos éppen mert nagy kutatási háttérrel feltételeznek, ezek a költségesek. Az ugyanis rendkívül ritka, hogy a jelenségorientált alapkutatók olyan részletességgel vizsgálják meg, írják le a jelenséget, hogy a kvantitatív kép az alkalmazásokhoz szükséges részleteket is tartalmazza: általában szükséges annak további finomítása.

Az olcsó, és emiatt, főleg az iparban jobban terjedő programok a felszínen látható, rokonító, de nem feltétlenül lényegi kapcsolatok analízisével érnek el – el kell ismerni – nagyon látványos eredményeket, de nem adnak instrukciót a továbblépéshez. Valahogy úgy, ahogy a homológia viszonylik az analógiához.

A bonyolultság-modellezés kettőse át-szövi az alkotó műszaki tudományokat is, amelyek az alaptudományok által megértett, leírt jelenségeket mint – mára akár az egyes atomok szintjén – működő szerszámokat használják, hogy azokkal egy előre elképzelt funkciót megvalósító eszközt létrehozzanak.

A jelen cikkben a bonyolultságnak egy, az életünket meghatározó, de valahol az évtizedes jövőben leáldozó szakmájából, a mikroelektronikából és rokon területeiből szeretnék példákat meríteni.

Számítógépesített világunk hajtóerejét a digitális integrált áramkörök fejlődése – mint az autópárt is maga mögé utasító óriás iparág – szolgáltatja. Valamikor a hetvenes évek elején, az Intel nagy feljutása idején a cég kereskedelmi igazgatója, Gordon Moore (ejtsd: Mór) piaci felméréseket végzett. Ezek során vette észre, hogy azokban az években a cég – a versenytársakra is kényszerítő hatással – úgy fejlődött, hogy a gyártott áramkörökön évente megkétszereződött a tranzistorok száma. A cég stratégiájának kialakításához azt a javaslatot merite tenni, hogy „ez még néhány évig tartható lesz”. Nem gondolhatta akkor, hogy az iparág mögé felsorakozó kutatás – a *mi* szakmánk – olyan sikeres lesz, hogy ez nem csak pár évig, de pár évtizedig így maradhat, és a megfigyelése valahol tán törvénnyé érik, legalábbis annak fogják aposztrofálni. Mára ugyan az évi kétszeres növekedés némileg, egy egész nyolctizedre (1,8) mérséklődött, de ezzel a tempóval még vagy egy évtizedig számolni lehet. Akkor ugyanis az egyre csökkenő méretű áramkörök valóban elérik azt a

nano-méretet, amelynél már nem jöhet létre a tranzistorhatás, vagy más, fundamentális nehézség lép fel. Az én szakmám számára ez jelenti évtizedek óta a nagy kihívást, amelynek mindeddig meg tudott felelni.

Először az USA szakemberei ültek össze a kilencvenes évek elején, hogy megvizsgálják, tartható-e a Moore-törvény még egy ideig. Megalkották a *Roadmap*-nak elnevezett, azóta kétévenként korszerűsített tanulmányukat. Először a *National Roadmap of Semiconductor Industries*, majd a nemzetközi verziót, amelyet mára szélesebb közreműködéssel állítanak össze. Ezzel divatba hozták a „Roadmap-irodalmat”.

A természettudományos alapműveltséggel rendelkezőknek érdemes felkeresniük a <http://public.itrs.net/> címen a kétévenként korszerűsített tanulmányokat. Az érdeklődés felkeltésére azt említem meg, hogy azokban háromféle színnel jelölik azokat a szakmai követelményeket, amelyek szükségesek ahhoz, hogy a következő generációs áramköröket – ipari termékként – el lehessen készíteni. Fehér színnel jelzik azokat a problémákat, amelyek megoldásához ipari szinten már minden tudás rendelkezésre áll. A zöld a szükséges, tudományosan ugyan ismert, de ipari gyakorlattá még nem vált ismereteket ismerteti. A *red brick wall*-ként emlegetett vörös szín még alapkutatást is igényel, de a szerkesztők véleménye szerint azok elérése nem fikció. Hogy az *ipari szint* a kutatáshoz képest milyen időskálán mozog, azt módomból volt személyesen is megtapasztalni: 1986-ban részt vehettem egy, a Cornell Egyetemen összehívott, az első 100 nm-es tranzistorok előállítását némi szomorúsággal ünneplő diszkusszióban. Az volt ugyanis a gond, hogy működő példány csak elvétve akadt a szilíciumszeleteken. A 100 nm-es tranzistorokból épült áramkörök napjainkban, csak jó tizenöt évvel később válnak iparilag gyártott termékké... Természetesen a gyártásig eljutott technológia

alaposan eltér attól, amit akkor a Cornellen, a National Submicron Facility kutatói alkalmaztak.

Az 1. táblázatban látható a Roadmap két egymás utáni „naprakészített” (1999 és 2001) változata, annak bemutatására, hogy a multidiszciplináris szakma fejlődése a prognózisoknak milyen agresszív alakítását tette eddig lehetővé. A valahol 2015 táján végződő *triptique*-nek valamilyen új technikában kell folytatódnia. Viszont a világ eddigi fejlődési tempóját extrapolálva állítható: ahhoz, hogy tizenhárom év múlva a jelenlegi digitális áramkörök helyett más elvű eszközök jelenjenek meg ipari termékként, az csak akkor lehetséges, ha azokra a változatokra épülnek, amelyeknek a laboratóriumi szinten üzemképes változatai már ma megvannak. Világos és fontos, hogy az alternatív eljárásokat, például a nanotechnológia kínálta lehetőségeket, gyors ütemben kutassa az emberiség, és felkészüljön a paradigmaváltásra. Mert ennek valahol 2015 táján elkerülhetetlenül be kell következnie.

Többen (például a jelen kiadvány egyik szerzője, Csurgay Árpád is) évtizedek óta publikálnak indokolt szakmai gondokra épülő aggályokat – legfrissebben éppen egy Amerikában dolgozó hazánkfi, Laszlo B. Kish (írt nagy figyelmet felkeltő cikket (Kish, 2002). Kish felhívta rá a figyelmet, hogy már a következő generációs áramkörökben, tehát valahol a 100 nm környékén gondok

léphetnek fel az elkerülhetetlen termikus zajok miatt, azaz esély van rá, hogy a Moore-törvény a Roadmap szakmai gárdája által vártnál korábban érvényét veszti. Jómagam nem a kutatások aggályainak jogosságát vonom kétségbe, de az iparág társadalmi-üzleti erejére apellálva azon a véleményen vagyok, hogy a záróra nem jelenti a mai számítástechnika fejlődésének leállítását, a világ elő fogja venni az iparilag érett, a klasszikus félvezető szakmából eredeztetett megoldásokat. Azaz, azt tartom valószínűnek, hogy a mai digitális áramkörökben rejlő tartalékokat fogja a tömegelektronika kihasználni, illetve remélem, hogy a fő gondot okozó, a chipen belüli kommunikációt jelentő, sokemeletes, nehezen hűthető elektromos vezetékeket lehet más elvű megoldással, például optikai adatátvitellel kiváltani.

Számomra Moore „törvénye” annyira szimpatikus, hogy az észlelő tiszteletére folytatnám az érvényességének ellenőrzését azokban az időkben is, amikor már más elvű gépeink lesznek. Akkor is meg lehet adni azt a tranzisztor-számot (ún. helyettesítő áramkör), amellyel a majdani, például spintronikai vagy bioszámítógépünk produkálta eredmény kiszámítható lenne. Szívesen hinném, hogy ilyen módon az *általánosított* Moore-törvény érvényessége továbbra is fennmarad. A törvény érvényvesztése ugyanis a vitális iparág lelassulását jelentené. Hiszen a túlnépesedett emberiség földi léte

Év	2001	2005	2007	2010	2016
Félmodul (nm)	150	100	80	55	-
	130	80	65	45	22
Fedés pontosság	50	35	25	20	15
	46	28	23	18	9
Toxid egyenérték	1.6	1-1.5	1	0.8	0.5
	1.4	1.0	0.8	0.6	0.4

1. táblázat

attól függ, hogy az energiaszükséglet minimalizálása mellett át tud-e állni a zárt folyamatokba kapcsolt komplex termelés-fogyasztási rendszerre,<sup>1</sup> azaz a hulladékmentes társadalmi létre – ennek létrejötte, a kapcsolódó logisztikai feladat ugyanis óriási számítástechnikai kapacitást igényel. De ugyanez igaz arra, hogy a meteorológia kézbentartása hasonló komplexitású kérdés (valahol régen olvastam, hogy utóbbihoz mintegy  $10^{24}$  bit/sec adatforgalom kezelésére lenne szükség).

A bonyolultságot tehát, ha az nem fátumként szakadt ránk, az emberiség eddig kezelni tudta.

Az integrált áramkörök fejlődésében szeretném bemutatni a bonyolultság „generációt”.

A 60-70-es években fejlődött ki az a technológia, amely *bottom up* (Feynman) jellegű, rétegenként építkező módon hozza létre az áramkört. Már a kezdeti időkben létrejöttek azok a technológia szimulációs programok, amelyek kiváltották a költséges, anyag- és energiapazarló kísérletekre szánt kereteket. Ezek a programok mára olyan tökéletességet értek el, hogy már olvastunk olyan áramkörti generációváltásról (16 Mbit DRAM-ról<sup>2</sup> a 64 Mbit-esre való áttéréskor), ahol mindent előre lejátszva a számítógépen, a termelés megindításakor már az első napi termék eladható volt (Nippon Electric Co.). A technológia szimulációja csak egy kérdés. A tranzistorok és egyéb elemek működését is szimulálni kell, hogy a méretek optimális volta is kiderüljön. A harmadik szint az áramkör logikai rendszerének ellenőrzése, szimulációja. Mindhárom szintű szimuláció feladata – az ellenőrzésen túl – a termék megbízható-

ságának ellenőrzésére alkalmas vizsgálat elemeinek, rendszerének definiálása.

A megbízhatóság foka ugyanis ezeken a vizsgálaton derül ki: egyre komplexebb vizsgálat kell a nagy megbízhatóság eléréséhez, ennek költségei viszont nagyon is erős hatással vannak az áramkör árára. A legnagyobb megbízhatóságot a katonai, űrkutatási feladatok követelik meg. Gondoljuk végig, hogy például egy mikroprocesszort milyen módon kell *bevizsgálni*. A *teljes* bevizsgálás azt az abszurdumot jelentené, hogy az eszköz későbbi alkalmazása során felvetődő valamennyi esetet végigszámoltatnánk. De ez sem segítene, hiszen csak remélhetnénk, hogy a kapott eredmény meg is felel az igazságnak (mi is az?). A minőségi ellenőrzés tehát csak közelítheti – a költség- és időtényező-megfontolásoknak megfelelően – a lehetetlen *teljeset*. Magas fokú megbízhatóságot jelent az, hogy a rendszer mintegy  $10^{10}$  művelet esetén téveszt egyet. Redundáns szervezéssel javíthatók ezek a számok. Gondoljunk például egy repülőgép komputerére. Mivel a beavatkozó egységek (például a csűrőlap) mozgatása a tizedmásodperc időskálán mozogtatja, egy, akár GHz frekvenciával működő gép akár milliószor is újraszámolhatja a *gyanú*eredményt. Hogy a *gyanú* reális és gyakori, arra egy példát említenék: a reverzibilis hibák felléptét – angolul ezeket *soft error*-nak nevezik. Ilyen hiba akkor lép fel, ha egy gyors, töltött részecske (például alfa részecske) átrepül egy tranzistoron, és az energiája elektronokat szakít ki a szilíciumkristály atomjaiból. Ezek a nemkívánatos elektronok, sajnos, át tudják fordítani a tranzisztort a logikai 0-ból az 1-be, azaz a tranzistor hibás jelet ad a szomszédainak. *Soft*nak azért nevezik ezt a hibát, mert a tranzistor ezek után újra hibátlanul üzemel, és a következő ciklusban aligha csapódik alfa részecske ugyanoda. Gyakori ez az eset? Sajnos, például az olcsó áramkörök (mint a filléres órákban) tokozását műanyaggal vég-

<sup>1</sup> Az emberi társadalmak fennmaradását talán egyedül biztosító termelési-fogyasztási rendszert Dr. Drozd Győző barátom, akkor fiatal posztdoktor, ma kiváló hírközlési szakember egy KFKI-beli csoportmegbeszélésünk során fogalmazta meg az 1970-es években.

<sup>2</sup> DRAM: Dynamic Random Access Memory, azaz véletlen hozzáférésű memóriááramkör

zik, amelyekben az alfa-aktív tórium szennyezés szinte elkerülhetetlen. De például az űrhajók áramköreinél a kozmikus sugárzás okoz elég gyakran tévesztéseket. A számítható valószínűséggel (de csak valószínűséggel és sosem bizonyossággal...) elérhető megbízhatóságért a kontrollt tehát minden esetben el kell végezni.

Ez a példa azt mutatja, hogy a bonyolultsággal és a megbízhatósággal kapcsolatos fogalmak, és – tetszik-e vagy sem – az életünk ilyen faktorokon múlik. Az elektronika megnyugtató biztonságot szolgáltatva tudja kezelni a bonyolultságot.

Jómagam attól tartok, hogy a jövőbeli, más elvű (például biológiai) gépeknek, az önjavító képességük ellenére is komolyan bizonyítaniuk kell, hogy ilyen téren is felveszik a versenyt mai gépeinkkel. Mindez akkor igaz, ha a gépeinktől a jövőben is elvárjuk annak az elfogadását, hogy mi maradunk dominánsak, azaz azok irányítói.

---

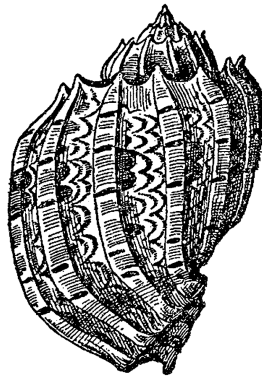
**Kulcsszavak:** „Moore-törvény”, mikroáramkörtől technológiák modellezése, méretcsökkentés, méretcsökkentés 2015 utáni helyzete, komplexitás és megbízhatóság, a „klasszikus” mikroelektronika tartalékai.

---

#### IRODALOM

Kish, Laszlo B. (2002): End of Moore's Law: Thermal (Noise) Death of Integration in Micro and Nano Electronics. *Physics Letters A* 305. 144-149.

Csurgay I. Árpád – Wolfgang, Porod – Lent Craig S. (2000): Signal Processing with Near-Neighbor-Coupled Time-Varying Quantum-Dot Arrays. *IEEE Transactions on Circuits and Systems, Part I*. August 2000. 1212-1223.



# KOMPLEXITÁS-ELMÉLET

Vicsek Tamás

az MTA rendes tagja, tanszékvezető egyetemi tanár,  
ELTE TTK Fizika Tanszékcsoporth, Biológiai Fizika Tanszék – vicsek@angel.elte.hu

Egy 1987 tavaszán a Stanford Egyetem parkjában sétálgató jó nevű, modern gondolkozású közgazdász, Brian Arthur, megszólította az akkor már közgazdasági Nobel-díjas Kenneth Arrow, és megkérdezte, volna-e kedve pár hónap múlva előadást tartani *mode-locking* elméletéről Santa Fében. Amikor a meglepett Arthur érdeklődni kezdett a tervezett előadásorozatról és a helyszínről, kiderült, hogy a festői Rocky Mountains hegyvonulatai között, közel a Los Alamos-i kutatóintézethez (ahol annak idején az atombombát kifejlesztették), az egyébként kellemes üdülővároskaként ismert Santa Fében létrehoztak egy újszerű intézetet, ahol sajátos találkozókat terveztek tartani. Arrow tíz közgazdászt, a szintén Nobel-díjas fizikus, Philip Anderson tíz fizikust hívott meg, hogy megvitassák a fizika és a közgazdaságtan kapcsolatát.

A kis magánvállalkozásként működő Santa Fé-beli intézetet nem sokkal korábban már eleve olyan, általuk komplexnek (magyarul összetettnek) nevezett rendszerek megértése céljából hozta létre néhány nagyon neves tudós (köztük elsősorban Murray Gell-Mann, Nobel-díjas részecskefizikus, a kvarkok „fetalálója”), amelyek legfontosabb tulajdonsága, hogy sok, erősen kölcsönható részből állnak. Ez a definíció – talán szándékosan – nem túl precíz, és a komplex rendszerek meghatározása azóta is vita tárgya. Mindenesetre, 1987 táján beindult egy nagy részt fizikusok kezdeményezte folyamat, amelynek eredményeképpen ma már szo-

kás utalni a címben említett komplexitás elméletre, még ha ilyen – és ezért az idézőjel a címben – egyelőre valójában nem is létezik.

Létezik azonban az igény, hogy az emberiség minél kvantitatívabb módon tudja kezelni az életét közvetlenül meghatározó folyamatokat. És ezek a folyamatok bizony nagyon összetettek, bonyolultak, kimenetük nehezen megjósolható. Nagyon sokáig nem is lehetett komoly reménnyel elméleti úton kezelni a komplikáltan összetett rendszereket, de az elméletek fejlődésével, valamint a számítógépek megjelenésével olyan új dimenziók nyíltak meg, amelyek már sikerrel kecsegtettek.

Az út azonban rögös, sőt, már a kiindulás is problematikus, nincs a szempontunkból való komplexitásának igazán jó definíciója (erre utalt az első mondatok egyike abban a *Science* mellékletben, amelyik három évvel ezelőtt a komplexitásról szólt – *Science*. Complex Systems. 1999. április 2. Vol. 284 Num. 5411). Azt körülbelül sejtjük, hogy milyen rendszereket sorolnánk a komplex rendszerek kategóriájába, ilyenek például a turbulensen kavargó folyadék (időjárást meghatározó légáramlatok), az adott hálózatba összekapcsolt, kommunikáló számítógépek együttese vagy a csapatosan mozgó élőlények. De az egyes összetevők bonyolultsági fokán feljebb haladva, ide tartoznak az embercsoportok (mondjuk egy iskola diákjai), illetve talán a sor végén, az emberi társadalom. A gazdaság is valahol ebben a

sorban van, a kölcsönható egységek hol az egyes emberek, hol a vállalatok, a kérdésfelvetés jellegétől függően.

Az összetettség általában valamiféle hierarchiát feltételez. A rendszer attól lesz bonyolult, hogy a hierarchia egy adott szintjén lévő egységek kölcsönhatnak. A komplex rendszereket az teszi olyan érdekessé, hogy a részei közötti kölcsönhatás eredményeképpen a részek viselkedése oly módon változik meg, hogy az egész rendszer minőséileg új, a részek tulajdonságaitól eltérő viselkedésmintát követ. Kicsit másképpen: pusztán a részek vizsgálatából nem jósolható meg az egész rendszer viselkedése, a globális tulajdonságok új törvényszerűségeket követnek.

A fizikában a komplex rendszerek egyik paradigmája a turbulens áramlás. Itt, egy folyadék áramlásán belül is már több összetettségi fokozatot találhatunk. Míg a folyadék molekulái, egyenként tekintve őket, a köztük ható egyszerű fizikai erőnek megfelelő módon egymással ütköző, nagyrészt sztochasztikus pályát követő részecskék, addig egy „folyadék-darab” (a folyadék egy meghatározott tömegű, kompakt része) már többnyire *simán*, folyamatos, determinisztikusan áramlik. Legalábbis egy adott szinten nézve, mert a nagy kiterjedésű, gyors áramlások turbulensek, különböző méretű és különböző irányba forgó örvények összetett kombinációi. Az örvények kölcsönhatása már bonyolult, például képesek megsemmisíteni vagy erősíteni egymást, és a kialakuló áramlás – ezt tapasztaljuk, amikor borús időt jeleztek, és mégis a nap süt – nehezen megjósolható. De míg tíz éve a London környéki szuperszámítógép huszonnégy óra alatt csak egy órára előre tudta megjósolni Európa időjárását (másnapra számított ki az előző napi időjárás), addig ma napokra előre ad megbízható becsléseket.

Bár nem létezik egyesített komplexitás-elmélet, azért van néhány kulcsfogalom,

amelyekkel kapcsolatba szokták hozni. Hármat említenék meg ezek közül.

1.) Szokás hangsúlyozni, hogy a komplex rendszerek jellemző tulajdonsága az önszerveződés. Ha egy ilyen rendszert valamilyen egyszerű kiindulási állapotban magára hagyunk, akkor benne spontán szerveződési folyamatok indulnak meg, amelyek eredményeképpen meghatározott, korábban a rendszerben meg nem levő, és a részeire önmagukban nem jellemző struktúrák jönnek létre. Ide tartozik többek között az egyensúlytól távoli, például a bonyolult hópehelyek kialakulásához vezető dendrites kristályosodás.

2.) A komplex rendszerek fontos aspektusaként említem meg, hogy rendszerint hozzájuk rendelhető egy hálózat. Abban a rendkívül bonyolult helyzetben, amelyben nagyszámú, specifikusan kölcsönható rész van jelen a rendszerben, az egyik legegyszerűbb megközelítés a gráfelméleti leírás. Ahelyett, hogy a teljes dinamikát íránk le, első közelítésben csak feltérképezzük a kölcsönhatások hálózatát. Megmutatták, hogy már ennek a statikus hálózatnak, vagy ahogy mondani szokták, gráfnak a topológiája is rejt néhány nemtriviális, újszerű érdekességet a gyakorlati rendszerek egy nagy családjára vonatkozóan. Az ilyen gráfoknak sztochasztikus, de korrelált mátrixok felelnek meg, hasonlóan ahhoz, ahogy számos fizikai (például kvantummechanikai, magfizikai) rendszer képezhető le véletlen mátrixokra.

3.) Van egy nem túl jól meghatározott fogalom, amit ebben a kontextusban szintén említeni szoktak: a káosz peremén való létezés. Úgy tartják, hogy az *érdekes* viselkedésnek van egy ilyen, a komplex rendszerekre jellemző fajtája: a rendszernek van egy állapota (illetve más esetekben úgy fogalmazzuk, hogy előszeretettel tartózkodik egy olyan állapotban), amelyik köztes a teljesen rendezett és a teljesen kaotikus között. A fizikában ilyen például a következő átme-

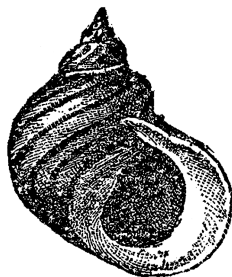
net: kristály (rendezett), folyadék (rendezetlen), és ezek között, a káosz peremén van a fázisátalakulási pontban uralkodó komplex állapot, amelyik sem az egyik, sem a másik.

Ez utóbbi szemponthoz tartozik az összetettségnek vagy bonyolultságnak egy képies interpretációja is. Képzeljünk el három rajtot egy-egy négyzet alakú keretbe foglalva. Mindhárom tartalmazzon sok pontot, de különbözőféleképpen. Az *első (A) ábra* tartalmazza a pontokat szabályos (például négyzet-) rácsba rendezve (mint kristályokban a molekulák). A harmadikban (C) legyenek a pontok teljesen véletlenszerűen elszórva (hasonlóan a gázokban levő molekulákhoz). A középsőben (B) pedig a pontok legyenek valamilyen komplikált (például szabálytalan, önmagát metsző) görbe mentén elhelyezve (ez jelképezheti például egy anyag különböző tulajdonságú tartományai közötti határvonalat). Vajon melyik ábra a legösszetettebb? Az még eléggé nyilvánvaló, hogy az A ábra a legegyszerűbb, a pontok egy nagyon primitív szabály szerint sorjáznak a papíron. Első pillanatra az utolsó (C) ábra egyszerre tűnik a legbonyolultabbnak és a legegyszerűbbnek is: egyszerű, mert a szabály, amelyik a pontok elhelyezését meghatározza, nagyon triviális: minden új pont koordinátája véletlen-

szerű, független az összes többiétől. És mégis; mint közismert, egy ilyen teljesen véletlen ponthalmazban rejlő információ a legnagyobb, azaz egy ilyen ponthalmaz pontos reprodukciójához van szükség a legtöbb adatra. Ezen esetek között van a B ábra, amelyik nem egyszerű, de valamiféle törvényszerűséget tartalmaz, a pontok egy vonalgeomolyag mentén, bizonyos feltételeket követve helyezkednek el. A rendezett A és a teljesen rendezetlen C ábra tehát algoritmikusan egyszerű (primitív szabály segítségével előállítható), míg a B ábra információtartalom (reprodukálhatóság) szempontjából középen van, algoritmikusan viszont a legbonyolultabb; ez a legösszetettebb ábra.

Összefoglalva: a bonyolultság elemzése során az egyik fontos elem a komplexitás fogalmának megértése. A fizikustársadalom krémje, tudatosan meghaladni próbálván a korábbi fizikusi mentalitást, de maximálisan építve az előző szaktudományos eredményekre, kezdeményezte a komplex rendszerek vizsgálatát. Egy hosszú út elején már sok érdekes összefüggésre bukkantak.

Kulcsszavak: *önszerveződés, hálózatok, káosz, információ, algoritmikus komplexitás, turbulencia, rendezetlen, Santa Fé Intézet*



# BONYOLULTSÁG A GENOM-LÉPTÉKŰ BIOLÓGIÁBAN; ADALÉKOK A POSTGENOMIKUS AGNOSZTICIZMUSHOZ

Falus András

Semmelweis Egyetem, Genetikai, Sejt- és Immunbiológiai Intézet – faland@dgci.sote.hu

*Egyesekből áll az egész; s mégis azokból  
erre és viszont ezekből azokra az ítélet  
bizonytalan*

*Kölcsey Ferenc*

Az élettudományok korunkban minden eddigi korszakhoz képest alapvető változáson mennek át. Az eddigi biológiai „előtörténet” két szélsőség között mozgott (az angol nyelv *present perfect*-je a megfelelő igeidő), e két megoldás ma is jelen van. Az egyik az ún. *holisztikus* – a rálátó, a teljes rendszert vizsgáló megközelítés. Ez a magát szintetizálóknak értékelő tudományos módszer, amely a részletekkel nem foglalkozik, nem tud, de nem is nagyon akar kitérni a *black box* szemlélet elnagyolásai elől. A másik szélsőség a biológiai analitikai nézetrendszer, ahol az egyre kisebb elemeket (sejt, molekula, atom) tekintő tudományos közelítés, mert általában megoldani nem tudja, kitér a szintézis igénye elől. Valahol mind a két vonulat jelen van a tudományosan gondolkodó kísérletező emberben, és jelentős szerepe van jól-rosszul kezelt agnoszticizmusában. A holisztikus szemlélet elnagyolásai riasztó „határsértéseket”, az analitikus rövidlátás pedig az élővilág csodáihoz, a biológiai bonyolultsághoz méltatlan redukcionizmust eredményez.

Jelen gondolatok írója sokakkal egyetemben úgy érzi, hogy a genomika az ezred-

fordulóval együtt bekövetkező megjelenése az élettudományokban kiutat, valódi alternatívát jelent ebből a helyzetből.

*A gének „összhangzattana” a genomika,  
a biológiai írásbeliség alapja*

A *genomika* genom léptékű biológiát jelent, azaz azt, hogy a vizsgálatok akár egyidejűleg is kiterjedhetnek az adott élőlény (például ember) összes génjének DNS szintű, illetve expressziós (mRNS és/vagy fehérje) analízisére. A kulcsszó a *mintázat*, tehát az egyidejűleg jelen lévő génvariánsok, illetve expresszálódnak gének összképének megjelenítése. A lényeg tehát az, hogy egy holisztikus biológiai analitika van kibontakozóban. Ma már lényegében ismert annak a hárommilliárdnál több nukleotidbázis fizikai sorrendje, amely minden sejtünkben két (testi sejtek) vagy egy (ivarsejtek) példányban fordul elő. Tudjuk azt is, ha megközelítően is, hogy ez az információ emberben mintegy 30–40 ezer gént jelent. A sejtek, embrionális programjuk és szöveti környezetük által meghatározva, bizonyos specializált funkciót látnak el, és ehhez a bennük lévő génkészlet egy részének „megszólalása” szükséges, ez a gének mRNS-re való átírását és fehérjék szintézisét jelenti.

A teljes genom szintjén történő expressziós vizsgálatokat (mRNS és fehérje szinten) funkcionális genomikának nevezzük.

A genomika elméleti jelentősége a gének funkcióinak megértésében, a modern mole-

kuláris sejtbiológiában és a biológia szinte minden ágazatában korszakos nagyságrendű. Gyakorlati szempontból a szerkezeti és funkcionális genomika jelentősége biomedicinális és mezőgazdasági területeken ugyancsak rendkívülinek látszik. Mai nézeteink, a gyakorlati felhasználás hatóköre és a kivitelezés logisztikája feltehetően gyorsan módosulni fognak, a genomikai szakirodalom nagy ütemben bővül.

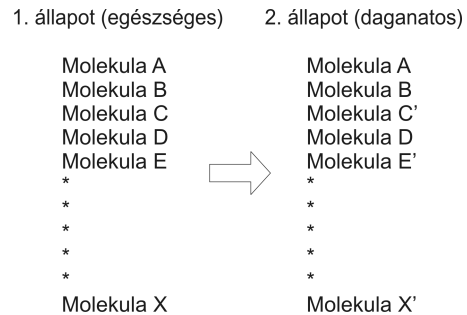
A klasszikus és a molekuláris genetika (öröklésbiológia) lényegében egyes génekekkel, azok felépítésével, variánsaival és funkcióival foglalkozik. A genomika, ezt felhasználva és ebből kiindulva, mintázatokat, génvariánsok együttes előfordulását, illetve időben változó kifejeződését képes vizsgálni. A biológiai módszerek egyik leghatékonyabb sikere a *génchip* (*microarray*, néhány cm<sup>2</sup>-en akár több 10-100 ezer ismert nukleinsavszál rendezett mátrixa) segítségével az egyidejűleg vizsgálható gének száma elérheti a vizsgált élőlény összes génjének számát. Sokan a *génchip*-ek (jó lenne magyar nevet találni rá, nevezhetnénk akár génmorzsának) bevezetését ahhoz a fejlődéshez hasonlítják, ami az elektronikában a félvezetők bevezetését követte.

Lehetővé válik annak a (*gén*)*mintázatnak*, *profilnak* a vizsgálata, ami az adott élőlény (pl. ember) szervezetében vagy egy szövetében egyszerre jelenik meg. Az időbeli egybeesés persze nem kell, hogy feltétlen oksági kapcsolatot jelentsen, de ez az egyidejűség időben változó kölcsönhatások sokaságát eredményezheti. Ha például azt feltételezzük, hogy egy sejtben egyszerre mintegy ezer gén „szólal meg” ez már sok millárd kölcsönhatást jelenthet. Ha ugyanis csak a kétkomponensű kapcsolatot számítjuk, ez már egymillió molekuláris párbeszédet jelent, márpedig a biológiai folyamatok szinte kivétel nélkül kettőnél több szereplősek, ahol az egyes események egymásutánisága, tehát időbeli rendezettsége is döntő fontosságú.

Nem véletlen, hogy viharos gyorsasággal közeledik egy vadonatúj szakma, a *bioinformatika*. Ez a matematikai, korrelációs függvényekben gondolkodó, biológiai kérdésekre válaszoló (de talán még több új kérdést feltevő) tudomány a jövő sztárágazata lesz. Legyen szabad két gondolat kísérletet bemutatni. Vegyünk például egy valódi biológiai problémát, a daganat keletkezésének és -fennmaradásának kérdését.

A genomika mai (és naponta bővülő) potenciálját tekintve kétféle logika mentén közelíthetünk:

1. Már ismert „jelölt” (*candidate*) gének (például génmutációval vagy expressziós sajátosságaival kiemelt gének) jelenlétét vizsgáljuk. Minthogy a tudományos információk halmaza óriási, óhatatlanul a tudásunkra, előítéleteinkre, érdeklődésünkre (és persze lehetőségeinkre) jellemző előválasztást végzünk abban, hogy mit vizsgáljunk. Vizsgálható objektumokként szóba jönnek a modern onkológia, immunológia, gyógyszeratan által lényegesnek feltételezett molekulák (*1. ábra*). Ezek kellő alaposággal való vizsgálatával új, akár igazán lényegi felismerést is tehetünk.



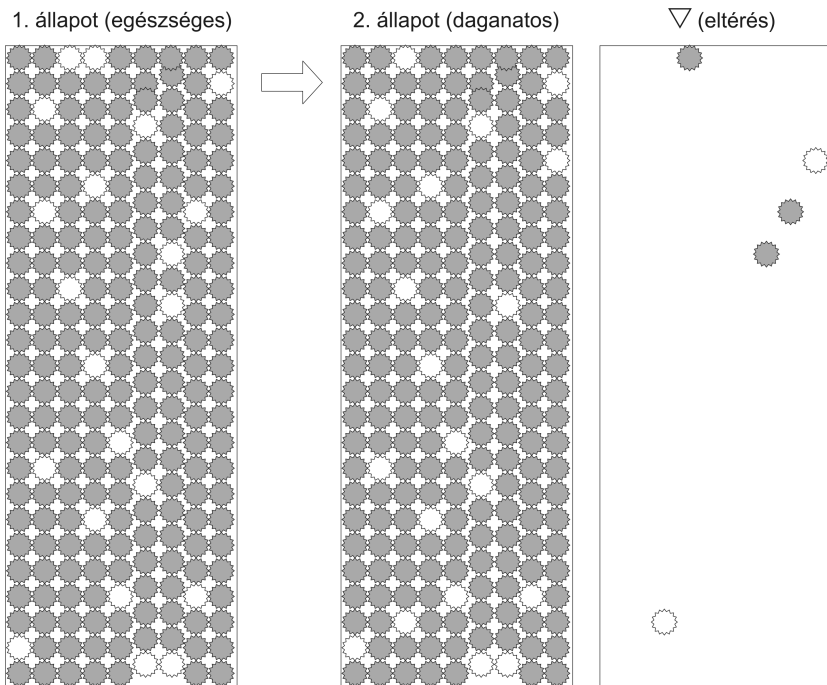
*1. (és 2.) ábra* • A biológiai funkcióért felelős gének kikeresésének két stratégiája – 1. Már ismert „jelölt” gének összehasonlítása két állapotban (például egészséges-beteg). Példánkban a C – C', E – E' és X – X' változások jelzik az állapotban történt módosulást.

2. A másik megközelítés a *reverz genomika*, itt a kétféle (példánkban daganatos betegség) állapot között – előszelekció nélkül – azt vizsgálom, hogy például 10-20 ezer gén egyidejű kifejeződése között mi a különbség. Kiemeljük tehát a két állapotban megfigyelhető eltéréseket, és csak azután keressük meg, hogy mi is az, ami eltér (2. ábra). Ez egyfajta „génhalászat”. Akár több száz, eddig nem ismert funkciójú gén kerülhet így napvilágra. A kezdetén vagyunk ennek a folyamatnak, és nagyon sok nehézség várja az „úttalan utat” törő génhalászt.

A kísérletet itt egy sokkal hosszabb és nehezebb bioinformatikai, korrelációs számítógépes (*in silico*) munka követi, melynek jó esetben új diagnosztikai és terápiás következményei lehetnek. Az *in silico* lehetőség sok más újszerűsége mellett egyben a tudomány nagyfokú demokratizálódását is jelenti.

Arról van szó, hogy rengeteg olyan ember is végezhet korszerű tudományos munkát a világháló adatbankjaiban dolgozva, akik eddig anyagi, képzettségi vagy más okokból nem férhettek hozzá a kísérletes munkához. Másrészt időben is kiterjed a kutatás, például akár évtizedekkel korábbi szövettani blokkokban a mai sokszorosan kiterjedtebb lehetőségekkel (például az összes emberi gént egyidejűleg használva) is végezhető kutatás.

A génexpressziós profilok esetén általában elképesztő bonyolultságot találunk: a kiértékelés, a bioinformatika időbeni (sorrend) és okozati (mi hat mire) kérdéseket oldhat meg. Géncsoportok rajzolódnak ki a *cluster-analízis* révén, géncsoportok, amelyek hasonló szabályozás alatt állnak, azonos betegségállapotokat határolnak el, vagy azonos állapotokat/szövödményeket prediktálnak.



2. ábra • (2) Nagyszámú gén mintázatainak összevetése két állapotban (például egészséges-beteg). A két mintázat „kivonásával” kapjuk meg az eltérésben részt vevő lehetséges géneket.

### *Pontmutációk mátrixmintázata és felhasználása*

Még furcsább (hogy ne *elidegenítőt* mondjak) az a megoldás, amely a genomban átlagosan ezer bázispáronként előforduló SNP-eket (*single nucleotide polymorphism*) használja mintázatok képzésére. Arról van szó, hogy a nukleotidbázisok között *pontmutációk* (ez az SNP-k leánykori neve) fordulnak elő, a négy nukleotidbázisnak megfelelően négy variációval. Ezek genetikai, mendeli módon öröklődő jellegzetességek (allélek), melyek egymástól elvileg függetlenek. Annak az esélye, hogy valakinél egy ponton a DNS-ban hasonló változatok fordulnak elő, bizonyos valószínűségi értékkel írható le. Az hogy két ponton van hasonló eltérés, már kisebb valószínűségi értéket jelent. Annak esélye, hogy tíz (független) SNP egyforma már 1/1 000 000. Ha húsz SNP-t vizsgálunk, akkor ez egymilliárd ember közül emel ki egyet. Ehhez képest minden emberi genomban átlagosan hárommillió pontmutáció van, tehát elképesztően egyediek vagyunk. Ez akkor is így van, ha jól tudjuk, az emberi genom több mint 90 %-a nem kódol fehérjét, hanem látszólag (vagy valóban?) „értelmetlen” információkkal (például rövidebb-hosszabb repetitív szakaszok) töltik ki a teret. Dawkins „önző” génjei lennének ezek? És miért hurcoljuk őket sejtről sejtre, apáról fiúra? Mi a molekuláris „értelmetlenség” biológiai jelentése? Biztos, hogy a mai tudásunk által értelmetlen genetikai „szemétnek” kezelt, térkitöltő „vatta” nukleinsav sorrendek valóban nem tartalmaznak valamilyen információt? Tudunk-e olvasni vagy még csak a „képeket” nézzük a DNS könyvében? Mindenesetre a pontmutációk a genom ezen „kietlen” (vagy csak jelenleg annak látszó?) részére esnek.

Értjük vagy sem az SNP-k biológiai jelentését, a *pragmatikus biológia* máris használja ezeket. Ha például két, valamely tulajdonságában eltérő embercsoportot SNP minták-

zatukkal jellemezhetünk, és számítógép segítségével olyan SNP mátrixokat találhatunk ezek között, amelyek konzekvens eltérést mutatnak a két csoport között. Egy, az előbbi tulajdonságra nézve ismeretlen embernél az SNP minta prediktálhatja, hogy ő melyik csoportba fog esni. Ez így elég teoretikus, de ha például a két csoport abban tér el, hogy az egyik esetében mellékhatása van egy gyógyszernek és a másiknál nem, akkor a módszer alkalmas egy gyógyszer esetlegesen súlyos mellékhatásának előjelzésére. Ez ma már a *farmakogenomika* nevű, rohamosan fejlődő tudomány egyik fő eljárása, s óriási haszonnal jár (nemcsak a gyártónak, de a betegnek is), hiszen kisebb mellékhatások mellett gyorsabban találnak rá a megfelelő gyógyító eljárásra. Emlékeztetek arra, hogy a nagy haszon mellett az SNP-k többsége esetén fogalmunk sincs, melyik gén vagy ismétlődő „értelmetlen” géndarabban van az a pontmutáció, amelyik esetleg a több száz SNP közül valahogy jelzi a gyógyszerhatást. Kitűnő fiatal barátom Dr. V. B. erre azt mondta, hogy ez „molekuláris tenyérjólás”, és – lássuk be – igaz van.

*Teljes szervezet szintű modellek, gének kiütve és beütve, „nem várt” meglepetések*

A modern embriómanipulációs technika lehetővé teszi a testi sejtek kiindulási elődjei, az őssejtek genetikai módosítását, így gének ki- és bevitelét. A technika: a homológ rekombináció ma már kondicionáltan, sejtekre célzottan és időben tetszőlegesen indíthatóan végezhető el. Így egyes génekre hiányos, másokra nézve túlműködő egész szervezeteket (például egér) hozhatunk létre. Amikor az ilyen állatok tulajdonságait (fenotípusát) vizsgáljuk, a biológiai bonyolultság újabb szintén ámulhatunk el. Bizonyos gének alul- vagy túlműködése hatalmas meglepetéseket okozhat. Kidertült, hogy a gyulladássos immunológiai válaszban ismert anyagok

hiánya észrevétlenül kompenzálódik, olyan „pótkötél” mechanizmusok lépnek a kiütött gén funkciója helyébe, amelyekről eddig nem is tudtunk. Ugyanakkor megismertünk „pótolhatatlan” géneket is, melyek hiánya letális következményekkel jár.

Gének túlműköd(tet)ése esetén is sok meglepő eredményt kaptak, kiderülhet például, hogy eddig nem jó helyen keresték az adott gén termékének hatását, a funkció máshova lokalizált. Kitűnő megközelítés ez viseltes biológiai dogmáink levetésére!

### *Metabolom, a negyedik királyság*

A „klasszikus” molekuláris biológia nagyrészt DNS-el, mRNS-sel illetve fehérjékkal foglalkozik, ezek a genomika (DNS), transzkriptomika (mRNS) és proteomika (fehérjék) *királyságai*, kisebb részt átfedő, de főként önálló metodikákkal és eltérő kérdésfeltevési logikával. A DNS világ kérdései az egyedre specifikusak, mi öröklődik, mi a genetikai variánsok, a populációs polimorfizmus jelentősége. A mRNS kutató az expresszióval foglalkozik, fő kérdései sejt- és szövetspecifikusak, tehát például az, hogy mi szólal meg egy adott sejtben. A proteomika fehérjeszerkezettel és variánsokkal foglalkozik, és fehérjeszerkezetek prediktív vizualizációja révén új hatóanyag molekulákat, oltóanyagokat stb. tervez.

A negyedik szint a *metabolom*, a kis molekulású anyagok világa, ez az a *milieu*, ahol a DNS átíródik, s a mRNS fehérjenyelvre fordítódik. Kiderült, hogy baktériumokban ide tartoznak többek között az aminosavak, peptidek, mono- és oligonukleotidok, poliszaharidok és az aminok. Utóbbiakra példa a hisztamin, ez a 112 D méretű, a hisztidin aminosavból dekarboxilált monoamin. A hisztamin többek között szerepel az allergiás, gyulladásos és gastroenterológiai folyamatokban, átvívóanyag bizonyos neuronok között.

Kanadai, japán és magyar munkatársaimmal együtt évekkkel ezelőtt sikerült egy olyan „knock-out” egeret létrehozunk, amelyben

nem termelődik a hisztamin. Ez az egér számos olyan előre nem látott, korábban nem feltételezett tulajdonságot produkál, amely arra utal, hogy e kis molekulású molekula szerepe sokkal bővebb, mint azt eddig hittük Kiderült, hogy a hisztaminnak szerepe van olyan folyamatokban is mint az étvágy-szabályozás, csontképzés és a sejtosztódás.

A jéghegy csúcsa alatt levő terület tehát láthatóvá tehető, és a *biológiai bonyolultság újabb titka* kerül elénk.

### *Összefoglalás (helyett)*

A biológiai bonyolultság fogalma és tényanyaga további markáns árnyalatokkal bővült a genomika korszakának beköszöntével. A megközelítés lehetővé teszi az egyes genetikai és génepressziós tényezők helyett akár több tízezer gén és géntermék mintázatának együttes vizsgálatát. Ez hatalmas minőségi ugrást jelent, és az eredmények kiértékelésében nélkülözhetővé tesz egy új tudományt, a bioinformatikát. Ma már tudjuk, hogy a sejtek, szövetek fejlődése, osztódása és egyéb tulajdonságai mögött gének összetett, egymást reguláló hálózatai állnak, amelyek speciális szinkronizációjáról ma még keveset tudunk. Bár már használjuk, keveset tudunk a pontmutációk kombinatív mintázatainak biológiai jelentéséről. E sorok írója nagyon fontosnak tartja, hogy a biomedicinális tudomány ezen markáns előrelépése ne vezessen sem vak tudományimádkodáshoz, sem pedig annak méltatlan alulértékeléséhez. Tudjuk meg, mire képes a genomika ma és talán holnap, és azt is, mire nem. Ennek a józanul értékelő mértéktartásnak remélhetően pozitív hatása lesz a társadalomra a tudomány értékeinek megbecsülését illetően.

*Fürküssz a Lét műhelyében*

*Mindig egészet a részben.*

(Goethe)

Kulcsszavak: *genomika, DNS-chip, komplexitás*

# AZ EMBERI AGY: A RACIONALIZÁLT BONYOLULTSÁG

Hámori József

az MTA rendes tagja, kutatóprofesszor, az MTA alelnöke

A huszadik század egyik legismertebb, Nobel-díjas tudósától, Sir John Ecclestől származik a következő megállapítás: „Az élet fejlődésének, az evolúciónak egyik, ha nem legnagyobb csodája az emberi agy, az Univerzum valószínűleg legszebb, legbonyolultabb, s egyben legkifinomultabb, ugyanakkor szinte teljes pluripotenciával rendelkező produktuma.” Ezt az állítást alá lehet támasztani számadatokkal, de még inkább a tudatossá lett emberi agy szinte korlátlan működési lehetőségeinek felsorolásával.

Az átlagosan 1330 grammnyi emberi agyban kvantitatív morfológiai vizsgálatok szerint legalább 200 milliárd nyúlványos idegsejt van, amelyek kisebb-nagyobb neuronhálózatokba rendeződve működnek. A hálózatokban lehet néhány tíz, de sokszor több tízezer idegsejt is, melyeket egymással jellegzetes ingerületátadó szerkezetek, az ún. szinapszisok kötnek össze, lehetővé téve a hálózatok változatos működését. A 200 milliárd idegsejtet legalább 10 ezerszer több (gátló vagy serkentő) szinapszis kapcsolja hálózatokká. Lényegében ez a hihetetlen nagyszámú idegsejt, s az ennél nagyságrendekkel is több információ-átadó szinapszis teszi lehetővé az olyan emberi tulajdonságok kialakulását és működését, mint az (emberi) beszéd, a szimbolikus, elvont gondolkodás, a múltba, s (néha) a jövőbe látás képessége, vagy éppen a kételkedés, a kritikus gondolkodás (ha van), vagy az ugyancsak egyedülálló emberi tulajdonság, a kreativitás, vagyis

az alkotóképesség megjelenése, művészi alkotások létrehozása (és élvezete), hogy csak néhányat említsünk az emberi agy tulajdonságaiból.

A genetika, a génekkel történő szabályozás tudományának gyors fejlődése vetette fel azt az alapvető kérdést – s ez a XX. század második felének egyik vitatott problémájával is kapcsolatos –, hogy mi a gének szerepe e fantasztikusan bonyolult felépítésű, s működésű szerkezet, az emberi agy kialakításában. (A bonyolultságot még tovább fokozza, hogy az agy idegsejtjei között kb. 10-szer több ún. gliasejt is található, melyek – közvetve – ugyancsak részt vesznek az idegi működésekben.)

Általánosan elfogadott, tudományosan alátámasztott elvezet szerint az ember testi felépítése, de még az evolúció során robbanásszerű gyorsasággal fejlődő agya, idegrendszere is visszavezethető – mutatis mutandis – az állati ősökre. Nyilvánvaló, hogy az állatokhoz hasonlóan az ember kifejlődését, az egyed formálódását, testi megjelenését, milyenségét is az örökítő anyag szabályozza, s ez a DNS (dezoxiribonukleinsav), amely a sejtmagba zárva őrzi a sokszor 3 milliárd éve rögzített információtömeget. A genetikai állomány a géneken keresztül a sejtmag kromoszómáiba lokalizálódik. Az embernek a legújabb megállapítások szerint megközelítően 30 000 génje van, melynek jelentős hányada azonos vagy hasonló a baktériumokban, mikrobákban is található DNS

génekkal! A többit a törzsfejlődés során gyűjtötte össze, és – egyes vélemények szerint – csupán kb. 500 gén tekinthető kizárólagosan emberinek.

Mindenesetre eléggé nyilvánvaló, hogy a gének pontosan meghatározhatják bizonyos szomatikus jellegzetességeinket: a Mendel-féle törvények nemcsak a borsó öröklődésére vonatkoznak, hanem az ember testi kifejlődésére is. Szőke és kék szemű apa és anya gyermekei általában ugyancsak szőkek és kék szeműek lesznek. Hajsztűnk, testmagasságunk, a bőr, a szem színe, ujjlenyomatunk valójában mind-mind jól megszabott genetikai szabályok szerint alakulnak ki. Vajon hogyan érvényes ez a legfontosabb emberi hordozóanyagra, az agy hihetetlen bonyolultságú szerkezetére, s az abból levezethető szellemi és intellektuális teljesítményekre, képességekre?

E területen még ma sem teljesen egységesek az álláspontok, hiszen akár történeti, akár a mai ember mentális, agybeli képességeit vizsgáljuk, nehéz különválasztani azt, amit a környezettől, a társadalomtól (nurture) s amit a génektől (nature) kaptunk.

Ráadásul ma már nyilvánvaló, hogy az agy kialakulásában részt vevő genetikai anyag, a „genom” nagyságrendekkel kevesebb információt tartalmazhat, mint ami szükséges lenne a bonyolult hálózat billiónyi egységének akár megközelítően pontos kialakításához és közvetlen működtetéséhez.

Úgy tűnik, hogy két szakaszra kell osszuk a fejlődő és kifejlett agyban történeteket: az első, korai fejlődés során minden fejlődő emberi agy jellegzetesen azonos morfológiát mutat: a későbbi (érzékelő) beszédközpont (az emberek 96 %-ában) a bal félteke halántéki lebenyében alakul ki, s hoz létre aszimmetriát a jobb félteke hasonló területeivel. Kimutatták azt is (egyiptéji ikrekben), hogy a fejlődés korábbi szakaszaiban létrejövő mély agykéregi sulcusok (az agytekervények közötti benyomatok) azonosan alakulnak ki

az ikrekben. A később fejlődő „sekélyebb” sulcusoknál már található különbség. Az agy különböző régióinak (kisagy, közepagy, nagyagy, köztiagy, nyúltvelő) kialakulása is nagyon hasonló a fejlődő embriókban – minden egyedben és minden generációban. Az idegsejtek kialakulásának menete (az ún. neuroblastokból) ugyancsak hasonlóképpen alakul minden (egészségesen) fejlődő magzati agyban. Mindez arra utal, hogy a (korai) fejlődési folyamatokat a gének szabályozzák, szigorú terv szerint. Még hozzá viszonylag kevés gén részvételével történő, morfogenetikus folyamatról van szó, amely kereteket biztosít az idegi hálózatok további, most már *nyitott* genetikai program útján történő fejlődéséhez és működéséhez.

(Zárt genetikai program ott fordulhat elő, ahol a viszonylag kevés idegsejtből álló idegrendszert – például egyes férgéknél – néhány erre szakosodott gén még az állat „születése” előtt kapcsolataiban is pontosan meghatározza: itt kicsi a variációs lehetőség, bár – érdekes módon – itt sem ritka.) A nyitott program génjei – Theodosius Dobzhansky, a populációgenetika óriása szerint az emberi mentális képességeket nem egy, hanem több gén interakciója hozhatja létre – általánosabb formában szabályozzák az agy további fejlődését. Éppen azért, mert kevés gén áll a rendkívüli bonyolultságú emberi agy, az idegrendszer rendelkezésre, a természet több olyan „trükköt” talált ki, mellyel megspórolhatja a közvetlenül irányító géneket.

Az ilyen génszóró technikák közül fontos az ismétlődő, hasonló szerkezetek kialakulása: az agykéreg 10 000-50 000 idegsejtből felépített moduljai például jelentősen hasonlítanak egymáshoz; a kisagykéreg (egyedül ebben 80-90 milliárd idegsejt van!) szerkezete is erősen „repetitív”; a kisagykéreg is, a nagyagykéreghez hasonlóan több tízezer idegsejtből álló egységekből alakul ki. Az ismétlődő szerkezetek, a modulok

jelentősen csökkenthetik a szükséges genetikai információ mennyiségét, ugyanakkor más oldalról, éppen a pontosabb génszabályozás hiányában nem gátolhatják meg azt, hogy jelentős számú „tévedés” ne forduljon elő a fejlődő idegrendszerben.

A továbbiakban a tévedések (természetesen a korrekciók, kijavítások lehetőségét is magukban hordozó tévedések) fontosságáról, funkciójáról kell szólnunk, annál is inkább, mert úgy tűnik, hogy ez a jelenség, vagyis az pontosan előre nem programozott, nem „huzalozott” agyi fejlődésment, tévedéseivel együtt, talán a legfontosabb tényező az emberi agy optimális differenciálódásában. Vegyünk erre egy egyszerű példát, például egy telefonszámot: 3333-111. Nyilvánvaló, hogy ha a számban csak egy számjegy is változik, a hiba értékteleníti a telefonszámot. Ugyanakkor ha ugyanezt a számot betűkkel (szavakkal) írjuk fel, (három három három három egy egy egy) akkor a huszonkilenc betűvel felírt információ ugyan sokkal több helyet foglal el, mint a hétszámjegyű 3333-111, de ugyanakkor sokkal alkalmazsabb esetleges tévedések korrigálására is. Például ha ezt írjuk, hogy három három három három három egy egy egy, akkor valamelyes magyar nyelvi tudás alapján könnyű az öt betűhibát korrigálni, s az eredeti jelentést kibogozni. Vagyis: minél precízebben (és *gazdaságosan*) huzalozott egy rendszer, annál nagyobb a veszély nagy, korrigálhatatlan hibák előfordulására. Ilyen precíz huzalozás jellemzi például sok gerinctelen állat vagy például a békák idegrendszerét, melyeknél a *túlspecializált* idegrendszeri hálózatban előforduló tévedések (kiesések) többnyire irreverzibilisek. Az ilyen állatok tanulóképessége – a specializáltsággal fordított arányban – meglehetősen korlátos. Úgy tűnik, hogy az emlős, főként az emberi agy a rendelkezésre álló genetikai információt éppen ezért, azaz a végzetes tévedések kiküszöbölésére olyan mechanizmussal fordítja át saját nyel-

vére, amelyben engedményekre kényszerül (a pontosság terén) azért, hogy a fatális hibákat elkerülhesse. De ennek a *pontatlan* mechanizmusnak vannak más, ugyanakkor rendkívül pozitív következményei is: elsősorban is lehetővé teszi az agy környezeti hatásokra is reagáló optimális differenciálódását. Ennek során a *próba szerencse elv* erőteljesen érvényesül: sok fejlődő folyamat, idegsejt, szinaptikus kapcsolat ugyan téves, azaz vakvágányra futhat, de a funkcionálisan legjobban reagáló, a komplex fejlődési menetbe leginkább illeszkedő folyamatok (sejtek, kapcsolataik) stabilizálódhatnak, s tovább növelhetik az egész rendszer működési értékét. Ehhez azonban az kell, hogy a nyílt genetikai programhoz, az ezzel kapcsolatos „selejtezési folyamathoz” legyen elegendő mennyiségű idegsejt, illetve idegsejtnyúlvány. Valóban, az agy fejlődése viszonylag korai szakaszában (embernél kb. két éves korig) sokkal több idegsejtet találunk, mint amennyi a nagy differenciálódási periódus után megmarad. Kimutatták, hogy egyes agyi régiókban a születés utáni intenzív agyfejlődés időszakában az idegsejteknek akár a fele is elpusztul. Azt is leírták, hogy azok a sejtek pusztulnak el, amelyek nem megfelelő, hibás kapcsolatokat építettek ki (ezért nem jutottak hozzá a megfelelő, életfontosságú növekedési faktorokhoz), míg azok, amelyek egészében, de legalábbis többségükben helyes kapcsolatokat teremtettek, megmaradtak. (Sokáig úgy gondolták, az elpusztult idegsejtek helyett a második életév után új idegsejtek már nem születnek, ugyanis az idegsejtek, furcsa módon, egész életre elvesztik szaporodóképességüket. Ma már tudjuk, hogy ez csak részben igaz. Tény, hogy a differenciálódott idegsejtek nem képesek osztódásra, szaporodásra, ugyanakkor az agykamrák falában lévő, ún. őssejtekből a hippokampusz és a szaglőlebeny számára az egész élet során képződnek új idegsejtek. Sok laboratóriumban

foglalkoznak olyan eljárások kidolgozásával, amelyek a kamrafali őssejtekből, vagy a test más részében (például csontvelő) található pluripotens sejtekből tennék lehetővé szükség esetén a felnőtt agy más régiói számára is specifikus idegsejtek termelését.) Természetesen kiemelt a fontossága a differenciálódás során az idegsejtnyúlványoknak is, amelyek a *létfenntartó* szinaptikus kapcsolatokat formálják, így érthető, hogy ezekből, valamint a kapcsolatokból és a szinapsziosokból is alapos „túlkínálat” van az agyfejlődés legérzékenyebb (születés utáni) periódusában. Jean-Pierre Changeux francia biológus szerint az agyi szerkezet és tulajdonságok fejlődésének talán az egyik legfontosabb momentuma éppen ekkorra tehető: ez az idegsejtek közötti kapcsolatok, a szinapsziosok stabilizációja. Csak a funkcionálisan „igazolt” szinapsziosok maradnak meg, míg a „téves” szinaptikus kapcsolatok nagy többsége (sokszor az idegsejtekkel együtt) eltűnik. Nagyon fontos, hogy ez a stabilizációs folyamat – amely egyébként egybeesik a fejlődő idegrendszer érzékeny vagy kritikus periódusával – befolyásolható a környezeti ingerekkel. Megfelelő ingerek nélkül a funkcionális stabilizáció nem, vagy csak részben történik meg, azaz az érés (beleértve az egyes agyi tulajdonságok kialakulását is) nem lesz optimális. Más szóval: az idegrendszer fejlődésének a születés utáni döntő korszakában a genetikusan pontosan meg nem határozható pontatlanságokkal, tévedésekkel teletűzdelt folyamatok az emberi idegrendszer egyedülálló plaszticitását jelzik és teszik lehetővé – szemben az alacsonyabb rendűek (például béka, hal) genetikusan jóval szigorúbban meghatározott, specifikusabb idegrendszerével. Minél nagyobb a pontatlanságokban realizálódó tévedési lehetőség, annál optimálisabb lehet – a korrekciók révén – a környezeti tényezőkre is reagáló emberi agy-tulajdonságok kifejlődése.

Mindebből persze nem következik, hogy az agy fejlődését – általános körvonalaiiban – nem a genetikai tényezők határozzák meg. Ezt jelzi az is, hogy a legfőbb emberi agyi tulajdonságok reprezentációja, például az általában balféltékés beszéd, időérzék, logikus gondolkodás, vagy az inkább jobb féltékés muzikalitás, térérzékelés, kreativitás ugyanakkor nem random módon alakul ki a fejlődés során: itt is tetten érhető a gének. Az a tény, hogy a homloki lebeny (az alkotás, a logikus gondolkodás, s áttételesen a verbális intelligencia, Changeux szerint a „civilizáció szerve”) emberben a kéreg 29 %-át teszi ki – szemben a csimpánz 17 %-ával, a kutya 7 %-ával, ugyancsak egyértelműen gén-szabályozásra utal. Az azonban az előbbiekből nyilvánvaló, hogy a magatartás, intellektuális képességek kialakulása mögött működő génszabályozások nem közvetlenül determinálják a működés alapjául szolgáló rendkívüli bonyolultságú kérgi szerkezeteket. Erre még az egész emberi genom – amely kb.  $10^{10}$  bit információval is kevesebbet tartalmaz (bár ez is óriási szám!) – egészében is elégtelen lenne, nem is szólva arról, hogy ennek csak kisebb része *foglalkozik* az agyi működések szabályozásával.

Óriási szerencsénk, hogy az emberi agyi képességek kifejlődése, bizonyos képességek kialakítása a nyitott genetika program, azaz a *nature*, és az embernél igen hosszúra nyúlt, a környezettel integrációban történő fejlődési periódus, azaz a *nurture* összjátékának az eredménye. Hasonlóképpen fontos az is, hogy a fejlődési periódus során megvalósuló idegrendszeri-agyi plaszticitás, s az ehhez köthető tanulóképesség, adaptivitás egészséges agy esetén lényegében az egész felnőttkorra kiterjed. Ami az agyi tulajdonságok genetikáját illeti, Dobzhansky, a kiváló gondolkodónak is ismert genetikus, egyik munkájában foglalkozott azzal a sokak által elfogadott elképzeléssel, hogy a jellegek, agyi tulajdonságok illetve ezek génjei egy-

mástól szinte függetlenül szelektálódnak, éppúgy, mint a haj vagy a szem színét meghatározó gének. Dobzhansky azonban kimutatta, hogy nincs arra vonatkozó bizonyíték, hogy a matematika, a költészet vagy a filozófiai képességek számára specifikus génjeink volnának. Igaz, egyesek könnyebben tanulnak matematikát, mások meg irodalmat, azonban az összes ilyen adottság tulajdonképpen az ember absztrakcióra, szimbolikus gondolkodásra (és beszédre) való alapvető képességének manifesztációja, tükröződése. Bár ez a képesség egyénenként kisebb-nagyobb mértékben különbözhet, a faj, a Homo sapiens minden nem kóros tagjában megtalálható. Ez az általános mentális kapacitás, – amely az embert minden más állattól élesen elkülöníti –, rendkívüli módon alkalmazkodóképes, s természetesen ismét csak nem egy adott gén, hanem gének, a heisenbergi határozatlansági elvhez hasonlóan meghatározhatatlan, dinamikusan változó interakciójának következménye. Az ember mentális képességeinek kialakulása – mondhatnánk úgy is, hogy a természet ezzel kapcsolatos biológiai mémöki munkája – a törzsféjlődés és az egyedféjlődés során egyaránt merőben különbözik az emberi mémöki szokásoktól: a kialakítandó szerkezet nincs eldöntve, mielőtt az agy végleges kifejlődése megindulna. A (mémöki, genetikai) döntések az építkezés folyamata alatt születnek – lehetőséget adva újabb és újabb adaptív változások beépítésére a fejlődő, differenciálódó emberi agyba. Ez ismét csak a nyitott genetikai program szép megfogalmazása, s egyben válasz arra, hogy mért nem lehet az állatnemesítésben sikeres módszereket az „okosabb” emberfaj illetve az agyi kapacitások genetikai javítására hasznosítani. Bár bizonyos természetes szelekcióból, génke-

veredésből, génfelfrissítésből adódó folyamatok így is lehetségesek az egyes területeken élő csoportoknál, rétegeknél (muzikalitás, ritmusérzék, mozgás, kéz ügyesség), ezek Dobzhansky megállapításának érvényességét nem cáfolják: számára a fantasztikum éppen az emberi agy genetikai nyitottságú programjában s az ezzel kapcsolatos nagymértékű plaszticitásban, a részletek előre ki nem dolgozottságában, az állandó, egy életre szóló adaptivitásában van.

Eccles megállapításához kapcsolódva úgy gondolom, hogy az Univerzumnak ez a szerkezetében rendkívül bonyolult, de működésében valamivel megismerhetőbb produktuma, az emberi agy, az evolúció, a fejlődés csúcsteljesítménye. Vannak, akik emögött, s általában a fejlődés motorjaként is természetfölötti erők örök jelenlétével számolnak, mások a természetfölötti erők működésében nem hisznek. Mégis, mindkét felfogás követőit egy közös táborba gyűjti az a parancsoló kívánság, hogy az ember, az emberiség ezt a fantasztikus adottságot, a csodálatos emberi agyat a mainál sokkal kreatívabban, a szolidaritást központba helyezve próbálja a maga és az egész emberi nem javára használni, hasznosítani.

Végül záró gondolatként Széchenyit idézem, aki oly sok mindenben tévedhetetlen jósnak bizonyult. Ő a következőkben határozza meg az emberi agy, gondolkodás szerepét a jövő építésében: „Az emberi halhatatlan lélek, s annak legfőbb széke, az emberi agy jelöli ki a kultúra ösvényét, s csak az bírja a nemzeteket a lehető legmagasabb civilizációs fokra, és semmi egyéb.”

---

Kulcsszavak: *agyfejlődés, plaszticitás, nyitott genetikai program, idegsejtek, szinapszisok, kritikus periódus*

# KOMPLEXITÁS AZ IDEGRENSZERBEN \*

Székelgy György

az MTA rendes tagja, professor emeritus, MTA Debreceni Központ – szekely@chondron.anat.dote.hu

Az agy megismerhetőségéről szóló írások kedvenc indítomondata az a paradoxon, hogy ha agyunk egy kicsit egyszerűbb lenne, akkor túl egyszerűek lennének működésének megértéséhez. A megismerés azonban talán mégsem a bonyolultság és egyszerűség viszonyán múlik, hiszen a sokkal egyszerűbb békaagyat sem értjük igazán. Egy komplex szerkezetet akkor ismerhetünk meg, ha meg tudjuk építeni, vagy legalább ismerjük keletkezési módját.

Az idegrendszer elemi szerkezetéről és működéséről kialakult általános felfogás szerint egy idegsejt ingerületet küld egy másikhoz, abban ingerületet kelt, ami eljut egy harmadikhoz, és így tovább. Érthető, hogy a sok ingerület útjának valami módon rendezetnek kell lennie, hogy ebből rendezett működés keletkezzék. Ha a rendezettség kialakulását a fejlődés oldaláról közelítjük, Sperry (1963) több mint fél évszázados elmélete jut eszünkbe. Megfigyelte, hogy a béka látóidege regenerál. A szemet 180°-kal elfordította, és regeneráció után az állat fordítva látott. Ez csak úgy volt lehetséges, hogy a szem különböző helyein lévő idegsejtek és a látóközpont idegsejtjei között valamilyen affinitás van, és ezért a szem helyzetétől függetlenül, mindig ugyanazon retina és látóközponti idegsejtek között jön létre kapcsolat. Általánosítva: a kölcsönös affinitás specifikus idegi kapcsolatok, bonyolult szerkezetek kialakulását biztosítja. Ezt a mechanizmust *neuron-specifícitásnak* nevezték el.

\* A jelen tanulmány az *An Approach to the Complexity of the Brain* (Brain Research Bulletin 2001. 55. 11–28.) című tanulmány rövidített magyar változata.

A felismerés egybeesett a sherringtoni reflexelmélet tetőzésével, és átütő erejét napjainkig megőrizte. A vizsgálati módszerek fejlődése révén a kölcsönös affinitás bizonytalanul meghatározott koncepcióját olyan receptrok és ligandok dzsungelé váltotta fel, melyek irányítják az idegrostok növekedését, „letelepítik” a végződésüket (a szinapsziosokat) a számukra „kijelölt” helyen, és ezáltal kialakulnak a „specifikus” idegi kapcsolatok. A funkcionális genomika korszakában tudjuk, hogy a rovarokéval és puhatestűkével azonos genetikai program szerint tagolódik központi idegrendszerünk előagyra, középagyra, utóagyra és gerincvelőre (Edelman, 1998). Azt is tudjuk, hogy ezen belül a különböző izmainkat beidegző motoros sejtek fejlődését egymástól eltérő genetikai programok irányítják. A különböző programok meghatározzák a sejtek jellegzetes nyúlványrendszerét (dendritfáját), és az eltérő dendritfájú mozgó idegsejtekhez eltérő motoros működések kapcsolhatók (Briscoe et al., 2000; Lin et al., 1998). Általánosítva: készen áll az új típusú neuron-specifícitás, amit a differenciálódást irányító génszekvenciák tér- és időbeli aktivitása jellemez. Már csak gyűjteni kell az adatokat, és megismertük a bonyolult szerkezet kialakulásának a módját.

A számos belső ellentmondás ellenére is tetszetős (könnyen átlátható) elképzelés továbbfejlesztésnek egy tényező áttörhetetlenül ellenáll: az elemek sokasága. Az emberi agy idegsejtjeinek száma a megismerés szempontjából végtelen – a kísérlet szempontjából békaagyé is –, ezért megfogha-

több adatokat keresünk. Az idegsejt hosszú nyúlványrendszerével és hatalmas felületével élesen különbözik a szervezet többi sejt-típusától. Tömegéhez viszonyított felszíne 3-4 nagyságrenddel meghaladja más sejtét. Egy béka motoros idegsejtjének átlagos felszíne például  $1,5 \times 10^5 \mu\text{m}^2$ . Ezen a felszínen mintegy  $5 \times 10^4$  szinapszis végződik. Ez hozzávetőlegesen huszonöt szinapszist jelent  $100 \mu\text{m}^2$ -ként (Birinyi et al., 1992). Ha a szinapszisoknak csak a század részét vesszük, akkor is ötszáz helyet kellene „specifikálnunk” a fentiek értelmében. Ha meggondoljuk, hogy az idegrostok végződésük előtt dúsan elágazódnak, vagyis sok száz, sok ezer más idegsejten végződnek, a specifikálandó rostok és végződési helyek száma teljesen összezavarodik, és a végtelen felé tart.

Ez a kép a működési oldal felől tovább bonyolódik. A szinapszisonál egy kis vegyi anyag (transzmitter) felszabadulásával jár az ingerület átadása. A transzmitter a szinapszis alatt lévő membránreceptor közvetítésével fejt ki hatását. Ez lehet a sejt serkentése vagy gátlása, azaz ezen állapotok valamilyen szintű létrehozása. Ha több szinapszis közel egyidejű hatására a serkentés elér egy adott szintet, olyankor a sejt kistül, vagyis ingerületét más sejteknek továbbítja. Hogy melyik állapot és milyen szinten jön létre, az függ a transzmitter fajtájától, a receptor tulajdonságától és az idegsejt aktuális állapotától. A transzmitterek száma ugyancsak nagy – különösen ha a nagyobb molekulájú, úgynevezett bioaktív peptideket is számítjuk –, akár több száz is lehet. A transzmitterek jó része szinapszison kívül is előfordul a sejt közötti térben, amely mintegy 20 %-a az agy térfogatának. Ezek a „szabadúszó” transzmitterek a szinapszison kívüli, extraszinaptikus receptorokra hatnak, és befolyásolják a sejt serkentési és gátlási állapotát. A sejt közötti térben van még egy cukorból és fehérjéből álló óriásmolekula család, melynek tagjai a membránreceptorokhoz kötődve, a sejtvázon ke-

resztül a sejtmagra hatnak, és így a sejt életjelenségeit befolyásolják.

Ez a kis áttekintés talán megközelítő képet ad az idegszövet elképesztő bonyolultságáról. A maga élő, dinamikus valóságában nagyon távol áll attól a statikus modelltől, melyben az impulzusok áramlásának útját kívánják meghatározni. Ötvenezer szinapszis között egy szinapszis hatása beolvad a tömegbe. Amikor szinaptikus és extraszinaptikus transzmitterek sokasága ömlik egy idegsejtre, azok specificitása összerosódik, és a roppant bonyolult komputáció eredményeként a kombinációk eredője jelenik meg (Brezina, 1997). A rendszer számára tehát egy szinapszis, egy transzmitter nem tartalmaz információt, bár kísérletben esetleg mérhető a hatása. Valamiféle összhatás lehet releváns az agy számára, a működés alapja a komponensek aggregát interakciója lehet. Ha ennyire dinamikus rendszerrel állunk szemben, tanulmányozása más típusú közelítést kíván.

### *Komplex, hierarchikus, lebontható rendszerek*

A modellt Herbert Simon alkotta meg, aki képzettsége szerint pszichológus, de a közgazdaságtanban kapott Nobel-díjat (Simon, 1962). Okfejtését a híres órásmeister-példázattal indítja. Egy utca két oldalán egy-egy órásmeister dolgozik, mindkettő órákat készít, mindkettő órája ezer darabból áll, csupán munkamódszerük különböző. Az egyik, nevezzük Tempusnak, darabokként rakja össze az óráját, egyik darabot a másik után. Hora, a másik órásmeister, először tízes blokkokat készít, majd azokból tízet összerakva százásokat, végül tíz százás blokk adja az órát. Ha vevőjük érkezik, le kell tenniük az egységet, amelyen dolgoznak, és az darabokra hullik. Tempusnak tehát darabonként kell újramezdenie az összeállítást, míg Hora kész blokkjai egyben maradnak, és így sokkal kevesebb munkát veszít. Kiszámítható, hogy ha egyforma gyakorisággal nyit be hozzájuk

vevő, Hora módszere négyezerszer termelékenyebb, mint Tempusé. Ha a természet is Hora módszerével hozza létre a komplex rendszereket, akkor azok többnyire hierarchikusak: abban az értelemben, hogy egymással kapcsolatban álló alrendszerekből állnak, mely alrendszerek ismét hierarchikus szerkezetűek – és így tovább a legegyszerűbb szerkezetű elemi alegységig. A hierarchiában az alrendszerek alá- és fölrendeltségi viszonya nem döntő.

Fizikai és biológiai komplex rendszerek – folytatja Simon – véletlenszerűen keletkeznek egyszerű alkotórészeikből. A próba-szerencse véletlenszerűségét azonban *szelekció* irányítja. A szelekció szerepére az emberi problémamegoldásból hoz példát. Ahogy a megoldás felé mutató kérdések-válaszok a barkochba játékban jelzik a helyes irányt, úgy jelzi a stabil átmeneti formák megjelenése az evolúció helyes folyamatát. Minden lépés – helyes vagy hibás – információt közvetít a következő lépés megtételéhez.

Ezen a ponton Simon okfejtése érdekes módon találkozik Eigennek a makromolekulák prebiotikus kialakulásával kapcsolatban megfogalmazott elképzelésével (Eigen, 1971). Egyensúlyi állapotól távol álló rendszerekben, meghatározott feltételek teljesülése esetén, „template” tulajdonsággal rendelkező molekulák alakulhatnak ki, melyek önreprodukció révén tovább szaporodnak. A feltételek egyik fontos pontja közbülső formák közötti szelekció lehetősége. Mindkét szerző egymástól függetlenül leszögezi, hogy nem a „szabad energia” vagy a naptól származó negentrópia, hanem számos közbülső forma megjelenése biztosítja a szelekció lehetőségét és a folyamat gyors lezajlását. Eigen úgy fogalmaz, hogy e viszonylatban „*information arises from, or gains value by, selection*”. Összefoglalásul két tétel szögezhető le:

1. Komplex formák egyszerű formákból keletkeznek *szelektív*, próba-szerencse folyamatokban.

2. A szelekció forrásai lehetnek:

- (i) *feedback* jelzések a próba-szerencse sikeréről,
- (ii) korábbi tapasztalatok, mint közti formák, csökkentik a próba-szerencse mennyiségét.

Ha hierarchikusan strukturált a rendszer, akkor szét is bontható, és pedig az alosztályok közötti interakciók erejétől függően könnyebben vagy nehezebben. Az alosztályon belül a komponensek interakciója általában erősebb, mint az alosztályok között. Mivel a különböző rendszerekben ezek a kölcsönhatások nagyon különbözőek lehetnek, az általánosítás kedvéért Simon bevezette a *csaknem lebontható* rendszer fogalmát, és az alábbi tételket állapította meg.

3. Csaknem lebontható rendszerekben, rövid távon (térben-időben) az egyik alosztály magatartása független egy másik alosztály magatartásától.

4. Hosszú távon: az egyik alosztály magatartása csupán általánosan, aggregát módon befolyásolja egy másik alosztály magatartását.

5. Az alosztályok kölcsönhatásának a vizsgálatában a részletek elhanyagolása nem jár lényeges információvesztéssel.

Ezek a nagyon kemény tételek egy kis magyarázatot kívánnak. Vegyük példának a tüdő és a vese kölcsönhatásait, mindkettő szervezetünk egy-egy alosztályát képezi. A lebonthatóság értelmében gondolatban elválaszthatjuk őket egymástól. A tüdő feladata a széndioxid kiválasztása és az oxigén felvétele, a vese feladata az oxigenizált vér megtisztítása az anyagcsere végtermékeiktől. Leegyszerűsítve: a tüdőnek szüksége van a megtisztított vérré, a vesének az oxigenizált vérré. A két alosztály szétválasztása után azt tapasztaljuk, hogy egy rövid ideig mindkét szerv hibátlanul működik, de hosszú távon már nem nélkülözhetik egymást. A vér oxigenizálása a tüdő légólagocskáiban történik, amiből sok millió van mindkét tüdőben.

A vér tisztítása a vesetestescskék csatorna-rendszerében történik, ezekből is sok millió van. Igencsak bajos lenne megállapítani, hogy melyik léghólyagocská melyik vesetestecske számára véroxigenizálja a vért, és melyik vesetestecske melyik léghólyagocskának tisztítja a vért. Tehát hosszú távon a két szerv – ha úgy tetszik: a két alosztály – aggregát kölcsönhatásban van. Ez mindjárt magyarázza az 5. tételt: semmi információt sem veszítettünk a két szerv kölcsönhatásának vizsgálatában azért, hogy nem határoztuk meg pontosan az egyes léghólyagocskák és vesetestescskék kapcsolatát.

A két szerv szerkezeti vizsgálata újabb tulajdonságot tár fel. Ha egy léghólyagocskát megvizsgáltunk, a következő megvizsgálása már nem ad új információt, legfeljebb annyit, hogy az is ugyanolyan. Általánosítva: a hierarchikus szerkezetű komplex rendszerek strukturálisan redundánsak. Jó példa lehet még a húsz aminosav, melyek kombinációiból elképesztő számú fehérjemolekula épül fel. Tehát az 5. tétel kiegészítésére felírhatjuk:

6. Hierarchikus, csaknem lebontható rendszerek megközelítő hűséggel leírhatók úgy is, hogy az összes lehetséges kölcsönhatásnak csupán a töredékét vesszük figyelembe.

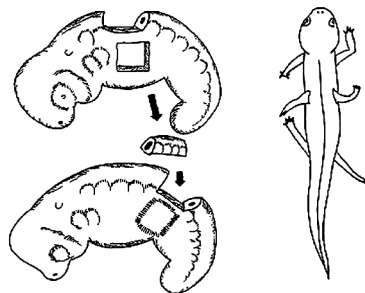
Ezek után a kérdés az, hogy vajon találunk-e az idegrendszerben olyan példákat, melyek ezeket a nagyon keményen fogalmazott és nehezen támadható tételeket teljesítik.

*A gerincvelő végtagmozgató szerkezete, mint hierarchikus, csaknem lebontható rendszer*

A góték nagyon alkalmas kísérleti állatok. Felnőtteken, embriókon egyaránt nagyon jól lehet dolgozni, a központi idegrendszer különböző részeit izolálni és működésüket megfigyelni. Ilyen kísérletekből derült ki, hogy a gerincvelőnek van egy speciális szakasza, amely képes (és csak ez képes) a végtagot koordinált módon mozgatni. Ezt a

szakaszt első leírása után (Székely, 1963) központi jel generátornak (central pattern generator, CPG) nevezték el, mely nevet azóta sok más hasonló működésű idegi központra is alkalmazzák. A kísérlet menetét az 1. ábra mutatja. Baloldalon két fiatal gőte-embrió látható, melyeken már jól felismerhetők az egyes szervtelepek. Ezek kivághatók, átvihetők egy másik embrióba, ott minden probléma nélkül megtapadnak és tovább fejlődnek. Ha egy pár „pótlábat” az embrió oldalába ültetünk, azt a gerincvelő háti szakaszából eredő idegek látják el, és az ilyen végtag mozdulatlan marad. Ha azonban a gerincvelő megfelelő (a CPG-t tartalmazó) szakaszával kicseréljük a háti szakaszt, a beültetett végtagpár a saját mellső végtagokkal szinkronban fog mozogni. A kísérlet úgy is megismételhető, hogy a hátsó végtagpár szintjében lévő gerincvelőszakaszt visszük át a háti gerincvelőszakasz helyére. Ilyenkor a harmadik végtagpár a hátsó végtagok ritmusában mozog, függetlenül a beültetett végtagok hátsó vagy mellső jellegétől.

A gerincvelőnek a CPG-t tartalmazó szakaszát teljesen izolálhatjuk oly módon, hogy azt egy idősebb embrió kifejlett hátuszonyába visszük át, és vele közös csatornába egy végtagot helyezünk. A beidegzés után a végtag szabályos lépő mozgást végez, amit



1. ábra • A velőcső és a végtagtelep embriókori átültetése és felnőtt állaton az átültetett végtagok mozgása.

az izmokból elvezetett működési áramok regisztrálásával is igazoltunk. Kontrollkísérletekben, melyekben a hát területéről vettük a gerincvelőszakaszt, csupán rendezetlen, rángó mozgásokat láttunk. Mindebből fontos következtetéseket lehet levonni. A végtagmozgató CPG-t tartalmazó gerincvelődarab az idegrendszer többi részétől elválasztva, perifériás visszajelzés nélkül is autochton módon képes a végtagot szabályos lépő mozgásba hozni. Ez mindenestre a lebonthatóság egyik formáját igazolja.

Felnőtt gőte gerincvelőjét a nyúltvelő fölött végzett harántmetszéssel elválaszthatjuk az agy többi részétől. Az állat átmenetileg megbénul, de mikor az altatásból felébred, elkezd mozgatni a végtagjait. Ha a bőre csipkedésével kicsit megbiztatjuk, szabályosan járni kezd, bár igen nehézkesen halad. A kísérlet azt mutatja, hogy a nyúltvelő-gerincvelő tengelyben van az az idegi szerkezet (feltehetően CPG-k formájában), amely a négy végtag diagonális koordinációját a magasabb idegközpontoktól függetlenül is képes irányítani. Ennek a lebonthatóságát vizsgáltuk meg a 2. *ábrán* bemutatott, kissé bonyolult kísérletsorozatban (Brändle és Székely, 1973).

Az embrió hossz tengelye mentén, különböző helyekről különböző hosszúságú szegmentumokat vágunk ki. Ezeket a gazdaállat oldalába ültettük, ahol vérellátását megkapta, de független maradt a gazda idegrendszerétől. A végtagok kinövése után azok mozgását figyeltük. Az 1-es csoportban a transzplantátum a mellső végtagot mozgató gerincvelői szakaszt tartalmazta. A végtagpár nem a szokásos alternáló mozgást végezte, hanem evezőcsapásszerűen szinkronban mozgott. Alternáló mozgást a második csoportban láttunk, itt a transzplantátum hosszabb volt, a nyúltvelőt is tartalmazta. Mikor egy finom eszközzel átvágtuk a nyúltvelő-gerincvelő határt, az alternáló mozgás szinkronmozgásba ment át. Ha tovább rövidí-

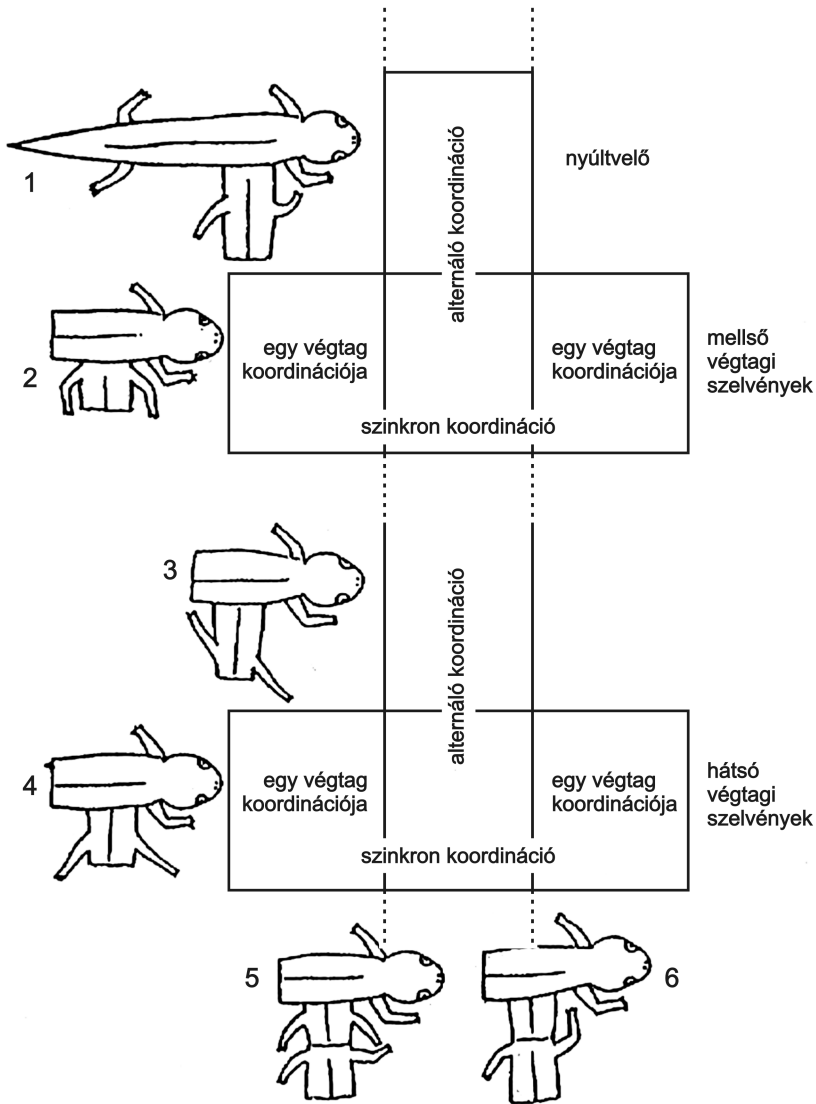
tettük a most már végtagi gerincvelőszakaszt, a szinkronmozgás összezavarodott, de az egyes végtagok koordinált mozgása megmaradt. A 3. és 4. csoportban ugyanezt kaptuk a hátsó végtaggal. Ha a háti gerincvelő egy darabja és a hátsó végtagnak megfelelő szelvények voltak a transzplantátumban, akkor alternáló mozgás jelentkezett. Szinkronmozgást figyeltünk meg, ha a transzplantátum csak a végtagi gerincvelőt tartalmazta. Az 5. és 6. csoportban tandem transzplantátum van. A mellső végtagpárt tartalmazó embriódarabot összenövesztettük egy másik mellső végtagi darabbal, illetve egy háti gerincvelőt tartalmazó embriódarabbal, és így transzplantáltuk. Nem kis meglepetésre a végtag pár alternáló mozgást mutatott, illetve az 5. csoportban a gazdaállathoz közeli végtagok szinkronban, a távoliak alternálóan mozogtak. Ha a két gerincvelőszakaszt szétválasztottuk, akkor a végtagpárok szinkronban mozogtak.

Az eredményeket a 2. *ábra* segítségével magyarázhatjuk. Az a megfigyelés, hogy ha magát a végtagmozgató gerincvelő szakaszt csonkítjuk (2. csoport), akkor a szinkronmozgás megszavarodik, de az egyes végtag koordinációja megmarad, arra utal, hogy a gerincvelő két felében van egy-egy CPG, és még egy másik szerkezet, amely a szinkron működést irányítja. A nyúltvelőben is van egy szerkezet, esetleg egy CPG, melynek hatására az alternáló mozgásminta létrejön. Nagyon valószínűtlen, hogy a nyúltvelői szerkezet impulzussorozata meghatározott, „specifikus” pályákon jutna a gerincvelőbe. Akkor nem tudnánk értelmezni, hogy egy másik végtagi vagy egy háti, gerincvelői szakasz miért váltja ki ugyanazt a hatást. Ismert, hogy az úszó mozgást vezérlő jobb-bal alternáló működés halaknál és kétéltűeknél a gerincvelő teljes hosszában kimutatható. Kézenfekvő a gondolat, hogy az úszást irányító CPG-k hatására alakul ki az alternáló lépő mozgás. Minthogy az alternáló mozgás

szempontjából a nyúltvelő, a végtagi gerincvelő és a háti gerincvelő felcserélhető, ez azt jelzi, hogy az úszó CPG nem „specifikus” idegi kapcsolatok útján, hanem aggregát módon fejt ki hatását. Mindenesetre az eredmények egyértelműen mutatják, hogy a

járást irányító rendszer több alosztályból áll, melyek szétbonthatók (össze is rakhatók), és aggregát kölcsönhatásban vannak.

Aggregát kölcsönhatásokra sok példát lehet még találni az idegrendszer működésében. Ilyen például a gerincvelő átvágásával



2. ábra • A nyúltvelő-gerincvelő tengely mozgásirányító szakaszainak ábrázolása block-diagramban. A diagram egyes részei mellé illesztett rajz szemlélteti a végtagok mozgását.

megbénított göte bőringerekkel kiváltott járása. A bőringerek aggregát módon „be-kapcsolják” a CPG-ket, és az állat lépked. Ugyancsak aggregát kölcsönhatás van az agykéreg és a gerincvelő mozgó sejtjei között. A leszálló agykérgi rostok ugyanis nagy területen végződve, előbb több száz kis közti idegsejtnek adják át az ingerületet, amely így többszöri áttét után aggregát módon éri el a motoros sejteteket.

A 6. tétel példájára szolgálhatnak az idegrendszerben rendszeres szabályossággal ismétlődő szerkezetek, a modulok. A gerincvelőben korong alakú modulok vannak, a kisagyban egy-egy Purkinje-sejt nyúlvány-rendszere által meghatározott szabályos területek, az agykéregben oszlopos elrendeződésű modulok találhatók (Szentágothai, 1974). A csikolt testnek és más agyrészeknek is megvannak a maguk jól meghatározott funkcionális és morfológiai moduljai (Gerfen, 1992). Maguk a modulok is aránylag kevés típusú (bár nagyszámú) idegsejt-ből állnak. A modulokon belüli és a modulok közötti kölcsönhatások tanulmányozása az idegrendszer kutatásának állandó napi témája, és az eredmények nagyon arrafelé hajlanak, hogy itt is aggregát hatások működnek.

*A szelekció jelentősége hierarchikus, csaknem lebontható rendszerek szerveződésében*

Az eddigiek során sikerült számot adnunk a 3-6. tételek megállapításairól, miszerint az idegrendszer szerveződése valóban hasonlít a címben megjelölt rendszerhez. Most az 1. és 2. tétel megállapításait vizsgáljuk meg, melyek szerint az ilyen rendszerek az egyszerűbb komponensekből *szelektív* próbaszerencse révén jönnek létre. Nyilvánvalóan nem arról van szó, hogy sokmillió idegsejtet összeömlesztünk, és várunk a szerencsére. Mint említettem, ismert genetikai folyamatok alakítják ki az agy részeit, és ezeken belül egyre több területen válik ismertté a részekre

jellemző sejtípusok kialakulásának genetikai irányítása. Ahhoz, hogy az agy működési és organizációs elvének megismeréséhez közelebb kerülhessünk, a szerkezeti rendezettség valamilyen szintű kialakulásának dinamikáját kell megtalálni. Ha a szerveződés próba-szerencse útján történik, alapvető fontosságú a szelekciós mechanizmusok felismerése és forrásuk felderítése. Az idegrendszer a maga dinamikájával sok forrást kínál.

1. Az idegsejtek közötti kapcsolatok irányítottasága és az idegsejtalkok genetikai meghatározottsága a szelekció fontos forrását képezi. Az előbbire a látóideg és a látóközpont közötti összeköttetések kialakulására vonatkozó adatok utalnak, melyek szerint a növekvő idegrostok végén lévő specifikus ligandok a sejtek specifikus receptoraihoz kötődnek (Drescher et al., 1997). Feltételes módot használok, mert ezeket a specifikus ligand-receptor kapcsolatokat sejt-szinten még nem sikerült kimutatni, és vannak kísérleti adatok, melyekre az elképzelés nem alkalmazható egyértelműen (Székely, 1990). Az idegrost-növekedés irányítottasága nem a szinaptikus kapcsolatok viszonyát, hanem nagyobb pályarendszerek anatómiai helyzetét jelölheti ki. Fontosabbnak tűnik a sejtalkok determinációja, amire a gerincvelő motoros sejtjeivel kapcsolatban már említettem példát. Ugyanúgy külön genetikai programjuk van az agytörzsi motoros sejteknek, de más közti sejtek differenciálódásának is. Ez abból a szempontból érdekes, hogy egyes esetekben a genetikai kontroll jellegzetes dendritfát alakít ki, és ezekhez meghatározott működést rendelhetünk. Így például a gerincvelő végtagmozgató területén olyan motoros sejtek vannak, melyek kizárólag ott találhatók, és melyek genetikai programja eltér a többiétől. Feltételezhető, hogy a dendritelágazódás geometriai mintázatának a környező szinapszisok válogatásában szelekciós jelentősége van, és ez a működés kialakításá-

nak egyik tényezője lehet. Erre utal az a vizsgálat, melyben a béka szájzárását és -nyitását irányító motoros sejteket alakjuk harminckét morfológiai paraméterük alapján, multivariáns statisztikai módszerrel, amivel ezeket a sejteket két, funkcionálisan különböző csoportra tudjuk szétválasztani (Matesz et al., 1995). Több hasonló példát lehetne még említeni, ahol genetikailag determinált idegsejtalakhoz jellegzetes működés rendelhető, de nyilvánvaló, hogy az idegi kapcsolatok számtalan sokaságának elrendezésében epigenetikai mechanizmusoknak is szerepet kell hagynunk –, hiszen még az egyetűjű ikerpárok agyveleje sem azonos.

2. A próba-szerencse mechanizmusok eredményeinek visszajelzései bármely rendszer szerkezetének a kialakításában döntő fontosságúak. Közismert, hogy a perifériás eseményekről érkező külső *feedback* jelzések milyen szerepet játszanak az idegrendszer működésében. Az idegrendszer kutatásában reneszánszát éli az 1951-ben két, egymástól független tanulmány (Sperry, 1950; (von) Holst, 1950) által leírt *belső* feedback mechanizmusok vizsgálata. Ez az agyi hierarchia különböző szintű központjai között létrejövő oda-vissza jelzésekkel áll, mintegy ellenőrzi az elindított idegi impulzussorozat irányát, intenzitását és egyéb paramétereit, ismételt lehetőséget adva mindezek módosítására. Úgy gondolják, hogy automatikusnak látszó cselekvéseink pontossága mögött ezek a mechanizmusok állnak.

3. Az idegi működés dinamizmusa mögött az idegszövet nagyfokú alakíthatósága áll. A már egyszer kialakult forma, az idegsejtek nyúlványrendszere külső behatásra változhat. Ismert, hogy a dendritek dúsabban ágazódnak el a kísérletesen megnövelt impulzusmennyiség irányába, másrészt elsorvadhatnak valamely input csatorna elzárásakor. Az idegszövet nagyon érzékenyen reagál a *use-disuse*

elvére. Nagyon sok idegsejt dendritjén apró, tüskeszerű nyúlványok vannak, melyek mind szinaptikus helyek. Ezek számbeli változása különböző használat-nemhasználat kísérletekben kimutatható.

A működésbeli plaszticitásnak a különböző gátlómechanizmusok általi manipulálás ad szinte áttekinthetetlen lehetőséget a *funkcionális* organizáció alakítására. Sok szinaptikus végződésen túl egy másik szinapszis, amely gátolhatja, vagy éppen serkentheti annak működését. Néhány gátló sejt nyúlványrendszerén keresztül más idegsejtcsoportot összehangoltan gátolhat, majd felszabadíthat a gátlás alól, ezáltal működésük ritmikus szinkronizációját idézheti elő. Ennek a működésnek a tanulásban tulajdonítanak jelentőséget (Freund, 2001). A gátlás alá kerülő gátló sejt a gátlás gátlásával hirtelen aktivitást válthat ki. Gátlások körülhatárolhatnak aktív területeket, és csak válogatott sejteket engednek működni. Ezt kollaterális gátlásnak nevezik, fontos szerepe van a látásban. Sok helyen vannak ún. alvó szinapszisok, melyek bizonyos input csatornák megszüntetésével szabadulnak gátlás alól, és váratlan hatásuk jelentkeznek. Mindezek teljes áttekinthetése külön tanulmányt igényelne.

4. A korábbi tapasztalatok csökkentik a próbálkozások számát. Ezt úgy is felfoghatjuk, mint a tanulásnak az idegi organizációra kifejtett hatását. A fejlődő idegrendszer tapasztalatokat gyűjtve mintegy programozza önmagát, és a fenti mechanizmusokat használva alakítja ki saját funkcionális organizációját. Ez a tanulási forma az agy minden szintjén lehetséges, sőt – a korábbi elképzeléstől eltérően – még a gerincvelő szintjén is (Wolpaw, 1997). Az ilyen „ontogenetikai” tanulás mellett roppant fontos a „filogenetikai” tanulás, mikor nemzedékek adják át tapasztalataikat. Ez lehetséges tanítás, utánpótlás révén, de elképzelhető az eredeti DNS szekvencia megváltoztatása nélküli átörökítés is. A DNS-ben tárolt információt a transz-

kriptor fehérjék meghatározott kombinációja és hatásának tér- és időbeli szekvenciája hívja le. Ezek legtöbbször nem idegszövet-specifikus. A csontszövet differenciálódását irányító faktornak például alapvető szerepe van az idegszövet organizációjában. A transzkriptor kombinációk tér- és időbeli megjelenésének alig észrevehető változásai genetikusan rögzíthetők a filogenetikai tanulást. A probléma részletes vizsgálata messze vezetne az agy evolúciójának igen fontos kérdésében.

5. Újabb vizsgálatok egyre nagyobb jelentőséget tulajdonítanak a már említett extraszinaptikus információátvitelnek (Vizi, 2000). A kísérletek nehézsége miatt ez a terület még meglehetősen felderítetlen. A sejt közötti térben szabadon található transzmitterek, bioaktív peptidek, hormonok és szénhidrát tartalmú fehérjék extraszinaptikus receptorokhoz kötődve befolyásolják az idegsejt ingerületi állapotát, anyagcseréjét és differenciálódását. Ezek a hatások a szelekciós folyamatok további számtalan forrását kínálják.

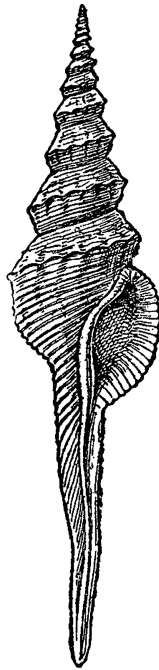
Mindezek alapján úgy tűnik, hogy az idegi impulzusok áramlási útvonalának egy része genetikailag rögzített, másik része epigenetikusan, *szelektív* próba-szerencse útján alakul ki. A két rész közötti arányt nem ismerjük, de az 5. és 6. tétel alapján a valóságot az összes részletjelenség feltárása nélkül is megismerhetjük. Biztosra vehető, hogy a szelektivitáson alapuló önorganizációs rendszerben az egyedi szinapszis helyét és hatását – az idegrendszer belső, dinamikus logikájából adódóan – sosem ismerhetjük meg. Ez ugyanis csak egy statikus rendszerben lenne lehetséges, amely alkalmatlan az életfolyamatok szabályozására. Dinamikus meghatározatlanságából eredő teljesítményét az emberi agynál csodálhatjuk, amely végül is, éppen ezen tulajdonságánál fogva, megismeri a megismerés határait.

**Kulcsszavak:** *a bonyolultság szerkezete; aggregate kölcsönhatások, szelektív próba-szerencse; sejt- és szövetdifferenciálódás; az idegszövet szerveződése*

## IRODALOM

- Birinyi András – Antal Miklós – Wolf Ervin – Székely György (1992): The Extent of the Dendritic Tree and the Number of Synapses in the Frog Motoneuron. *European Journal Neuroscience*. **4**. 1003-1012.
- Briscoe, James – Pierani, Alessandra – Jessell, Thomas M. – Ericson, Johan (2000): A Homeodomain Protein Code Specifies Progenitor Cell Identity and Neuronal Fate in the Ventral Neural Tube. *Cell*. **101**. **4**. 435-445.
- Brändle, Kurt – Székely György (1973): The Control of Alternating Coordination of Limb Pairs in the Newt (*Triturus vulgaris*). *Brain, Behavior and Evolution*. **8**. 366-385.
- Brezina, Vladimir – Weiss, Klaudiusz R. (1997): Analyzing the Functional Consequences of Transmitter Complexity. *Trends in Neurosciences*. **20**. 538-543.
- Drescher, Uwe – Bonhoeffer, Friedrich – Müller, B. K. (1997): The Eph Family in Retinal Axon Guidance. *Current Opinion in Neurobiology*. **7**. 75-80.
- Edelman, Gerald Maurice – Jones, Frederick S. (1998): Gene Regulation of Cell Adhesion: A Key Step in Neuronal Morphogenesis. *Brain Research Reviews*. **26**. 337-352.
- Eigen, Manfred (1971): Selforganization of Matter and the Evolution of Biological Macromolecules. *Naturwissenschaften*. **58**. 466-521.
- Freund Tamás (2001): A théta aktivitás keletkezési mechanizmusa és feltételezett funkciója. *Magyar Tudomány*. **10**. 1172-1175.
- Gerfen, Charles R. (1992): The Neostriatal Mosaic: Multiple Levels of Compartmental Organization in the Basal Ganglia. *Annual Review of Neuroscience*. **15**. 285-320.
- Lin, Jonathan H. – Saito, Tetsuichiro – Anderson, David J. – Lance-Jones, Cynthia – Jessell, Thomas M. – Arber, Silvia (1998): Functionally Related Motor Neuron Pool and Muscle Sensory Afferent Subtypes Defined by Coordinate ETS Gene Expression. *Cell*. **95**. 393-407.
- Matesz C. (Klára) – Birinyi András – Kothalawala, Dulana Saman – Székely György (1995): Investigation of the Dendritic Geometry of Brain Stem Motoneurons with Different Functions Using Multivariate Statistical Techniques in the Frog. *Neuroscience*. **65**. 1129-1144.
- Simon, Herbert A. (1962): The Architecture of Complexity. *Proceedings of the American Philosophical Society*. **106**. 467-482.

- Sperry, Roger W. (1963): Chemoaffinity in the Orderly Growth of Nerve Fiber Patterns and Connections. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. **50**. 703-710.
- Sperry, Roger W. (1950): Neural Basis of the Spontaneous Optokinetic Response Produced by Visual Inversion. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*. **43**. 482-489.
- Székely György (1963): Functional Specificity of Spinal Cord Segments in the Control of Limb Movements. *Journal of Embryology and Experimental Morphology*. **11**. 431-444.
- Székely György (1990): Problems of the Neuronal Specificity Concept in the Development of Neural Organization. *Concepts in Neuroscience*. **1**. 165-97.
- Szentágothai János – Arbib, Michael A. (1974): Conceptual Models of Neural Organization. *Neurosciences Research Program Bulletin*. Vol. 12. **3**. 307-510.
- Vizi E. Szilveszter (2000): Role of High-Affinity Receptors and Membrane Transporters in Nonsynaptic Communication and Drug Action in the Central Nervous System. *Pharmacological Reviews*. **52**. 63-89.
- Holst, Erich von – Mittelstaedt, Horst (1950): Das Reafferenzprinzip. (Wechselwirkungen zwischen Zentralnervensystem und Peripherie.) *Naturwissenschaften*. **37**. 464-476.
- Wolpaw, Jonathan R. (1997): The Complex Structure of a Simple Memory. *Trends in Neurosciences*. **20** 588-594.



# BONYOLULTSÁG ÉS EGYSZERŰSÉG ANALOGIKAI HULLÁM- SZÁMÍTÓGÉPEKBEK ÉS NÉHÁNY IDEGI JELENSÉG MODELLJÉBEN

Roska Tamás

az MTA rendes tagja, kutatóprofesszor, MTA SZTAKI

## *Bevezetés*

Egy galamb, egy szöcske vagy egy légy olyan képességekkel bír, amelyek utánzására sem a mai digitális szuperszámítógépek, sem robotok vagy vadászgépek sem képesek. Egy olyan egyszerűnek tűnő kérdés megválaszolására, hogy egy nyúl szemének mekkora a számítási komplexitása vagy teljesítménye, az elmúlt ötven évben kidolgozott nagyszerű számítástudományi apparátus elvileg is alkalmatlan. Jelen esszében felvázolunk néhány olyan példát az elmúlt néhány év tudományos eredményeiből, amelyek talán egy új világot nyitnak a számítógépről alkotott fogalmainkban, és nemcsak újfajta „analogikai” számítógépeket eredményeztek, de egyben választ adhatnak az élő világ információtechnikájának néhány fontos kérdésére, például közelebb visznek az idegrendszer néhány alapjelenségének megértéséhez is. Egyúttal talán újfajta megvilágításba kerül a számítási komplexitás is.

## *A digitális számítógépek „egyszerű” világa*

Milyen bonyolult egy számítógépprogram egy adott feladat megoldásában?

Az elmúlt ötven évben az erre a kérdésre adandó válasz keresése során – a digitális számítógépek és elemi utasításai, valamint ezek integrált áramköri megvalósításai

fényében – kialakult, és mély eredmények sorában csiszolódott egy diszciplína: a számítási komplexitás elmélet.

Ennek leegyszerűsített lényege röviden talán így fogalmazható meg: egy adott feladat méretétől függően milyen mértékben nő a megoldáshoz szükséges műveletek száma. Például ha  $n$  számú várost akarunk bejárni, mindegyiket egyszer meglátogatni, akkor a minimális utazási hossz jelentő város-sorrend meghatározásának a városok számának növekedésével párhuzamosan nagyon nő a számítási igénye, műveletszáma. A „nagyon” mondjuk exponenciálisan jelent, azaz a műveletszám  $k \cdot e^n$ -nel arányos. A fenti feladatban, amelyet „utazó ügynök” problémának is neveznek, a bonyolultságot *a keresés bonyolultsága* jelenti.

Vannak azonban „könnyű” problémák is, amikor a „nehéz” feladatokkal ellentétben a szükséges műveletszám  $n$ -nel lineárisan vagy négyzetesen ( $n^2$ , stb.), azaz polinom rendben nő.

És vannak a digitális számítógépekkel megoldhatatlan problémák: például annak eldöntése, hogy egy egész számokon értelmezett polinomnak általában van-e az egész számok között gyöke (megoldása).

Szintén megoldhatatlan sok feladatban annak meghatározása, hogy mekkora a feladatot megoldó program minimális hossza.

Az elmúlt ötven évben *a fenti elvi bonyolultság gyakorlati probléma is volt*, mert az egyre hatékonyabb mikroprocesszorokban a chip felülete és hődisszipációja gyakorlatilag megmaradt a nagyjából  $1 \text{ cm}^2$ , illetve  $1 \text{ W}$  tartományban. Így a kereső típusú feladatokban a program lefutási idejét mérő műveletszám az egyetlen lényeges gyakorlati bonyolultsági mérték volt.

Az elmúlt pár évben azonban észrevehettük, hogy a mikroprocesszoroknak egyre nagyobb „házuk” van, ugyanis egyre többet disszipálnak ( $20\text{-}30\text{-}40 \text{ W}$ ), és ezért egyre nagyobb hűtőegységek szükségesek hozzájuk. A nagyobb gépek ráadásul  $2, 4, 8$  vagy akár tízezer chipet is igényelnek (a memóriákon kívül). A *valódi* számítási bonyolultságnak tehát a megoldási idő mellett a szilíciumfelület és a disszipáció mértékét is figyelembe kell vennie (előbbi a  $\text{m}^2$ , utóbbi a MW nagyságrendjébe is kerülhet).

A számítás – általános értelemben a feladatmegoldás – bonyolultsága és a számítógép bonyolultsága tehát összefügg.

A 80-as évek végén, majd a 90-es években ez az egyszerű, szép világ azonban ezen túlmenően is megváltozott. Kiderült, hogy a valós számokon, majd a képfolyamokon értelmezett számítógépekből egészen más nehézségi paraméterek lépnek be, mint a méret, másrészt a klasszikus elmélet olyan egyszerűnek látszó kérdések értelmezésével sem tud mihez kezdeni, mint például az, hogy mekkora egy retinamodell számítási bonyolultsága.

Jelen írásunkban ez utóbbi kérdésekkel foglalkozunk.

#### *A valósokon értelmezett számítógépek*

1989-ben Lenore Blum, majd Steve Smale és Michael Schub egy újfajta számítógépmodellt vezettek be, amely nem egész számokon, hanem folytonos, úgynevezett valós értékeken dolgozik. Az adattípus kivételével minden más diszkrét és iteratív maradt.

Kiderült azonban, hogy ezeken a Newton-gépnek is nevezett számítógépeken – a valósokon értelmezett „univerzális gépeken” (Universal Machine on Reals, UMR) – *mások a megoldhatatlan és a nehéz problémák*, mint a klasszikus, egészezen értelmezett univerzális gépeken (Universal Machine on Integers, UMZ). A valósokon értelmezett univerzális gépen megoldhatatlan annak eldöntése, hogy egy adott érték rajta van-e egy egyszerűen definiálható, de látványra bonyolult képen, az úgynevezett Mandelbrot-vagy Julia-halmazokon. Itt is vannak „nehéz” feladatok, de ezek is mások, mint például az utazó ügynök probléma. Például több polinom esetén kérdés, hogy van-e közös valós gyökük. Az eldöntéshez szükséges műveleti szám exponenciálisan nő, és a polinom változóinak számát is növeli.

Bár ez idáig a valósokon értelmezett univerzális gépnek sem direkt elektronikai implementációja, sem élő rendszerbeli megfelelője nincs – jöllehet a digitális számítógépeken emulált verzióját nap mint nap használjuk –, mégis fontos kérdésekre mutatott rá. Például arra, hogy a számítási bonyolultság nemcsak a mérettől, hanem más paramétertől, például a pontosságtól is függhet. Sőt lehet, hogy ezek fontosabbak, mint a feladat mérete: ez utóbbi esetleg egyáltalán nem mérvadó.

#### *A képfolyamokon értelmezett celluláris analogikai „hullám-számítógépek”*

Ha számítógépünk *alapadatai nem egész számok és nem is valós számok, hanem képfolyamok* (például a videoklipek), amelyekkel a valódi érzékszerveinkben is találkozunk, akkor a celluláris analóg-és-logikai – vagy *analogikai* – számítógépek világába jutunk. Ez az úgynevezett folyamokon értelmezett univerzális gép (Universal Machine on Flows, UMF), amely digitális értelemben is univerzális, minden olyan feladatot meg tud oldani, amit egy csupán egész

számokon értelmezett gép. Ráadásul ezek a számítógépek olyan elemi (itt: könnyen megoldható) utasításokra képesek, mint például egy képfolyamon egy hullámegyenlet megoldása, amelyek a digitális számítógépeken éppen a legnehezebbek. E számítógép formális leírása, amelyet CNN univerzális gépnek nevezünk, csupán néhány egyszerű analóg és bináris logikai építőelemet, építőkockát tartalmaz, de ezekből egy rácson, szomszédokat összekapcsolva és tárolt programozást lehetővé téve sokat helyezünk el. A CNN az analogikai celluláris számítógép magját, a celluláris neurális vagy nemlineáris hálózatot jelenti (Cellular Neural/nonlinear Network). Ez a sejtautomatához hasonló, de nemcsak logikai, hanem időben folytonos analóg jeleket is kezel, és a cellák közötti interakciók is valós értékűek. Fizikai megvalósításuk sokféle lehet: a részben digitálisan utánzott áramkörtől megvalósításától egészen az optikai vagy nanoelektronikai megoldásokig.

Ezek a „hullám-számítógépek” viszont nagyon közel állnak ahhoz az idegrendszerben működő „számítási stílushoz”, amelyet érzékszerveink többsége használ, ahol többnyire analóg hullámjelenségek és „logikai” (igen-nem) detekciók vannak térben elosztva. Tipikus példák: egy adott sebességtartományban mozgó objektum detekciója, egy madárral felismerése, egy galamb felismeri a párját, egy bagoly sötétben megtalálja a hangot adó egeret.

Vajon ebben a számítógép-világban melyek a megoldhatatlan és a nehéz problémák? Ez a kutatási irány éppen most van kibontakozóban, de néhány alapvető eredmény már van. Az egyik az, hogy itt is vannak „nehéz” problémák, amelyek közül éppen egy keresőprobléma bizonyult ilyennek. Ez nem véletlen, hiszen az új gép a logikai keresőfeladatokban nem jeleskedik, bár ezt is ugyanolyan jól tudja, mint a tisztán logikai gép. Ugyanakkor képes egyetlen utasítással

megoldani olyan feladatokat, amely bármelyik másik két gépnek „nehéz”.

Az is megmutatható, hogy ez a térben diszkrét, de időben, jelértékben és interakcióban folytonos gép egyetlen utasításában is gazdagabb, mint bármelyik, ehhez közel álló, úgynevezett „parciális differenciál egyenletrendszer” megoldásából adódó tér-időbeli dinamikus jelenség. Ez utóbbi egyenletrendszer a fizikai világ tipikusan legbonyolultabb leírasi módja.

*Milyen az „élő számítógép”, mi az a feladat, amely számára egyszerű?*

Érdekes az is, hogy ez az új számítógép-paradigma nagyon közel áll az élő szervezetek idegrendszerének sok részletéhez: szerkezetében az anatómiájához, működésében a fiziológiájához. Mintha mesterséges, de egyszerű neuronprocesszorok lennének elhelyezve egy síkrácson, és a szomszédok egymással interakcióban, „receptív mezőszerűen” lennének összekapcsolódva. Ezen síkbeli processzorseregek vannak a harmadik dimenzióban egymásra helyezve, amelyben immár a közvetlen fel-le szomszédok is kapcsolatban vannak. Talán nem pusztán szerencse, hogy hamar kiderült: az új – tárolt programozható – analogikai számítógéppel nagyon egyszerűen és természetesen lehet bonyolult érzékelő és felismerő idegi funkciókat modellezni. Kiderült, hogy az idegrendszerre azért nehéz ráerőltetni a digitális számítógép-paradigmát, mert az idegi szerveződések természete ettől idegen. Ezzel szemben az analogikai celluláris hullám-számítógépeké szinte erre is teremtett. Itt a bonyolult egyszerűvé válik, az elemi utasítások a természetes szerveződések tükrözik. Ennyire egyszerű! De az számomra szinte már csoda, hogy például az emlősök retinájában a csatolt hullámegyenletek jelentik a „természetest”, az egyszerűt. Az idegtudományok, a genetika és az immunológia új felfedezései máris

elkezdték átformálni az egyszerűről és bonyolultról alkotott nézeteinket. Alaposan újra kellene gondolnunk a számítási komplexitás egész elméletét.

*Egy újfajta algoritmikus gondolkodási és „logikai” elemei*

A digitális számítógép diadalútjának technikai alapja az elmúlt negyven év integrált áramköri fejlődésének diadalútja, amely magába foglalja a modern természet és műszaki tudomány szinte minden szelvényének csúcstechnológiáját. Szellemi alapját Neumann János tárolt programozási elve jelenti: az a lehetőség, hogy algoritmikus programozással ugyanazon a processzoron (mikroprocesszoron) milliárdnyi különböző feladatot tudunk megoldani. A gép kinyílt az emberi intellektus találékonysága felé. A CNN univerzális gépnek nevezett analogikai celluláris számítógép ugyancsak tárolt programozott, de egy komplexebb és az érzékszerveinkhez (látás, tapintás, hallás, stb.) közelebb álló adattípuson, a képfolyamokon vagy videóklipen működik, és hullámszerű effektusokat jelentő utasításkészlettel. Ez az algoritmikus „szép új világ” most indul, máris van néhány fiatal mestere. Öröm, hogy többen közülük éppen itthon dolgoznak.

Amint a logikai számítógép modellezheti és modellezi logikai gondolkodásunk, logikai következtéseink folyamatait – ezt tükrözik például a XX. század első fele nagy logikusainak munkái, majd a mesterséges intelligenciának nevezett kutatási irány jelentős alkotói –, hasonlóképpen elindulhatunk azon az úton, amelyen az analogikai celluláris számí-

tógép elemi utasításai és adattípusai egy új analogikai gondolkodási és következtetési módszer keretét jelenthetik.

Ebben az analogikai következtetés-rendszerben az alapadataink, amelyeken az igaz-hamis állításainkat megfogalmazzuk, egy adott ideig tér-időbeli folyamatok. Ebben keressük a *mikor? mi van?, hol van?* kérdésekre adott választ. Ha feketével jelezzük az igen-t, akkor ez a válasz egy fekete-fehér térképen az időben változó fekete területekkel jellemezhető. Például, ha költöző madarak repülését nézzük, és megkérdezzük, hogy hol vannak a fecskék, akkor a fecskéket jelentő fekete foltok mozgása adja az „analogikai” választ. Ennek a válasznak a megadásához az elemi következtetési lépések nem a logikai döntésekkel kezdődnek, hiszen a folyamatosan változó szürke képen ezek eredendően nem is értelmezhetőek.

Ez a kiterjesztett, *tér-időbeli analóg-logika* ma már sokféle „vizuális mikroprocesszoron”, a CNN univerzális gépen alapuló „látó” chipen beprogramozható és alkalmazható, néhány idegi jelenségnek pedig sikeres modellezését tette lehetővé. Ilyen például a retina belső működése.

Mindenesetre megindultunk egy olyan úton, amely a természet jelenségeit figyelve, egy differenciáltabb és gazdagabb képet mutat a számítógépről és a feladatok megoldásának bonyolultságáról.

---

Kulcsszavak: *celluláris hullám-számítógépek, CNN technológia, komplexitás képfolyamokon definiált számítógépekben*

# BONYOLULTSÁG, FILOZÓFIA, SPEKULÁCIÓ ÉS TUDOMÁNYOS KÖVETKEZESSÉG

Vámos Tibor

az MTA rendes tagja, kutatóprofesszor, MTA SZTAKI – vamous@sztaki.hu

Akár a filozófia és a tudomány viszonyairól is beszélhetünk, hiszen itt határokról van szó, még hozzá történelmi időben és számítási időben viszonylagos határokról, olyanokról, amelyeknek sokszor igen bizonytalan megszégyenítő elválasztják az egzakt, statisztikailag megbízható módon kísérletileg igazolt és/vagy logikailag szigorúan levezetett, tényeknek elfogadott tudományos ismereteket az ezeken túli általánosítások, gondolatfüzerek filozófiájától. Itt is rögtön bajba kerülünk, hiszen a logika maga is a tudomány és a filozófia határterülete, de határterület mindaz az ismeretelméleti megegyezés, ami az adott időpontban és az adott tudományterületen a tények elfogadására vonatkozik. A végtelen csillagos ég végtelensége más volt a mítoszokban hívő megfigyelő pásztornak, más a hagyományos optikai eszközökkel dolgozó csillagásznak, és más annak a mai asztrofizikusnak, aki a modern fizika ismeret- és eszközfegyvertárával hatol fényévmilliárdok távolságaiba és évmilliárdok történéseibe. Talán ez a hasonlat is mutatja, hogy itt az adott ismeretek alapján fogalmazott világról is van szó.

A dolgot tovább bonyolítja a kiszámíthatóság egyszerre kemény és puha határmezéje. A Gödel-Turing és Church nevével jelzett és azóta is nagy egzakt erővel fejlesztett kiszámíthatóság mint objektív megismerési határ szintén folyamatosan relativizálódik, részint azzal, hogy egy valamilyen modellel leírt jelenség valóban megállapíthatóan kiszámít-

hatatlan lehet, de egy más modell ugyanazt kiszámíthatóvá teheti, a kiszámíthatóság alapmodellje, a P és NP feladatok viszonya,<sup>1</sup> egymással átírhatósága a most indult század egyik kiemelt matematikai alapkérdésévé lépett elő.

A matematika a bonyolultságot a kiszámíthatósággal köti össze.

A végtelen csillagos ég volt az egyik metaforánk, a metafora pedig a tudomány számára modell-hipotézis. A filozófia itt is, a metaforák használatában is közelebb áll a költészethez. A bonyolult világmodell alkotásában a gondolkodás kezdeteitől szerepelt egy másik, ehhez fűződő modell-fogalom: az atomé, azaz a világmodell felépítése egyfajta vagy könnyen megszámlálhatóan kevés alapelemből és az azok között működő, ugyancsak kevés számú kölcsönhatásból. Az egyszerű alapelemek és alapkötéseik modellje a belőlük felépülő egész kiszámíthatóságával és megérthetőségével csábított.

A helyzet ebből a szempontból azóta sem változott. Az elemi összetevők és kapcsolatok modellje a fizikában és a biológiában fényes, gyakorlati eredményekhez vezetett. Az antikvitás filozófiájának naiv spekulációja

<sup>1</sup> Röviden és erősen leegyszerűsítve: a P-típusú probléma polinomiális időben megoldható, azaz elvileg kiszámítható, az NP-típusú problémák és ezek további bonyolultsági fokai pedig általában már semmiféle elképzelhető géppel nem számíthatók, ha a feladatban szereplő elemek száma eléggé nagy. Gondoljunk sok elemi részecske, sok élőlény lehetséges egymás közötti kapcsolatainak sokaságára!

a mai tudomány kemény eredményeiben nyert új modelltartalmat. A bonyolultság itt lép be az elemek és a nagy egész vagy egészek közé: levezethető-e, kiszámítható-e az egész és annak sok összetevőt tartalmazó egyedeinek viselkedése az elemek ismeretében? Íme, itt érintkeznek, sőt, itt válnak kérdésessé az eddig, az előzőekben körvonalazott fogalmaink. Ahol pedig a fizika, illetőleg a fizika elemeiből épített természet-tudomány nem tud folyamatos levezetést találni, belép a metafizika, a kiszámíthatatlanságok spekulatív képzeletvilágával. Rossz ez? – kérdezhetjük joggal. Jó is lehet, ha tündérvilágot képzel és varázsol, de rossz is, ha ördögvilágot teremt, márpedig a tündérvilágok utópisztikus képzelet a valóságokba ütközve gyorsan átvált ördögvilágokká, ilyen-olyan táliburalommá. Goethe a *Faust*-ban a bonyolultság máig is tanítható magyarázatát az ördög szájába adja.

A folyamatos levezetés éppen a bonyolultságok, az ezekből adódó kiszámíthatósági korlátok miatt elvben lehetetlen. Hiába ismerjük egy fiú és egy lány teljes genetikai kódját, ebből még nem tudjuk teljes bizonyossággal kiszámítani, hogy hajlandók-e másnap együtt moziba menni. A triviális példa nem rossz, hiszen azért a kód alapján sok mindent meg lehet becsülni, és előreláthatólag igen rövid időn belül még sokkal többet tudunk a vonzások és választások (Wahlverwandschaften!) biológiai determináltságairól. Így a válasz nem egyértelmű, mint ahogy sokszor nem egyértelmű a Jóé és a Rosszé, a Genezis tudásfájának különös gyümölcséé.

Itt teszünk egy fontos kitérőt, amiről kiderült, hogy nem is kitérő, hanem a magyarázatok egyenes útja. A keresett hidat az egyszerű elemek és az egészek között az evolúció időgépe építi. Korunkban válik egyre általánosabb felismeréssé, hogy az evolúció nemcsak a fajfejlődés történetének magyarázata, hanem gyakorlatilag minden bonyolultságok létrejöttének története, az elemi

részekből és elemi kölcsönhatásaikból épülő világ legáltalánosabb mozgása. A fizika a kozmológiai vizsgálatokból, a mai fizikai világ keletkezésének vélhető időszakából, a legkevésbé bonyolult kezdeti formációkból igyekszik rekonstruálni az anyag bonyolult formáinak kialakulását. A biológia szintén visszanyúlik az élő anyag fejlődéstörténetéhez, ott is a legkezdetleesebb, majdnem eleminek tekinthető alakulatokhoz, részben a rekonstruálható múlt-hoz, részben a mai, bonyolultabb szervezetekben fellelhető atavisztikus maradványokhoz. Egyre izgalmasabb képet kapunk arról, hogy elemi biológiai funkciók, így az idegfejlődés kezdetei hogyan kaptak újabb és újabb szerepeket a fejlődési bonyolódás során egészen az emberi agy létrejöttéig.

Az evolúciós időgép, a bonyolultság alakulása – az egyszerű elemből és funkcióból érthető alkotó számítógép értelmében – valóban sokban hasonló magával a számítógéppel. Hiszen a legbonyolultabb műveleteket végző számítógép is néhány azonos, egyszerű elemből épül fel, működtető programjai pedig kevés számú alaputasításból. Így valószínűleg sokkal többről van szó, mint egyszerű analógiáról. A világ ilyen, ezt is képezik le a számítógépes életjátékok, azok, amelyek néhány egyszerű képelemből és kapcsolódási utasításból mintegy véletlen módon építik szép és értelmesnek tűnő képeiket. A jobb programok, így a genetikus algoritmusokat használók a mutációs és kombinációs műveleteken túl állandó alkalmassági (fitness) ellenőrzéssel szelektálnak a gyorsan szaporodó és különben a végtelenben burjánzó változatok között.

Ez az evolúciós modell, azaz az egyszerűből és kézenfekvőből véletlen és szelekciós mechanizmussal alakulásnak feltételezése terjed a pszichológiában, etológiában és ezek eredményeiként az emberi viselkedés által meghatározott társadalmi jelenségekben, ezek között a gazdaságtanban is.

A pontos kiszámíthatóság kezdeti racionalista álmát így kevésbé az *ignoramus et ignorabimus* (nem tudjuk és nem is fogjuk tudni) Du Bois-Reymond-i metafizikus agnoszticizmus váltja fel, hanem olyan számítási és magyarázati modellek alakítása, amelyek e részben véletlen, részben logikailag jól követhető leképezéssel használható eszközt adnak a jelenségek követéséhez és némileg az előrebecsléshez is. Gyorsan gyűlnek és válnak hatékonyabbá azok a modellek, amelyek eddig becsülhetetlen folyamatokra képesek viszonylag használható előretekintést nyújtani.

Gondolkodásunk ebben a menetben gyors egymásutánban két rendkívüli eredményt mutatott fel. Az első negatívnak tűnik: a bonyolultsági, kiszámíthatósági, logikailag követhetőségi abszolút határok felismerése volt. A határok felismerése a határokon belül élő gondolkodó számára elképzelhetetlenül erős teljesítmény, félig-meddig kilépés gondolkodásunk természetes korlátaiból. A halmazelméletben sokáig vitatott kérdés volt a határok megítélése, tartozhat-e a határ és ezzel a halmaz mintegy abszolút fogalmi meghatározása a halmazhoz magához? A gondolkodás e majdnem páratlan teljesítményét próbálták és próbálják a gondolkodás kódokba burkolózó ellenfelei a gondolkodás ellen kihasználni.

A második hatalmas lépés már nem lépés, hanem hosszú, beláthatatlan végű út. Ez a felismert határok kitolása, méghozzá most nem az abszolút bizonyosságok, hanem a használható közelítések eszközeivel. Erről szólt a bonyolultság és az egyszerű kiindulások viszonyairól és mechanizmusáról adott kurta kép. Amikor a biológus azt mondja, hogy ez és ez a kódcsoport ad nagy valószínűséggel lehetőséget ennek és ennek a betegségcsoportnak a kialakulásához, és egyben elég megbízható módszert is szolgáltat ennek kikerüléséhez, akkor talán érezhetjük, hogy mi a változások lényege. Ez

nem a régiak medicinájának hol alig hatékony, hol csak babonaszzerű tapasztalati módszereivel azonos. Itt mélyen megértett folyamatok tanulságaival lépnek a bonyolultság biztonsági határain túlra. Némileg hasonló fejlődést mutat a közgazdaságtan is; így talál egymásra a korábban külön utakon futó pszichológia és a neurológiai agykutatás, amelyek éppen a neurológiai mikrojelenségek és a pszichés makroalakulások közötti hatalmas bonyolultsági távolság miatt voltak egymástól elszigetelve.

A bonyolultság tehát nem követhető abszolút számítási-logikai módon, de megközelíthető nemcsak filozófiai spekulációval, hanem eléggé kemény, a természettudományokban hitelesnek elfogadott módszerekkel. Tisztázzunk egy félreértésekre alkalmas értékelést. Az eddigiékből úgy tűnik, hogy a szerző a természettudományok magasáról lebecsüli a filozófiát. Közben persze maga is leplezetlenül filozofál, és nem felejtí el azt a tudománytörténelmi tény, hogy a legnagyobb alkotó természettudósok többsége filozófus is volt, vagy legalábbis igyekezett természetismerés eredményeiből egy általánosabb filozófiai világgépet alakítani. Ez a kétségtelenül a spekulációk felé való elindulás szerényebben vagy igényesebben minden ember sajátja, alapvető és a gondolkodást gerjesztő vonásunk, szoros kapcsolatban azzal, hogy az ember tudatos lény, aki elválasztja magát a világ többi részétől, azzal a vággyal, hogy ebben az elválasztásban keresse meg a maga helyét.

A spekuláció ebben az értelemben tehát nem leértékelő megjelölés, de meghatározza szerepét az erősebben bizonyítható és gyakorlatban használható modellekkel szemben, felhívja a figyelmet arra, hogy a spekuláció, ha gyakorlatot követelő módon lép fel, metafizikai és valós veszedelemmé változhat.

Most lép be az az ismeretelméleti és gyakorlati fordulat, ami a határok és azok közelítő túllépése, a bonyolultság kezelése nyomán

válik fontossá. A bonyolultságot kezelő modellelről tudatosan tudjuk, hogy nem azonos a valósággal, hanem annak egyik lehetséges, a bonyolultságok adott feltételei, körülményei között eléggé meghatározható módon és határok figyelembevételével gyakorlatilag használható modellje. Az *ignoramus et ignorabimus* az abszolút „igazságra”, a végső megértésre és számíthatóságra vonatkozik, éppen a bonyolultság elméletében felismert határai alapján. A végső „igazság” ezen túl létezhet, azaz ezen túli absztrakció, a világ végtelen időbeli, térbeli és egyedi jelenségbeli totalitásának elérhetetlen ismerete. Ezért veszedelmes az ilyen ismeret birtoklásának küldetésadata, a talibizmus vagy akármi más, a történelemben hasonló igazságbirtokló tudat kicsiben és nagyban.

A viszonylagos megközelítés tudata szerénységre, óvatosságra, de hasznos ismeretek kimeríthetetlen megszerzésére és alkalmazásának kísérletezésére ösztönöz. Ez az új nézetvilág, aminek előnyomai már a görög antikvitásban, talán legjobban Prótagorasznál megtalálhatóak, hatalmasan kitágítja a gondolkodást, a kutatást és eredményességének lehetőségeit, a világról alkotott és szilárdnak hitt, de valójában igen törékeny képek helyére egy mintegy együttmozgó, rugalmasan változó világképet hoz létre. Idézhetjük a mechanika hasonlatát: a mereven rögzített szerkezetek törékenyek, míg a természetes mozgásnak engedő szabad konstrukciók idő- és terhelésállók. Ezért nyugszanak a hidak pillérei elfordulást megengedő alapokon. A viszonylagosságok, a modellérvényességi határok tudata adja a biztonságos alapot.

Ebben a tükröben az új paradigmák tudománytörténeti értelmezése kicsit módosul, erősebben az ezt követő „minden lehetséges” jelszavú relativista tudomány szemlélet. Korlátozás nélkül nem lehetséges minden, hanem csak az olyan modellek, amelyek a próbákat kiállták, vagy előbb-utóbb kiállják.

Ennek legfényesebb példája a relativitás általános elmélete. Új paradigma pedig nem a meghirdetéssel kezdődik, hanem általában a szabad tudományos gondolkodás hosszú előéletű és bátor haladású nyomain. A görög antikvitást idézve is volt már egy-két utalásunk, a nagy felfedezések és gondolkodásváltások történetét ha nem a történelem héroszmeséinek utánzásaként írják meg, akkor általában az elődök gondolatai között bizonyíthatóan voltak jelen, és a kiteljesedés idején mintegy a levegőben voltak. Ezért is annyi a nagy felfedezések körüli prioritásvita.

Nemcsak a kvantumelmélet tükrében, hanem egész modellalkotó és modellhasználó munkánkban másképp tekintünk a valószínűségekre. Nem a vak véletlen játéka-ként, hanem a végtelen bonyolultságú világ végtelen sok arcának pillanatnyi és körülményektől függő megjelenéseként, tűnő de mégis jelenlevő és felhasználható „igazság”-ismeretként. Nem kell külön hangsúlyozni, hogy ez a valósághoz közelebb álló szemlélet milyen nagyságrendekkel fokozott erkölcsi felelősséget ró azokra, akiknek a bonyolultságokat közelítő modellek alapján kell döntéseket hozniuk, főleg más emberek, embercsoportok más világmodellű világának ügyeiben.

Van-e ezután fix pont? Eddig se volt, csak hittük, hogy van, és ez a fentiek szerint inkább félrevezető, mint vezető volt. Visszatérhetünk Prótagoraszhoz, azaz a mi világunk zártságának határaihoz, az emberhez. Ez viszonyítási pontunk, most már kicsit kibővítve az embert körülvevő, létünket meghatározó természettel. A bonyolultság e határokon belül is végtelen, nemcsak az emberek milliárdjainak egyéni különbözősége, hanem a bennünk és velünk lejátszódóknak végtelensége miatt is. Igyekszünk szerény és pragmatikus modellekkel becsülni, számíthatni.

---

Kulcsszavak: *tudomány, filozófia, bizonytalanság*

# A FORMÁLIS NYELVEK BONYOLULTSÁGÁRÓL

Csuhaj Varjú Erzsébet

a matematika tudomány kandidátusa, MTA Számítástechnikai  
és Automatizálási Kutatóintézet – csuhaj@sztaki.hu

## Bevezetés

A jelenkori számítástudomány művelői igen gyakran találkoznak a *bonyolultság* (összetettség) fogalmával, azaz sűrűn szembesülnek azzal a problémával, hogyan lehet megkülönböztetni struktúrákat vagy eljárásokat összetevőik, és azok egymáshoz való viszonyának átláthatósága szerint. Bár első látásra úgy tűnik, az emberek különbséget tudnak tenni bonyolult és egyszerű, illetve összetett és egyszerű között, mégis ha a fogalom pontos megfogalmazása iránt érdeklődünk, valószínűleg igen eltérő válaszokat kapunk. Ez azonban nem lehet meglepő számunkra, hiszen a bonyolultság és így az egyszerűség fogalma is mindig feltételez valamilyen viszonyítási alapot, azaz, csak arra tudunk válaszolni, hogy mihez viszonyítva, illetve milyen értelemben bonyolult vagy egyszerű valami.

Az elmúlt év során Roska Tamás professzor úr egy szemináriumsorozat keretében arra kérte több tudományág képviselőit, hogy ismertessenek meg a hallgatósággal a bonyolultság fogalmának szakterületük által adott megközelítései közül néhány általuk kiemelkedően fontosnak talált fogalmat. Aból indult ki, hogy az egyes tudományterületek által használt fogalmak megismerése inspirálólághatathat új, az eddigiektől eltérő szempontok alapján megközelített bonyolultsági fogalmak kialakításához, ami további eszközöket adhat kezünkbe struktúrák, eljárások vagy jelenségek természetének pontosabb megértéséhez. Számomra rendkívül megtisztelő módon mint előadó meghívást

kaptam erre a szemináriumsorozatra. Az alábbiakban néhány gondolatot szeretnék az olvasóval megosztani a bonyolultság fogalmának bizonyos aspektusairól kutatási területéről, a *formális nyelvek elméletéből*.

## Szintaktikai bonyolultság

A *formális nyelvek elmélete* a számítástudomány egyik legrégebbi ága, amely elsősorban *szimbólumsorozatok halmazainak*, azaz formális nyelveknek leírásával, jellemzésével foglalkozik. Ezen sorozatok – amelyeket *szavaknak* is nevezhetünk – objektumok, események vagy jelenségek leírására, megjelenítésére szolgálnak. Így formális nyelvek segítségével lejegyezhetjük egymást követő, de egymástól jól elkülöníthető események sorozatait, vagy előírhatjuk egy számítógépes eljárást egymás után végrehajtandó lépéseit. De formális nyelvek tekinthetjük egy, a számítógéppel folytatott párbeszéd írásban, a képernyőn megjelenített mondatait is.

A formális nyelvek elmélete több tudományterületben gyökerezik. Ilyen terület például a természetes nyelvek nyelvtanának formális modellezése, az ideghálózatok viselkedésének matematikai eszközökkel való leírása vagy a kiszámítások elmélete, ugyanis egy kiszámítási modell erejét jellemezhetjük az általa előállított vagy elfogadott nyelvek által.

Bár elvben a formális nyelv képzésének alapjául szolgáló szimbólumok halmaza (tárháza), azaz a nyelv ábécéje végtelen nagy lehet, az elmélet mégis elsősorban a szemléletünkhöz közelebb álló, véges számú szimbólumból képzett szavak halmazaival

foglalkozik. Nem jelenti viszont ez azt, hogy maguk a tanulmányozott nyelvek véges számú szóból állnának.

Természetes törekvésünk az, hogy ha valamilyen formális módon meghatározzuk egy formális nyelv szavait, akkor ez a leírás vagy meghatározás lehetőleg egyszerű, tömör és áttekinthető legyen. Míg véges számú szóból álló nyelvek esetén, ha más megoldást nem találunk, végső esetben felsoroljuk a nyelvet alkotó szavakat, a végtelen sok szót magába foglaló nyelvek esetében nyilvánvalóan más eljárást célszerű választanunk.

A formális nyelvek leírásának egyik módja az, hogy a formális nyelv szavait egy véges számú szóból álló nyelv segítségével határozzuk meg, amely nyelv szavai pontos útmutatásokat adnak arra vonatkozóan, hogy bizonyos kezdeti szóból vagy szavakból kiindulva hogyan állíthatjuk elő az általunk leírni kívánt formális nyelv szavait és csak azokat. Az ilyen véges nyelveket általánosított értelemben vett *grammatikáknak* vagy nyelvprocesszoroknak nevezzük. A grammatikának mint véges nyelvnek a szavait (általánosított értelemben vett) szabályoknak hívjuk. Így a grammatika tulajdonképpen nem egyéb, mint a nyelv szavainak előállítására vonatkozó szintaktikai szabályok, előírások összessége.

Ezek a leírások, ezek a grammatikák egyszerűs mind a *formális nyelvek bonyolultságának fokmérői* is lehetnek, hiszen például formai- és mérettulajdonságaik alapján osztályozhatók, amely osztályok a grammatikák által meghatározott nyelvek osztályozását is maguk után vonják. Ennek megfelelően, egy bizonyos rögzített szempontú osztályozás szerint egy adott grammatikaosztályt határozottan bonyolultabbnak nevezhetünk egy másiknál, ha minden nyelv, amely a másik grammatikaosztályba tartozó grammatikával előállítható, előállítható az általunk tekintett grammatikaosztály valamelyik tagjával is, valamint a kiindulási osztály legalább egyik grammatikája meghatároz egy olyan nyelvet,

amelyre nem találunk leírást a másik grammatikaosztály elemei között. Meg kell hogy jegyezzük: ezen típusú osztályozásokon kívül a formális nyelvek számos más szempontból, más elvek alapján is osztályozhatók; az érdeklődő olvasó többféle megközelítésre talál például a *Handbook of Formal Languages* összefoglaló munkában (Rozenberg, Salomaa, 1997). A generáló, azaz a formális nyelveket leíró grammatikák szintaktikai (formai) jellemzői és mérettulajdonságai alapján kialakított bonyolultsági mértékekkel és fogalmakkal a *szintaktikai bonyolultság* elmélete foglalkozik, azzal a céllal, hogy rávilágítson, hogy az egyes nyelvek és nyelvosztályok strukturálisan mennyire egyszerű, méreteiben mennyire takarékos leírásokkal határozhatók meg.

Hogy világosabb képet nyerjünk a formális nyelv és az őt leíró (generáló vagy létrehozó) grammatika viszonyáról, lássunk egy példát. A számítástudományban, a formális nyelvek elméletében jártas olvasók számára megjegyzem, hogy a példa ismertetése során eltekintünk a teljes matematikai pontosság igényétől, csak a fogalmak lényegének megvilágítására törekszünk

Tegyük fel, hogy formális leírást szeretnénk találni arra a nyelvre, amelynek szavait  $a^n b^m$  alakú szavak alkotják, azaz olyan szavak, ahol bizonyos számú ( $n$ ), de legalább egy  $a$  betűt bizonyos számú ( $m$ ), de legalább egy  $b$  betűt követ. (Az  $a$  és a  $b$  betűk például jelölhetik két különböző esemény bekövetkezését.) Ebben az esetben egy alkalmas formális leírást, egy grammatikát alkothatnak a következő szabályok:  $S \rightarrow aS$ ,  $S \rightarrow b$ ,  $S \rightarrow bX$ ,  $X \rightarrow bX$ ,  $X \rightarrow b$ , ahol a nyíl ( $\rightarrow$ ) szimbólum arra utal, hogy a nyíl bal oldalán álló szimbólumot kicserélhetjük a nyíl jobb oldalán levő szimbólumsorozatra. A nyelv szavait úgy kapjuk meg, hogy kiindulunk az  $S$  szimbólumból, majd a szabályok alkalmazásával a kicserélhető szimbólumokat, azaz az  $S$  és az  $X$  betűket addig cseréljük, amíg további cseréje lehetősége nem áll fenn.

Megfigyelhetjük, hogy a fenti esetben, ha egy szabály alkalmazása további cserét tesz lehetővé, akkor ez a lehetőség mindig csak egy szimbólumra áll fenn, és ez a szimbólum a nyíl jobb oldalán elhelyezkedő két betűből álló sorozat utolsó betűje, amelyet egy tovább nem cserélhető szimbólum előz meg. Az ilyen szabályokkal rendelkező grammatikákat *reguláris grammatikáknak* nevezzük. Ha azonban olyan sorozatokat szeretnénk előállítani, amelyek alakja  $a^n b^n$ , azaz a sorozatban egyenlő számú  $a$  és  $b$  betű található, akkor sohasem találhatunk olyan grammatikát, amely a megelőző feltételeknek elegendő tesz, azaz, reguláris. Viszont továbbra is fennáll, hogy az  $a^n b^n$  alakú szavak előállítása lehetséges olyan szabályokkal, amelyek egy szimbólum kicserélhetőségét jelzik. Ilyen grammatika például az  $S \rightarrow ab$ ,  $S \rightarrow aSb$  szabályok által alkotott véges nyelv. Mondhatjuk-e a fentiek alapján, hogy a második grammatika bonyolultabb, mint az első? Ilyen állítást általánosságban nyilvánvalóan nem tehetünk. Csak azt tudjuk mondani, hogy az  $a^n b^n$  nyelvet előállító grammatikák nem reguláris grammatikák, és a szabályok alakja szerinti, fenti osztályozás alapján határozottan nagyobb bonyolultsági osztályhoz tartoznak, mint a reguláris grammatikák osztálya. Ezen fenti típusú, egy szimbólum kicserélését előíró grammatikák osztálya a *környezetfüggetlen grammatikák* osztálya, és ismeretes, hogy minden reguláris grammatika által leírt nyelv leírható környezetfüggetlen grammatikával, viszont fordítva nem áll fenn az állítás. (A környezetfüggetlen szó arra utal, hogy a megjelölt szimbólum függetlenül szimbólumkörnyezetétől kicserélhető tetszőleges szóban.) Nyilvánvaló azonban, hogy minden reguláris grammatika egyben környezetfüggetlen grammatika is.

Tovább nehezedne a helyzetünk, ha még bonyolultabb betűsorozatokat szeretnénk leírni. Az  $a^n b^n c^n$  alakú szimbólumsorozatok leírásához már nem lennének elégségesek

olyan szabályok, amelyek egyetlen szimbólum kicserélését írnák elő. Ebben az esetben csak úgy jutnánk eredményre, ha szabályaink között lennének olyanok, amelyek legalább két egymást követő szimbólum kicserélésére vonatkoznának, azaz a kicserélhető szimbólumok függenének szimbólumkörnyezetüktől. Az ilyen alakú szabályokkal rendelkező grammatikák osztálya ismét határozottan bonyolultabb a környezetfüggetlen grammatikák osztályánál, hiszen az általuk meghatározott nyelvek osztálya ténylegesen bővebb a környezetfüggetlen nyelvek osztályánál. A fenti típusú osztályozás az alapja a formális nyelvek klasszikus osztályozásának, az ún. Chomsky-féle hierarchiának. Mi adta ezen osztályozás alapját? Az egyes grammatikákat formai jegyek alapján soroltuk osztályokba, hiszen a szabályokban szereplő nyíl szimbólum bal és jobb oldalán szereplő szimbólumokat vettük megfigyelés alá. A formai jegyek alapján történő osztályozás számos esetben különböző kiszámítási modellek osztályainak azonosításához vezet. Így például a mondatformájú – azaz a nem feltétlenül egy, de legalább egy szimbólumból álló szimbólumsorozat kicserélését lehetővé tevő – grammatikák a Turing-gépek által felismerhető nyelvek osztályát, míg a reguláris grammatikák a véges automaták által elfogadott nyelvek osztályát írják le.

Vajon elégségesek-e a formális nyelveket leíró grammatikák szintaktikai bonyolultság szerinti osztályozásához az előbb tárgyalt esethez hasonló formai jegyek? Nem kellene-e olyan paramétereket is figyelembe vennünk, mint a kicserélhető szimbólumok száma, a szabályok száma, a szabályokat leíró sorozatok elemeinek száma, azaz a szabályok hossza vagy magának a grammatikának a leírásához szükséges szimbólumok száma? Melyik grammatikát tekintjük összetettebbnek, bonyolultabbnak, azt, amelyik reguláris, de ötezer szabályból áll, vagy egy olyat, amely nem reguláris, nem környezetfügget-

len, de csak harminckét szabálya van, igaz, hogy azok bal és jobb oldala kellően komplikált sorozat. Ez a kérdés önmagában nyilvánvalóan nem válaszolható meg.

Ilyen és hasonló problémákkal a *méretbonyolultság* elmélete foglalkozik, amely többek között arra keres választ, hogy mennyire tömören írható le egy adott nyelvosztályba tartozó nyelv egy adott osztályba tartozó grammatikákkal, milyen méretparaméterekkel kell a leíró grammatikáknak rendelkezniük. Kérdés az is, hogyan viselkednek ezen méretparaméterek egy-egy nyelvosztály adott grammatikaosztály szerinti leírásai esetében, vajon korlátozható-e valamely természetes számmal a nyelvosztálybeli nyelvek adott típusú leírásainak adott méretparamétere vagy sem.

Ismeretes például, hogy minden  $k$  természetes számra van olyan környezetfüggetlen grammatikákkal leírható nyelv, hogy az adott nyelvet leíró minden környezetfüggetlen grammatika legalább  $k$  különböző kicserélhető szimbólumot tartalmaz, míg ha mondatformájú grammatikákkal írjuk le a nyelvet, akkor létezik olyan leírás, amelyben összesen  $0$  olyan különböző, önmagában vagy más szimbólummal együtt kicserélhető szimbólum fordul elő, amelyek mindegyike különbözik a nyelv szavait alkotó szimbólumoktól. Így, ha csak a kicserélhető szimbólumok számát tekintjük a bonyolultság mértékének, akkor nyugodtan mondhatjuk, hogy mondatformájú grammatikákkal tömörebben tudjuk leírni a környezetfüggetlen nyelveket, mint környezetfüggetlen grammatikákkal, hiszen minden nyelv esetében találtunk egy (bizonyos szempontból) korlátozott méretű leírást. Természetesen ez nem jelenti, hogy ez a tömör leírás minden szempontból automatikusan kevésbé bonyolult, mint a megelőző.

Számos esetben a méret korlátozott volta ellensúlyozza a leírás formai, alaki bonyolultságából vagy a működés viszonylagos bonyolultságából származó hátrányait. Azon-

ban fennáll a mindennapi szemléletünknek megfelelő állítás is, hogy ami méretében nagy, nem feltétlenül bonyolult szerkezetében és struktúrájában, továbbá egy leírás rövid volta nem feltétlenül vonja maga után annak egyszerűségét.

Az olvasó joggal kérdezheti, miért foglalkozunk egyáltalán a formális nyelvek leírásainak méretproblémáival, miért érdekesek a leírások strukturális és formai vonatkozásai. Ha a formális nyelveket mint számítógépes eljárások megjelenítését tekintjük, van-e egyáltalán a mai korban, amikor rendkívül gyors, nagy kapacitású gépek léteznek, annak jelentősége, hogy mennyire nagy és formailag bonyolult egy grammatika? Azt mondhatjuk, hogy ezen vizsgálatok jelentősége abban áll, hogy rögzített eszköztípus esetén megpróbálja körülhatárolni lehetőségeinket abban az esetben, ha kizárólag korlátos erőforrások állnak rendelkezésünkre (korlátozott méret, formai megkötések), és egyúttal választ keres arra is, hogy melyek azok az esetek, amikor elvben számolhatunk a tetszőlegesen nagy erőforrást (méret vagy egyéb paraméter) igénylő eszköz szükségességével. Többek között olyan kérdésekre kapunk választ, hogy vajon mennyire egyszerűen és méreteiben mennyire takarékosan írhatók le bizonyos kiszámítási erejű eszközök, milyen formai és méretbeli sajátosságokkal kell rendelkezniük bizonyos típusú feladatok megoldására alkalmas programnyelvek szintaxisainak.

### *Kollektív szintaktikai bonyolultság*

Az utóbbi két és fél évtized a számítástudomány, az informatika hihetetlen mérvű fejlődését hozta magával. Többek között nagy átörést jelentett a számítógép-hálózatok megjelenése, amely lehetővé tette, hogy fizikailag egymástól távol levő emberek (vagy gépek, szoftverek) egymással együttműködve, egymással információt cserélve közösen végezzenek el feladatokat, oldjanak meg problémá-

kat. Ez a lehetőség értelemszerűen maga után vonta annak a kérdésnek a felvetését, hogy milyenek legyenek azok a programnyelvek, azok a szoftverek, amelyek ezen tevékenységek támogatására szolgálnak. Hogyan is lehet és hogyan kell egy ilyen célra megfelelő nyelvet megtervezni? Hány és milyen szabályból kellene egy ilyen nyelv szintaxisának (grammatikájának) állnia, milyen elvek szerint kellene működnie? Mennyire bonyolult programnyelv lenne képes ily jelentős számú együttműködő fél munkáját támogatni, leírni? Ilyen nyelvek tervezése esetén az lenne-e a célravezető eljárás, ha egy összetett, kifinomult struktúrát hozunk létre, amely működésével képesek vagyunk egészében követni és leírni a hálózat egyes csúcspontjaiban végbemenő tevékenységeket, vagy inkább valami más utat kellene választanunk?

Az előbbi megközelítés alternatívája lehet, ha nem *egy komplex, a leírt követelmények egészének eleget tevő grammatika létrehozására törekszünk, hanem inkább több, viselkedésében és a leírás módjában egyszerű grammatikából hozunk létre egy együtttestet*, előírjuk ezen grammatikák együttműködésének módját, és a *nyelvet ezen együttműködő (kooperáló) és egymással információt cserélő (kommunikáló) grammatikák közös tevékenysége révén határozzuk meg*. Ez a gondolat több szempontból is létjogosult. Gondoljunk csak a természetes nyelvek esetére: senki sincs a nyelv egészének birtokában, viszont a magyarul beszélő vagy valamikor élt, magyarul beszélő emberek együttes nyelvhasználata adja számunkra a magyar nyelvet. De ha csak a gyakorlati élethez fordulunk példáulért, elmondhatjuk, hogy bonyolult funkciókra képes gépek komplikált működési eljárásainak tanulmányozása helyett szívesebben olvasunk olyan leírásokat, hogyan lehet megoldani egy-egy előttünk álló, kellően összetett feladatot néhány nagyon egyszerű, mindössze pár funkcióra képes gép együttes működtetésével.

Azt a gondolatkört, hogy a *formális nyelv meghatározása egyedi grammatikák helyett együttműködő (kooperáló) és egymással információt cserélő (kommunikáló) grammatikák együttese által történjen*, a szerző és társszerzője indította el (Csuhan-Varjú, Dassow, 1990), amely gondolatkör kiindulópontjául szolgált a formális nyelvek azon részterületének, amely azóta *grammatikarendszerek* néven a *formális nyelv osztott és kooperatív modelljeinek* elméletévé vált. (Az érdeklődő olvasó információkat talál a területről a <http://www.sztaki.hu/mms/bib.html> weboldalon, a (Csuhan-Varjú et al., 1994) monográfiában és a (Dassow et al, 1997) összefoglaló tanulmányban.) Minthogy a grammatikák egyben kiszámítási eszközöknek is tekinthetők, az elmélet arra keres és ad választ, hogy milyen kiszámítási erő érhető el szintaktikai (formai) leírásuk szerint nagyon egyszerű, önmagukban kis kiszámítási erejű eszközök viszonylag *laza– esetenként kibontakozó – együttműködése* eredményeként.

A szintaktikai bonyolultság szempontjából a grammatikarendszerek területén végzett kutatások arra irányulnak, hogy feltárják, mennyire egyszerűsíthetők a formális nyelvek grammatikai eszközeikkel való leírásai, ha a nyelvet nem feltétlenül egy, hanem esetlegesen egymél több grammatika viszonylatában határozzuk meg. Különös figyelmet érdemelnek azok a *nyelvek, amelyek nagyon egyszerű, bizonyos értelemben korlátozott szintaktikai bonyolultságú (például korlátozott méretű) grammatikák együttműködésének eredményei*.

Az olvasó könnyen arra a gondolatra juthat, hogy lehet, hogy adott esetben az egyes grammatikákat rendkívül egyszerűeknek és méreteikben erősen korlátozottnak tudjuk választani, de vajon nagy együttes hatékonyságuk, kiszámítási erejük nem együttműködésük bonyolult protokolljának eredménye-e? Ebben az esetben, ugyanis, amit nyertünk a révén, elveszítjük a vámon.

A grammatikarendszerek elméletében elért eredmények számos esetben rácafoltak ezen feltételezésekre, és igazolták, hogy viszonylag *egyszerű* (adott esetben rendkívül egyszerű), bizonyos *méretparamétereiben korlátozott méretű grammatikák rendszerei* viszonylag egyszerű *együttműködési protokoll* mellett is igen *nagy kiszámítási erejű eszközök*ek határoztak meg, így alkalmasak voltak (a Chomsky-féle hierarchiában elfoglalt helyük szerint) *nagyon bonyolult nyelv-osztályok* leírására. Így például minden rekurzíven felsorolható nyelv (a Turing-gépek által felismert nyelvek) leírható olyan környezetfüggetlen grammatikák együtteseinek segítségével, ahol minden grammatika legfeljebb hét szabályból áll, és leírására nincs szükségünk huszonnégy szimbólumnál többre (Csuhaj-Varjú, Vaszil, 2002). Ezen grammatikák működésük során egy nagyon egyszerű, a dinamikusan felmerülő igények szerinti információcserét hajtanak végre. Sőt mi több, a grammatikák formai megjelenése is rendkívül hasonló, alig egy-két szabályban különböznek. Mit jelent ez az eredmény? Mivel ismeretes, hogy pusztán környezetfüggetlen grammatikák segítségével nem tudunk minden rekurzíven felsorolható nyelvet leírni, az eredmény azt jelzi, hogy *bizonyos funkciók kiválthatók a kooperáció és a kommunikáció által, ami a leírás nagymértékű egyszerűsödéséhez vezethet.*

Visszatérve a környezetfüggetlen grammatikák előző típusú rendszereihez, ha nem az egyes grammatikák méretét korlátozzuk, hanem az együttműködésben részt vevő felek számát, hasonló eredményre jutunk. Így fennáll, hogy a már a legfeljebb tizenegy grammatikából álló együttesek is a maximális, azaz a mondatformájú grammatikákkal (a Turing-gépekkel) azonos nyelveirő erő képviselnek (Csuhaj-Varjú, Vaszil, 1999). (Ebben az esetben azonban a grammatikák méretére nem tudunk általánosan érvényes korlátot állítani.) Bizonyos, a kooperáció és

kommunikáció az előbbiektől eltérő típusú szervezési elve esetén még az is fennáll, hogy bármely rekurzíven felsorolható nyelv előáll három reguláris grammatika (három véges automata) közös munkájának eredményeként, ahol az információcsere véges automatákkal elfogadható nyelvek szavainak közvetítését jelenti (Ilie, Salomaa, 1998). Azaz minden, ami kiszámolható, kiszámolható reguláris grammatikák kis létszámú közöségének rendkívül egyszerű protokollon alapuló munkája révén.

Ezek az eredmények jól tükrözik, hogy rendkívül egyszerű, esetenként korlátozott méretű nyelveirő eszközök kollektív nyelveirő képessége rendkívül nagy lehet, azaz olyan nyelvek, amelyeknek egyedi grammatikák segítségével való leírásához nagy bonyolultságú eszközökre van szükség – természetesen mindig feltételezve egy adott (bonyolultságú) grammatikaosztályt mint viszonyítási alapot –, egyszerű eszközök segítségével és tömören írhatók le grammatikák rendszereinek segítségével.

Érdeemes tehát olyan, a formális nyelvek *szintaktikai bonyolultságára vonatkozó fogalmakkal* és az ezekből származó *bonyolultság mértékeivel* foglalkoznunk, amelyek *grammatikák kollektív nyelveirő erején nyugodnak*, azaz a nyelv előállíthatóságát vizsgálják grammatikák kollektív viselkedése alapján. Természetes, ebben az esetben a grammatikák együttműködési és információcsereire vonatkozó protokollja nem hagyható figyelmen kívül.

A formális nyelveknek grammatikák együttese által való leírása megfelel a jelenkori számítástudományban észlelhető szemléletbeli változásnak, amely a kiszámítást nem kiszámítási lépések sorozataként, hanem kiszámítási eszközök interakciónak eredményeként tekinti.

A *grammatikák kollektív viselkedése*, kollektív bonyolultságuk mértékének megismerése így nemcsak ahhoz járul hozzá,

hogy pontosabban megismerjük a kiszámítások fogalmának lényegét és sajátosságait, hanem többek között *szintaktikai eszközöket ad kezünkbe a kooperatív és osztott rendszerek természetének jobb megértéséhez, viselkedésük leírásához, kiszámításához, és ezáltal lehetővé teheti a hagyományostól eltérő kiszámítási (programozási) elvek kialakítását is.* Ugyancsak új szempontokat, módszereket nyújthat például a természetes nyelvek számítógépes feldolgozásához, használatuk számítógépes vonatkozásainak kidolgozásához, különös tekintettel a többnyelvű környezetekre.

### *Természet- motivált szintaktikai bonyolultság*

Mindeddig főleg olyan leírásokkal foglalkoztunk, amelyek szabályai a formális nyelvet szimbólumoknak szimbólumokkal vagy azok sorozataival való helyettesítése (kicserélése) alapján határozták meg. Természetesen adódik az a gondolat, hogy vajon az, hogy a grammatika működése során alkalmazott művelet szimbólumok vagy szimbólumsorozatokat helyettesítése, mennyiben meghatározója a szintaktikai bonyolultságnak, és mennyiben járul hozzá a grammatika mint leírás más bonyolultsági paramétereinek alakulásához. Mit tekinthetünk bizonyos értelemben *természetes művelet*nek a grammatikák fogalmának megalkotásakor? Milyen lehet egy *természetes leírás*? Mindennapi szemléletünk szerint a szimbólumok vagy szimbólumsorozatok beszúrása, törlése éppúgy természetesen adódó művelet, mint kicserélésük, hiszen gondoljunk csak szövegek szerkesztésére, gondolataink írásban való megfogalmazására. De számos esetben ugyancsak ez történik programok, algoritmusok tervezése, leírása során is.

Annak ellenére, hogy a beszúrás, törlés vagy akár a megismétlés fogalmakra épített grammatikafogalom messzemenően természetesnek tűnik, előtérbe mégis csak az

utóbbi években került a *természet-motivált, biológiai indíttatású kiszámítási modellek* megjelenésével, ezen műveletek ugyanis genetikai motivációjú műveleteknek is tekinthetők. A természet-motivált műveletekre épített formális nyelvi kutatások különösen nagy lendületet kaptak a *DNS-kiszámítás* tudományágának megjelenésével.

Ismeretes, hogy annak igénye, hogy igen nagy mennyiségű információt rendkívül gyorsan, hatékonyan és megbízhatóan osztott módon lehessen feldolgozni, illetve hogy bizonyos, a természetben vagy a társadalomban megnyilvánuló jelenségeket számítógépek segítségével megjeleníteni és tanulmányozni lehessen, arra ösztönözte a kutatókat, hogy olyan kiszámítási elveket munkáljanak ki, amelyek bizonyos szempontokból utánozzák a természetben (a társadalomban) lezajló folyamatokat, remélve, hogy az így nyert tapasztalatok új típusú, még hatékonyabb kiszámítási elvekhez vezetnek. Ezek a gondolatok a formális nyelvek tudományágát sem hagyták érintetlen.

1994-ben Leonard Adleman kémcsőben, DNS-szálakon végzett manipuláció segítségével viszonylag rövid idő alatt eredményesen demonstrálta egy olyan matematikai (gráfelméleti) probléma megoldásának lehetőségét, amelynek megoldása a hagyományos elveken működő elektronikus számítógépek esetében számunkra, reális idő alatt nem lenne kivitelezhető. Minthogy a DNS-szálak szimbólumsorozatoknak feleltethetők meg, azonnal intenzív kutatások indultak meg abban az irányban, hogy vajon *formális nyelveket* le lehet-e írni, és ha igen, hogyan, olyan nyelvmeghatározó eszközök, azaz *grammatikák* segítségével, amelyek a nyelv szavainak képzésekor a *DNS-szálak viselkedését* utánozzák, illetve azok tulajdonságaira építenek. Ha igen, akkor nemcsak a formális nyelvek leírásához nyerünk a hagyományostól eltérő eszközöket, hanem új elveken alapuló kiszámítási eszközökhöz is jutunk.

A DNS-kiszámítás formális nyelvi modelljei rendkívül érdekes eredményekhez vezettek. Egyrészt, a DNS-szálak viselkedését utánozó műveletre alapozott grammatikák több osztályáról, illetve grammatikák együtteseinek osztályairól bebizonyosodott, hogy leíró erejüket tekintve a Turing-gépekkel egyenlő erejű eszközök. Azaz minden olyan kiszámítási eljárás, amely elvégezhető az elektronikus számítógéppel, elvben elvégezhető DNS szálak manipulációjára épített eszközök segítségével is. Sőt, számos esetben a klasszikus méretbonyolultsági fogalmak szerint az új leírások rendkívül tömörnek is bizonyultak. (Az érdeklődő olvasó figyelmébe ajánljuk a (Paun et al., 1998) monográfiát, amely sok érdekes információval szolgál a fenti területeken végzett kutatásokról.)

Az elért eredmények és elvégzett kutatások nemcsak arra ösztönözhetnek bennünket, hogy további biológiai indíttatású vagy egyéb, természet-motivált grammatikafogalmakat munkáljunk ki, hanem arra is, hogy olyan *bonyolultsági fogalmakat* hozzunk létre, amelyek *grammatikák és az általuk meghatározott nyelvek* fenti értelemben vett *természetességének* fokmérői, azaz arra utalnak, mennyiben tekinthető egy grammatika egy természetes, biológiai objektum vagy struktúra szintaktikai modelljének, illetve a grammatika által meghatározott nyelv mennyiben tekinthető egy természetes objektum viselkedése vagy annak viselkedése során előfor-

duló jelenség szimbolikus leírásának. Ismeretes, hogy például a DNS-szálak négy szimbólumból képzett sorozatokkal írhatók le, így a négy szimbólum mint ábécé felett értelmezett sorozatok halmazai, azaz a négybetűs ábécé feletti nyelvek tanulmányozása során nemcsak a formális nyelvek hagyományosan vizsgált jellemzőit, hanem olyan tulajdonságait is vizsgálhatjuk, amelyek eddig nem kerültek az érdeklődés előterébe.

### Zárómegjegyzések

A formális nyelvet meghatározó nyelvleíró eszközök fogalma – mint a fentiekből is láthatuk – lényeges új elemekkel bővült, általánosabb érvényűvé vált az elmúlt két évtized során. Így például új, bővebb értelmet nyert a hagyományos szabály fogalma, de tanúi lehettünk nyelvek grammatikákkal való leírása helyett nyelvek grammatikarendszerekkel, azaz grammatikák együtteseivel történő leírásának is. Mindez maga után vonja a szintaktikai bonyolultság fogalmának változását, kiterjesztését is. A szintaktikai bonyolultság területén végzett és a jövőben végzendő kutatások pedig segítenek bennünket, hogy pontosabban megértsük a szimbolikus leírások lehetőségeinek határait, a forma és a méret szerepét ezen lehetőségek alakításában.

Kulcsszavak: *formális nyelvek, szintaktikai bonyolultság, nem hagyományos kiszámítási modellek*

### IRODALOM

- Csuhaj-Varjú; Erzsébet – Dassow, Jürgen (1990): On Cooperating/Distributed Grammar Systems. *Journal of Information Processing and Cybernetics*. EIK **26**, 49-63.
- Csuhaj-Varjú; Erzsébet – Dassow, Jürgen – Kelemen, Jozef – Paun, Gheorghe (1994): *Grammar Systems. A Grammatical Approach to Distribution and Cooperation*. Gordon and Breach, Yverdon
- Csuhaj-Varjú; Erzsébet – Vaszil, György (1999): On the Computational Completeness of Context-Free Parallel Communicating Grammar Systems. *Theoretical Computer Science* **215**, 349-358.
- Csuhaj-Varjú Erzsébet – Vaszil György (2002): Parallel Communicating Grammar Systems with Bounded Resources. *Theoretical Computer Science* **276 (1-2)**, 205-219.
- Dassow, Jürgen – Paun, Gheorghe – Rozenberg, Grzegorz (1997): Grammar Systems. In: Rozenberg, Grzegorz – Salomaa, Arto (eds): *Handbook of Formal Languages*, Vol. II, Chapter 4: Springer, Berlin. 155-213.
- Ilie, Lucian – Salomaa, Arto (1998): 2-Testability and Relabelings Produce Everything. *Journal of Computer and Systems Sciences* **56**, 253-262.
- Paun, Gheorghe – Rozenberg, Grzegorz – Salomaa, Arto (1998): *DNA Computing: New Computing Paradigms*. Springer, Berlin
- Rozenberg, Grzegorz – Salomaa, Arto (eds) (1997): *Handbook of Formal Languages*, Springer, Berlin

# A TERMÉSZETES NYELVEK LEÍRÁSÁNAK BONYOLULTSÁGI KÉRDÉSEI

Prószéky Gábor

programtervező matematikus, a nyelvtudomány kandidátusa,  
ügyvezető igazgató, MorphoLogic

## 1. Természetes és formális nyelvek

A kérdés, hogy mitől *természetes* egy nyelv, általában úgy válaszolható meg, hogy: a természetes nyelvek azok, amelyeket nem a nyelvleíró definiál, hanem adottnak tekintetők, így a kutatónak egyetlen lehetőség marad: hogy nyelvtanokat – az eredeti objektumot formális eszközökkel jellemző rendszereket – hozzon hozzájuk létre.

A formális nyelvészet 1950-es évekbeli kialakulásával megjelent a kérdés: van-e formálisan kezelhető nyelvtanok a természetes nyelveknek, illetve hogy matematikailag egyáltalán formalizálhatók-e ezek a nyelvtanok? A ravaszabb kérdés persze az, hogy az ilyen modell-nyelvtanok által generált nyelvek tényleg a kiinduláshoz használt természetes nyelvek-e? Egy bizonyos: a természetes nyelvek tipikus osztályzásai mindmáig elsősorban aszerint történnek, hogy a természetes nyelvek leírásához készített nyelvtanok ún. gyenge generatív kapacitása milyen. Ez más szavakkal azt jelenti, hogy a különböző nyelvtanok által generált füzérhalmazok összehasonlítása melyik nyelvtant hozza ki „győztesnek”.

A bonyolultságelmélet a nyelvi modellek világának megismeréséhez is hozzájárult. Segítségével ki tudjuk mutatni a különféle modellekben a nyelvtani jelenségek számítógépes kezeléséhez szükséges idő- és helyigényeket. A bonyolultságelmélet segítségével lényegesen finomabban tudjuk kezelni az előzőleg csak a Chomsky-hier-

archia által definiált néhány osztályba sorolt természetes nyelvi grammatikamodelleket. A gyenge generatív kapacitáson alapuló osztályzás alapján sokan a feldolgozási bonyolultságra is következtetni véltek. A bonyolultságelmélettel kimutatható az egyes leírható formalizmusokban megbúvó nem várt komplexitás is, vagyis az, hogy egy Chomsky-hierarchiában egyszerűbbnek definiált gépezet nem feltétlen tudja garantálni a feldolgozásbeli hatékonyságot. Arról nem is beszélve, hogy ha már tudjuk, hogy mi okozza a bonyolultságot, lehet esélyünk arra is, hogy rájövünk, miképpen lehetne formalizmusunkat egyszerűbbé tenni.

## 2. Természetes nyelvek és nyelvtanaik

Chomsky híres, *Syntactic Structures*-beli definíciója a természetes nyelvről így hangzik: „*Nyelvnek tekintem a mondatok valamely (véges vagy végtelen) halmazát; minden egyes mondat véges hosszúságú és elemek véges halmazából épül fel. [...] Valamely Ny nyelv nyelvészeti elemzésének alapvető célja az, hogy a nyelvtanilag helyes sorozatokat, amelyek Ny mondatai, kiválasszuk a nyelvtanilag helytelen sorozatoktól, amelyek Ny-nek nem mondatai. [...] Ny nyelvtana ily módon olyan készülék lesz, amely Ny valamennyi nyelvtanilag helyes sorozatát létrehozza, azaz generálja, de nem generál egyetlen nyelvtanilag helytelen sem.*” (Chomsky, 1957). Ez a definíció az alábbi állításokra bontható szét:

1. Egy természetes nyelv valamifajta objektumok (ezeket szokás mondatoknak nevezni) egyfajta összessége.
2. Ez az összesség halmaz.
3. Minden mondat véges objektum.
4. A természetes nyelveknek véges építőelem-halmazuk (szótáruk) van.
5. Minden  $Ny$  nyelv leírható olyan eszközzel, mely felsorolja  $Ny$ -et. A természetes nyelvek esetében ezt a (véges) eszközt az  $Ny$  természetes nyelv nyelvtanának nevezzük.

Maga Chomsky a halmaz elemein operáló újrairó szabályok alakjára vonatkozó megkötések alapján létrehozta híres nyelvosztályait: a megszorítás nélküli, a környezetfüggetlen, a környezetfüggetlen és a reguláris nyelvek kategóriáit. A reguláris jellemzésről még ugyanebben a művében (Chomsky, 1957) kimutatta, hogy nem felel meg a természetes nyelvek leírására. A bizonyításhoz leggyakrabban használt önbeágyazás olyan természetes nyelvi jelenség ugyanis, mely magában hordja a reguláris nyelvtannal való jellemezhetetlenséget. Már csak az a kérdés, hogy a formális nyelvekben egyszerűen bemutatatható jelenség valóban megtalálható-e – és ha igen, milyen mértékben – a természetes nyelvekben? Ilyenkor természetesen a nyelv modelljének regularitásáról (és nem a természetes nyelv regularitásáról) beszélünk. A formális nyelvek világában könnyen találunk példát az önbeágyazásra: az  $S \rightarrow aSb$  és az  $S \rightarrow \epsilon$  szabályokból álló nyelvtan önbeágyazó módon hozza létre az  $L = a^n b^n$  formális nyelvet. Ugyanakkor a természetes nyelvben – mondjuk a magyarban – ugyanennek a jelenségnek egy

*„A barátom elment.”*

*„A barátom, akihez a szomszédja be szokott csöngetni, elment.”*

*„A barátom, akihez a szomszédja, aki-*

*nek kölcsönadtam egy százast, be szokott csöngetni, elment.”*

„...”

– megnyilatkozás-halmaz felelne meg, Igen ám, de már a harmadik mondat nem igazán érthető, és az is könnyen belátható, hogy tetszőleges méretű szövegtörzsetben keresve sem sok az esély, hogy találjunk ilyen szerkezetet. Márpedig csak ennek a szerkezetnek a kedvéért bevezetni a korlátlan mélységet biztosító végtelent meglehetősen nagy luxus, miközben az  $n=1$  és az  $n=2$  eseteken kívül ezt a jelenséget a természetes nyelvek nem használják. Chomsky itt az általa bevezetett híres kompetencia-performancia megkülönböztetésre hivatkozik, mondván, hogy az emberi információfeldolgozás fiziológiai–pszichikai esetlegességei nem tartoznak a formálisan jól jellemezhető kompetencia körébe. A kérdés már csak az, hogy a nyelvi kompetencia valóban az-e, amit a formális nyelvészet eszközeivel elegánsan tudunk modellálni.

Ha tehát a reguláris nyelvtanok nem eleendőek a természetes nyelvek leírásához, a környezetfüggetlenek bizonyára eleendőek lesznek hozzá, gondolhatnánk – ám ennek az elképzelésnek is megszülettek a természetes nyelvi példákkal való cáfolatai (Pullum, 1984; Shieber 1985a). Az egyik kedvelt érvelés a holland és a svájci-német nyelvre hivatkozik, amelyekben jól kimutathatók bizonyos nem-projektív (azaz: nem szabályosan, egymásba ágyazottan zárójelezhető) szerkezetek. Ezt egy, a magyarban is megtalálható jelenség, az ún. „rende”-szerkezet egy példáján mutatjuk be (lent):

Ennek a mondatnak az az érdekessége, hogy a három név-időpont argumentumpár csak nem-projektív fával írható le. Márpedig a környezetfüggetlen világban ennek a leírása nem lehetséges, amiből egyenesen követ-

*Dorka, Panni és Kristóf rendre 1988-ban, 1990-ben és 1997-ben születtek.*

kezik, hogy ha van ilyen természetes nyelv, akkor a természetes nyelvek általánosságban nem lehetnek környezetfüggetlenek.

Kérdés ezek után, hogy a természetes nyelvek környezetfüggők-e, és ha igen, mennyire? A modern nyelvészet sokféle megoldást kitalált a környezetfüggetlen nyelvtanok még jól kezelhető bonyolultságának fenntartására. Ravasz megoldások, sokszor ügyes, intellektuális trükkök jöttek létre, melyek a környezetfüggetlen nyelvtanok előnyös tulajdonságait voltak hivatva megtartani, immáron már a környezetfüggő nyelvek világában. Ezeket a rendszereket *mildly context-sensitive*-nek, azaz *enyhén környezetfüggő*-nek is nevezték.

Egy másik paradigma, a gyakorlati problémákkal gyakran szembesülő számítógépes nyelvészet a generatív nyelvészet kialakítása után hamar létrehozta a maga modelljeit. Ezek az elméleti nyelvészet modelljeitől elsősorban abban különböztek, hogy nem a megnyilatkozások előállítására, hanem a felismerésére koncentráltak. Itt a környezetfüggő modell átugrásával, a reguláris nyelveket leíró véges automaták általánosításán (a környezetfüggetlen nyelveket generáló rekurzív átmenethálón, az RTN-en) keresztül egyenesen a Turing-gépekkel tették ekvivalenssé modelljeiket, melyeket bővített átmenethálóknak (ATN) neveztek el (Woods, 1970). Ezek állapotátmeneteinek feltételei közé néhány – a nyelvfeldolgozó feladat megoldásához elengedhetetlennek tűnő – technikai műveletet is felvettek. A természetes nyelvek bonyolultságával kapcsolatos ismereteinkre e gépi modellek megjelenése nem volt, nem lehetett hatással.

Ha azonban visszatérünk az elméleti nyelvészet bonyolultsági problémáihoz, könnyen megérthetjük, hogy a Chomsky-modellek tanulmányozása kapcsán hamar megjelent két – egy nyelvészeti és egy matematikai jellegű – dilemma. A nyelvészeti probléma az volt, hogy sok általános nyelv-

észeti elv megragadására a Chomsky-hierarchia alapnyelvtanai nem alkalmasak. A természetes nyelvek objektumai (azaz például az ugyanazon szavakból álló kijelentő és kérdő mondatok) között „rokonságok” vannak. Chomsky első igazán jelentős nyelvészeti munkájában (Chomsky, 1957) megérezte azt az igényt, hogy ezeket a rokonsági relációkat ki kell valahogy fejteni. Bevezette tehát a transzformációt, és így a végtelen számú szabály lehetőségét: először transzformáció-családok formájában, amelyekből idővel csak egyetlen, ám gazdagon parameterezhető elem maradt: a híres „move  $\alpha$ ” szabály. Stanley Peters és Robert W. Ritchie később kimutatta, hogy a transzformációs nyelvtanok gyengén ekvivalensek a Turing-géppel (Peters, 1973).

Később megjelentek a további általánosításokat lehetővé tevő X-vonás (részletesen: Kornai, 1985), illetve a felszíni sorrendet a hierarchikus relációktól elválasztó ún. ID/LP (Pullum, 1976) nyelvtanok. Az eredeti generatív alapötlethez képest lényeges különbség a strukturált kategóriák, az ezekhez szükséges unifikációs műveletek és az őket kezelő szabályosztályok megjelenése. Ez utóbbiak segítségével – a nagy bonyolultságot magukban hordozó transzformációk nélkül is – kezelhetővé váltak olyan, mindig is nagyon kritikusnak számító jelenségek, mint a távoli függőségek (azaz: a mondaton belül széteső szerkezetek) vagy a korábban már említett nem-projektív konstrukciók. A fent jelzett matematikai probléma ugyanakkor Chomsky modelljeiben az volt, hogy a nyelvtanok generálta mondatthalmazok összehasonlításán alapuló gyenge generatív kapacitás nem tudta megragadni az *igazi* bonyolultságot.

Egy másik jelentős nyelvleírési felfogás, a kétszintes morfológia (Koskenniemi, 1983), mely a nyelvnek szóalaktanát, és nem elsősorban mondattanát célozza meg, olyan esz- közt ígér a nyelvésznek, mellyel az környezetfüggő nyelvtani jelenségeket írhat le, mi-

közben az így készült leírást elemzésre és generálásra használó eszköz formalizmusa megmarad a reguláris nyelvek szintjén. Ebben a rendszerben a lexikális és a felszíni szerkezetek között nincs köztes szint, és a szabályalkalmazás mikéntje – melyet kizárólag a formalizmus működtetésére szolgáló gépi háttémek, és nem a nyelvészeknek kell ismernie – garantálja a hatékony működést. Úgy tűnt, a gyakorlat igazolja is ezt, ám az egyszerűnek látszó nyelvi jelenségek kétszintes leírása néha meglepően bonyolult feladat. Ed Barton, Robert C. Berwick és Eric Sven Ristad, valamint mások is kimutatták, a bonyolultság itt sem a végső formalizmusban, hanem az azt készítő rendszerben rejlik (Barton, 1987).

### 3. Konstruktív és nem-konstruktív nyelvtanok

A nem-konstruktív nyelvtanok gondolata azt a kérdést járja körül, hogy ha feltesszük, hogy a természetes nyelv halmaz, akkor valóban modellálható-e rekurzív felsorolással? Mivel tudjuk, hogy létezik nem rekurzívan megszámlálható véges halmaz, csak egy olyan nyelvet kell keresnünk, melyre egy ilyen definíció ráillik. Vegyük például az egyetlen mondatból álló  $L = \{z: Füzér(z) \wedge (\forall V) (Fölött(z, V) \rightarrow V=x) \vee Hossz(z) = \aleph_0\}$  nyelvet. Ez a nyelv csak ilyen, nem-konstruktív nyelvtannal írható le. Ennek az a következménye, hogy ha a „Minden mondat véges objektum” Chomsky-axióma a fenti  $\aleph_0$  hossz miatt nem áll, akkor azzal a Chomsky-axiómával is probléma lesz, hogy „Ez az összesség halmaz”. Ennek igazolásához csak el kell játszani azzal a gondolattal, hogy valójában hány mondat is lehet egy természetes nyelvben. Vegyük ehhez a magyar nyelvet (amely zárt az alá- és a mellérendelésre), és jelöljük  $L$ -lel. Ekkor az  $S_0 = \{„Józsi boldog”, „tudom, hogy Józsi boldog”, „tudom, hogy tudom, hogy Józsi boldog”, \dots\}$  halmaz segítségével létrehozzuk az  $S_1$  halmazt az alábbiak szerint. Ha  $P(S_0)$  jelöli az  $S_0$  hatványhalmazát, akkor

minden  $P(S_0)$ -beli  $B$ -re legyen  $S_1$  a  $B$  összes mondatából álló mellérendelő összetétel halmaza:

$S_1 = \{„Józsi boldog”, „tudom, hogy Józsi boldog”, „tudom, hogy tudom, hogy Józsi boldog”, \dots; „Józsi boldog és tudom, hogy Józsi boldog”, „Józsi boldog és tudom, hogy tudom, hogy Józsi boldog”, \dots; „Józsi boldog, tudom, hogy Józsi boldog és tudom, hogy tudom, hogy Józsi boldog”, \dots\}$

Ekkor tehát – ahogy Georg Cantor tételéből tudjuk –  $S_0$  megszámlálható, de  $S_1$  nem. Ugyanakkor  $S_2, S_3$  stb. ugyanígy létrehozható, egyre növekvő számossággal, viszont minden ilyen  $S_i$  eleme  $L$ -nek, tehát: az  $L$  (magyar) nyelv mondatai nem rekurzívan felsorolhatók, azaz a természetes nyelvek nem írhatók le halmazokként. Ez az állítás pedig valóban ellentmond „A természetes nyelvi mondatok összessége halmaz” Chomsky-axiómának.

Egy másik megfigyelés a mondat hosszával kapcsolatosan gondolkodtathat el. Az alábbi (1) állításról intuitíve érezhető, hogy nem igaz, de hogy állunk (2)-vel?

- (1) Minden mondat kevesebb, mint  $k$  elemből áll. ( $k \in \mathbb{N}$ )
- (2) Minden mondat kevesebb, mint  $\aleph_0$  elemből áll.

Könnyen látható, hogy a fenti  $S_i$  halmaz mondatainak konjunkciójából előálló mondatra (2) nem igaz! Tehát – amint ezt D. Terence Langendoen és Paul M. Postal megmutatja – nem minden mondat véges, azaz ez a Chomsky-axióma nem tartható (Langendoen & Postal 1984).

Itt ismét jogosan tehető fel a kérdés: ez a modell valóban nehézségeket mutat, de fontos-e egy olyan modell mellett kitarítani a végsőkéig, mely magáról a tényleges természetes nyelvekről nem mond semmi „negatívát”, mindössze a formális megfogalmazás miatt kerül a definíció készítője nehéz helyzetbe. Intuitíve könnyen belátható, hogy az emberi nyelvek leírásához nincs szükség – mondjuk

– egy emberéletnél hosszabb mondatok kimondhatóságáról elgondolkoznunk.

#### 4. A bonyolultságelmélet a természetes nyelvekről

A bonyolultságelmélet egy adott természetes nyelvi modell esetében megmondhatja például, hogy mennyi ideig tarthat egy nyelvtani probléma feldolgozása, de meg tudja mondani azt is, ha például a véges állapotú automata használata mégsem garantálná a hatékony feldolgozhatóságot. Adott esetben a bonyolultságelmélet segít a párhuzamos alkalmazhatóság kérdését is körüljárni – párhuzamos gép megvásárlása nélkül. Egy formalizmusról végül is nemcsak azt szeretnénk megtudni, hogy mennyire bonyolult, hanem a bonyolultságelmélet segítségével esetleg azt is, hogy miért.

Az univerzális nyelvfelismerési probléma így hangzik: adott egy  $G$  nyelvtan (valamely nyelvtani formalizmusban meghatározva) és egy a  $\varphi$  füzér, mi pedig azt szeretnénk megtudni, hogy ez a  $\varphi$  füzér benne van-e a  $G$  által generált nyelvben. A természetes nyelvek esetében a különböző részszerkezetek egyeztetése (pl. alany–állítmány, számban, személyben) és a többértelműségek kezelése kiemelt jelentőséggel bír. Ez utóbbi különösen gyakori az angolban, hiszen az igék többsége főnévként is használatos, így szófajuk csak az adott környezetben válik egyértelművé.

Tegyük fel, azt szeretnénk megtudni, hogy egy olyan tetszőlegesen sok tagú összetett mondat nyelvtanilag helyes-e abban a nyelvben, melyben – az egyszerűség kedvéért – a helyességi kritérium annyi, hogy minden tagmondatban három szónak – és ezek közül legalább egynek igének – kell lennie. Legyen továbbá grammatikánkban egy olyan általános egyeztetési szabály, miszerint egy szó egy adott mondatban mindig ugyanolyan – de ha a szó végén az  $-s$  toldalék áll, akkor ellenkező – szófajú. Tehát ha átme-

netileg eltekintünk az „igazi” szófajoktól, tegyük fel a kérdést, hogy most leírt nyelvünkben grammatikus-e az „*attack bubbles carts, bubble cart duck, attack cart ducks and attacks bubble duck*” mondat? Vegyük észre, hogy az  $-s$  toldalékos szavak valójában toldaléktalan párjuk negáltjai, továbbá a tagmondatokon belül a szavak egyikének igének – azaz a szavak diszjunkciójának igaznak – kell lennie, és ennek a tagmondatok mindegyikében, tehát konjunkciójában így kell lenni. Átírva fenti problémánkat a logika nyelvére, láthatjuk, hogy nyelvünkben az ún. 3SAT probléma redukált esetével találkozunk:

$$(a \vee \neg b \vee \neg c) \wedge (b \vee c \vee d) \wedge (a \vee c \vee \neg d) \\ \wedge (\neg a \vee b \vee d)$$

A 3SAT probléma azt kérdezi, hogy tetszőleges Boole-formula betűihez létezik-e olyan igaz/hamis hozzárendelés, amire az egész kifejezés igaz. A megoldáshoz végig kell próbálnunk az összes lehetséges igazságérték-hozzárendelést és megnéznünk, kielégítik-e a formulát, azaz igaz-e az adott állításokkal az egész formula? Ez más szavakkal azt is jelentheti, hogy legrosszabb esetben az összes lehetséges hozzárendelést végig kell próbálnunk, ami  $n$  darab bináris változó esetén éppen  $2^n$  lehetséges igazságérték-hozzárendelés. Mivel a változók száma a formula hosszával arányos, a 3SAT probléma megoldása exponenciális időt igényel. Ha viszont a  $\neg c$  a fenti nyelvtani kérdés egy NP-teljes nyelvtani problémát fed. Az persze más lapra tartozik, hogy ez a kérdés egyáltalán felmerül-e a természetes nyelvek feldolgozásakor, és másik modellel esetleg az egész probléma megoldható.

A nyelvtani problémák időkomplexitási kérdései természetesen semmiben sem különböznek más problémákétól, mégis érdemes megmutatni, hogy a hatékony feldolgozási idő  $n$  elemből álló mondatokra miként különbözik. Az  $n^3$  és a  $2^n$  feldolgozási időt

leíró függvények  $n=10$  mellett azonos – 0,001 mp –, ugyanakkor  $n=50$  mellett polinomiális esetben 0,125 mp, exponenciális esetben 35,7 év feldolgozási időről szólnak, ugyanakkor  $n=100$  mellett a polinomiális eset kerek 1 mp idejével szemben az exponenciális eset több mint egymillió évet igényel.

A különböző nyelveleíró modellek bonyolultsága természetesen más és más. A hagyományos környezetfüggetlen grammatikák polinomiális időben feldolgozhatóak, ám mind a modern nyelvméletek, mind a humán nyelvtechnológiák komplexebb, elsősorban a szófaji kategóriák belső szerkezetét jobban leíró modellekkel dolgoznak. Ezek a formális nyelvészetben népszerűbb indexnyelvtanok (Koster, 1971), illetve a környezetfüggetlen vázú unifikációs nyelvtanok (Shieber, 1985b) és a modern nyelvészetben széles körben használt lexikális-funkcionális nyelvtanok (Kaplan, 1982) az NP-teljes kategóriába sorolódnak. Sőt, ebbe az osztályba tartozik a véges állapotú automatákat használó kétszintes morfológia is (Koskenniemi, 1983). Ez utóbbi null-elemeket is használó verziói már a PSPACE osztályba sorolódnak a hagyományos környezetfüggő grammatikákkal együtt. A transzformációs felismerés még a CS-felismerésnél is bonyolultabb (EXP), de a transzformációs nyelvtanok kiváltására létrejött ID/LP formalizmus (Pullum, 1976) – ahol a függőségi hierarchia és a szabálybeli elemek lineáris rendje különválasztva szerepel – az EXP-POLY bonyolultsági osztályban található.

### 5. Összefoglalás

A modern nyelvészet formális modelljeinek bonyolultsági leírása, mint láttuk, sokszor a természetes nyelvek leírásához nem feltétlenül szükséges, vagy esetleg kimondottan szükségtelen, sőt megkérdőjelezhetően létező jelenségek kezeléséről szól. Ugyanakkor a nyelvfeldolgozás valós problémáinak

megoldásához ezek az önmagukban komoly elméleti eredmények nem járulnak érdemben hozzá. Minden nyelvtechnológiai alkalmazás például – az emberi nyelvfeldolgozási képességek analógiájára – igényli a bővíthető, tehát az új tulajdonnevek, idegen szavak kezelését lehetővé tevő, azaz: nem zárt lexikon használatát. Erről semmit nem mondanak a formális közelítések, mert mind a Chomsky-axiómákból indulnak ki. Ha viszont a lexikon véges, de nem zárt összesség (azaz: létezhetnek nyílt osztályok is a lexikonban), akkor ellentmondunk Chomsky (1957) negyedik axiómájának. Természetesen a felsorolható – tehát hagyományosan kezelhető – osztályok, azaz a zárt kategóriák az így létrejövő nyelvtanok (nevezzük őket minimálnyelvtanoknak) egyik fontos elemét alkotnák, hiszen az olyan kategóriák nélkül, mint a segédigék, módosítószók, hangsúlyminták, nincs nyelvismeret. A minimálnyelvtan maga nem hoz létre elemeket, hanem leírja azokat – tehát nem-konstruktív nyelvtan, így nincs benne semmilyen dichotóm döntés a nyelvi elemekből képezhető objektumok mondat- illetve „nem-mondat”-osztályba tartozásáról.

A nyelvészeti konstrukciók természetesen csak akkor modellálhatók véges leírásokkal, ha a nyelv használatában oly sokszor jelentkező elv, az analógia kezelésére létezik valamiféle mechanizmus. A véges lexikonok fölötti véges sok véges hosszú objektum leírásához elég az ügyes szótárszerű tárolás, a rekurzióra csak az elemzési módszerekhez van szükség. Ha „száműzzük” a rekurziót, valamilyen eszköz azért kell, ami a véges listában nem szereplő – ritka, de teljes biztonsággal soha ki nem zárható – elemek kezelését biztosítja.

Az analógiás működéssel és hatalmas véges listával modellálható nyelv elemzési bonyolultsága viszont teljesen más problémákat kell hogy felvessen, mint amilyeneket a jól ismert formális nyelvek felismerési

bonyolultságának kezelésénél láttunk. A hagyományos lexikális kategóriák által hordozott ismeretek konfliktushelyzetben vagy nem használhatók, vagy redundánsak – harmadik eset nincs. Így egy efféle, egyelőre legfeljebb kialakulófélben levőnek nevezhető rendszer bonyolultságának meghatározásához talán az emberi nyelvfeldolgozásra

jellemzőbb mérő módszert lehet a közeljövőben találni, mint a természetes nyelvek leírásához manapság használt formális nyelvek matematikai bonyolultságát.

Kulcsszavak: *természetes nyelvi modellek, generatív grammatika, bonyolultság, formális nyelvek*

## IRODALOM

- Barton, G. Edward – Berwick, Robert C. – Ristad, Eric Sven (1987): *Computational Complexity and Natural Language*. MIT Press, Cambridge, Mass.
- Chomsky, Noam (1957): *Syntactic Structures*. Mouton, The Hague. [Magyarul: Chomsky, Noam: *Mondatnani szerkezetek – Nyelv és elme*. Osiris – Századvég, Budapest, 1995]
- Kaplan, Ronald M. – Bresnan, Joan (1980): Lexical-Functional Grammar: A Formal System for Grammatical Representation. In: Bresnan, Joan (ed.): *The Mental Representation of Grammatical Relations*. MIT Press, Cambridge/MA – London, 173–81.
- Van de Koot, Hans (1995): The Computational Complexity of Natural Language Recognition: A Tutorial Overview. *Lingua* 6, 49–83.
- Koskenniemi, Kimmo (1983): *Two-level Morphology: A General Computational Model for Word-Form Recognition and Production*. Publications No. 11, University of Helsinki, Helsinki
- Koster, Cornelis H. (1971): Affix Grammars. In: Peck, J. E. L. (ed.) *Algol 68 Implementation*. North-Holland, Amsterdam
- Kornai, András (1985): Natural Languages and the Chomsky Hierarchy. *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Conference of the European Chapter of the ACL*. Geneva, 1–6.
- Langendoen, D. Terence – Postal, Paul M. (1984): *The Vastness of Natural Languages*. Basil Blackwell, London
- Moore, Terence – Carling, Christine (1982): *Understanding Language: Towards a Post-Chomskyan Linguistics*. Macmillan Press, London
- Peters, Stanley – Ritchie, Robert W. (1973): On the Generative Power of the Transformational Grammars. *Information Science* (6), 49–83.
- Prószéky Gábor (1986): Review on Langendoen and Postal's "The Vastness of Natural Languages". *Studies in Language*. 10(2), 520–527.
- Prószéky Gábor (1989): *Számítógépes nyelvészet (Természetes nyelvek használata számítógépes rendszerekben)*. Számalk, Budapest
- Prószéky Gábor (1996): Morphological Analyzer as Syntactic Parser. *Proceedings of the 16<sup>th</sup> International Conference on Computational Linguistics (COLING-96)*. Copenhagen, 1123–1126.
- Pullum, Geoffrey K. (1976): Word Order Universals and Grammatical Relations. In: Cole, Peter & Sadock, Jerrold (eds.) *Syntax and Semantics* Vol. 8. Academic Press, New York, 249–277.
- Pullum, Geoffrey K. (1984): On Two Recent Attempts to Show that English is Not a CFL. *Computational Linguistics*. 10(3–4), 182–186.
- Shieber, Stuart M. (1985a): Evidence against Context-Freeness of Natural Language. *Linguistics & Philosophy*. 8(3), 333–343.
- Shieber, Stuart M. (1985b): Using Restriction to Extend Parsing Algorithms for Context-Free-Based Formalisms. *Proceedings of the 23<sup>rd</sup> Meeting of the ACL*. Chicago, 145–152.
- Woods, Williams A. (1970): Transition Network Grammars for Natural Language Analysis. *CACM* 13(10), 591–606.

# A BONYOLULTTÓL AZ EGYSZERŰ FELÉ (A MATEMATIKÁBAN)

Katona Gyula

az MTA rendes tagja, intézetigazgató,

MTA Rényi Alfréd Matematikai Kutató Intézet – ohkatona@renyi.hu

*Kedvesem! Hogy mondjam el Neked,  
mit érzek, ha Rád gondolok?  
A tenger millió apró szélcsendes recéje,  
vihargó, dübörgő, romboló hullámai  
mind végigsuhannak lelkemen.  
A virágzó rét szépsége,  
a sötét erdő rejtelméi,  
az égbe ugró sziklák izgalmai,  
érzelmeim tobzódásának  
csak piciny részét tükrözik.  
Szemedbe nézve egy csillag mögül  
millió másik bukkan elő,  
elmondhatatlan, kimondhatatlan,  
csak annyit sugok helyettük:  
Szeretlek! Talán megérted...*

*Ismeretlen költő,  
lengyelből fordította Zsolnyezs Gyula*

Az emberi gondolkodás talán legfontosabb vonulata a bonyolult felől az egyszerű felé törekszik. Pici unokám a cica után fut, és azt mondja: *Vau, vau*. Megalkotta a „négylábú emlősállat” fogalmát. Lehetetlen lenne felsorolni, elnevezni a rengeteg idetartozó állatfajt, annak különböző szintű, méretű egyedeit. A bonyolult, valódi helyzetet leegyszerűsítette *vaura*. Az absztrakció tehát általában lépés a bonyolulttól az egyszerű felé.

Az absztrakció egy következő, magasabb foka, amikor unokám rájön (neki ez már csak néhány év), hogy a vauk, autók és hasonlók halmazainak van egy-egy közös tulajdonságuk, hogy mennyi elemből állnak. Az új fo-

galmak az *egy, kettő, három, ...*, a természetes egész számok, és máris ott vagyunk a matematikánál.

A természettudós – amikor modellt alkot – hasonló utat követ. A természeti jelenség bonyolultságából próbálja kivenni a lényegét, ami már egyszerű, leírható, elmondható. Ha egy tárgy leesik, az bizony pörög, a légellenállás, sőt légörvények befolyásolják esését. Nagyon bonyolultakat csinál. A fizikus egyszerűsít, amikor elképzeli, hogy mindez légüres térben történik, konstans gravitációval. Természetesen az igazán hasznos modell a matematikai, amikor a modellben számolni is lehet, azaz egy további egyszerűsítés történik – a rendkívül bonyolult valóságot számokkal, függvényekkel írjuk le.

Miután megérkeztünk a matematikához, vizsgáljuk meg az egyszerűség-bonyolultság kérdését a matematikán belül. Még ott is gyakran lejátszódik a fenti példákban leírt absztrakció, ami a bonyolulttól az egyszerű felé megy. Ha például azt nézzük, hogy mi a közös a számok összeadásában, szorzásában, a geometriai transzformációk egymás utáni alkalmazásaiban és sok más hasonló jelenségben, akkor eljutunk az absztrakt *művelet* fogalmához, ha még azt is megfigyeljük, hogy a fenti fontos példákban a műveletek milyen tulajdonságokat elégítenek ki, akkor megkapjuk a *csoporthalmaz* fogalmát. A csoport tehát egy végtelentől leegyszerűsített közös általánosítása nagyon sok matematikai jelenségnek.

Egy matematikai elméleten belül a tételek játsszák a „egyszerű” szerepét. Egy szép mondás szerint (sajnos nem tudom, kitől származik, én Makkai Mihálytól, az MTA külső tagjától hallottam) egy matematikai elmélet olyan, mint egy kirándulóterület, amin a tételek játsszák a kilátók szerepét. Vagyis a többnyire rettentően bonyolult elméletben a tételek azok az egyszerűen megfogalmazható állítások, amelyek, valahogyan, az elmélet lényegét fejezik ki. A bizonyítások a kilátók közötti fáradságos utak. Egy tételt akkor nevez egy matematikus szépnek, ha a feltételei és az állításai nagyon egyszerűen megfogalmazhatók, de egyáltalán nem nyilvánvaló, hogy igaz. Tehát a bizonyítása nehéz, hosszadalmas. Erre jó példa a négyszíntétel.

A négyszíntétel a gráfelmélet egyik tétele, de most eredeti formájában ismertetem. Egy (síkon lévő) térkép országait szeretnénk kiszínezni úgy, hogy a közös határszakasszal bíró országok különböző színűek legyenek. Ezt az igazán egyszerűen megfogalmazható állítást több mint száz évig nem tudták bebizonyítani, csak 1976-ban sikerült Kenneth Appelnek és Wolfgang Hakennek számítógépek intenzív használatával (két hónap futási idő).

De egy bonyolult bizonyítás is lehet szép, ha vannak benne meglepő, váratlan egyszerűsítések. A matematikusok egy részének az a véleménye, hogy a szép tételek bonyolult bizonyításai a jövőben egyre gyakrabban olyan bonyolultak lesznek, hogy csak számítógép segítségével végezhető el, mint az a négyszíntétel esetén is történt. (Figyelem: a bizonyítást nem a számítógép találta ki!) A matematikusok másik részének ez egy rémálom.

A szép tételek esztétikai élményt nyújtanak a hozzáértőknek, mert meglepőek, akár csak egy jó vicc csattanója. De a meglepő az, hogy a szép tételek rendszerint nagyon hasznosak is. Az egyszerű feltételek ugyanis könnyebben teljesülnek egy véletlen szituá-

cióban. Nagy a valószínűsége annak, hogy (a matematikán belül vagy külső alkalmazásnál) előfordul egy olyan helyzet, ahol a szép tétel feltételei teljesülnek. Ezért van az, hogy a matematikus, amikor szépérezékre hagyatkozva, csupán azért keres és bizonyít tételeket, mert azok szépek (egyszerűek!), akkor hallatlan hasznos tevékenységet végez. Előbb vagy utóbb mások majd találnak olyan helyzeteket, ahol a tétel használható is. E sorok írója például még a 60-as évek közepén észrevette, hogy adott számú (mondjuk 1000)  $k$  elemű (mondjuk 7-elemű) halmazban lévő  $k-1$  elemű részhalmazok (tehát 6 elemű részhalmazok) száma akkor minimális, ha a halmazokat minél kisebb halmaz részhalmazaiként választjuk. A cél akkor csak egy szép matematikai tétel megtalálása volt. Azóta rengeteg alkalmazását találták, csak egy példa a sok közül: a nagyfeszültségű távvezeték-hálózat megbízhatóságának meghatározásában. Erdős Pál munkássága ilyen példák seregét adja.

A fentieket egy kicsit más nézőpontból úgy is meg lehet fogalmazni, hogy a matematika a bonyolultban keresi az egyszerűt, a szabályosat. Erre talán a legjobb példa a valószínűségszámítás. Ha egy dobókockával sokszor dobunk, és felírjuk az eredményeket, egy nagyon szabálytalan sorozatot kapunk. A matematika mégis talál ebben a szabálytalanban valami egyszerűt, szabályosat. Például a *nagy számok törvénye* szerint a kapott számok átlaga majdnem mindig közel lesz 3,5-hez (persze itt pontosan meg kell mondani, mi az, hogy „majdnem mindig”, és mi az, hogy „közel”). De ennél többet is lehet találni. Ha száz dobás összegét vesszük, akkor – az előzőek szerint – ezek összege körülbelül 350 lesz, de úgy, hogy a legtöbb összeg – mondjuk – 330 és 370 között lesz, 310 és 330 között már lényegesen kevesebb van, mint 330 és 350 között, 290 és 310 között még kevesebb, és így tovább, a 90-nél kisebb összeg már nagyon kevés. Egy harang

alakú görbéhez jutunk. Ha 100 helyett egyre nagyobb tagú összegeket véve, egyre pontosabb közelítést kapjuk (persze egyre jobban elnyújtva) egy ún. „harang-görbének”. Ezt úgy mondjuk, hogy a nagyszámú, független, egyforma, véletlen szám összege a „normális eloszláshoz” tart. Ez az egyszerű szabály az oka annak, hogy a természetben nagyon sok véletlen szám éppen ezt az eloszlást követi. Ebben a sorban a mai legerősebb szabályosságot Komlós János, Major Péter és Tusnády Gábor egy tétele írja le.

Most egy kissé hihetetlen „egyszerű szabály” következik, amit nagyon pongyolán így írhatunk le: nemcsak a véletlenben, hanem az akármilyenben is van szabályosság. Mégpedig a gráfokban. Egy gráf pontokból és élekből áll. Például az ország minden emberét egy-egy ponttal ábrázoljuk, és két ilyen pontot összekötünk egy vonallal (ún. éllel), ha azok kölcsönösen ismerik egymást. Szemerédi Endre híres tétele szerint, ha a gráf pontjainak száma elég nagy, akkor a pontokat össze lehet rendezni viszonylag kisszámú kupacba úgy, hogy a kupacok legtöbb párja között az élék úgy mennek, mintha a gráf véletlen lenne, tehát – valamilyen értelemben – szabályos.

No, persze azért a matematikusok sem értenek mindig mindenben egyet, abban sem, hogy mi az egyszerű és mi a szép. Nem csak a szépérettől függ, hanem a tudástól, az ismeretanyagtól is. Ha valaki nem otthonos egy témakörben, nem ismeri a tételeit, akkor annak nem lehet abban a témakörben szép tételt mondani, mint ahogy az őserdei indián se érti a szőke nős viccet.

Nem szeretném félrevezetni az olvasót prekonceptióimmal. Be kell vallanom, hogy vannak olyan matematikai eredmények, amelyek, mintha az egyszerűtől vezetnének a bonyolult felé. Ilyen példa a Takashi-függvény: állítsunk a  $[0, 1]$  intervallumra egy egyenlő oldalú háromszöget, ez legyen az első függvény. A második legyen két egyen-

lő oldalú háromszög, a  $[0, 1/2]$  illetve az  $[1/2, 1]$  intervallumra állítva. A harmadik függvény már álljon négy kis háromszögből. Ezt folytatva, és a kapott végtelen sok függvényt összeadva egy nagyon bonyolult függvényt kapunk, ami például folytonos, de sehol sem differenciálható. Általában a fraktálok ilyenek: egyszerű konstrukcióval valami bonyolultat kapunk. De ilyen az álvéletlen számok konstrukciója is. „Véletlen” számokat kell konstruálnunk egy számítógépes algoritmus-sal. Ez nyilván valami szabályosat kell hogy adjon, mégis olyan bonyolultnak néz ki, mintha véletlen volna.

Mielőtt továbbmennénk, meg kell említenünk a matematika alkalmazásának legnagyobb problémáját, ami szintén összefüggésben van a bonyolultsággal-egyszerűséggel. Az alkalmazás rendszerint egy szép észrevétellel kezdődik. A valóság egy darabjára egyszerű matematikai modellt találtunk: a Föld gömb alakú! Alaposabb vizsgálat után kiderül, hogy ez nem egészen igaz. Mivel a Föld forog a tengelye körül, és viszonylag puha, a centrifugális erő kinyomja az egyenlítőnél, a sarkoknál viszont belapul. A ható erőket figyelembe véve szépen kiszámolható a Föld alakja. A matematikus boldog, mert – bár a dolog nem olyan egyszerű – viszonylag egyszerűen sikerült meghatározni az alakot. De az alaposabb vizsgálat azt mutatja, hogy ez a modell sem tökéletes, mert a Föld anyaga nem homogén. Ha ezt is figyelembe akarjuk venni, akkor ismernünk kell a tömegeloszlást, és jó közelítéssel, rengeteg adattal fel is kell használnunk. A számítások csak számítógéppel végezhetőek el, az eredmény sem lesz teljesen pontos, csak az adatok pontosságának megfelelően. Elveszett az egyszerűség, a szépség. De mégis meg kell csinálni! A matematikai alkalmazások túlnyomó többségénél fellép ez jelenség.

Az utóbbi két-három évtizedben lett centrális kérdés a számítások, algoritmusok bonyolultsága. A matematika ókori kezdetei-

től voltak algoritmusok, hiszen a többjegyű számok szorzására az iskolában tanult módszer is egy kis algoritmus. De a múltban az algoritmusok egyszerűek, normális időben befejezhetőek voltak. Vagy – mint a matematikai analízis algoritmusai esetében – ha kevés ideig számoltunk, az eredmény pontatlan volt, ha sokáig, egyre pontosabb. Az elektronikus számítógépek belépésével és a nagy tömegű véges matematikai feladat megjelenésével egy új jelenség lépett fel. Addig valahogy úgy érezte mindenki, hogy egy véges, sok adattal megadott feladat a gyors számítógépekkel mindig megoldható, csak elég sokáig kell számolni. Ezzel szemben a gyakorlatban is kiderült az a nyilvánvaló tény, hogy ha az algoritmus lépésszáma a bemenő adatok exponenciális függvénye, akkor elég sok bemenő adat esetén emberi mértékű idő alatt a leggyorsabb számítógép sem képes a feladat elvégzésére. Ha  $n$  bemenő adatból az algoritmus például  $1000n$  lépés alatt befejezi a számolást, az nagyon gyors. Ha konstansszor  $n^2$  vagy  $n^3$  lépés kell, az még mindig rendkívül jó. Ismertek olyan algoritmusok, amelyek  $n^7$  lépést igényelnek. Ezek még mindig nagy reménnyel elvégezhetőek nagy  $n$  esetén is. Ezeket hívjuk polinomiális algoritmusoknak. A lényeges változás  $2^n$ -nél következik be, ennyi lépést nagy  $n$  esetén nem lehet elvégezni. Az ilyen algoritmust exponenciálisnak nevezzük.

A számítási feladatok többnyire polinomiális sok lépésben visszavezethetőek olyan feladatokra, amelyek eredménye „igen-nem”. Például ilyen a Hamilton-kör feladata: adott gráfról el kell dönteni, hogy az éleket használva, pont egyszer végig lehet-e menni az összes ponton, a végén visszaérve a kezdőpontba. Ha az utat valaki megsűgja, akkor könnyen ellenőrizhető, hogy az Hamilton-kör-e. A legtöbb ismert és fontos probléma ilyen, hogy ha ismertjük az eredményt, akkor arról polinomiális sok lépésben eldönthető, hogy megfelel-e a feltételeknek. Az ilyen

problémákat NP-belieknek nevezzük. Ezek között sok olyan van, amit polinomiális algoritmussal meg tudunk oldani. A problémák ezen osztályát P-vel jelöljük. Tehát P része NP-nek. Máig eldöntetlen, hogy vannak-e NP-nek olyan elemei, amelyek nincsenek P-ben. Ez a híres „P=NP?” probléma. Persze a matematikusok túlnyomó többsége úgy hiszi, hogy nem egyenlő a két osztály. (Jelen cikk írása közben jött egy még távolról sem ellenőrzött híresztelés, hogy egy japán matematikus bebizonyította, hogy valóban nem egyenlők. A korábbi hasonló híresztelések nem voltak megalapozottak.) Az viszont bizonyított, hogy ha például a Hamilton-kör problémájára csak exponenciális algoritmus van, akkor több tízezer más NP-belire is csak exponenciális létezik. (Ezeket a problémákat NP-nehéznek nevezzük.) Ez azt jelenti, hogy rengeteg probléma esetén nincs eredmény használható algoritmus készítésére.

A „P=NP?” probléma nem csak a számításhoz bonyolultságánál fontos. Ha egy matematikai állítás teljesülésére jól meghatározott szükséges és elégséges feltételt találunk, az többnyire egy polinomiális algoritmushoz is vezet az állítás eldöntésére. Ha tehát  $P \neq NP$ , és sikerül bebizonyítani, hogy az állítás ellenőrzése NP-nehéz, akkor ezzel beláttuk, hogy reménytelen az állítást egy jó, szükséges és elégséges feltétellel jellemezni. Tehát a „P=NP?” probléma nem csak a számítástudomány, de a matematika egyik legfontosabb problémája.

Mit tehetünk, ha egy NP-nehéz problémát kell megoldanunk? A pontos helyett végezhetünk közelítő számítást. De – sajnos – sokszor a jó közelítés is NP-nehéz. A másik út: új típusú számítógépek kitalálása. Az ún. kvantumszámítógépek vagy a kémiai/biológiai számítógépek alapötlete már létezik, technikai megvalósításuk még (?) nem. Mindkettő azon az alapötleten működne, hogy a molekuláris vagy fotonos méretű részecskékből egyszerre olyan mennyiség számol,

hogyan azt a mi számításaink szempontjából exponenciálisnak lehet tekinteni, vagyis „egy lépés” alatt gyakorlatilag „exponenciális sok” lépést lehet elvégezni. Ha sikerül ezeket a számítógépeket a gyakorlatban megvalósítani, akkor egy nagyon nagy lépést teszünk előre a számítási lehetőségek kibővítésére, de sok nagyságrend után ugyanazzal a problémával fogjuk magunkat szembetalálni. Egy másik, kísérletek alatt álló út: speciális problémákra speciális (esetleg analóg) gépeket kidolgozni. Ezzel a számítógépek univerzalizációja tűnik el. Végül is a „ $P=NP$ ?” probléma matematikai jelentősége sem változik az új számítógépek esetleges megjelenésével.

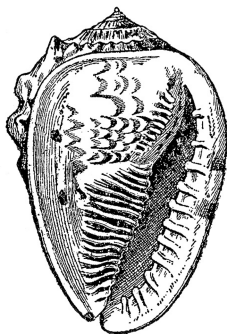
Van a matematikának, illetve alkalmazásának egy olyan területe, ahol a bonyolultság a cél. A kriptográfia. Üzenetet küldünk valakinek, és azt akarjuk, hogy csak a címzett tudja elolvasni, más semmi esetre sem. A címzettnek egy „kulcs” van a birtokában. Tehát az üzenetet egy olyan módon kell kódolni, hogy a visszakódolási algoritmus NP-nél legyen (ami nagy valószínűséggel exponenciális sok lépést igényel, tehát hosszabb üzenet esetén gyakorlatilag megoldhatatlan), így illetéktelen nem tudja dekódolni, de az, akinek az üzenetet szántuk, olyan

plusz információ birtokában van, amelynek segítségével már polinomiális időben képes az üzenet dekódolására. A jelenleg alkalmazott leggyakoribb módszer azon alapszik, hogy egy nagy (például sok ezer számjegyből álló) egész szám prímszámok szorzatára való bontására nem ismeretes polinomiális algoritmus. Tehát a kódolás olyan, hogy ezt az egész számot ügyesen használja, de a dekódolás csak akkor egyszerű, ha a prímfelbontás ismert. Vagyis csak annak mondjuk meg a felbontást, akinek az üzenetet szánjuk. Ezzel az eljárással van egy kis baj: nem bizonyított, hogy a prímfelbontás elkészítése NP-nél nehéz. Tehát előfordulhat, hogy (annak ellenére, hogy  $P \neq NP$ ) valaki talál egy polinomiális felbontó algoritmust, és akkor a kódoló egész szám ismeretében mindenki el tudja olvasni a titkos üzeneteket.

Nagyon remélem, hogy a fejemben a bonyolultságról szóló gondolatokat sikerült oly módon kódolni e kis írásban, hogy az olvasó polinomiális időben képes azokat saját számára dekódolni.

---

Kulcsszavak: *matematika, alkalmazás, bonyolultság, gráf, véletlen, absztrakció, modell, számítás, kriptográfia*



# BIRKÓZÁS A BONYOLULTSÁGGAL: HATÉKONY ALGORITMUSOK<sup>1</sup>

Rónyai Lajos

az MTA levelező tagja, tudományos tanácsadó, MTA SZTAKI, BME – ronyai@sztaki.hu

*Most jön a végleges egyensúly meg a kibontakozás, a bonyolultságok hirtelen szégyellik magukat, és elenyésznek.  
Füst Milán<sup>2</sup>*

A *bonyolultság* fontos szakszó a számításelelméletben. Rendszerint valamilyen számítási erőforrással (idő, tár, kommunikáció) kapcsolatban használatos, és egy feladat/algorithmus erőforrásigényére, illetve felhasználására utal. Így beszélhetünk egy számítási feladat időbonyolultságáról vagy éppen egy algoritmus (számítási eljárás, módszer) tár-bonyolultságáról. Az előbbi esetben a feladat megoldásához minimálisan szükséges számítási időre gondolunk, míg a másodikban az algoritmus által felhasznált tárterület nagyságára. A számítástudományban vannak a bonyolultságnak a köznapai alapjelentéshez (az egyszerűség hiánya) közelebb álló technikai megfelelői is: ilyen a programok, program-szerű struktúrák ún. leírási bonyolultsága és a Kolmogorov-bonyolultság.

Az elnevezés főként az első két értelemben, az idő- és tárigenyvel összefüggésben vált fontossá. Rendszeres vizsgálata a hatvanas évek közepén kezdődött, és ma már köteteket töltenek meg az ilyen tárgyú eredmények (például Papadimitriou, 1999). A számításelelmélet legismertebb, leginkább reflektorfényben levő nyitott problémája, a

$P=NP?$  kérdés is az első értelmezés szerinti bonyolultság természetét tudakolja.

A hatékony, vagyis minél alacsonyabb bonyolultságú algoritmusok tervezése, kutatása elméleti és gyakorlati szempontból egyaránt nagy jelentőséggel bíró irányzat. Innen választottam néhány – szerintem fontos és érdekes – példát. Nevezetes algoritmusokra szeretném felhívni a figyelmet, és ennek kapcsán érzékeltetni valamit a terület jellegéből, szépségéből és interdiszciplináris kapcsolataiból. Olyan gondolatokról, módszerekről lesz szó, amelyek már széles körben bizonyították erejüket, és amelyek a szülőhelyüktől távolabbi területek művelői számára is hordozhatnak tanulságokat.

Terjedelmi korlátok és a folyóirat profilja miatt mellőznöm kell a technikai részleteket. Kérem az Olvasót, nézze el az ebből az egyszerűsítésből eredő fogyatékoságokat. Cserébe talán különösebb bonyodalom nélkül vethet pillantást az algoritmusok világára. A téma iránt behatóbban érdeklődőknek a következő munkákat ajánlom (Cormen, 1999; Lovász, 1987; Papadimitriou, 1999 és Rónyai, 2000).

*Kell egy jó feladat – az LLL-algoritmus*

A nyolcvanas évek elején igazi tudományos szenzációként robbant a hír: Arjen K. Lenstra, Hendrik W. Lenstra Jr. és Lovász László megtalálták az algebrai számítások világának Szent Grálját: hatékony (pontosabban mondva

<sup>1</sup> Köszönet illeti Krámlit András és Vámos Tibort a kéziratához fűzött megjegyzéseikért.

<sup>2</sup> *A feleségem története*, Magvető, 1968. 33. oldal.

polinom idejű<sup>3</sup>) algoritmust adtak racionális együtthatós polinomok felbontására (Lenstra, 1982). Módszerükkel lehetővé vált az  $a_0 + a_1x + \dots + a_kx^k$  alakú kifejezések gyors felbontása hasonló formájú egyszerűbb kifejezések szorzatára (már amennyiben ilyen felbontás egyáltalán létezik). Itt az  $a_0, a_1, \dots, a_k$  racionális számok, az  $x$  pedig egy változó. A felfedezés jelentőségét aligha lehet túlbecsülni. Az algebrai kifejezések szorzattá alakításának hasznossága nyilvánvaló a matematikával foglalkozó ember számára, legyen szó házi feladatot megoldó kisdiaákról vagy terebélyes számításokat végző mérnökökről, kutatóról. A problémával már Sir Isaac Newton is foglalkozott az *Arithmetica Universalis*-ban (1707). Az első véges lépésszámú módszert a csillagász Friedrich von Schubert dolgozta ki (1793). Ezt Leopold Kronecker fedezte újra fel (1882), és az eljárás az ő nevével került be a szakmai köztudatba. Igazán komoly előrelépésre 1969-ig kellett várni. Hans Zassenhaus eljárása sokkal jobb ugyan az elődeinél, de a legrosszabb esetekben még mindig exponenciális ideig zakatol.

Az út az áttöréshez egy geometriai természetű számítási feladaton keresztül vezetett: tegyük fel, hogy van néhány vektorunk,  $\mathbf{v}_1, \dots, \mathbf{v}_m$  valamely többdimenziós valós térből. A  $\mathbf{v}_i$  vektorok által meghatározott *rács* az  $a_1\mathbf{v}_1 + a_2\mathbf{v}_2 + \dots + a_m\mathbf{v}_m$  alakú vektorok összessége, ahol az  $a_1, \dots, a_k$  számok tetszőleges egészek. Ilyen rácsnak tekinthetők a négyzetháló csúcspontjai.

Ha adott egy rács, akkor próbálkozhatunk minél rövidebb nem nulla vektort találni benne. Jól ismert – vagy inkább hírhedt – ilyen természetű feladat a legrövidebb nem nulla vektor megkeresése. Eddig senki sem talált hatékony módszert a feladat megoldására, és a szakértők körében uralkodó vélekedés szerint nem is létezik ilyen.

<sup>3</sup> Egy algoritmus polinom idejű, ha van olyan  $c > 0$ , hogy  $n$  bitből álló bemeneten legfeljebb  $n^c$  ideig dolgozik.

Ami a hatékony felbontást illeti, kiderült egyfelől, hogy kevesebb is elég. A felbontási feladathoz kapcsolódó rácsban nem kell feltétlenül a legrövidebb vektort megtalálni, megteszi egy ennél esetleg jóval hosszabb, de még mindig elég rövid vektor is. Másfelől Lovász László ragyogó módszert adott, amivel gyorsan lehetséges ilyen nem túl hosszú vektort lelteni. A rácsredukció, illetve LLL-algoritmus néven azóta széles körben ismertté vált eljárása a  $\mathbf{v}_i$  vektorok helyett egy másik, viszonylag rövid vektorokból álló rendszert ad, amelyik ugyanazt a rácsot határozza meg, mint kiinduló vektoraink. Az új rendszer legrövidebb vektora pedig legfeljebb  $2^{(m-1)/2}$ -szer lehet hosszabb, mint a rács legrövidebb vektora, ahol  $m$  a befoglaló tér dimenziója. Az eredmény meglepő és értékes vonása, hogy a tér dimenzióján túl a legrövidebb vektor közelítésének jósága nem függ a rácstól magától.

Példaként nézzük a

$$\begin{aligned}\mathbf{v}_1 &= (1, 0, 2002), \\ \mathbf{v}_2 &= (0, 1, 2001), \\ \mathbf{v}_3 &= (1, 2, 2500)\end{aligned}$$

vektorok által kifeszített rácsot a térben. A Mathematica szimbolikus számítási rendszer LLL-eljárása erre a bemenetre a

$$\begin{aligned}\mathbf{w}_1 &= (-1, 1, -1), \\ \mathbf{w}_2 &= (-5, -2, 4), \\ \mathbf{w}_3 &= (53, 236, 182)\end{aligned}$$

vektorokat adja eredményül. A  $\mathbf{v}_i$  vektorok mind hosszabbak 2 000-nél, a  $\mathbf{w}_1$  hossza pedig mindössze  $\sqrt{3}$ . A módszer a közel párhuzamos és hosszú  $\mathbf{v}_i$  vektorokat a sokkal rövidebb és jóval kevésbé hegyes szöget bezáró  $\mathbf{w}_i$  vektorokkal helyettesítette. Mint ha egy virág szirmait nyitotta volna ki a nap-sugár.

A felfedezésből azt szeretném hangsúlyozni, hogy *új feladatot fogalmaztak meg* (redukált vektorrendszer számítása), *ami egyszerre bizonyult kezelhetőnek és hasz-*

*nosnak is.* Új, addig nem létezett feladat született – mindjárt a megoldással együtt. A rács-redukció algoritmikus építőkővé vált, ami sok helyen alkalmazható. Ennek megfelelően több szimbolikus számításokra szakosodott programcsomag kínál rácsredukciós eljárást.

A módszert polinomok felbontása mellett sikerrel alkalmazzák egy sor más területen, így például a kriptográfiában, az illetéktelen hozzáféréssel szemben biztonságos kommunikáció tudományában, és diofantikus egyenletek megoldására is. Fontos alkalmazási terepet jelent az *egész relációk* keresése. Itt a feladat a következő: adottak az  $r_1, \dots, r_k$  valós számok; keressünk közöttük fennálló egész lineáris összefüggést. Pontosabban mondva olyan nem csupa nulla  $a_1, \dots, a_k$  egészeket, melyekkel

$$a_1 r_1 + a_2 r_2 + \dots + a_k r_k = 0$$

teljesül. Az egész relációk számítógépes keresése egy új, és egyre inkább teret nyelő irányzat, a *kísérleti matematika* jeles eszköze (Bailey, 2000). Segítségével több matematikai azonosságot sikerült megsejteni, majd azután szigorúan bizonyítani. Vannak alkalmazásai a kvantumterelmélet Feynman-diagramjainak vizsgálatában is.

A tudományos haladás természetének megfelelően a rácsredukció módszereit az évek során többen is fejlesztették, finomították, illetve általánosították. Ezek közül – némiképpen hazabeszélve – egyet említék. Iványos Gábor és Szántó Ágnes, az MTA SZTAKI munkatársai kiterjesztették a módszert az olyan esetekre is, amikor a vektorainkat tartalmazó térben a távolság felvehet pozitív és negatív értékeket egyaránt (ún. indefinit eset) (Iványos, 1996).

#### *Tudás több területről – töbtestrendszer szimulációja*

Az itt következő módszerek arra mutatnak példát, hogy különböző ismeretkörökből

származó egyszerű gondolatok együttesen milyen hatékony és erőteljes eredményt adhatnak.

Tegyük fel, hogy a térben mozgó  $n$  test  $p_1, p_2, \dots, p_n$  (a továbbiakban csak részecskének nevezem őket) pályáját szeretnénk követni az időben, ahogy az egymásra gyakorolt erőhatások függvényében mozognak. A hatás lehet gravitáció (Newton-tér), elektrosztatikus erő (Coulomb-tér), kémiai kötési erő és más is. Az ilyen értelemben vett töbtestrendszerek mozgására már három részecske esetén sincs pontos matematikai megoldás. Egy sor alkalmazási területen azonban ez a nehézség mit sem csökkenti azok kíváncsiságát, akik igen nagy számú részecske mozgásáról szeretnének képet kapni. Ilyen területek a csillagászat és az égi mechanika (Newton-tér), molekuláris dinamika (elektrosztatikus erők, Lennard-Jones-potenciál stb.), és a folyadékok dinamikája.

Használható matematikai megoldás híján a kutatók gyakran fordulnak a *számítógépes szimuláció* eszközeihez. Gépeiken mintegy lejátszzák a kérdéses folyamatot, és közben vizsgálják jellemzőinek alakulását. Ennek a jellegzetesen számítógépes megközelítésnek a fizikai alkalmazásaival foglalkozik Vicsek Tamás írása (Vicsek, 1990).

A töbtestrendszerek szimulációjában a következő helyzetet meghatározásakor, a következő pillanatfelvétel elkészítésekor az erők számítása az időigényes részfeladat. A  $p_i$  részecskére ható erő a többi részecske erőhatásának (vektor)összege. Például ha gravitációs térben vagyunk, akkor a  $p_i$  részecskének a  $p_i$ -re gyakorolt hatása ( $i > 1$ )

$$F_i = G \cdot m_i \cdot m_1 \left( \frac{X_i - X_1}{r_i^3}, \frac{Y_i - Y_1}{r_i^3}, \frac{Z_i - Z_1}{r_i^3} \right),$$

ahol  $(x_i, y_i, z_i)$  a  $p_i$  helyvektora,  $m_i$  a  $p_i$  részecske tömege,  $G$  a gravitációs állandó, végül  $r_i = \sqrt{(X_i - X_1)^2 + (Y_i - Y_1)^2 + (Z_i - Z_1)^2}$  a  $p_i$  és  $p_1$  közötti távolság. A  $p_1$ -re ható teljes erő pedig  $F_2 + F_3 + \dots + F_n$ . Innen látható, hogy a

részecskék helyének és tömegének ismeretében az egy részecskére ható erő  $n$ -nel arányos számú művelettel (összeadás, kivonás, szorzás, osztás, négyzetgyökvonás) megkapható. Ennek megfelelően az  $n$  darab erő kiszámítása legfeljebb  $n^2$  nagyságrendű műveletet jelent. Hasonló a helyzet más (nem gravitációs) erők esetén is. Egyszerű négyzetes futási idejű algoritmusunk van tehát. Látszólag ideális a helyzet, hiszen alacsony időbonyolultságú módszerrel rendelkezünk. Ez az időigény azonban túl soknak bizonyul, amikor milliós nagyságrendű részecskéből álló rendszereket szeretnénk vizsgálni. Egy, a galaxisok keletkezésével, eloszlásával kapcsolatos szimulációban 17 000 000 részecske (csillag) mozgását szeretnék volna követni hatszáz időlépésen keresztül. Az imént vázolt módszerrel a szimuláció több mint egy esztendőigényelt volna egy  $5 \cdot 10^9$  művelet/másodperc sebességű gépen (512 proceszoros Intel Delta, ideális párhuzamosítással). Az alább bemutatandó módszerrel a feladatot röpké huszonegy óra futási idővel meg lehetett oldani.

A négyzetes bonyolultság csökkentésére irányuló törekvések igen szép és gyors (közelítő) algoritmusokhoz vezettek. Ezek egyike a Joshua Barnes és Piet Hut által 1986-ban javasolt *Barnes–Hut-algoritmus* (Barnes, 1986). Ennek a számításigénye  $O(n \log n)$  művelet – az  $n$  részecske eloszlására vonatkozó valószínűleg egyenletességi feltételek mellett.

A Barnes–Hut-algoritmus a következő fizikai jellegű egyszerűsítő ötletet használja: ha a részecskék valamely  $S$  részhalmaza a  $p_i$ -től távoli kis kockában elfér, akkor az  $S$  együttes hatását  $p_i$ -re úgy számíthatjuk, hogy  $S$ -et helyettesítjük a tömegközéppontjába tett össztömegével. Ezt az egyszerűsítő-közelítő gondolatot már Newton is alkalmazta.

A számítások gyors szervezését a számítógépes grafika/geometria területén népszerű *nyolcfa* (angolul *octtree*) adatszerke-

zet szolgálja. A nyolcfa gyökere egy  $C$  kocka, ami tartalmazza az összes, a szimulációban részt vevő részecskét. A gyökérnek nyolc fia van. Ezek a  $C_1, \dots, C_8$  kockák, amiket úgy kapunk, hogy a  $C$ -t a középpontján átmenő, a lapjaival párhuzamos síkok mentén szétvágjuk. A  $C$  kockákat azután ugyanígy felvágjuk kisebb darabokra. Ezzel a finomítással akkor állunk meg, amikor a keletkező kis dobozokban (kockákban) a részecskék száma legfeljebb 1.

A Barnes–Hut-algoritmus első fázisában nyolcfát építünk a  $p_1, \dots, p_n$  részecskékhez. Az egyenletességi feltevés miatt a fa szintjeinek számára  $\log n$ -nel arányos felső korlát adható, és emiatt a fa konstrukciójának időigénye  $O(n \log n)$  lesz. A következő menetben a fát alkotó kisebb kockáktól a nagyobbak felé haladva sorban kiszámoljuk az egyes kockák (pontosabban a bennük levő részecskék) tömegközéppontját és össztömegét.

Az utolsó, a harmadik fázis a tulajdonképeni erőszámítás. Minden egyes  $i$ -re meghatározzuk (közelítőleg) a  $p_i$  részecskére ható  $G_i$  erőt. Ezt a nagyobb dobozoktól a kisebbek felé haladva tesszük. A munkát a gyökérről, a teljes rendszert befoglaló  $C$  kockával kezdjük. Tegyük fel, hogy éppen az  $N$  dobozban tartunk. Ha  $N$ -ben csak egy részecske van, akkor ennek a hatását hozzáadjuk  $G_i$ -hez. Nézzük most azt az esetet, amikor  $N$ -ben több részecske található! Legyen az  $N$  kocka élhossza  $d$ , a távolsága  $p_i$ -től pedig  $D$ . Itt szerepet játszik még egy  $0 < \Theta < 1/2$  paraméter, ami a pontosságot szabályozza. Először megvizsgáljuk, hogy  $d/D < \Theta$  teljesül-e. Ha igen, akkor az egyszerűsítő ötletet alkalmazzuk: az  $N$ -beli részecskék a  $p_i$ -től való távolságukhoz képest kicsi csomóban helyezkednek el, így hatásukat helyettesítjük a tömegközéppontjukban elhelyezkedő össztömegükkel. Az első fázis eredményeként ezeket a jellemzőket itt már ismerjük. Ha a tesztnél a válasz nemleges, akkor  $N$  helyett a gyermekeit vesszük. Ekkor az  $N$  járuléka  $G_i$ -hez a nyolc fia járulékéának

összege lesz. Megmutatható, hogy a fa egy szintjén legfeljebb konstans (ami  $\Theta$ -tól függ, de  $N$ -tól nem) számú csúcsra lehet *nem* a válasz. Ebből következik a kedvező korlát a futási időre.

A módszer három egyszerű gondolat meghökkentően hatékony ötvözete. Az első a *fizikai* egyszerűsítő ötlet, amiről már esett szó. A második a súlypontszámítás szerencsés *geometriája*: az  $N$  dobozba eső részecskék tömegközéppontja és össztömege gyorsan megkapható pusztán a 8 gyermekének tömegközéppontjából és össztömegéből. Végül pedig a számításokat okos, hatékony rendbe szervező *algoritmikus* konstrukciót a nyolcfa adatszerkezetet említhetjük.

Leslie Greengard és Vladimir Rokhlin nevéhez fűződik a nyolcvanas évek közepén kidolgozott *gyors multipólus-módszer* (szokásos rövidítéssel: FMM) (Greengard, 1987; Board, 2000). Ez (Newton- és Coulomb-terekben) az erő helyett a potenciál becslésére ad közvetlen módszert, ami elegendő, hiszen a potenciál elég jó minőségű közelítéséből az erő (a potenciál negatív gradiense) jól becsülhető. Greengard és Rokhlin Taylor-típusú sorfejtéseket használnak a potenciál közelítésére. A számítások szervezését itt is a nyolcfa adatszerkezet segíti. A gyakorlatban az FMM valamivel lassúbb, mint a Barnes–Hut-algoritmus, ám cserébe jóval pontosabb eredményeket ad.

A rangos *Computing in Science and Engineering* című IEEE-folyóirat 2000. januári/februári számában egy tízes toplistát ad közre, amelyet – a szerkesztők véleménye szerint – a XX. század legfontosabb tíz algoritmusából állítottak össze. Ezek közül az időrendben utolsó a gyors multipólus-módszer.

### *A fák között az erdő – mögöttes szemantikájú indexelők*

Az információ korát éljük, aminek egyik megnyilvánulása, hogy igen sok az információforrás, és egyre nagyobb gondot jelent a

közöttük, bennük való a tájékozódás. Az adatok roppant rengetegében való eligazodást szeretnék megkönnyíteni a számítógépes keresőrendszerek, amelyeknek egyik családját alkotják a szövegek kereshető tárolását támogató *vektorterés indexelők*. A módszer család a szövegekből álló adathalmazt jókora valós mátrixként ábrázolja (legalábbis logikai szinten). A mátrix sorvektorai felelnek meg a szövegeknek, az oszlopai pedig a szavaknak (a szótár elemeinek). Ha tehát  $N$  szövegünk van, és ezeket egy  $M$  szóból álló szótárral ábrázoljuk, akkor az adathalmaz leírása egy  $N$ -szer  $M$ -es mátrix lesz. A mátrixban az  $s$  szövegnek és a  $t$  szónak megfelelő pozícióban a  $v_{st}$  nemnegatív valós szám (súly) szerepel. A súly 0, ha a  $t$  szó nem fordul elő  $s$ -ben, különben pedig  $v_{st}$  pozitív. A súlyok meghatározására többféle módszer használatos. Az értéke általában függ attól, hogy a  $t$  hányszor fordul elő  $s$ -ben (lokális tényező), és attól is, hogy a  $t$  mennyire fontos szó az összes szöveghez viszonyítva (globális tényező). Például egy szinikritikákból álló szöveggyűjtemény esetén a *színes* szó a keresések szempontjából csekély jelentőséggel bír, hiszen vélhetően majdnem minden dokumentumban előfordul. Ennek a szónak tehát célszerű alacsony globális súlyt tulajdonítani.

A vektorterés indexelők a keresőkérdést magát is szövegnek tekintik, így abból ugyanúgy kaphatunk egy  $M$  komponensből álló vektort, mint bármely más szövegből. Ezáltal a keresés problematikája geometriai síkra terelődik. A kérdésre a választ azok a szövegek adják, amelyek vektorai leginkább hasonlóak a kérdés vektorához. A hasonlóságot többnyire a vektorok által bezárt szög koszinuszával mérik. Ekkor a nagyjából egy irányba mutató vektorok minősülnek hasonlóknak.

A vektorterés indexelők – árnyaltabb, analóg adatábrázolásuk miatt – finomabb eredményekre képesek, mint a korábbi kereső eljárások, amelyek egy szó és egy szöveg között csak kétféle viszonyt (a szó szere-

pel a szövegben avagy nem) jegyeznek fel. A szinonimák és más asszociatív kapcsolatok azonban rajtuk is kifognak. Ha mondjuk az *étkezés* szót tartalmazó szövegekre kérdezzünk, akkor a kereső nem fogja esetleg visszaadni azokat a szövegeket, amelyekben a *vacsora*, *fűszer*, *előétel* szavak szerepelnek, de az *étkezés* éppen nem.

A 90-es évek elején Susan T. Dumais, Scott Deerwester, Michael W. Berry, Thomas K. Landauer és munkatársaik átütő erejű új gondolatokat vittek a vektorterés indexelők világába (Deerwester, 1990; Berry, 1995; Berry, 1999). Pontosabban szólva, az alapötletet, a rang-redukciót (lásd később) korábban már gyümölcsözően alkalmazták a statisztikában (főkomponens-analízis), a képfeldolgozásban és más területeken. Az indexelés területén új és váratlan megközelítésüknek a *mögöttes szemantikájú indexelés* (*latent semantic indexing*, röviden LSD) nevet adták. Módszerük igen hatásosnak bizonyult a szinonimák kezelésében, ami azért különös, mert semmiféle erre kihagyezett nyelvi eszközöt (tezauruszok, taxonómiák és hasonlók) nem használnak. Szemléletük lényege – itt a szép szövegek kedvelői vegyenek mély lélegzetet –, hogy a keresés szempontjából *zajnak*, *bizonytalanságnak* tekinthető az a sokféleség, amit a nyelv lehetővé tesz ugyanannak a tartalomnak a kifejezésére. Emiatt a szövegek és szavak viszonyát leíró A mátrixban sokkal több szabadsági fok van, mint amennyit a tárolt szövegek jelentése indokolna. Itt a *szabadsági fok* az A mátrix rangja, a lineárisan független oszlopainak maximális száma. Kísérleteik szerint  $N=70\,000$  szöveg és  $M=90\,000$  alapszó esetén A rangja közel maximális (azaz  $70\,000$ ) lehet, míg a ténylegesen „értelmes” szabadsági fokok száma kb. 200-300-ra tehető. Az általános recept ennek megfelelően az, hogy A helyett vegyük a hozzá legközelebbi<sup>4</sup> legfeljebb 200

rangú B mátrixot. A B mátrixot az A Lánccos-felbontása (szinguláris értékek szerinti felbontása) segítségével kaphatjuk meg. Az A Lánccos-felbontása egy  $A=UDV$  alakú előállítás, melyre (egyebek között) igaz, hogy a D egy  $r$ -szer  $r$ -es diagonális mátrix, ahol  $r$  az A rangja, aminek a főátlóbeli értékei nemnegatív valós számok (az A ún. szinguláris értékei). Ebben a D-ben írjunk nullát a kétszáz legnagyobb elemet kivéve minden más helyre, és legyen H az így kapott mátrix. Ekkor igaz lesz, hogy  $B=UHV$ . Lánccos Kornél – a lineáris algebrai számítások zsenije – még egy fontos ponton kapcsolódik a történethez. Ha a szövegek nem túl nagyok, akkor az A mátrix ritka abban az értelemben, hogy kevés nem nulla eleme van. Ilyenkor a felbontás számításakor alkalmazhatók a ritka mátrixok kezelésére kihagyezett, Lánccostól származó technikák.

Az A helyett a B mátrixot használhatjuk a szövegek és szavak viszonyának ábrázolására. B-nek azt az értelmet tulajdoníthatjuk, hogy a szövegeket kétszáz fontos mesterséges fogalom súlyozott kombinációjaként kevertük ki. Ezzel a kétszáz mögöttes fogalommal írhatók le a keresőkérdések, sőt maguk a szavak is. A tapasztalatok szerint a rang-redukció jelentős mértékben csökkenti a már érintett szemantikus zajt, és tényleg megtalálja a fák között az erdőt. Az eredeti reprezentáció bonyolultságának (jelen esetben a mátrix rangjának) csökkentése, egyszerűsítése révén hasznos összefüggések válnak láthatóvá. Például a szinonim szavak egymáshoz hasonlóknak mutatkoznak a redukált térben akkor is, ha nem, vagy csak ritkán fordulnak elő egyazon szövegben. Ezt – úgy tűnik – a számottevő közös kontextusuk felismerésével éri el a módszer. A B mátrix egyfajta lényegtükrök tekinthető. Használatával jelentős mértékű, de termékeny egyszerűsítés megy végbe. Eltekintünk a szövegek finom részleteitől, gazdagságától. Mindezekért cserébe a sokszínűség takarásá-

<sup>4</sup> A közelség itt az  $N \times M$ -dimenziós térbeli euklideszi távolság szerint értendő.

ből kiemelkednek, láthatóvá válnak a keresésben hasznos asszociatív kapcsolatok. Landauer és Dumais elképzelhetőnek tartják, hogy az emberi emlékezet működésében is vannak hasonló egyszerűsítő-kiemelő mozzanatok.

Az LSI-módszernek a keresésen túl más érdekes alkalmazásai is vannak. A legkülönösebb ezek közül talán a szinonimák felismerésével kapcsolatos Landauer–Dumais-kísérlet. A *Grolier's Academic American Encyclopedia* mintegy 30 ezer szócikkét mint szövegeket feldolgozták egy kb. 61 ezer elemű szótár felett. Az A mátrixnak ekkor nagyjából  $N=30\,000$  sora és  $M=61\,000$  oszlopa van. Az A rangját háromszázra redukálták, majd az így kapott B mátrix szinonimafelismerő képességét vizsgálták. Erre a célra a jól ismert angol nyelvvizsga, a TOEFL 80-kérdéses szinonima-tesztjeit használták. Kérdésenként négy lehetséges szó (például *imposed, believed, requested, correlated*) közül kell kiválasztani, hogy melyik jelentése hasonlít leginkább a megadott ötödikére (*levied*). A vizsgálatot úgy végezték, hogy a 300-dimenziós LSI-térben kiszámították az ötödik

szó hasonlóságát (koszinusz-mérték) az első négyhez, és azt a szót választották, amelyiknél a legnagyobb érték adódott. Az előbbi példánál a hasonlósági értékek rendre 0,70, 0,09, 0,05, 0,03 voltak, vagyis a program magabiztosan megtalálta a helyes választ (*imposed*). Összességében a kérdések 64%-ára válaszolt helyesen, ami döbbenetesen jó teljesítmény, figyelembe véve, hogy ugyanennyi a diákok átlagos eredményessége a hivatalos TOEFL-vizsgákon. A program egy magas szintű humán képesség dolgában tud versenyezni magával az emberrel.

A bonyolultságok persze nem enyésznek el, ahogy Störr kapitány történetében sem, de tanulmányozásuk sok érdekes és hasznos eredményt hozhat. Ennek a folyamatnak fontos jellegzetessége a különböző területekről származó gondolatok egymásra találása, összhanga. Különösen gyümölcsöző lehet az alkalmazási terület és az algoritmika együttműködése, és szép szerep juthat a messzebből jövő, szokatlan analógiáknak is.

**Kulcsszavak:** *algoritmus, számítási bonyolultság, keresés, szimuláció, számításemelvény*

## IRODALOM

- Bailey, David H. (2000): Integer Relation Detection. *Computing in Science and Engineering*. 2(1), 24–28.
- Barnes, Joshua E. – Hut, Piet (1986): A Hierarchical  $O(N \log N)$  Force-Calculation Algorithm. *Nature*, 324(Dec. 4. 1986), 446–449.
- Berry, Michael W. – Dumais, Susan T. – O'Brien, Gavin W. (1995): Using Linear Algebra for Intelligent Information Retrieval. *SIAM Review*, 37(4), 573–595.
- Berry, Michael W. – Drmac, Zlatko – Jessup, Elizabeth R. (1999): Matrices, Vector Spaces, and Information Retrieval. *SIAM Review*, 41(2), 335–362.
- Board, John – Schulten, Klaus (2000): The Fast Multipole Algorithm. *Computing in Science and Engineering*. 2(1), 76–79.
- Comen, Thomas H. – Leiserson, Charles E. – Rivest, Ronald L. (1999): *Algoritmusok*. Műszaki, Budapest
- Deerwester Scott – Dumais Susan T. – Furnas, George W. – Landauer, Thomas K. – Harshman, Richard (1990): Indexing by Latent Semantic Analysis. *Journal of American Society for Information Science*. 41(6), 391–407.
- Greengard, Leslie – Rokhlin, Vladimir (1987): A Fast Algorithm for Particle Simulation. *Journal of Computational Physics*. 73, 325–348.
- Ivanyos Gábor – Szántó Ágnes (1996): Lattice Basis Reduction for Indefinite Forms and an Application. *Discrete Mathematics*. 153, 177–188.
- Lenstra, Arjen K. – Lenstra, Hendrik W. – Lovász László (1982): Factoring Polynomials with Rational Coefficients. *Mathematische Annalen*. 261, 515–534.
- Lovász László – Gács Péter (1987): *Algoritmusok*. Tankönyvkiadó, Budapest
- Papadimitriou, Christos H. (1999): *Számítási bonyolultság*. Novadat Bt., Győr
- Rónyai Lajos – Ivanyos Gábor – Szabó Réka (2000): *Algoritmusok*. Typotex, Budapest
- Vicsek Tamás (1990): Számítógépes szimuláció: a fizikai jelenségek megértésének új módszere. *Magyar Tudomány*. 9, 1048–1054.

## Interjú

# KÖZÉPKORT OKTATNI ÉS KUTATNI SZEGEDEN

Lukácsi Béla beszélgetése Kristó Gyulával\*

*Őn meglehetősen termékeny szerző: könyveinek száma nyolcvan körül van. Ezt az adatot egy korábbi interjúban találtam, tehát nem lepődnék meg, ha már elavult volna. Mi most a hiteles szám?*

A hiteles szám e pillanatban kilencvenhat kötet, további öt van sajtó alatt, tehát már csak idő kérdése, hogy a nevemmel jegyzett és napvilágot látott könyvek száma elérje a százat. Ebben a kilencvenhatban viszont nincsenek benne az általam szerkesztett könyvek, azok száma kb. huszonötre rúg. De meg kell hogy mondjam, ez önmagában nem érdem...

*Természetesen, csak kíváncsi vagyok, hogy van-e még történész Magyarországon, aki ennyit publikált volna?*

Nem tudom. Azt viszont igen, hogy Leopold Rankénak ötven könyve volt, és Nicolae Iorgának, a neves román történésznek száz körül... De még egyszer mondom, önmagában a kötetszámot nem tartom igazán érdemnek és főleg nem a minőség jelzőjének.

\* Az interjú a Magyar Rádió *Aranyemberek* című sorozatában, 2003. március 29-én elhangzott beszélgetés szerkesztett változata.

*Azért ez a mennyiség valamit mégiscsak elárul az Ön munkamódszeréről. Feltételezem, hogy meglehetősen gyorsan dolgozik, és gyorsan publikál.*

Igen, gyorsan dolgozom, és nagyon sokat. És ami kulcs lehet ennek a – talán valóban nem egészen hétköznapi – számnak a magyarázatához, az az, hogy én világéletemben mindig egyszerre több témával foglalkoztam. Soha nem volt a pályámon – ha 1962-től, egyetemi diplomám megszerzésétől számolom, immár negyvenegy év alatt – olyan hónap, amikor ne egyszerre több témával foglalkoztam volna! Legtöbb esetben nem is kettővel, hanem hárommal vagy négyvel. Ezek között mindig volt egy-két könyv és még legalább egy-két cikk. És ezek nem feltétlenül egymásból következők vagy egymást feltételezők. Olykor egészen távoliak, mondjuk egy Anjou-kori oklevéltár-kötet és egy őstörténeti munka, mellette még Árpád-kor vagy névtan és nagyon sok egyéb. Nekem örömet okoz, ha egyszerre több témával foglalkozhatom. Nagyon hálás vagyok a sorsnak, hogy megadta nekem ezt a lehetőséget, és gond nélkül tudok az egyik témából átváltani a másikba. Tehát nem kell előtte hosszasan meditálnom, hogy miként folytassam a tegnap abbahagyott szöveget.

Én ezzel értékes percek, órákat nyerek, és e percek órákká, napokká, sőt negyvenegy év alatt hónapokká duzzadva, igen intenzív munkavégzést tettek, tesznek lehetővé. Nagyon sokan nem értik, hogyan lehet egyszerre több könyvvél is kirukkolni. Úgy lehet, hogy egyszerre több könyvön dolgozom.

*Lehet, hogy nincs igazam, de úgy gondolom, hogy a mai ember talán közelebb áll, mondjuk a Periklész-kori Athénhoz, mint a középkorhoz. Minthogyha ezt egy picit nehezebben értenék meg. Ráadásul abban az időszakban, amikor Ön a pályáját kezdte, a magyar középkorkutatás nem is volt a csúcson. Tehát miért éppen a középkorral kezdett foglalkozni? Ez netán valami gyerekkori vonzalom vagy a középiskola hatása?*

Engem semmi nem predesztinált arra, hogy középkorkutató legyek. Nem ilyen pályára készültem. Vidéki gimnáziumban, Orosházán érettségiztem, és elsősorban az irodalom érdekelt, utána a matematika, majd hosszasan után több egyéb más is. Azért jelentkeztem a történelem szakra, mert a magyarral csak a történelem párosult, a matematikával viszont csupa olyan tárgy, amit nagyon nem szerettem, élen a fizikával. Kényszerításként jött be a magyar mellé a történelem. Abban, hogy középkorász lettem, a következők játszottak szerepet: azokban az években a magyaroiktatás nem volt a csúcsponton, nem tudták igazából megszerettetni velem azt az irodalmat, amit egyébként kedveltem. Sőt kifejezetten ellensugallatokat kaptam. Nagyon erőteljesen túlpolitizált, nagyon sekélyes és nem műközpontú volt. Életrajzokat tanultunk, és dogmákat vertek a fejünkbe. Proletkultus irodalmat, szocreált, tehát nagyon egyoldalú volt, amit tanultunk.

*És a történelem, a középkor nem mutatott hasonló vonásokat?*

Szegeden abban az időben történelemből az ókorral párhuzamosan a középkorral kezdődött az oktatás, és több féléven tanultuk a középkort. Emellett még föl lehetett venni az oklevélolvasást is. Azt hiszem, hogy az irodalomtól való fokozatos elfordulásom vitt bele a történelembe. És azért a középkori történelembe, mert ez volt az első nekem szembejövő történelmi stúdium, amelybe belebotlottam, úgyhogy rögtön oda is estem a középkor mezejére. Olyannyira nem készültem középkorásznak, hogy a középiskolában például nem tanultam latint. Én tehát az egyetemen a lektori latin órákon az „ego sum”-mal kezdtem a stúdiumokat. Azután persze, amikor kialakult bennem a határozott elképzelés, hogy középkorász szeretnék lenni – ez viszonylag korán, harmadéves egyetemista koromban megtörtént –, akkor az addig harmadikként művelt orosz leadásával felvettem a magyar és a történelem mellé a latint. Elvégeztem latinból az öt évet, de még egy lapáttal rá kellett tenni, hogy a klasszikus latin mellett a középlatinba is beleáshassam magam. Tehát menetközben szelmesedtem bele a középkorba...

Aztán kétségtelenül szerepet játszott az is, hogy nagyon hamar rájöttem arra, amit ön is említett: az 50-es évek végén, a 60-as évek elején nem volt csúcson a magyar középkorkutatás. De ez számomra nem azt jelentette, hogy itt merőben karrierépítési szempontból lehet valamit keresni. Ahogy elkezdtem olvasni a középkort, rájöttem, hogy mennyi mindent nem tudunk. Tehát sorban meredeztek a kérdőjelek, és ott pedig, ahol megoldások is adódtak, a felkiáltójelek sorjáztak, hogy szerintem ez nem így van. Szegeden nem volt igazán magas szinten művelt középkorkutatás, de élvezetes középkoroktatás folyt. Ez meg tudta ugyan nyerni a hallgatót, de tudományosan nem igazán ösztönzött. Magam alapvetően autodidakta módon képeztem magam, illetve – de ez már egy kicsit későbbi történet – pályám során volt

két olyan kutató, akivel bensőséges viszonyba kerültem, és akitől nagyon sokat tanultam. Az egyik Elekes Lajos volt, akinek aspiránsa lettem a 60-as évek második felében. Ma többnyire nem szoktak róla hízelgően beszélni, hiszen dogmatikusnak tartják. Ebben sok is az igazság, de a maga módján kiválóan képzett kutató és nagyon okos ember volt. És nagyjából akkor, amikor az 1970-es évek közepe táján meglazultak az engem Elekeshez fűző szálak, egy közös munkát kapcsán szoros munkakapcsolatba kerültem Mályusz Elemérrel, aki a magyar középkorkutatás – azt hiszem, soha felül nem múlható – nagy egyénisége volt. Hálás vagyok a sorsnak, hogy mire pályámon igazán felcseperedtem, kijártam a tanulóiskolákat, tehát elértem úgy nagyjából a negyvenedik életévemet, addigra két, erősen eltérő habitusú szakemberrel emberi közelségbe és szakmai nexusba kerülhettem. Ezeket a hatásokat akarva-akaratlanul, hol negatíve, hol pozitíve nyilván a mai napig hordozom.

*Nem tudom, hogy mikor szembesült azzal, hogy a középkor, kiváltképp a magyar középkor, nem teljesen politikamentes terület. Vagy legalábbis nem olyan száraz tudomány, amit a társadalmi környezettől eltekintve nyugodtan lehet kutatni a levéltárak mélyén. Ez nagyon sokszor hivatkozási és érvelési alap, nemcsak nálunk, hanem a szomszédoknál is. Én akkor döbbsentem rá erre, amikor a trianoni béketárgyalások jegyzőkönyvében olvastam, hogy például csehszlovák részről ezer évvel korábbi történéseket is igyekeztek érvként felhasználni, ami teljesen hihetetlen, abszurd dolog. Önt foglalkoztatták egyáltalán ilyen gondolatok akkoriban? Hogy mibe is nyúlt bele véletlenül, mibe is keveredett?*

Amiről ön most beszélt, az engem nagyon korán megcsapott. A legelső könyvemben, amely 1965-ben Szegeden jelent meg *Meg-*

*jegyzések az ún. „pogánylázadások” kora történetéhez* címmel, a 11. század közepének viszonyait tárgyaltam. Ez a kismonográfia abban a megtiszteltetésben részesült, hogy a Szabad Európa Rádió ismertette. Ennek fő gondolatmenete az volt, hogy Kristó Gyula tollából megjelent Magyarországon egy könyv, amelyik világosan kifejezésre juttatja, hogy a magyarság már ezer évvel ezelőtt milyen erőteljesen áhítozott a nyugati szabad világra, és a magyarságban a sötét elnyomás ellenére is mindig élt a szabadságszeretet. Én ezt az interjút nem hallgattam, mert nem volt időm akkor sem – ahogyan most sem – sok rádióműsört hallgatni vagy tévéműsört nézni. Akkoriban azonban kiválóan működött az elhárítás, és engem behívtak. Lejátszották előttem az interjút és megkérdezték, hogy ez a könyvem miként került a Szabad Európához. Mondtam, hogy én ezt a tudomány írott és íratlan szabályai szellemében különböző embereknek elküldtem, és nyilván kikerült külföldre is (ahová akkoriban igen nehéz volt küldeményeket eljuttatni). Az interjú lejátszása után tisztáztam magam, hogy nem vagyok hazaáruló vagy összeesküvő. Ha ezt megelőzően nem vettem volna észre, akkor most feltétlenül észre kellett vennem, hogy ennek bizony nagyon erőteljes politikai áthallása van. Én tudniillik e könyvben leírtam az 1040-1060-as évek magyarországi viszonyait, és az akkori valóságnak megfelelően benne foglaltatott egy afféle megállapítás is, miszerint Magyarország erőteljesen a nyugati modell (kereszténység és a nyugat-európai típusú állam) megvalósítására, a keleti sztyeppe-i modell leépítésére törekedett. Ezt a Szabad Európánál rögtön aktualizálták, s az 1960-as évekbeli kádári konszolidáció időszakában kódolt üzenetének fogták föl. Pedig sem akkor, sem azóta egyetlen munkámban sem írok kódolt üzeneteket. De ez az eset nyomtatékosan felhívta a figyelmemet arra, hogy bizony nem politikamentes és ilyen szem-

pontból talán még egzisztenciálisan sem veszélytelen terület az, amelyre rátévedtem.

*Ennek a történetnek két hatása biztosan volt: az egyik, hogy Ön egy kicsit előtérbe került, másrészt viszont olyanok is olvastak a magyar középkorról, akikhez valószínűleg soha nem jutott volna el ez a tudomány. Mi lett azután ennek a következménye?*

Ez a történet ezen a szálon nem folytatódott. Különbösen is a hetvenes évekre ez az erőteljesebb megfigyelés, amely a magyar elhárítást jellemezte, alábbhagyott. A következő tanulságot efféle ügyben az 1970-es években szerezhettem. A *Századok*-ban megjelent egy írásom *Rómaiak és vlachok Nyesztornál és Anonymusnál* címmel. Hosszú évtizedek után először írtam le Magyarországon azt, hogy szó sem lehet dákoromán-kontinuitásról. A miéltre pedig azt a választ adtam, hogy nincsenek adatok. Az Elekessel való kapcsolatomban elhidegülésének éppen ez volt az egyik oka. Amikor elmondásom alapján Elekes tudomást szerzett arról, hogy készülőlk egy ilyen munka megírására, figyelmeztetett, hogy ne tegyem. Van nekünk ugyanis elég gondunk – mondta –, minek frontot nyitni a román elvtársak felé. Mellesleg Elekes erdélyi származású volt, tehát ha valakinek, akkor neki már csak származásánál fogva is elemi érdeke lett volna, hogy az igazságot képviselje. És itt a hangsúly az igazságon van, egy olyan kérdésben, amelyben véleményem szerint a románok nagyon messze vannak az igazságtól. Elekes a témától, ha nem is tiltott, eltanácsolt. Viszont becsületére legyen mondva, hogy amikor ezt a cikket közlésre leadtam a Századoknak, nem nyúlt utána. Szerkesztőbizottsági tag volt ott, de útjára engedte. Meg is jelent a cikk, nívódíjat kaptam érte. Ebből pedig már megint világosan megérezhettem azt, hogy nem is elsősorban a cikkeknek a konkrét tudományos tartalma, mint inkább a mögöttes, a

cikkből kiolvasni vélt politikai szándék volt a fontos. Az, hogy van Magyarországon valaki, aki végre oda meri vetni a kesztyűt, és leírja azt, hogy sem Anonymusszal, aki a románok kedves vesszőparipája, sem Nyesztorttal, aki afféle második bizonyíték, nem lehet bizonyítani a dákoromán-kontinuitást.

*Mennyire elfogadott ez a vélemény, az Ön illetve a magyar történészek feltevése a nyugati világban? Ezt azért kérdezem, mert egyszer egy konferencián azt hallottam, hogy a nyugati történészek nagy többsége inkább a román álláspontot fogadja el. Ez viszont azt jelenti, hogy a magyar tudomány eredményei még nem kellőképpen szivárogtak be a nemzetközi tudományosságba.*

Ez pontosan így van, a nyugati történészek túlnyomó többsége ugyanis nem szakember ebben a kérdésben. Az az egy-két ember, aki foglalkozik vele, és elfogulatlanul vizsgálódik, az nem vallja a dákoromán-kontinuitás elméletét. A túlnyomó többség természetesen azt hiszi el, amit prezentálnak neki, és ebben a kérdésben általában a román tudomány szava a meghatározó, ugyanis a román tudományosság rendkívül sokat áldozott mindig is, és áldoz jelenleg is arra, hogy eredményeit külföldön, főleg Amerikában és Nyugat-Európában világnyelveken megismertesse. Ezzel szemben a magyar tudomány ezt valahogy sosem tartotta egészen elsőrendű feladatának. Időnként voltak föllángolások, hogy talán mégis meg kellene ismertetnünk magunkat a világgal. Az 1990. évi Történelem Világkongresszus előtt például több kötet is megjelent a magyar tudomány eredményeiről idegen nyelveken. Nem vitatva az ilyen kötetek hasznát és seregszemle jellegét, szakmai szempontok alapján azonban az ilyen gyűjteményes kötetek nem feltétlenül érnek célba. Erre valószínűleg csak a szakmonográfiák alkalmasak, hiszen egy

gyűjteményes kötetet, amiben ezer év történelme van, csak véletlenszerűen vesz kézbe egy kutató, mert eleve bizonytalan abban, hogy talál-e az ő korszakába, témájába vágó írást. Monográfiákat kellene idegen nyelven közzétenni, és még azt is meg memém kockáztatni, hogy a nagy világnyelveken, tehát az angolon, francián, németen kívül alkalmazhatunk románul, sőt a szlovákokkal közös dolgunkat szlovákul is. Szomszédainkkal itt élünk egymás mellett, egy történelmi-földrajzi régióba bezárva, de éppen a téma iránt leginkább érdekelt nyelven nem közlünk szakmunkákat, összefoglalókat, mintha ez valami szentségtörés lenne.

A humán tudományokban sajátos szempont érvényesül, a tények evidencia-jellege kisebb, ennél fogva az ellenvélemények nem győzik meg az *egy életet az egy elmélet mellé* letett tudósokat. Én mindig azt mondtam – amikor László Gyulával a kettős honfoglalásról vagy Györfly Györggyel az egész korai magyar történelem megítéléséről vitakoztam, hogy csak két prominens példát említek – nem azért vitázom, hogy László Gyulát vagy Györfly Györgyöt meggyőzzem. Ez teljesen reménytelen dolog volt. Sem Györfly Györgyöt, sem László Gyulát nem tudtam és nem lehetett meggyőzni. Valószínűleg fordítva is igaz lenne: ha nekem támadna harminc vagy húsz évvel fiatalabb vitapartnerem, aki a tanaim jó részét tévtannak tekinti, engem se tudna meggyőzni. A vita tétje mindig az, hogy a következő generációt győzzük meg. Ennek szellemében tehát én úgy gondolom: a különböző nyelvű kiadványokra azért van nagy szükség, mert ha például a dákoromán-kontinuitás kérdésében nem is tudunk meggyőzni mindenkit, de ha meg sem kíséreljük, akkor senkit sem tudunk. Ha a világ egyetemsein a tanárok mindig csak egyféle dologhoz nyúlhatnak, tehát mindig román kiadványhoz, akkor azt fogják továbbadni saját tanítványaiknak. Vagyis tehetünk mi akármit, kiad-

ványpolitikánk okán lényegében véve eleve vesztt a helyzetünk.

*Néha az az érzése az embernek, hogy a magyarországi kollégákat is meg kell győzni. Én most nem László Gyulára meg Györfly Györgyre gondolok, hanem a tudományosság peremvidékén vagy azon túl működő, de nagyon aktív és a médiát gyakran megtaláló úgymond kutatókra, akiket a magyar tudós közvélemény nem tart a tudományosság képviselőinek, a közvéleményt mégis igen erőteljesen befolyásolják. Tudom, hogy Önnek a pályafutása során már volt szerencséje összeakadni ezzel a problémával. Itt mi a teendő?*

Ez még nehezebb kérdés, mint a nyugatival való kapcsolattartás. Szerintem a nyugatiak összességükben meggyőzhetőek. Ha kettő közül tudnak választani, akkor ők választani fognak, csak biztosítani kell, hogy egyáltalán kettő közül tudjanak választani. A magyarországiakkal és – nevezük nevén – a Magyarországon kívül élő magyarokkal, meg emigráns történészekkel...

*...közülük sokan hazajöttek...*

Közülük sokan hazajöttek és itthon vannak. Azt hiszem, hogy velük sokkal nehezebb a helyzet. Annyira elkötelezettjei lettek olyan légből kapott fantazmagóriáknak, kitalálásoknak, hiedelemvilágoknak, amelyek gyakorlatilag más dimenziókban és más síkokon mozognak, mint a tudomány, hogy egyszerűen nagyon nehéz velük ütközni. A tudomány azért tud tudományként működni, mert konvencionálisan meghatározott fogalomrendszere, kialakult szabályai vannak. Az igazi gond az, hogy ők egyszerűen az érzelmeiket próbálják átvinni a történelemre. Nem elsősorban arra kíváncsiak, hogy mit mondanak az adatok, hanem azt próbálják elmondani, hogy ők milyen következteté-

sekre, olykor homlokegyenest a józan logikával ellenkező következtetésekre jutnak a forrásokból. Vagy ha ilyenek nincsenek, akkor egyszerűen gátlástalanul vagy alig gátlásosan elmondják, hogy ők milyen víziók alapján látják a magyarság régi történelmét. És ez tulajdonképpen azonos tőről fakad, mondjuk a szélsőségesen túlhajtott román nacionalista történetírással, vagy az ugyancsak szélsőségesen túlhajtott amerikanizáló, „írjunk könnyen, gyorsan nagy témákról nagy összefoglaló történelmet” mottójú történetírással. Mindegyikben van egy közös mag, és pedig az, hogy leértékeli a történetírási aprómunkát. Extrém esetben már odáig is eljutnak, hogy számukra olykor zavarókká válnak az adatok. Mert hiszen néhány adat kifejezetten kellemetlen, bárhogy akarják is beerősszakolni a Prokrusztész-ágyba, onnan az mindenképp kikívánczozik. Ebből következik aztán az adatok félretétele, „elfelejtése”, ami azután megengedhetetlen módszertani botlásokhoz és a nagy történelemhamisításokhoz vezet. Nem beszélünk azonos nyelvet, és ez a velük való vitát szinte lehetetlené teszi.

*Magyarország, ahogy mondani szokták, vízfejű ország. Nálunk minden Budapesten történik. Nem volt-e hátrányára, hogy nem ebben a közegben dolgozott? Bár igaz, hogy rengeteget publikált, mindent elért tudományos fokozatban is, hiszen akadémikus. De mégis, könnyebben ment volna a tudományos pálya, ha mindez a fővárosban történik?*

Én próbálok úgy élni, hogy tudatosan leszűröm magamban a saját és a környezetem életére vonatkozó dolgokat, történeti tanulságaikkal együtt. Tehát nagyot vétenék történetírási ars poeticám ellen, ha azt, amit ott elkerülök, magamra nézvést érvényesíteném. Nem teszem. Azt válaszolom a kérdésre, hogy nem tudom. A történetész nem tud

válaszolni a „mi lett volna, ha?” kérdésére. Én sem tudhatom tehát, hogy Budapesten milyen pályát futottam volna be. Nem biztos, hogy többre vittem volna, hiszen szerénykedés nélkül mondom, hogy akinek a pályáján kilencvenhat könyve, huszonöt szerkesztett könyve és összességében hatszáznál több tanulmánya látott napvilágot, akinek jelent meg könyve Franciaországban, két kötete is Németországban, aki Magyarországon Mályusz Elemérrel és Galántai Erzsébettel közösen publikált háromkötetes latin nyelvű munkát, orosz nyelvű kismonográfiát, aki egyetemen tanít, az szakmai értelemben aligha vágyhat többre. Budapesten más közegben éltem volna, de a hatékonyságot illetően nem hiszem, hogy ennél többre futotta volna az erőmből, hiszen én itt is maximálisan megtettem mindent. Ugyancsak nem tudom, hogy amit a szakma utánpótlásának biztosítása érdekében elértem Szegeden, megtehettem volna-e a fővárosban. A műhelyteremtésről van szó. Éppen tíz éve létezik itt a Szegedi Középkorász Műhely, amely tíz év alatt negyvenhárom kötetet adott ki, és működik egy középkorász doktori iskola, aminek legutolsó időkig, amikor Makk Ferenc professzor vette át az irányítást, én voltam a vezetője. Lehet, hogy mindezeket Budapesten nehezebb lett volna megteremteni, de ezt nem tudhatom. Itt olyan tanítványi és munkatársi gárda alakult ki körülöttem, mellettem, amely nekem óriási segítséget jelentett, hiszen a hallgatókkal módomból megbeszélni az új kutatási eredményeket, s a kollégáim nagy részével is naponta lehet szakmáról beszélni. Én szakmai vonalon az élet talán legnagyobb adományának azt tekintem, ha az ember nem magányos farkasként éli az életét. Mert esetleg lehet szép dolog egy magányos farkasnak egyedül üvölnie a sivatagban, csak hát ez nem az én gusztusomnak való. Éppen ezért a pályám kezdetétől fogva nagyon erőteljesen törekedtem arra, hogy fiatalokat neveljek,

foglalkozzam velük. Nem véletlen, hogy ma tanítványaim közül van egyetemi tanár a pécsi és szegedi egyetemen, továbbá több más felsőoktatási intézményben tanítanak a kezem alatt végzett, illetve PhD-t nálunk szerzett fiatalok. Itt Szegeden szinte valamennyi munkatársam a tanítványom volt egykor. Tulajdonképpen ez adja a legnagyobb örömet. A tanítványok életkora a majdnem hatvanévestől a huszonévesig terjed, tehát egy egész generációt vagy már szinte két generációt fog át tanári tevékenységem. Ha csak arra gondolunk, hogy a kilenc éve folyó doktori iskolai képzésben harmincötven végeztek vagy végeznek középkorból Szegeden, ez önmagában számottevő mennyiség. Amikor én elkezdtem a pályámat, akkor Szegeden egy középkorász volt, és ő sem rendelkezett tudományos fokozattal. És mi harmincöt embert képeztünk és képezünk ki magas szinten középkorból. Szerintem ez a legnagyobb elismerés, amit egy tanár, tudós a pályától és a kollégáitól kaphat. És ez igazán szívet melengető.

*Milyen rangja, népszerűsége, elismertsége lehet Szegeden egy történészprofesszornak? Mielőtt Önhöz jöttem, megnéztem, mi található a világhálón a Kristó Gyula név alatt. Itt bukkantam az egyik szegedi internetes újságra, amelyik több fényképet is közölt szegedi hírességeiről, és ön volt az egyik. Úgy tűnt, hogy Kristó Gyula olyan híressége, nevezetessége a városnak, mint egy sportoló vagy egy művész az Operában. Ezt érzi-e?*

Én a leghatározottabban érzékelem azt a szeretetet és tiszteletet, ami engem a városban körülvesz. Ennek nagyon sok megnyilvánulása van, talán a legláthatóbb nyoma, hogy a város 1998-ban díszpolgárává választott. Ennek volt egy nagyon konkrét oka is. Az életemből hosszú időt, az 1978-tól 1994-ig terjedő időszakot, tehát tizenhat esztendő szántam a *Szeged története* öt kötetének

elkészítésére. Ennek sorozatszerkesztője és az első kötetnek kötetszerkesztője voltam. De más vonatkozásban is érzem a megbecsülés jeleit, kitüntetésekben is. A Szegedért Alapítványtól már évekkal ezelőtt megkaptam a tudományos kuratórium díját, ugyancsak elnyertem Csongrád megye alkotói díját is. Elég gyakran szerepelek a Dél-Magyarország című helyi napilap hasábjain, különböző ügyekben kikérik a véleményemet, gyakran meghívják szerepelni a szegedi rádióba, televízióba, és talán nem tűnik szerénytelenségnek, ha elmondom, hogy én a szegedi József Attila Tudományegyetemnek három évig rektora, három évig rektorhelyettese, a bölcsészkar két évig dékánja, másfél évig dékánhelyettese voltam. Tehát eléggé sokan ismernek a városban. Miután én több arcomat mutattam a város felé: hol a tudósét, hol a tanárét, hol a hivatalnokét, hol az operabarátét, hol a futballmeccsre járótét, hol a háromgyermekes családapáét, ennél fogva engem nagyon sok helyen megtaláltak. Elhívtak különböző klubokba, például kis panel-városrészi könyvtárakba, a legkülönbözőbb kollégiumi közösségekbe, hogy kötetlenül beszéljünk a középkorról vagy általában a világról, a morálról. Tehát én ezer szállal gyökerezem bele a szegedi valóságba, és úgy érzem, hogy ez olyan lelki nyugalmat ad, ami az én munkásságomban biztosan kamatozódik, és a valahol otthon lenni felemelő érzését adja.

\*

Kristó Gyula 1939-ben született Orosházán. 1962-ben szerzett középiskolai tanári oklevelet a Szegedi Tudományegyetemen, ahol azóta is tanít, 1978 óta egyetemi tanári beosztásban. 1998-ban a Magyar Tudományos Akadémia levelező tagjává választotta. A Szegedi Középkorász Műhely elnöke, akadémiai kutatócsoport vezetője. Középkori magyar történelemmel és történeti segéd-tudományokkal foglalkozik.

## Tanulmány

# AKADÉMIAI ÜDÜLŐ-ERDŐ MÁTRAHÁZÁN

Solymos Rezső

akadémikus, kutatóprofesszor; Erdészeti Tudományos Intézet

### *Az egészségvédő erdő és természetes gyógyhatásai*

Egészségünk megőrzésének vagy helyreállításának, szellemi és fizikai teljesítőképességünk fenntartásának a 21. században az eddigieknél is nagyobb jelentősége lesz társadalmi, gazdasági és politikai szempontból egyaránt. Ennek egyik oka az, hogy a jólétért, a boldogulásért folytatott ádáz verseny, valamint a kedvezőtlen környezeti hatások különböző módon és mértékben veszélyeztetik a föld élővilágát és ezen belül az ember egészségét. Ugyanakkor a tudományos kutatás eredményei útján sikerült és sikerül legyőzni olyan betegségeket, amelyek a hatmilliárdra szaporodott népességet tizedelték. A magas színvonalú orvosi beavatkozások, a hatásos gyógyszerek emberek millióinak hosszabbították meg az életét, miközben az esetleges „mellékhatások” újabb bajok forrásává is válhattak.

Az orvostudomány áldásainak elismerésével egyidejűleg már a korábbiakban is keresték a betegségek legyőzését segítő „természetes gyógyszereket”. Az emberiség története folyamán rájött arra, hogy „fűben-fában” olyan orvosságok és kedvező hatások lelhetők, amelyeket a természet nagy laboratóriuma állít elő. E labor „vegyszerraktára” a talajban van, laboránsai pedig a növények. A nagy vegykonyhát a levelek sokasága

alkotja, ahol a talajból felvett szervesen tápanyag a csodálatos katalizátor, a klorofill jelenlétében, a napenergia segítségével és a levegőben lévő CO<sub>2</sub> karbonjának felhasználásával szerves anyaggá alakul, hogy a növények életét, növekedését szolgálja. A növényfiziológia, a biokémia ezen folyamatok jelentős részét felderítette, képessé vált arra, hogy befolyásolja működésüket, de működtetésüket mesterségesen máig sem sikerült elindítani és folyamatosan megoldani. A természet törvényei alapján jöttek létre a növények nagy „ajándékai”. Ezek közé tartoznak azok a természetes „hatóanyagok és hatások”, amelyek kedvezően befolyásolják az emberek, állatok egészségét.

A „természetes hatások” közé sorolhatók az erdők azon sokoldalú szolgáltatásai is, amelyeket a környezet és a természet védelmének, valamint az ember pihenésének, üdülésének (rekreációjának) terén nyújtanak. Az *üdülés* a megfáradt ember természetes szükségletévé vált. A kutatásban, a tudományos élet területén dolgozókra is kedvező hatással lehet, ami közvetve hozzájárul a kutatás hatékonyságának növeléséhez, eredményeinek javításához. Nem újkeletű felismerés ez, s az üdüléssel kapcsolatos növekvő igények újabb és újabb lehetőségek feltárására készítetik az intézmények, vállalkozások illetékeseit. Ma már elismert tény,

hogyan az *üdülés a termelés, a kutatás-fejlesztés* láthatatlan, de annál érdemibb elősegítője lehet. Elegendő, ha például egy megfáradt vagy egy üdülés után magát kipihent kutató tevékenységére utalunk.

Örvendetes, hogy a Magyar Tudományos Akadémia jól felszerelt, kedvező fekvésű Balaton-parti és hegyvidéki üdülőkkel rendelkezik. Közülük egészen különleges környezete van a mátrai erdőségek közepén található mátraházai üdülőknek, amellyel kapcsolatosan szeretnénk a továbbiakban néhány általános és konkrét dolgot ismertetni. Ennek két oka van. Az egyik az, hogy az üdülőt körülölelő úgynevezett „üdülő-erdő” fái kiöregedtek, felújításuk halaszthatatlanná vált. A korhadt tuskójú (tövű), 100-120 éves, elpusztult vagy beteg fák veszélyeztetik az itt üdülők és dolgozók testi épségét, valamint az erdő további fenntartását. A másik ok, hogy az itt pihenők és érdeklődők számára részletesebb tájékoztatást nyújtunk az erdőkről, az erdő életéről és az erdőgazdálkodásról. Azt reméljük, hogy ezáltal, egyrészt jobban érthetővé válnak az üdülő-erdőben kezdődő rekonstrukciós munkák, az elkerülhetetlen fakitermelés, másrészt az erdei kirándulások során az üdülő vendégei az eddigieknél is jobban megértik majd az erdő varázslatos életét és élvezik e csodálatos természeti környezet szépségeit, élővilágának egyedülálló gazdagságát.

### *Az erdő csodálatos élővilága és sokoldalú haszna*

Az erdőt járva az első kérdés az lehet: a korszerű felfogás szerint mit értünk *erdő* alatt? Jogi megfogalmazás szerint az 1500 m<sup>2</sup>-t meghaladó, fával borított területet. Igazából az ökológiai (biológiai) alapon körülírt „erdőfogalom” mutat rá az erdő élővilágára, amely szerint: „az erdő egy adott területen élő növények és állatok életközössége (biocönózis), ahol a fás növények szerepe meghatározó, és amelynek tagjai egymással és

környezetükkel szoros kölcsönhatásban élnek” (biocönotikus konnexusok). Az erdő tehát nem csupán a fák sokasága. Fáinak összességét faállománynak nevezzük. Ezenkívül az erdő alkotói a gombák, a légyszárú növények, az erdő talaja egész élővilágával (mikroorganizmusok stb.), valamint az erdőben élő állatok (rovarok, madarak, őz, szarvas, vaddisznó stb.). Más megfogalmazás szerint az erdő környezeti rendszer, bonyolult „ökoszisztéma”. Az erdei ökoszisztéma magas fokon szervezett, önszabályozásra képes rendszer, amely a természeti törvények szerint működik, amellyel az ember csak ezeknek a törvényeknek szigorú betartásával gazdálkodhat.

Az erdőt lehetőség szerint a természetes állapotához közeli módon kell megőrizni, védeni, fejleszteni és hasznosítani. Az ilyen módon létrehozott erdőt természetközelinek nevezzük; folyamatos fenntartásáról, megvédéséről, fejlesztéséről és hasznosításáról a természetközeli erdőgazdálkodás gondoskodik.

Az erdő sokoldalú haszna az emberiség jólétét különböző módon és mértékben segíti elő. Ez a sokoldalúság anyagi (materiális) és nem anyagi (immateriális) jellegű termékek, illetve szolgáltatások formájában jelenik meg, és szolgálja ősidők óta az embert, az élővilágot. Az erdő már a puszta létevel számos haszon forrása. Hagyományosan legjelentősebb terméke a fa, amely az erdei gyümölcsökkel, gombákkal, gyógynövényekkel és a vadhússal együtt az erdőtulajdonos számára a legjelentősebb jövedelem forrása. A nem anyagi jellegű hasznokat a környezet- és természetvédelmi (élővilág, víz, levegő, talaj stb.), üdülési (rekreációs) és szociális „szolgáltatások” alkotják. Mindezek alapján az erdők elsődleges rendeltetését a következő csoportosítás szerint szokták összefoglalni:

- fatermelési (anyagi),
- védelmi (környezet, természet stb.)
- üdülési, szociális.

A fa élőfaként és kitermelt faanyagként számos haszon forrása. Élő fa nélkül nincs erdő, nem teljesíthetők az erdőkkel szemben támasztott és egyre növekvő társadalmi, gazdasági igények. A fa a természet és a környezet károsítása nélkül megújítható (megújuló) nyersanyag. Kitermelve az életnek úgyszólván az egész területén hasznosítható. Környezetbarát. Kitermelése elsősorban akkor történik, amikor eléri saját „öregkorát”, amelyet a szaknyelv vágáskornak nevez (véghasználat). Kisebb mértékű fakitermelésekre kerül sor az erdő élete folyamán akkor, ha a túlzottan sűrű faállományt ritkítani kell, hogy megelőzzük a fák tömeges pusztulását, és bővítsük a legéletképesebb, legkiválóbb egyedek növéterét (előhasználat). *A szakmailag indokolt időpontban és mértékben végzett fakitermelésre az erdő stabilitása szempontjából is szükség van.* Az erdő fahozamát (fanövedékét) veszik figyelembe a hosszú távú erdészeti tervek (erdőterv, üzementerv), amikor a fakitermeléseket előirányozzák. A vágáskorát elért erdőt az erdőgazdálkodók a fakitermeléssel együtt kötelesek felújítani. A természetközeli erdőgazdálkodásban az erdőfelújítás lehetőség szerint mindenütt természetes úton, az öreg faállománynak a talajra hullott magja és a magból kikelt csemeték által történik. Mesterséges magvetéssel vagy csemeteültetéssel újítják fel azokat az erdőket, ahol a természetes felújítás nem eredményes. A véghasználati fakitermelés (végvágás) után sokszor tűnik üresnek a terület, amelyet közelebről megvizsgálva apró, néhány éves csemeték ezrei borítanak. Érdemes ezeket a területeket megtekinteni, mert legtöbbször a jövő erdejének ígéréteiben gyönyörködhetünk, amikor a fácskák népes „óvodáját”, a lágyszárú növények közül reánk mosolygó facsemeték tízezreit látjuk. Előfordul, hogy a távoli szemlélő „elgazosodottnak” véli az 1-2 éves csemetékkel borított területet. Így történhetett meg az is, hogy az üdülőer-

dőben kaszálógéppel „teremtettek rendet”, mert egyes vendégek gondozatlannak találták a területet. Kaszával fejezték le az apró tölgy-csemeték sokaságát, amelyek vérző szárain könnyként jelentek meg az éltető nedvek. Ezért az erdőt nemcsak nézni, hanem értő szemmel és érző szívvel látni is kell.

Az erdő legfontosabb immateriális haszna a természet- és a környezetvédelemben betöltött kedvező, mással nem pótolható szerepe. Miközben a környezeti ártalmak súlyosan károsítják az erdőket, az erdők védik az élővilágot, tisztítják a vizet és levegőt, védik a talajt és mérséklik az éghajlati szélsőségeket, a természeti csapásokat. Az állatok és növények számára kedvező élőhelyül szolgálnak, fennmaradásukhoz elegendő élelmet és védelmet kínálnak nekik.

Az üdülés, a pihenés, az egészségvédelem, jó karbantartása vagy helyreállítása jelenti az erdőknek azt a rendeltetését, immateriális hasznát, amelyet e helyen éppen a mátraházi akadémiai üdülő rekonstrukciójához kapcsolva külön szeretnénk kiemelni és értékelni. Ez a természetes „gyógy mód” úgyszólván valamennyi emberi szervre kedvező hatású. Az urbanizációtól, a környezeti ártalmaktól és a túlhajszolt életmód miatt megfáradt ember idegeit az erdő csendje, nyugalma és szépsége gyógyszerként nyugtatja meg. Megszűnnek vagy mérséklődnek a szívpanaszok. Oxigéndús, tiszta levegő jut a tüdőbe, és táguznak, tisztulnak az erek a kiadós erdei séta nyomán.

### *A világ, Európa és hazánk erdei*

A mátrai erdő, az akadémiai üdülő-erdő ismertetése és rekonstrukciós tervének bemutatása előtt rövid áttekintést adunk a világ, Európa és hazánk erdeiről, hogy ezekbe illesszük a mátraiakat. Feltehetően ez elősegíti erdeink helyének és helyzetének jobb megértését is.

A FAO adatai szerint 2000-ben a világ erdeinek területe 3870 millió hektár, amely-

nek 95 %-a természetes, 5 %-a mesterséges (ültetett) erdő. A föld területének 30 %-át borítják erdők. Az egyes földrészeket tekintve: az összes erdő 17 %-a van Afrikában (erdősültsége: 22 %), 14 %-a Ázsiában (erdősültsége: 18 %), 27 %-a Európában (erdősültsége: 46 %), 14 % Észak- és Közép-Amerikában (erdősültsége: 26 %), 5 %-a Óceániában (erdősültsége: 23 %), 23 %-a Dél-Amerikában (erdősültsége: 51 %).

Ökológiai zónák szerint az erdők 47 %-a trópusi (ebből esőerdő 28 %), 9 %-a szubtrópusi, 11 %-a mérsékelt övi, és 33 %-a a boreális övben terül el. Az elmúlt tíz esztendő folyamán az erdőterület évente 14,6 millió hektárral csökkent, ebből 14,2 millió hektárral a trópusokon. Ugyanakkor mintegy 5,2 millió hektárral növekedett más vidékek erdőterülete. Végeredményben az évi erdőterület-csökkenés: 9,4 millió hektár. Az erdők 12 %-a természetvédelmi oltalom alatt áll (Amerikában 20 %-a, Dél-Amerikában 19 %-a). A világ erdeiben 420 billió tonna fás biomassa áll, amelynek 27 %-a van Brazíliában.

Az elmúlt száz évben a felmelegedés a 0,3-0,6 °C közti tartományba esett (IPCC 2000). A felmelegedést elsősorban a légkör széndioxid, nitrogénoxid és metán tartalma okozza. Az üvegházhatás 65 %-ban a széndioxid miatt alakul ki. Az atmoszféra CO<sup>2</sup> tartalmának abszorpciója, és karbonjának az asszimiláció útján a fás biomasszába való beépítése révén a föld erdei mintegy 2200 gigatonna szenet kötnek le. Egyes előrejelzések szerint a 21. században a légkör széndioxid-koncentrációja a duplájára, a hőmérséklet emelkedése 1,5-4,5 °C közöttire, a tengerek vízszintje mintegy 45 cm-rel magasabbra emelkedhet. A felsorolt veszélyek csökkentésében az erdőknek kiemelkedő a szerepe, amint ezt az 1992. évi, Rio de Janeiroban tartott UNCED-konferencia megállapította (Agenda 21). 2002-ben Johannesburgban került sor az újabb, hasonló célú konferenciára (Rio+10).

Az európai és a magyarországi erdőkről összeállított FAO-adatok közül a következőket emeljük ki: Európa negyvenegy államának adatai szerint a kontinens erdőterülete 1039 millió hektár, amely az utóbbi évtizedben 881 ezer hektárral növekedett. Magyarországé 1,84 millió hektár, amely évente 7 ezer hektárral növekedett. Földrészünk erdősültsége 46 %, Magyarországé 19,9 %, egy főre 1,4 hektár erdő jut, Magyarországon 0,2 hektár, egy hektár erdőterületen átlagosan 112 m<sup>3</sup> fa áll, Magyarországon 174 m<sup>3</sup>.

A magyarországi erdők adatait (erdőleltár) az Állami Erdészeti Szolgálat határozza meg és tartja nyilván. Ebből kitétnék, hogy a leginkább erdősült megyénk Nógrád (36,8 %), a legkisebb erdősültségű Békés (4,1 %). Heves megye erdősültsége 23 %, Észak-Magyarországé 27,5 %. Az ország erdeinek fafajösszetétele: tölgyek 21,7 %, cser, 11,4 %, bükk 6,3 %, gyertyán 6 %, akác 20,5 %, nemesnyár 6,7 %, hazai nyár 2,8 %, egyéb lomb 9,8 %, fenyő 14,8 %. Erdőinkben 320 millió m<sup>3</sup> élőfa áll, az évi fanövedék 11 millió m<sup>3</sup>, a fakitermelés 7 millió m<sup>3</sup>. Erdőink egész területén 10 évre szóló üzemterv szerint folyik a gazdálkodás (1998).

Mindezek előrebocsátása után, megalapozottabban lehet az akadémiai üdülő-erdő helyét, szerepét értékelni, és megérteni a rekonstrukcióját illető terveket, amelyek bemutatására a mátrai erdők rövid ismertetése után térünk rá.

### *A Mátra hegység erdei*

Magyarország legnagyobb, erdővel borított erdőgazdasági tájcsoportja az Északi-középhegység. Ennek legkisebb és legmagasabb, középső erdőgazdasági tája, hegyvonulata a Kárpátok belső vulkanikus övéhez tartozó Mátra. A földtörténeti középkorban emelkedett ki a tengerből. A harmadkort a terület süllyedése vezette be, az oligocénban víz alá került. A miocén korban heves andezit-vulkánosság hozta létre a hegység

anyagának legnagyobb részét (piroxénandezit). A pliocén buja növényzetének emlékét a dél-mátrai lignittelepek őrzik. A hegység mait megközelítő formája a pleisztocén korban alakult ki.

Az Alföldből 1000 m fölé emelkedő peremhegységre jelentős hatással van az Alföld szélsőségesebb, szárazabb klímája. A déli oldalakon – így az akadémiai üdülő-erdőben is – értékesebb erdőket csak különleges gondoskodással lehet létrehozni és fenntartani.

A jelentősebb hegycsúcsok különösen változatossá teszik a tájat, közülük érdemes kiemelni a következőket: Kékestető 1015 m, Galyatető 965 m, Hidasbérc 917 m, Ágasvár 789 m, Muzslatető 804 m, Nyikom 804 m, Cserapes tető 734 m, Hidegkút 725 m, Világos 709 m.

Sem erdészeti, sem üdülési szempontból nem lényegtelenek a hegység klimatikus viszonyai. A légnyomás alacsonyabb az ország mélyebben fekvő részeinél. A szélviszonyok kedvezőek. Az évi napsütéses órák száma a Kékestetőn 1982 óra (30 éves átlag). A hőmérséklet 100 méteres magasságkülönbségenként 0,3 °C-kal csökken, évi átlaga 7 °C. Az üdülő környékén az éves csapadék átlaga 650–700 mm. A hóval borított napok száma a Kékestetőn átlagosan 112, Gyöngyösön 37. A hótakaró vastagsága 22 cm, februárban a legvastagabb.

Az erdő számára meghatározó jelentőségű a talaj. A Mátra legjellemzőbb talajai: erubáz talajok andezit és riolit kőzetten, ranke talajok andezit és riolit tufán, erősen savanyú barna erdőtalajok tömör andeziten, agyagbemosódásos barna erdőtalajok, pseudogleyes barna erdőtalajok, valamint sziklás és földes vázталajok.

Növényföldrajzilag a táj a magyar flóratartomány (Pannonicum) Északi-középhegység flóraidékéhez (Matricum) tartozik. Flóralelem megoszlása megfelel az Ős-Mátra átlagának. Növénytársulásai közül a bükkös a magasabb, északi kitettségű területeken

zonális. A déli, délkeleti oldalakat tölgyesek borítják. Jellemzők a cseres tölgyesek; a jobb termőhelyeken, a völgyekben a gyertyános tölgyesek. Az őshonos fafajok közül a legfontosabbak: a bükk, a gyertyán, a kocsánytalan és kocsányos tölgy, a juharok, szilek, kőrisek és a vadgyümölcsök. A hegységben élő fenyők (luc-, vörös-, erdei-, feketefenyő) nem őshonosak. Ezeket a bükkösök és a tölgyesek helyére telepítették. A területen néhány arborétum és több erdészeti kísérlet található.

Évszázadokkal ezelőtt a Mátra természetes erdeit a bükkösök és a tölgyesek alkották. Az ember hamarosan felismerte a Mátra földművelési és állattenyésztési adottságait. Az állattenyésztésnek sok negatív hatása volt az itteni erdőkre, amelyek egy részéből letelek alakítottak ki. Az előző századfordulón csak birkából 300 ezer darab legelt e tájon, könnyen elképzelhető kedvezőtlen hatásuk a természetes erdőkre.

Jelenleg a terület legnagyobb erdőgazdálkodója az Egererdő Rt., amelynek Erdészete Mátrafüreden van. Jelentős a magánerdők területe is. Mátrafüreden működik az Erdészeti Tudományos Intézet Kirendeltsége, amelynek fő feladata az erdők védelme a biotikus és abiotikus károsítókkal szemben.

Ezen vázlatos áttekintés után térünk át az akadémiai üdülő-erdő témakörére.

#### *Az akadémiai üdülő-erdő néhány jellemzője*

A mátraházai akadémiai üdülő kedvelt pihenőhely. Nyilvánvaló, hogy szívesen tartózkodik itt a városban megfáradt ember, ahol nap mint nap sétálhat az üdülő-erdőben és kirándulhat a hegyvidék erdőségeibe. Bizonyára sokan nem gondolnak arra, hogy az előttük álló fák a talajból felvett tápanyagot ozmózis segítségével 20–30 m magasra szállítják, hogy a fa koronájának levelei szorgos vegyészekként átalakítsák a fa építőanyagává. Az avarral borított erdőtalaj is külön birodalom, ahol mikroorganizmusok,

gombák és rovarok sokasága tevékenykedik. Különleges világot és élményt nyújtanak ezek a tudós akadémikusnak és unokájának egyaránt. Csak figyelni kell erre a világra, amelynek a közepén helyezkedik el az üdülő épületegyüttese és erdeje!

Egyedülállóan kedvezőnek értékelhetjük, hogy a Magyar Tudományos Akadémia a Mátra déli lejtőjén 4,5 hektár területű üdülő-erdővel rendelkezik. További kedvező tényező, hogy ez az erdő beilleszkedik az Északi-középhegység mintegy 300 ezer hektáros erdejébe, hogy a Mátra 50 ezer hektáros erdőtömbje öleli körül, és alkotja az üdülő természetes környezetét. A táj 45 %-át borítják erdők.

Három évtizeddel ezelőtt a Mátra erdeit is megtizedelte a „tölgypusztulás”. Részben ennek, részben a tuskósarjról keletkezett tölgyesek kiöregedésének köszönhetően már több mint két évtizede megkezdődött a délmátrai tölgyesek kitermelése és felújítása. Ez látható az üdülő környékén, ahol már fiatal fák sokasága jelzi a jövő ígérteit és a végzett munka eredményességét.

Az MTA – mint erdőtulajdonos – a továbbiakban is fenntartotta az öreg sarjerdőt, remélve, hogy még hosszú időn át élvezhetik az üdülő vendégei. Sajnos már a 90-es évek kezdetén elindult egy újabb fapusztulás. A bekorhadt tuskók miatt egyes fákat tövestől döntött le a szél vagy lehasította elszáradt ágait. Az égnek meredő száraz facsonkok egyre sokasodtak, és arra figyelmeztettek, hogy sürgős beavatkozásra van szükség – hozzá kell kezdeni a felújításhoz, mielőtt a fák tömegesen elpusztulnak, és üres területet hagynak maguk után, miközben még az üdülő vendégeinek és dolgozóinak testi épességét is veszélyeztetik.

A terület ismételten történt alapos átvizsgálását követően a kialakult helyzetről tájékoztattam Akadémiánk illetékes vezetőit, és egyúttal javaslatot dolgoztam ki az erdő rekonstrukciójára vonatkozóan. A

javaslatot az MTA főtitkára, Kroó Norbert akadémikus felkarolta, ennek köszönhetően a területileg illetékes Egererdő Rt. és az ERTI Kirendeltség vezetőivel két alkalommal is megvitattuk a tennivalókat. A feladat gyakorlati kivitelezését ők vállalták, a szükséges költségeket az Erdőfelügyelőségen keresztül az Erdészeti Főhatóság bocsátotta rendelkezésre. Ehhez alapul a rekonstrukció közcélúsága, és a természetközeli erdőgazdálkodást illető referencia-jellege szolgált.

Az üdülő-erdő rekonstrukcióját kíméletesen, mintegy 10-15 év alatt tervezzük befejezni úgy, hogy a pusztulóban lévő kiöregedett fák helyén folyamatosan jelenjen meg az új, fiatal erdő. A hosszabb idő ellenére a tervezett fakitermelés és emberi beavatkozások olyan átmeneti helyzeteket teremthetnek, amelyek pillanatnyilag nem valószínű, hogy elnyerik valamennyi vendég tetszését. Többek között azért is célszerű ismertetni a tervet, hogy a területet látogatók megértsék: a rekonstrukció célja az üdülő-erdő megmentése, a folyamatosság érdekében végzett elkerülhetetlen megfiatalítása.

Az üdülő-erdő területe 4,5 ha. Tölgyek, fenyők koronája tekint be az üdülőépület ablakain, és szállítja a szél segítségével az oxigénben dús levegőt. A kerítéssel körülhatárolt területen 856 darab különböző korú fa áll. A többséget, az erdő gerincét a 100-120 éves tölgyek, cserék alkotják. 30-40 éves lucfenyők és vöröstölgyek csoportja jelzi, hogy a korábbiakban is volt már fapusztulás, ami után ezeket a nem őshonos fafajokat tiltették. Csenevész, 10-15 éves ezüstoffenyők szegélyezik az utakat és jelzik, hogy a tölgyek alatt nem érzik jól magukat. Az összes fa térfogata jelentős: 815 m<sup>3</sup>. A faállományt tizenöt különböző fafaj alkotja. Közülük kilenc az őshonos, hat nem az.

A meghatározó fafaja kocsánytalan tölgy, ez teszi ki a faállomány 69 %-át. 382 db tölgy áll a területen, 587 m<sup>3</sup> fakészlettel. Az egyes fák térfogata tehát meghaladja az 1,5

m<sup>3</sup>-t. Átlagosan 22 méter magasak, mellmagassági átmérőjük 38 cm. Többségük tuskósarjról eredt és törkorhadt. A déli Mátrának is ez az uralkodó fafaja. Természetes úton, magról újítják fel. Bár makkot ritkán terem, 2000-ben bőséges volt a makktermés, ennek köszönhetően az üdülő-erdő talaját is ellepték a tölgycsemeték ezrei.

A cser jól növekszik ezen a száraz termőhelyen. Huszonhárom törzs áll ebből a fafajból 27 m<sup>3</sup> fakészlettel. Nem a legjellemzőbb fajaj. Bőségesen terem makkot, ezért helyenként kiszorítja a kocsánytalan tölgyet. Ezekon kívül gyertyán, madárcseresznye, nagylevelű hárs, madár- és barkóca-berkenye és hegyjuhar képviseli itt a lombos fafajokat. 249 db lucfenyő egészíti ki az állományt, 47 db vöröstölgyvel együtt. Oregon ciprusok, erdeifenyők, vörösfenyők, duglászfenyők, különböző korú és méretű ezüstfenyők teszik változatossá az üdülő-erdő képét. Sajnálatos, hogy jelentős részük már elszáradt vagy betegen sínylődvé éppen hogy csak él. Nem kell különösebb szakismerettel rendelkezni ahhoz, hogy észrevegyük: e kincs megmentése érdekében sürgősen cselekedni kell.

#### *Az üdülő-erdő jövőképe, tervezett rekonstrukciója*

Amint az előzőkben már többször utaltunk rá, a leromlott állapot miatt meg kell kezdeni ennek az erdőnek a felújítását, rekonstrukcióját annak érdekében, hogy az üdülést a jövőben is kellően szolgálja, és megelőzzük a nemkívánatos tarvágást, amely néhány nap alatt eltüntethetné a jelenlegi erdőt és a kedvező feltételeket. A jövőt illetően több lehetőség is kínálkozott:

- az üdülő környéke legyen mesterséges park, pihenőhely, sok virággal és egzóta fajokkal,
- legyen botanikus kert és arborétum,
- maradjon meg a jelenlegihez hasonló formájában természetközeli ősparknak,

üdülő-erdőnek, és illeszkedjen a környék erdőállományába.

A legcélszerűbbnek és a „közjót” leginkább szolgálónak az őspark, a természetközeli erdő fenntartása ígérkezik. Ezalatt olyan, a természetes állapotot megközelítő erdőt értünk, ahol a rekreációs célokkal együtt valósul meg az élővilág védelme, gazdag biodiverzitású erdei életközösség, amelyben gyönyörködhetnek az üdülő vendégei. Ez illik leginkább a dél-mátrai tájba, és várható, hogy a mageredetű faállomány egészséges lesz, ellenáll a betegségeknek, létrejön egy stabil erdei ökoszisztéma.

#### *A tervezett feladatok és teljesítésük programjának vázlatja*

Az üdülő-erdő növényzetének, faállományának felvétele és minősítése 2002-ben megtörtént, ez kiinduló alapot nyújtott a soron levő feladatok meghatározásához is. Ezek vázlatos összefoglalása a következő:

- azonnal el kell távolítani az évek óta elpusztult és beteg fákat,
- az utóbbi két év folyamán a terület 60%-án megjelent bőséges tölgy és cser újulatot (csemetéket) meg kell védeni a további „fűnyírástól”, és ápolni, gondozni kell, hogy megmaradjon és növekedjen,
- elegendő fényt kell juttatni a megtelepült újulatnak, további betegeskedő, kiöregedett fák kitermelése útján,
- a későbbiek folyamán (2004) a felnövekvő újulatscsoportok részére a lábön maradó fák észrevétlen (hosszabb ideig, 10-15 évig tartó) kitermelésével kell biztosítani a növekedési előfeltételeket,
- ott, ahol az újulat nem jelenik meg, egyéb őshonos fajok (juharok, kőrisek, vadgyümölcsök, hársak stb.) ültetésével kell az üres foltok felújítását megoldani,
- fel kell nyesni a lucfenyő-foltokban a fák elszáradt ágait,
- a luc- és a vöröstölgy-foltokban ki kell termelni a jelenlegi törzsszámnak mint-

- egy a felét, hogy a lábon maradó egészséges fák elegendő növőterhez jussanak, és ne nyurguljanak fel,
- az erdőnek az üdülő épületek feletti, eddig nem hasznosított részén padokkal ellátott sétautakat kell kialakítani, és a fiatalosban, a természetközelség figyelembevételével kell elvégezni a soron levő erdőnevelési munkákat,
  - az országút mentén szükség szerint mesterséges csemeteültetéssel is ki kell alakítani egy sűrű erdőszegélyt, hogy csökkentsük a közlekedés ártalmait is,
  - a sétautak mentén különböző méretű ismertető táblákat (tanösvény) kell helyezni, hogy a látogató ezek révén is tájékozódjon az erdő életéről és az erdőgazdálkodásról,
  - helyre kell állítani a kerítést,
  - úgy kell a rekonstrukciót elvégezni, hogy a közcélú feladat teljesítése példaként is szolgáljon a hasonló rendeltetésű erdők felújításához, rekonstrukciójához,
  - a tervezett munka mintegy 10-15 év alatt fejeződik be, amelynek során az lesz jellemző, hogy a területet folyamatosan kü-

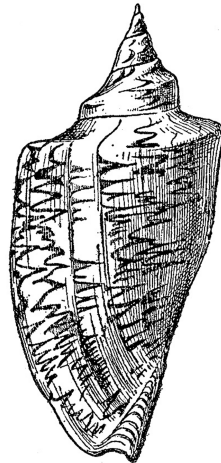
lönböző korú és fafaj-összetételű erdő borítja, és amelynek a befejezésekor egy megújult életerős faállomány, üdülő-erdő veszi körül az üdülő épületét, hogy az a további évtizedekben is a pihenni vágyó embereket szolgálja.

Bizonyára lesznek, akik egyetértenek a tervezettekkel, és olyanok is, akiknek más javaslatuk van. Az ismertetett terv nem merev, folyamatosan módosítható, ha indokolt. Az erdő életében váratlan események (viharok, betegségek) jelentkezhetnek. Ezért sem lenne helyes a tervezetteket megmerevíteni.

Befejezésül ki szeretném emelni, hogy a program végrehajtója az EGERERDŐ Rt. és Mátrafüredi Erdészete, finanszírozója az Erdészeti Főhatóság. Az erdész kutatók pedig folyamatosan figyelemmel kísérik az erdő állapotát.

Bízunk abban, hogy a terv megvalósul, és visszatükrözi majd a végzett munka célját – *per silvam pro homine!*

Kulcsszavak: *üdülő-erdő, egészségvédő erdő, természetközeli erdőgazdálkodás, mátrai erdők, rekonstrukció*



## 2002, a Kozma-centenárium éve

### KOZMA LÁSZLÓ

1902–1983

Kedves Kozma család!  
Tisztelt hölgyeim és uraim!\*

A Kozma László jubileumi emléknep hivatalos eseményeinek utolsó fázisához érkezünk. Emléktábláját itt a Stoczek-épületnél, oktatási világa színterén avatjuk most, de én, mint a Magyar Tudományos Akadémia képviselője, az MTA-val kapcsolatos tevékenységei közül villantok fel néhány emléket.

Kozma Lászlót 1962-ben választotta levelező tagjává a Magyar Tudományos Akadémia, majd 1976-ban rendes taggá.

Az oktatás mellett az MTA anyagi támogatásával digitális számítógép tervezésével foglalkozott, holott a fő szakterülete a távbeszélő-technika volt. Megtervezte és megépítette a MESz1, jelfogós, programozható, digitális számítógépet, amely 1958 végére készült el. A gép 1959-től, mint hazánkban az első működő digitális számítógép, éveken keresztül segítette az oktatást és a kutatást. E gép mellett nőtt fel a számítástechnika több hazai művelője.

Fő érdeklődési köre a távbeszélő-technika maradt. Nagy jelentőségű volt 1963-ban kidolgozott tervjavaslata a crossbar telefonközpont fejlesztésére. Tisztán látta a híradástechnika társadalmi jelentőségét. Minden megnyilatkozása annak érdekében tör-

tént, hogy a híradástechnikai szolgáltatások javuljanak és bővüljenek.

Akadémiai székfoglalójában, 1962. március 15-én erről így írt:

„A telefonhálózat az ország gazdasági életének idegrendszere; telefon nélkül mai életünket már el sem tudnánk képzelni. Népgazdaságunk fejlődése, az általános jólét emelkedése hozzá fog járulni a telefon általános elterjedéséhez, és az országos automatikus telefonhálózat – az egyéb híradástechnikai szórakoztató berendezések mellett – fogja lehetővé tenni, hogy a különbség a városi és falusi élet között végleg eltűnjék.”

1967-ben már így figyelmeztetett a Magyar Tudomány hasábjain:

„Tény tehát, hogy mi telefonellátottság tekintetében le vagyunk maradva... Minthogy itt a termelés fejlődésének egyik alapfeltételéről van szó, féltő, hogy ha a kérdést elhanyagoljuk, a hírközlés hiánya kerékkötője lesz társadalmunk fejlődésének.”

Mint a Magyar Tudományos Akadémia Távközlési Rendszerek Bizottságának elnöke, még a halála előtti napokban is aktívan részt vett az optikai hírközléssel foglalkozó tudományos helyzetkép vitáján.

*Keviczky László*

akadémikus,

az MTA természettudományi alelnöke

---

\* Elhangzott 2002. november 28-án, a BME informatikai épületében elhelyezett emléktábla avatásán

# DR. KOZMA LÁSZLÓ ELEKTROMÉRNÖK, A TÁVBESZÉLŐ-TECHNIKA ÉS A SZÁMÍTÁSTECHNIKA MAGYAR ÚTTÖRŐJE

Kovács Győző

## *Az ember és tanár*

1955 végén vagy 1956 elején a Budapesti Műszaki Egyetem Gyengeáramú Villamosmérnöki Karán egy régi/új professzor, Kozma László kezdte el tanítani a telefontechnikának egyes fejezeteit. Gyorsan kiderült, hogy nemrég (1954) szabadult a börtönből, a Standard-perben ítélték el tizenöt évre, amiből ötöt le is töltött.

A nagyon kedves, szerény, halk, közép-termetű férfi egy egészen új stílust vezetett be a tanár-diák kapcsolatban, mindig barátságos és segítőkész volt.

Nem szerette, ha *professzorurazták*, jobban kedvelte, ha mérnöknek szólítják, mert – szerinte – a mérnöki tevékenységnek volt igazán társadalmi tekintélye. *A jó mérnök – mondta – alkotó ember, független személyiség, a tevékenységét pontosan le lehet mérni, és ki lehet számítani. Közösségi ember is, akinek az alkotásait többnyire mások – mérnökök és munkások – segítik létrehozni, ezért a munkatársait átlagon felüli módon meg kell becsülnie, különben amit tervezett sohasem fog megszületni.*

## *Az Egyesült Izzó műszerészből az antwerpeni Bell Telephone Laboratories konstruktőre*

Kozma László pályája nem indult sikertörténetnek. „*numerus clausus*”, segédmunkás-ság, kézi kapcsolású telefonközpont kezelője és műszerész az Egyesült Izzóban, aki – kihasználva angol tudását – az akkor még újdonságnak számító és az Izzó által gyártani tervezett „Bell Telephone” automatikus telefonközpontok *kézikönyveit* bűjja. Önképzéssel a gyárban hamarosan az automatikus telefonközpont-technika egyik szakértője lesz. Tehetségét és hihetetlenül mély – de iskolázatlan – áramköri tudását a gyár mérnökei felfedezik, a jó nevű brünni (ma Bmo) egyetemre küldik. Elvégzi. Nem rendelik haza, hanem – a korabeli tehetség-gondozás ékes példaként – a telefonközpontok gyártásában vezető európai gyárba, Antwerpenbe, a Bell Telephone céghez küldik.

1973-ban jelent meg szakmai, de inkább önéletrajzi írása a Magyar Tudomány januári számában: *Mérnöki tevékenységem az elektronikus számítógépek „őskorában”* címmel. Ebben a dolgozatában írja le az antwerpeni évek történetét.

„... a Bell Telephone amerikai cég abban az időben 14 000 dolgozójával Európa legnagyobb, kizárólag telefonközpontokat előállító vállalata volt. 1930-ban, mint fiatal kezdő mérnököt, néhány évig rutin jellegű áramkör-tervezési munkákkal bíztak meg. Fokozatosan bekapcsolódtam az új jellegű fejlesztési munkákba, részt vettem számos európai ország (Svájc, Belgium, Hollandia, Olaszország stb.) országos automatikus telefonhálózatának, az ún. táv-választásnak a kidolgozásában, közreműködtem továbbá új típusú telefonközpontok (7E és MA) kifejlesztésében. Mindezen munkáimmal kapcsolatban 1934 és 38 között a vállalat több, mint 25 (telefonközpontos KGy) szabadalmat jelentett be, amelyen feltalálóként én egyedül vagy társakkal együtt szerepeltem.”

A tehetséges mérnök munkája a gyár vezetésének is feltűnt, ezért a rutinn munkákról hamarosan a fejlesztésbe irányítják, ahol az áramköri tervezés egyik vezető mérnöke lesz.

*„1938 elején kezdett beszédtema lenni az elektromos számológép. (...) Én nagy ambícióval, de kis meggyőződéssel fogtam munkához. Számomra akkor ez a munka csak érdekességet jelentett. Egyszerűen örültem annak, hogy teljesen új típusú feladattal bíztak meg, de hogy az egésznek mi értelme van, azt akkor nem tudtam felfogni. Az igazgató azt fejtegette, hogy a gyárnak a jövőben mással is kell foglalkoznia, mint telefonközpontok gyártásával. (...) tudomásomra jutott, hogy az igazgatóm kereste a New York-i Bell Laboratóriummal valamilyen kooperáció lehetőségét e területen. Tudtommal kitérő választ adtak, pedig utólag kitűnt, akkor már ők is foglalkoztak az elektronikus számítógépekkel.”*

Még ma sem érthető az amerikai anyacég kitérő válasza.

Az amerikai számítástechnika történetéből tudjuk, hogy az első elektromechanikus (jelfogós) számítógépekkel – Kozma László antwerpeni tevékenységével egy időben, tehát 1937 körül – Amerikában, két intézményben is foglalkoztak: a fejlesztésben egyrészt a Harvard Egyetem és az IBM működött együtt, illetve a Bell Telephone Laboratories-ban is volt egy számítógép-fejlesztő laboratórium.

Minderről Hermann H. Goldstine *A számítógép Pascaltól Neumannig* című munkájában így ír:

„1937-re az Egyesült Államokban két további ember-

ben is érdeklődés alakult ki az elektromechanikus digitális számológépek iránt: Howard H. Aikenben, akkoriban a Harvard Egyetem továbbképzős fizikushallgatójában és George R. Stibitzben, aki ekkor a Bell Telephone Laboratories alkalmazásában álló matematikus volt. (...)

Mindkét csoport 1937-ben kezdett el dolgozni, Stibitz csapata 1940-ben alkotta meg első gépét; ezt a „részben automatikus számológépet” az Amerikai Matematikai Társaságnak mutatták be egy, Dartmouth College-ban tartott összejövetel alkalmával.”

Még ma sem tudjuk biztosan, hogy az amerikai anyacég miért nem engedte, hogy a korai amerikai és európai jelfogós számítógépfejlesztés – Stibitz és Kozma – eredményeit egyesítsék. A számítástechnika néhány idős, amerikai úttörőjét megkérdezve valószínűsíthető, hogy az amerikai számítógép-fejlesztési eredményeket, amelyeknek ebben az időben már katonai jelentőséget tulajdonítottak, nem akarták a németek által fenyegetett Belgiumnak kiadni. Az igazságot senki sem tudja, legfeljebb találgatások vannak.

Kozma László a háború után, az antwerpeni látogatása során értesült a Harvardon



épült amerikai jelfogós számítógépről, amiről a következőket írja:

„Katonai célokra a háború alatt az USA-ban is megterveztek egy nagyméretű jelfogós számítógépet, (a Harvard egyetemen), akkor lettek készen vele, amikor az USA belépett a háborúba. Ez annyiban volt fejlettebb, mint az antwerpeni, hogy lyukasztott papírszalagról folyamatosan lehetett adatokat betáplálni.”

Kozma László egyetleneszer sem írt az amerikai BELL Laboratories-nél készült Stibitz-féle jelfogós gépről, erről valószínűleg nem voltak pontos ismeretei. A fenti idézetből azonban látszik, pontosan tudta, hogy a harmincas években az amerikaiak nem tudták megelőzni az antwerpeni elektromechanikus számológépek fejlesztését, hiszen az első antwerpeni Kozma-gép majdnem két évvel előbb készült el, mint az említett két amerikai hasonló berendezés (1940).

„Az első elektromos számológép 1938-ra (!) készült el, és hamarosan működött is. Az összeadást decimális összeadó egységgel végezte el, a kivonást a szokásos kiegészítő számokkal való összeadással, a szorzást pedig ismétlődő összeadással. Oszteni nem tudott. A számjegyeket akkumuláló egységek lépésenként működő, tizenegy pontos gépek voltak. A léptető impulzusokat sorrendkapcsoló gépek állították elő. A számológép számolni számolt ugyan, de nagyon lassúnak bizonyult, az összeadás 1-1½ másodpercig

tartott, és így a szorzás a szorzó számjegyeitől függően eltarthatott 5-10 másodpercig is. Az igazgatóm vigasztalt, hogy ez az első gép csak tapogatózó kísérletnek tekintendő, és most már tapasztalatokban gazdagodva kezdjek hozzá azonnal egy második, gyorsabban működő példány elkészítéséhez, amelyből a lassú sorrendkapcsoló maradjon ki.”

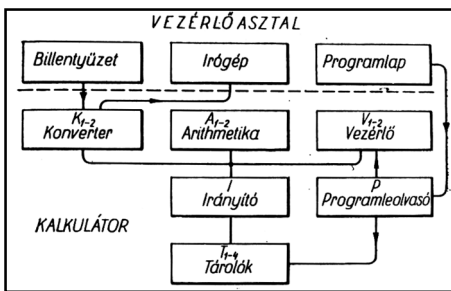
Ez az első Kozma-gép – a felhasznált elemek (főleg telefonközponti léptető gépek) miatt – tízes rendszerben számolt, valóban körülbelül háromszor illetve tízszer lassúbb volt, mint a sohasem ismert, két amerikai „vetélytársa”. Az első harvardi gép ugyanis kb. három másodperc alatt szorzott össze két tízjegyű számot, a Stibitz-gépnek a szorzáshoz elég volt egy másodperc is.

Ma már világosan látszik, hogy Kozma László szabadalmaiban korabeli világszenzációk is szerepeltek.

A 2,283.999 számú, az „Elektromos számológép” (Calculating Equipment) címet viselő első szabadalmi leírásban – 1938. október 21-i dátummal – valószínűleg először jelent meg a világon az elektromechanikus, telefonközpont-alkatrészekből épült számológép minden áramkörre. Nem csak ez volt az újdonság. Valószínűleg ebben a szabadalomban jelent meg először a több munkahelyes, több számológépes rendszer. Igaz, a megoldással Kozma László nem volt elégedett, ugyanis a munkaállomások – a szabadalomban operator's set – tizenhat (!) vezetékkel kapcsolódtak a számológépekhez (calculating equipment). A munkaállomások és a számoló eszközök közötti átkapcsolást több speciális áramkör (line circuit) oldotta meg.

Már ebben a szabadalomban is szerepelt a későbbi számoló berendezéseknek több fontos alapeleme, közöttük a memória. A szabadalmi leírásban a következő olvasható:

„A találmány fő jellegzetességének megfelelően a kalkulátor egység rendelkezik



1. ábra • A számítógép legfontosabb egységeit bemutató blokkdiagramja.

*tároló eszközökkel, amelyek két számjeggyel kapcsolatban egy sor műveleti jelzés bármelyikét rögzíteni tudják, ezáltal befolyásolják az említett kalkulátor egység működését, és így ugyanaz a kalkulátor egység több különböző számítást tud elvégezni.”*

Más megfogalmazásban, a számológép már bizonyos egyszerű utasítás (program) tárolására is képes volt.

A munkaállomások átkapcsolási megoldását a londoni iroda annyira fontosnak tartotta, hogy azt egy újabb, 2,283,999 számú, ugyancsak *Számoló gép* (Calculating Equipment) elnevezésű, de más sorszámú szabadalommal védte meg.

*„A találmány fő jelentősége egy olyan kalkulátor szolgáltatás, amely legalább egy kalkulátorral rendelkezik, fogadni tud és megold számolási feladatokat, és kiadja az eredményt. További jellegzetesség a több kezelői készülék, ezek mindegyike alkalmas a probléma beküldésére, a megoldás vételére és ennek bemutatására a felhasználó számára. A kalkulátor berendezés az igénylő készülék hívójelére reagál, és jelek továbbítására alkalmas csatornát létesít egy szabad kalkulátor és a hívó készülék között, miáltal számításokat lehet végeztetni a kalkulátorral.”*

Különleges és talán a világon először használt megoldás volt a műveletek felgyorsítására, hogy a számológépbe Kozma László egy jelfogós „egyszeregy” táblát épített be, amittől a gép teljesítménye megnőtt. Ezekkel a fejlesztésekkel és átalakításokkal a Kozma-számológép az összeadás/kivonás időtartamát  $\frac{1}{2}$ , a szorzásét pedig egy másodpercre tudta csökkenteni, tehát a „feljavított” számológép – műveleti időben – már versenytársa volt az amerikai „rokonoknak”.

A fejlesztés további eredménye volt, hogy a gépnek ez a javított (második) változata már osztani is tudott, osztáskor a gép körülbelül egy másodpercenként produkált egy hányadost. Néhány további szó a rendszeről:

*„Maga a kalkulátor egy kb. 2 m magas, 1 m széles és fél méter mély szekrénybe került, és hat kis asztali készülékről volt elérhető kapcsoló berendezésén keresztül. Ha valamelyik készülék a hívógombját lenyomta, kis lámpa kigyulladás jelezte, hogy a probléma beküldhető. Ha a kalkulátor foglalt volt, akkor várnia kellett. (...) A tizedes pontot a megfelelő helyen kellett beadni. A beadott számok kapacitása maximum nyolc számjegy volt.”*

A rendszernek azonban volt egy nagy hibája: a munkaállomást és a számológépet tizenhat vezetékkel lehetett összekapcsolni. A nagyon sok százból álló kábelrendszer építése egy laboratóriumon, de egy épületen belül is még megoldható volt, de az épületek közötti kapcsolat vagy még nagyobb távolságok áthidalása szinte megoldhatatlan műszaki problémát jelentett.

Kozma László ezért a fejlesztést tovább folytatta, az eredményt a 2,645.420 számú Számológép teleprinterrel című, 3. számú szabadalomban írta és védette le. Az a rendszer egy igazi, nagy formátumú, rendkívül logikus mérnöki alkotás, ami tökéletesen kiküszöböli a korábbi két találmány legnagyobb hibáját, a számológép és a munkaállomás közötti sokvezetékes összeköttetést. Kozma elhagyta a speciálisan tervezett munkaállomásokat, amiket egy közönséges – a gyár üzemei között is használt – géptávíróval (teleprinter) helyettesített. A munkaállomásokat az üzemi távíróközponton keresztül – egyéppáras vezetékekkel – kapcsolta a számológép(ek)hez, illetve a külső (acéldrótos) memóriákhoz. A terminálok kapcsolását és a művelet kiválasztását a terminálról beadott kódokkal vezérelték. A 3. szabadalmat 1940-ben Angliában jelentették be, a háború miatt azonban a szabadalmi védettséget csak 1947-ben kapták meg a világ talán első, „több munkahelyes és többfelhasználós számoló rendszeré”-re.

Külön érdemes felhívni a figyelmet a már említett külső (acéldrótos) memóriára – mai

elnevezéssel – „átmeneti (puffer) tároló”-ra. Ezt a memóriát a munkaállomások akkor használták, ha a számológép – foglalt révén – nem tudta a feladatot fogadni, illetve maga a számológép is a tárolót használta, ha éppen a munkaállomások voltak foglaltak. A rendszert egy intelligens elektromechanikus vezérlő egység irányította, ami a rosszul megadott kódokat is kiszűrte, és a kapcsolásokat elvégezte.

A rendszerrel még némi adatgyűjtési automatizmust is meg lehetett valósítani, ugyanis a táviróközpont képes volt arra, hogy meghatározott időnként, például minden nap végén, az egyes tárolókat egymás után kapcsolja a kalkulátorhoz.

A rendszert az antwerpeni gyárban könyvelésre használták.

A gyár Kozma László számoló eszközeit tíz szabadalommal védte meg (1. táblázat):

A szabadalmaztatási eljárás a BELL-nél – Kozma László leírása szerint – nem volt nagyon egyszerű, ugyanis: „(...) az antwerpeni Bell Telephone Manufacturing Company az amerikai ITT (International Telephone and Telegraph) konszernhez tartozott, és a BELL-en kívül volt még vagy 20 gyára Európában (köztük a budapesti Standard Villamossági Részvénytársaság is ...). Az ITT gyáraknak az összefogó központja

*Londonban volt, az International Standard Electric Corporation, amelynek szabadalmi irodája intézte valamennyi Standard gyár, így tehát a Bell Telephone szabadalmi ügyeit is.”*

Érdekes megfigyelni, hogy a számológéppel kapcsolatos szabadalmakat sohasem a feltaláló – Kozma László – nevén, hanem társ-feltalálókkal – többnyire a gyári vezetőkkel – együtt adták be. Úgy látszik, már akkor is szokás volt, hogy a vezetők így részesedtek a szabadalmaztatás erkölcsi és – valószínűleg – az anyagi hasznából is. Kozma László leírása szerint:

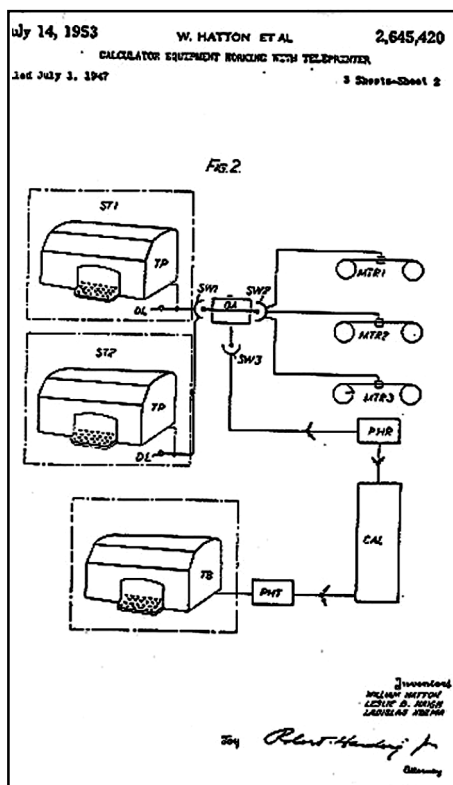
*„(...) A társfeltalálók között volt W. Hatton, angol állampolgár, a gyár műszaki igazgatója, a szintén angol L. B. Haigh, a speciális kutató osztály vezetője, valamint J. Kruithof, előbb a tervosztály vezetője, majd a németek bevonulása után a gyár műszaki igazgatója, egyébként holland állampolgár.*

*A két utolsó bejelentés pontos dátumát nem ismerem, azt sem tudom, hogy mit tartalmaz, azt azonban tudom, hogy a feltalálók nevei között az enyém is ott van.”*

Az utolsó két találmányának a sorsáról a háború alatt Kozma László valóban nem értesülhetett, ugyanis a Kozma család 1942 őszén, meglehetősen életveszélyes körülmények

Sor-szám	Cím	Első bejelentés napja
1	Elektromos számológép	1938. okt. 21
2	Kalkulátor berendezés	1938. okt. 21
3	Géptávíróval működő kalkulátor	1940. feb. 16
4	Kalkulátor kívánt pontosságú eredménnyel	1941. feb. 13
5	Hányados meghatározása Wheatstone-híddal	1941. feb. 13
6	Subtotalokat kiadó kalkulátor	1941. feb. 13
7	Kalkulátor állandó szorzóval	1941. feb. 13
8	Kalkulátor „egyszeregy” áramkörrel	1941. feb. 13
9	Elektromos kalkulátor	1942
10	Kalkulátor No. 4	1942

1. táblázat



2. ábra • Kozma László harmadik, antwerpeni számológépe. A gép a gyárban könyvelési feladatot oldott meg, rendszeresen használták. A világ egyik legelső távadatfeldolgozó rendszere. A számológépbe az adatokat távíróvonalakon, távíróközponton keresztül adták be és az eredményt így kapták vissza. A terminálok normál géptávírók voltak, a kényeszerű szünetekben az adatokat több „drótos” puffertároló tárolta.

között hagyta el a németek által megszállt Belgiumot. A menekülés előtt még bujkálniuk kellett a zsidókat kereső német katonák elől, így a szabadalmaztatási eljárás nélküle, és valószínűleg az ötvenes években – amikor itthon börtönben ült – történt meg.

A németek támadása után (1940. május) az angol igazgató eltűnt a gyárból, a No 2. számú gépet becsomagoltatta, hajóra tette és elküldte Amerikába, ahova maga is távozott. Az igazgató megérkezett, a gép nem.

„A számológép nem jutott el az USA-ba. A háború után megtudtam – írja visszaemlékezésében Kozma László –, hogy a berendezést szállító hajó eltűnt, minden bizonnyal egy német tengeralattjáró süllyesztette el. Ez lett tehát az No. 2-es kalkulátor siralmas vége, ma is ott nyugszik az Atlanti óceán mélyén. (...)

A német megszállás alatt (...) a gyár műszaki igazgatója Kruithof – holland állampolgár – lett. (...) Elhatározta, hogy a németek háta mögött folytatjuk a számológéppel való foglalkozást, és az elszállított számológép helyett megépítjük az új kalkulátort – immár a No. 3-as jelűt –, amely a 2-estől csak kisebb áramköri módosításban különbözött. Megállapodtunk, hogyan vezetjük felre a (felügyelő) német tisztet, ha az a laboratóriumba tévedne (Kozma egyszer azt mondta nekem: „Mindenki azt mondta volna, hogy egy telefon-tarifát számoló áramkör épül” – K. Gy.), azonban sohasem jött oda, azt pedig, hogy valaki elárulja a számológéppel való foglalkozást, senki fel sem tételezte.” (A műszaki emberek boldog naivitása, de Belgiumban bejött.)

Kozma akkor tudta meg valójában, hogy miért is kellett egy telefonközpontokat gyártó cégnek számológépet fejleszteni, amikor „... a londoni rádiót hallgatva, valami derengeni kezdett bennem, hogy a kalkulátoroknak hadászati jelentőségük lehet.”

Goldstine – az első amerikai elektronikus számoló-berendezés, az ENIAC egyik alkotója – mondta: az amerikai hadsereg vezetését nagyon gyorsan meg lehetett győzni, hogy a világháború megnyeréséhez elsősorban a fegyverek pontos irányzására van szükség, amit csak gyors számolóberendezésekkel lehet megoldani. Konrad Zuse, a nagy német számítógépfejlesztő ugyanezt próbálta a Wehrmacht vezetésével elfogadtatni, de meg sem hallgatták. Kozma gyors számolóeszközei is hasonló célt szolgáltak volna, csak sohasem kerültek el az amerikai hadsereghez.

*Újra „itthon”*

Kozma László 1942 végén érkezett haza, hamarosan behívták munkaszolgálatra, a háború végét koncentrációs táborban, nagyon beteg – Gunskirchenben – érte meg, de felépült. Még a deportálása alatt is dolgozott. Szerzett egy használatlan füzetet, amiben azonnal elkezdett egy új típusú telefonközpontot tervezni. A gép működését angolul írta le. A füzet – csodák csodája – nem veszett el, hazakerült. Valamelyik társa elmondta, hogy Kozma a berendezéseket – legtöbbször – éjjel, a barakkba beszuródó világosságnál tervezte. A barakk másik részén feküdt egy magyar postamérnök, akivel a terveit meg szokta beszélni. Éjjel többször is előfordult, ha tervezés közben valami problémája akadt, hogy átkiabált a kollégának: „Nem tudod véletlenül, hogy az A7-es telefonközpont XY kapcsológépnek hányas ívpontjára volt a földelés rákötvé?”

*Még talán annyit, hogy életének ezt a részét is megírta naplójának első, A II. világháború sodrásában című kötetében, amelynek – egyelőre – még nincs kiadója. Igen különleges technikatörténeti érdekesség lehetne a már említett koncentrációs táborbeli füzet hasonmás kiadása is, együtt a magyar fordítással.*

*A háború után, a Standard-per*

Visszatérve a koncentrációs táborból Kozma László részt vett a lerombolt és részben felrobbantott budapesti telefonközpontok újjáépítésében, majd elvállalta a Standard gyár műszaki igazgatói tisztét. Innentől kezdve a történet – sajnos – jellemző az ötvenes évekre.

A Standard gyár államosításához egy szabotázs- és kémperre volt szükség, a gyár vezetőinek egy részét – Kozma Lászlóval együtt – 1949. november 25-én letartóztatják, Kozmát tizenöt évi börtönre ítélik. 1954-ig börtönben volt, majd novemberben – reha-

bilitálás nélkül – kiszabadult. A rehabilitálásért harcol, a kommunista rendszer vezetői azonban nem, vagy nehezen akarják beismereni a bűneiket.

1955 elején mégis rehabilitálják, de a Budapesti Műszaki Egyetemre – hivatalosan – csak 1956. február 6-án helyezik vissza, noha 1955 eleje óta már az egyetemen oktatott.

1958-ban dékánhelyettesessé akarják ki nevezni, ehhez azonban erkölcsi bizonyítvány kell. Megkéri a rendőrségen, de mivel büntetve volt – hiába rehabilitálta közben az Elnöki Tanács –, elutasítják. Azután közbelép a protekciós gépezet (Kozma elnevezése), május 25-i dátummal megvan az erkölcsi bizonyítvány.

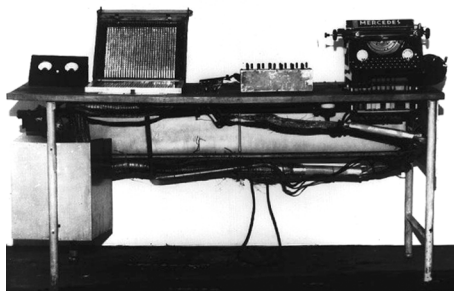
1955. augusztus 1-n visszakapja az 1948-as Kossuth-díját, 1958 elején a korábbi kiemelt fizetését. 1960-tól 1963-ig a Villamosmérnöki Kar dékánja, 1961-ben az MTA levelező, 1976-tól pedig rendes tagja.

1972-ben, hetvenéves korában ment nyugdíjba.

*A MESz-1*

Térjünk vissza 1956-ba, amikor Kozma László a Budapesti Műszaki Egyetemen ismét elfoglalja a katedráját. Először még nem tanít rendszeresen, ezért 1955 és 1959 között – lehet, hogy az Antwerpenben félbehagyott számolóberendezés-fejlesztés folytatásaként, talán nosztalgiából is, ki tudja – elkezdi egy oktatási célú jelfogós, bináris számítógép tervezését és építését.

A gép, amit *MESz-1-nek* (*Műegyetemi Számítógép*) nevezett, nem követte a korábbi, antwerpeni gépeinek a felépítését, a gép rendszere és az alkotóelemek inkább a jelfogós CROSSBAR központnak és természetesen a korábban említett amerikai Aiken- és Stibitz-gépeknek voltak a közeli rokonai. A cél egy, az áramköri technikát bemutató didaktikai és kapcsolástechnikai eszköz, és nem egy folyamatos számítástechnikai szolgáltatásokat nyújtó számítógép megalkotása



3. ábra • A MESz-1 vezérlőpultja. Balra a programlap-olvasó, közepén az adatok beadására szolgáló billentyűzet, jobbra, a Mercedes írógépből átalakított nyomtató.

volt. Kozma professzor – ennek ellenére – a gépet úgy tervezte, hogy azzal a Budapesti Műszaki Egyetemen felmerült számítási feladatokat is meg tudják oldani.

A berendezés méretét egyébként egy nagyon fontos „tudományos” elv korlátozta, az építésre kapott hitel nagysága.

*„Ez a számítógép mindent tudott, amit egy elektronikus számítógép tud, – írja Kozma László – csak, hogy mivel jelfogókból készült el, sokkal lassabban dolgozott. Oktatás céljaira ez a körülmény előnyös volt, mert a gép működését vizuálisan is lehetett követni.”*

A tervezés 1957 tavaszáig tartott, majd megkezdődött a szerelés, a forrasztás és a kábelezés, amivel 1958 elején lettek készen.

A gép 1957 végén már működött, hivatalosan azonban 1958-ban adták át, közel tíz éven keresztül használták különféle feladatok kiszámítására. Horváth Gyula, a BHG nyugdíjas memőke, Kozma László munkatársa még ma is büszke arra, hogy valamikor a MESz-1 egyik első, majd pedig többszöri felhasználója volt.

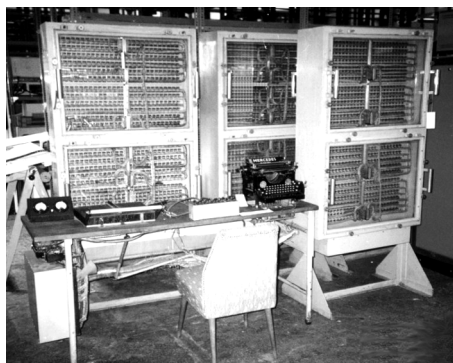
A gépről 1959-ben jelent meg egy angol leírás a *Periodica Polytechnica* című kiadványban: L. Kozma: The New Digital Computer of the Polytechnical University, Budapest, és magyarul – talán ismét a *Magyar*

*Tudományban – A Műszaki Egyetem első digitális számítógépe* címmel.

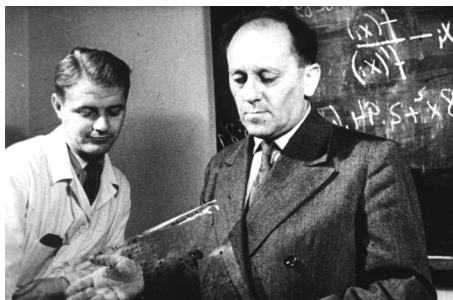
A számítógép programját – ugyanis ez a gép, ellentétben az antwerpeni számológépekkel már nem számológép, hanem automatikusan, programmal vezérelt, elektromágneses jelfogókból felépített, kettes számrendszerben dolgozó, digitális számítógép volt – *lyukasztott kártya adathordozó* tárolta.

A kártyát kézzel – bőrlukasztóval – kellett lemosott röntgenfilmre lyukasztani, (ma cserélhető ROM-nak mondanánk). Ily módon a MESz-1 programozható, de nem tárolt programú számítógép volt. A programokat egycímű utasításokkal lehetett megírni, egy programlapra – a kártya fizikai mérete miatt – negyvenöt utasítás fért rá. Amennyiben a program negyvenötönél több utasításból állt, akkor több programlapot kellett használni. A programot az adathordozóról egy ugyancsak egyedi tervezésű *program-olvasó* vitte be a számítógépbe.

Az adatokat decimálisan, a vezérlőasztalon elhelyezett billentyűzettel lehetett a gépbe bevinni, ami azokat azonnal bináris rendszerbe kódolta át, és így írta be a gép jelfogós memóriájába. A berendezés nyolcjegyű decimális, azaz huszonhétjegyű bináris számokkal dolgozott. A gép a jelfogós me-



4. ábra • A számítógép az Országos Műszaki Múzeum raktárában. Elöl a vezérlőpult, mögötte a jelfogókat magukban foglaló szekrények.



5. ábra • Kozma László és Frajka Béla, kezükben a lemosott röntgenfilmre kézzel lyukasztott programmal

móriában tizenkét számjegyet (adatot) tudott tárolni. A gépben tároltak még néhány – gyakorlati használat – fontosabb számot (állandót) is, mint például a  $\pi$ -t. A számokat a gép lebegőpontos formában ábrázolta.

A számítás végeredményét egy automatizált, elektromos vezérelt – szintén Kozma László szellemes konstrukciója –, átalakított Mercedes írógépen lehetett decimális formában kiírni. A gép 2000 darab azonos típusú és csak tűzfele, akkor kommersziálisnak számító, olcsó, „R” típusú jelfogóval épült, ami nagyon megkönnyítette a karbantartást. A 2000 jelfogóból álló számoló- és vezérlőmű három szekrényben volt elhelyezve. A gépet 60 V-os egyenáramú áramforrás táplálta, fogyasztása 6-800 Watt volt.

A gép összesen 6000 óra alatt készült el, amiből az elvi tervezésre 1500, a mérnöki szerkesztésre és rajzolásra 1200, a szerelésre, kábelezésre és forrasztásra 1500, az elektromos tesztelésre 1400, a vegyes műhelymunkákra 400 órát fordítottak.

A gép legfontosabb részei a következők voltak: a konverter, az aritmetikai egység, a vezérlő, az irányító, a programleolvasó és a tároló egység. Különálló egység volt a beadó billentyűzet, az átalakított írógép és a programlap-olvasó szerelvény.

A gép 1958 végére már elég stabilan működött, előfordultak érintkezési hibák, amik néhány számolási művelet után többnyire

megszűntek. A megelőző karbantartáshoz hibavizsgáló programok készültek, ezekkel viszonylag könnyen lehetett biztosítani a folyamatos üzemelést. A MESz-1 számítógépet 1959-től kezdve oktatási és számolási célokra rendszeresen használták.

A gép a hatvanas évek végén került az Országos Műszaki Múzeumba.

### A MESz-1 után

A MESz-1 elkészülte után Kozma László – 1960-tól 1964-ig – a Nyelvtudományi Intézet számára, Frajka Bélával és a tanszék munkatársaival még megépített egy, a nyelvt statisztikai analízis céljait szolgáló jelfogós és elektroncsöves automatát, amit – mai felfogással – célszámítógépnek lehet tekinteni. A gép a szöveget ötcsatornás lyukszalagon tárolta, amit távgépíróval lehetett a gépbe beolvasni, és körülbelül nyolcvan szempont szerint kiértékelni. (Például hogyan váltakoznak a Himnuszban a rövid és hosszú szótagú szavak, mi a magán- és mássalhangzók aránya; vagy a gép összeállította az 1000 leggyakrabban használt szó listáját; és segített annak összegzésében, hogy például a Bibliában mely szövegek származnak azonos szerzőktől, stb.)

Körülbelül ugyanebben az időben – 1957 és 1959 között – épült meg a Magyar Tudományos Akadémia Kibernetikai Kutató Csoportjában az első hazai elektronikus számítógép, az M-3. Elektroncsöves gép volt, aminek az építését Kozma professzor ellenzte, mert az elektroncsöveket – számítógép építésére, a bizonytalanságuk miatt – alkalmatlannak tartotta. Nagy reményeket fűzött azonban a még újabb, de akkor még nem nagyon elterjedt kapcsolóeszközhöz, a tranzisztorhoz.

Erről egy 1973-as akadémiai vitában a következőket mondta:

„(...) az elektronikus számítógépek „őskora” akkor ért véget, amikor az USA-ban megszületett az ENIAC gép (Electronic Numerical Integrator and Calculator helyesen: Computer – K.Gy.). Katonai célokra

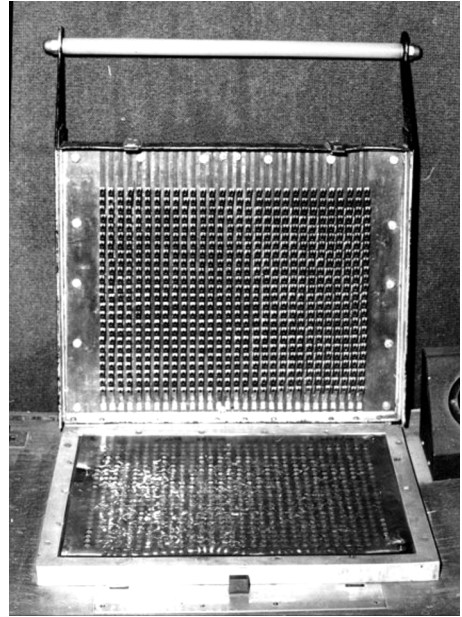
*kellett, ezért nem számított a költség, élettartam, helyszükséglet, áramfogyasztás (18 000 cső volt benne!) Mindenki tudta, hogy békés célokra a csöves számítógépek nem fognak beválni (állandó üzemelésnél a csövek élettartama egy év körül van, hosszú élettartamú csövek esetén!) Tehát jelentkezett társadalmi igény valamilyen más kapcsoló elem felfedezésére. Így jöttek létre a félvezető eszközök. És ha az elektromechanikus számológépek képviselik az őskort, a rádiócsövek a középkort, a félvezető eszközök már feltétlenül az újkort jelentik.”*

*Egy termékeny és romantikus, sokszor veszélyekkel terhes élet alkonya*

Aktív korszakának a befejezéséről Frajka Béla, Kozma László legközelebbi munkatársa írásából idézek:

*„(...) nagy érdeme van abban, hogy a Híradástechnikai Tanszékek 1970-ben hozzájuthattak egy japán elektronikus számítógéphez, s 1972-ben elsőként elindíthatták a Digitális Számítástechnikai Ágazat oktatását a Híradástechnikai Szakon. Telefóniában pedig kérlelhetetlenül küzdött az egyre mélyülő leszakadásunk megállításáért, s ellene volt minden olyan ötletnek, amely megalapozatlanságával csak fölöslegesen vonta el a figyelmet és az erőforrásokat a távközlés felzárkóztatásától.”*

Magam is számtalanszor voltam tanúja a Magyar Tudományos Akadémián rendezett, a hazai távközlésről szóló vitáknak, ahol a hallgatóság – közöttük én is – már feszülten várta, hogy Kozma László professzor mikor jelentkezik hozzászólásra. Az idézett felszólalásain is átütő, angolosnak mondható, elegáns és intelligens humora, pontos monda-



6. ábra • A számítógép programlapot leolvasó készüléke.

nivalója, valamint mindig célba találó megjegyzései élménnyé varázsolták a szokásos „akadémiai” hozzászólásokat.

1983-ban váratlanul távozott el az élők sorából, a sírt megszámlálhatatlanul sok tisztelője vette körül, egy kis magnetofonról hallgattuk mély csendben Kozma professzor kedvelt klasszikus muzsikáját.

1996-ban, hosszú és nehéz küzdelem után az amerikai IEEE Computer Society úgy határozott, hogy országonként 2-3 alkotót befogad az addig csak nyugati fejlesztőknek fenntartott Computer Pioneer közösségbe. A Neumann János Számítógéptudományi Társaság – egyhangú szavazással – a díjra Kozma Lászlót és Kalmár Lászlót tartotta a legérdemesebbnek.

## Tudós fórum

# AZ MTA ÉS A CNRS (FRANCIA ORSZÁGOS TUDOMÁNYOS KUTATÁSI KÖZPONT) KÖZÖTTI KAPCSOLATOKRÓL

Az MTA nemzetközi kapcsolatainak alapját az 1950-es évek elszigeteltsége után a Szovjetunió és a szocialista országok tudományos akadémiáival kötött kétoldalú cseremegállapodások képezték. Ez elsősorban információ- és tapasztalatcserét jelentett. A nyugati országok tudósaival való kapcsolattartás mindkét oldal részéről korlátozott volt. Egyéni meghívásos vagy ösztöndíjas utazásokra elvértve került sor, az intézeti igazgató javaslatai alapján a kiutazók személyéről az MTA központilag döntött. Az intézetek nem köthettek közvetlen megállapodást, nem rendelkeztek utazási kerettel. A 60-as években a nyugati országok részéről bekövetkezett politikai nyitás, Magyarország ENSZ-tagságának rendeződése, majd a gazdasági reform együttesen szolgáltak alapul ahhoz, hogy az MTA nemzetközi tudományos kapcsolatai kiszélesedhessenek, ezek nemcsak tudományos, hanem visszahatásként, politikai előnyököt is jelentettek az ország számára.

A Francia Országos Tudományos Kutatási Központtal (továbbiakban CNRS) az MTA az elsők között vette fel a kapcsolatot, és 1961-ben aláírásra is került az első megállapodás. Ezt követően az MTA számos további európai akadémiával kötött megállapodást, a 1970-es évektől pedig szisztematikusan

épült fel az a nemzetközi kapcsolatrendszer, mellyel az MTA jelenleg is bír. (2003 januárjában ötven ország hetvenkét akadémiajával, tudományos intézményével van kétoldalú megállapodás.)

Az MTA-CNRS megállapodás jelentősége az 1960-as években abban állt, hogy előre meghatározott devizamentes keretben biztosította tudományos kutatók tanulmányútnak szervezését. Így évente 20-30 kutató számára nyílt lehetőség franciaországi tanulmányútra. Az első évtized elsősorban a kapcsolatfelvétel szempontjából bírt jelentőséggel. A 70-es évektől kezdődően a 3-4 évre szóló munkatervek már prioritásként kezelendő kutatási témaköröket is meghatároztak, 1994-1995 óta pedig a rendelkezésre álló pénzügyi források a kutatási projektek keretében megvalósuló mobilitást biztosítják.

A kutatási projektre kétévenként lehet pályázni. A beadott pályázatokat a CNRS és az MTA külön-külön bírálhatja, majd közösen jelölik ki az elfogadásra kerülő projekteket.

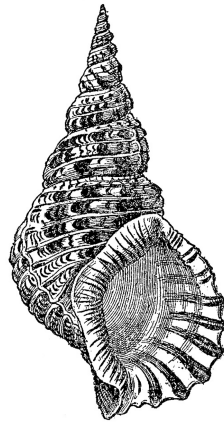
A jelenleg érvényben lévő kutatási projektlista tizenhat témát tartalmaz. Ebből egy téma társadalomtudományi, kettő az élő tudományok, tizenkettő pedig az élettelen természettudományok területéről. A megállapodás alapján évente 35-45 magyar, illetve francia kutató tanulmányútnak kerül sor.

Az MTA-CNRS megállapodás által biztosított lehetőségek számos további kapcsolat kiépítését, intézetközi megállapodások megkötését, a CNRS egyéb programjaiban való részvételt eredményezték. 1989 óta a két intézmény közötti megállapodás kiegészítése az MTA Genetikai Intézete és a CNRS Növényélettani Intézete közötti különmegállapodás, mely a két intézet kutatói részére évi tizenkét hónapos keretben finanszírozza a kutatómunkát.

Az együttműködés másik formája a CNRS Nemzetközi Tudományos Együttműködési Programjaiban (PICS) való részvétel, melyben korábban sikeres együttműködés folyt a *Foglalkoztatás, munka, életmód* témában,

jelenleg pedig *A társadalmi kapcsolatok fejlődése a falusi és városi tér között* és *A helyi mechanizmusok hatása az európai unióbeli belépésre* című kutatási témákban.

2002. december 6-án Kroó Norbert, az MTA Főtitkára, valamint CNRS főigazgatója nevében Jean Luc Clement úr, a CNRS nemzetközi Kapcsolatok igazgatója aláírták a következő négy évre szóló együttműködés kereteit és feltételeit rögzítő megújított megállapodást, melynek új elemeként az aláíró felek az EU-szabályok szerinti jogharmonizációt figyelembe véve külön mellékletben gondoskodnak a kutatási projektek során végzett munkák és eredmények szellemi tulajdonjogának védelméről.



# A FELVIDÉKI, A VAJDASÁGI ÉS A KÁRPÁTALJAI MAGYAR NYELVŰ AGRÁR-FELSŐOKTATÁS HELYZETE

A Magyar Professzorok Világtanácsa  
Agrártudományi Szekció konferenciájának\*  
állásfoglalása

Az MPV Agrártudományi Szekciója először 2000. aug. 25-i konferenciáján értékelte a kárpát-medencei agrár-felsőoktatás helyzetét (*Magyar Tudomány* 2001/1-2, 215-216. pp.). Második konferenciáján 2001. aug. 27-én csak az erdélyi magyar nyelvű felsőoktatás helyzetével foglalkozott, különös tekintettel a mezőgazdasági, kertészeti, erdészeti és környezetgazdálkodási képzésre (*Magyar Tudomány* 2002/6, 834-35. o.). Ezen az ülésen született az a határozat, hogy az MPV ASZ 2002. évi ülésén Kárpátalja, a Felvidék és a Vajdaság helyzetét értékelje.

Az elnökség ezúton fejezi ki köszönetét Okenka Imre rektor úr (Szlovák Agrártudományi Egyetem, Nyitra) munkatársainak, Jurekova Zsuzsanna és Demo Milán professzoroknak (Felvidék), Kasztori Rudolf professzor úrnak, az MTA külső tagjának (Vajdaság), Orosz Ildikó főigazgató asszonynak (Magyar Tanárképző Főiskola, Beregszász), munkatársának, Barkaszi Ferencnek (Kárpátalja), Füleky Györgynek (rektorhelyettes, SZIE, Gödöllő) mint előadóknak, valamint Ördög Vincének (dékán, NYME, Mosonmagyaróvár), Lévai Péternek (főigazgató, Kecskeméti Főiskola, Kecskemét) és Tamás Lajosnak (távoktatási igazgató, Marosvásárhely), mint felkért hozzászólóknak a jelenlegi helyzetet bemutató és reális tényfeltáró munkájukért.

## *Távoktatás*

Az egyes régiók képviselőinek előadásából egyértelművé vált, hogy a három ország (Ukrajna, Jugoszlávia, Szlovákia) közül egyik esetében sem létezik az adott ország kormánya által támogatott magyar nyelvű agrár-felsőoktatás. A Szent István Egyetem és a Kecskeméti Főiskola által szervezett kertészeti BSc távoktatási képzés ezért különleges jelentőséggel bír. A Szent István Egyetemnek Zentán tíz éve és Beregszászon három éve van akkreditált levelező kertészsképzése. A Kecskeméti Főiskola által Komáromban szervezett kertészsképzés indításának is 2002-ben van a tízéves évfordulója. A távoktatás iránti érdeklődést bizonyítja, hogy a régióként 30-30 fővel indult oktatás létszámát tíz év alatt évi 50-60 főre kellett növelni. A gyakorlati oktatásra részben Magyarországon, részben az adott régióban kerül sor. A sikeresen végzetek aránya a felvett hallgatók 30%-a Zentán és 50%-a Komáromban. Beregszászon az első évfolyam 2003-ban fog végezni.

Az MPV Agrártudományi Szekciójának professzorai megállapították, hogy mindhárom országban óriási szükség és igény van az agár- és kapcsolódó tudományok felsőfokú oktatására. A távoktatási forma azonban

\* Gödöllő, 2002. augusztus 30.

már a gyakorlatban dolgozó szakemberek (családi farmok, egyéni gazdálkodók stb.) képzését és továbbképzését szolgálja. Ezért lehetőséget kellene teremteni az adott régióban vagy szükség esetén Magyarországon a távoktatás során szerzett BSc diplomát meghaladó agrármérnöki ismeretek (MSc) elsajátítására is.

Valószínűsíthető, hogy a jövőben is a távoktatás lesz a meghatározó magyar nyelvű képzési forma mind a Vajdaságban, mind Felvidéken és Kárpátalján. Ezért ennek fenntartása, bővítése és hosszú távú stabil finanszírozási feltételeinek megteremtése elengedhetetlen. Mivel mindhárom régióban jelenleg csak kertészeti képzés folyik, az MPV ASZ professorai további szakterületekkel javasolják az oktatás kibővítését (pl. gazdasági, növénytermesztési, állattenyésztési, környezetgazdálkodási, stb.).

#### *Felvidék*

Szlovákiában megközelítőleg 600 ezer magyar él, ez az összlakosság 10,6 %-a. A magyar nyelvű bölcsődések, óvodások és általános iskolai diákok esetében ez az arány biztosított. A középiskoláktól felfelé azonban a magyarul tanuló diákok aránya meredeken csökken (középiskolákban 6 %, szakközépiskolákban 4 %, agrár-felsőoktatásban 0 %).

Az MPV ASZ professorai úgy ítélik meg, hogy Szlovákiában jelenleg nincsenek meg a politikai és a szakmai feltételei a magyar nyelvű agrár-felsőoktatás indításának. A probléma megoldására az alábbi alternatívákat javasolják:

a.) Az anyaország alapítványi magán-egyetemet vagy kart létesít a szlovákiai Komáromban, melynek többek közt különböző agrártudományi szakai is lennének.

b.) A magyar kormány képzési keretet hoz létre és finanszíroz a különböző anyaországi egyetemek agrár, környezet, kertészet, erdészet, stb. karain a küllhoni magyar

hallgatók számára mind a nappali, mind a levelező képzésben.

c.) A magyar kormány PhD-képzési keretet állapít meg és finanszíroz a különböző anyaországi egyetemek agrár, környezet, kertészet, erdészet, stb. karain a küllhoni magyar hallgatók számára.

#### *Vajdaság*

A Vajdaságban körülbelül 350 ezer magyar él, ez a lakosság 17 %-a. A középiskolákban tanuló diákoknak 11,5 %-a részesül magyar nyelvű oktatásban. Szlovákiához hasonlóan nincs magyar nyelvű agrárfelsőoktatás, pedig az Újvidéki Egyetem Mezőgazdaság-tudományi Kara hallgatóinak 9,27 %-a magyar származású, mely arány az oklevelet szerzők között már csak 2,92 %.

Az MPV ASZ professorai úgy ítélik meg, hogy a probléma megoldását a Szabadkai Multietnikus Egyetem leválása jelentené az Újvidéki Egyetemről. Ennek az egyetemnek a magyar karán indulhatna a tanárképzésen valamint a műszaki és informatikai képzésen, kívül mezőgazdasági és kertészeti szak is. Ez a megoldás jelentene garanciát a végzetek szülőföldön maradására, ezzel a nagyarányú kivándorlás megszüntetésére is.

#### *Kárpátalja*

A Kárpátalján kb. 150 ezer magyar él. A magyar nyelvű tanárképzés akkreditálva van. E vonatkozásban a beregszászi Tanárképző Főiskola az egyetlen magyar nyelvű felsőoktatási intézmény határainkon kívül, melyet az adott ország kormánya tart fent. Sajnos érezhető az a tendencia, hogy az állam igyekszik kivonulni a kisebbségi képzésből. Jelenleg nincs magyar nyelvű agrártudományi felsőoktatás. Megoldásként kínálkozik a jelenlegi kertészeti távoktatás bővítése mind létszámban, mind szakterületeiben, továbbá a felsőfokú szakképzettség megszerzésének lehetősége különböző anyaországi egyetemek agrár karain.

Összefoglalva: az MPV ASZ professzorai megállapították, hogy mind Szlovákiában, mind a Vajdaságban és Kárpátalján a magyar nyelvű lakosság zöme vidéken él és a mezőgazdaságban dolgozik, és ezért rendkívül fontos a lakosság magyar nyelvű agrár szakképztségének javítása. Ennek egyik lehetséges formája BSc szinten a jelenleg is működő távoktatási programok bővítése mind létszámukban, mind szakterületeikben.

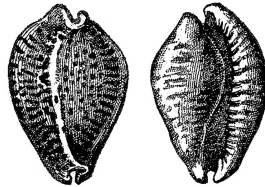
A vidéki magyar nyelvű értelmiség biztosítása elképzelhetetlen a felsőfokú (MSc) okleveles mérnöki szintű képzettség és a tudományos fokozat (PhD) megszerzésének lehetősége nélkül. E problémák megoldásában az egyes régiókra különböző javaslatok tehetők a magyarság lélekszámának és a helyi képzési feltételeknek megfelelően. Az MPV ASZ professzorai úgy ítélik meg, a javasolt alapítványi egyetemnek, egyetemi karnak és

azon belül az agrártudományi szakoknak elsősorban a Vajdaságban, valamint Szlovákiában van realitása. Amennyiben, az adott külhoni régióban az agrártudományok különböző területein a MSc fokozat megszerzése nem biztosítható magyar nyelven, úgy azt pótolni kell az anyaországban, a magyar egyetemek mezőgazdaság-tudományi karai számára biztosított külhoni nappali és levelező hallgatói felvételi keretekkel.

Ám mindhárom régió felsőfokú végzettséget szerzett szakemberei számára a tudományos fokozat megszerzésének lehetőségét az anyaországban kellene biztosítani egy, a kormány által a magyar egyetemeknek biztosított, külhoni diákok számára fenntartott PhD felvételi kerettel.

*Heszky László*

az MTA levelező tagja, az MPV ASZ elnöke



## FELHÍVÁS HAZÁNK EU-CSATLAKOZÁSÁNAK TÁMOGATÁSÁRA

*Magyarország április 12-én jövőfordító, történelmi népszavazás előtt áll. A rendszerváltás kezdete óta remélt csatlakozásunk az Európai Unióhoz mostanra karnyújtásnyi közelségbe került. A csatlakozás azt az esélyt kínálja nemzetünk közösségeinek, polgárainak; mindannyiunknak, hogy végleg túljuthatunk történelmünk zsákutcáin, a „nekünk Mohács kell” önpusztító jövőképén. A nemzethalál komor fenyegetésének elhárítása helyett az európai magyar jövő juthat osztályrészül a ma élő s az eljövendő nemzedékeknek. Mindez a rendszerváltoztató évtized közös munkájának, megszenvedett és ezzel visszafordíthatatlanná lett eredményeinek beteljesülése is: a parlamentáris demokrácia, a teljesítményelvű piacgazdaság és a szociális biztonság megszilárdulását biztosítja mindannyiunk számára.*

Tudjuk, hogy sok kétely, fenntartás, bizonytalanság kíséri ma a csatlakozást. Sokáig nélkülözött teljes körű nemzeti szuverenitásunk eszméje és élménye az a közös kincsünk, amelyet az európai egységesülésben is képesnek kell lennünk megőrizni, miköz-

ben vállalható igazodást kíván a határok szabad átjárhatósága, az európai piacok megnyílása, s az értékelvű közösséghez tartozás. A magyar értelmiségnek kötelessége, hogy az új kihívásokról, lehetőségekről és hátrányokról egyaránt tájékoztassa a közvéleményt – egyértelműen és nyíltan vállalva elkötelezettségüket az Európai Unió mellett!

Ezt teszi a magyar tudósok közössége is. Felhívással fordulunk a döntéshozókhoz, a közvélemény formálóihoz, a helyi társadalom mértékadó személyiségeihez; valamennyi magyar állampolgárhoz: jó lelkiismerettel támogassuk együtt az április 12-i népszavazás sikerét! A tudomány emberei munkájuk révén régóta, belülről ismerik az uniós világ követelményeit és lehetőségeit. A magyar tudomány legjobbjai, kutatóink és egyetemi hallgatóink személyes tapasztalatokat szereztek az uniós együttműködésekben. Hitelesen és meggyőződéssel mondhatjuk tehát: *a nemzeti út Európába vezet!* Ezen az úton fűzhetjük szorosabbra nemzeti közösségünket a határon túli magyarsággal is.

A magyar történelem sok keserű tapasztalata mutatja: Haza és Haladás ügyének

szétválasztása mindenkor tragikus következményekkel járt. Felhívjuk ezért a parlamenti pártokat, hogy a népszavazásig előttünk álló két hónapban szűkebb pártérdekeiket félretéve szólítsák fel híveiket, hogy IGEN-nel szavazzanak április 12-én! Felhívjuk a magyar nyomtatott és elektronikus sajtó munkatársait is: legyenek partnereink az új évezred kezdetének nagy szenzációja, a nemzet közös vállalkozása, az uniós ügy győzelme előkészítésében, bemutatásában!

Illyés Gyula, ha élne, ma azt mondaná: „Jól az felel ma, ki IGEN-nel felel!” Érthetően, tisztán, magyarul.

*Budapest, 2003. február 11.*

*Vizi E. Szilveszter*

*akadémikus*

*a Magyar Tudományos Akadémia elnöke*

*Kosáry Domokos*

*akadémikus*

*a Magyar Tudományos Akadémia volt elnöke*

*Glatz Ferenc*

*akadémikus*

*a Magyar Tudományos Akadémia volt elnöke*

*Kroó Norbert*

*akadémikus*

*a Magyar Tudományos Akadémia főtitikára*

Nemzeti érdekeinket a csatlakozás után – immár egyenrangú tagállamként – a mindenkori magyar kormánynak kell újra és újra határozottan érvényesítenie. Annak tudatában, hogy valamennyi parlamenti párt egyértelműen támogatja a belépést, az IGEN szavazatok meggyőző többsége adhat most már erkölcsi magabiztosságot ahhoz, hogy emelt fővel, a nemzeti büszkeség jogos érzésével léphessünk be az Európai Unióba.

A Magyar Tudományos Akadémia, a nemzet tudományos köztestülete nevében ehhez ajánljuk támogatásunkat!

*Hámori József*

*akadémikus*

*a Magyar Tudományos Akadémia alelnöke*

*Keviczky László*

*akadémikus*

*a Magyar Tudományos Akadémia alelnöke*

*Marosi Ernő*

*akadémikus*

*a Magyar Tudományos Akadémia alelnöke*

*Palánkai Tibor*

*akadémikus*

*az EU Kommunikációs Közalapítvány kuratóriumának elnöke*

## MEGÁLLAPODÁS

### a Magyar Tudományos Akadémia és az Erdélyi Múzeum Egyesület között

A Magyar Tudományos Akadémia (MTA) és az Erdélyi Múzeum Egyesület (EME) a két intézmény közötti kapcsolatok történeti tradícióira alapozva, az egyetemes magyar és a nemzetközi tudományosság érdekeit szem előtt tartva, az EME eddigi és jövőbeli szerepvállalását a romániai magyar tudományos élet-

ben kölcsönösen előnyösnek tekintve, szükségesnek ítéli az együttműködés elmélyítését.

Az MTA és az EME az 1990 óta megújult és szervezetté vált kapcsolattartás eredményeinek továbbfejlesztése érdekében az alábbi keret-jellegű együttműködési megállapodást köti.

#### *1. Tudományos utánpótlás biztosítása*

Az MTA támogatja az EME kutatóintézetében és a többi romániai magyar felsőoktatási és tudományos intézményben folyó utánpótlás-nevelést. Az ehhez a szükségese forr-

sokat, a jelenlegi pénzügyi szinten, az Arany János Közalapítványon keresztül, valamint a többi magyarországi és erdélyi ösztöndíj-pályázati rendszereken keresztül biztosítja.

#### *2. Intézményfejlesztés, strukturális támogatás*

Azon cél eléréséhez, hogy az EME az erdélyi magyar tudománysszervezés központi intézménye maradjon, az Akadémia a jövőben is projektalapú finanszírozással kíván hozzájárulni. Az akadémiai támogatás célja az EME intézményfejlesztő és hálózatépítő törekvéseinek támogatása, tudományterületi és regionális szervezetek kiépítése és működtetése, a szakosztályok megerősítése. Ezt az akadémiai közalapítványi támogatást a jelenleg működő többszámú finanszírozási modell keretében össze kell hangolni a többi támogatási alap működésével (például az Illyés és az Apáczai Közalapítványokkal, további nagyobb magyarországi támogatási

forrásokkal, a kolozsvári székhelyű Sapiaentia Alapítvány működésével, illetve az OM és a NKÖM támogatásaival).

Az Akadémia segítséget nyújt az EME részére az egyéb, Akadémián kívüli magyarországi források, a nemzetközi pályázati kiírások és a rendkívüli finanszírozási lehetőségek elérésében. A két fél továbbra is fontosnak tartja, hogy a jelenlegi kereteken belül az akadémiai támogatási rendszerek évente pályázati alapon meghatározott összegekkel támogassák az EME kutatóintézetét, illetve fiókszervezetei által megpályázott rövidebb-hosszabb távú projekteket, konferencia- és kiadványi tevékenységet.

### *3. Külső tagság, határon túli köztestület megerősítése*

Az MTA kiemelt figyelemben részesíti külső tagjainak tevékenységét, közreműködésüket a magyarországi tudományos életben, a magyar tudományosság egységének helyreállításában. Részükre a továbbiakban is lehetőségeket kíván biztosítani a magyarországi tudományos életbe történő bekapcsolódásra, kutatómunkájuk folytatására. A külső taggá válás követelményei megegyeznek a hazai taggá válás kritériumaival.

Az MTA üdvözli és támogatja a határon túli köztestület bővülését. Kéri az EME hálozatépítő, kutatásszervezési támogatását abban, hogy minél több, tudományos fokozattal rendelkező, akadémiai színvonalon dolgozó, magát magyarnak is valló kutató váljék az akadémiai köztestület tagjává. A köztestületi taggá válás követelményei megegyeznek a magyarországi kritériumokkal. A határon túli köztestület tagjainak tevékenységét az MTA pályázati úton kívánja segíteni.

### *4. Regionális kutatások elősegítése*

Az MTA fontosnak tartja az EME regionális kutatási programjait, megvalósításukat az Arany János Közalapítvány segítségével tartja finanszírozhatónak. Ugyanígy figyelemmel kíséri az akadémiai területi központok és a határon túli régiók, jelen esetben elsősorban

az MTA Debreceni és Szegedi Akadémiai Bizottsága és az Erdélyi Múzeum Egyesület, illetve más, régióbeli magyar tudományos műhelyek együttműködését, bátorítva a közös projektek kidolgozását az MTA tudományos osztályainak segítségével.

### *5. Könyvtár és infrastruktúra fejlesztése*

Az Akadémia a magyarországi könyvtárhálózatot keresztül ösztönzi az internetes könyvtár-, adatbázis-kapcsolatokat. Ezen belül lehetőségeihez mérten támogatja internetes portálok kialakítását, a meglévő romániai magyar fiókkönyvtárak internetes kapcsolódásának megvalósítását. Fontosnak tartja,

hogy a romániai magyar felsőoktatási és tudományos intézmények mielőbb létező nemzeti könyvtár és informatikai központ, ill. fokozatosan kiépülő könyvtári szolgáltatás élvezői lehessenek. Az Országos Széchényi Könyvtárral való együttműködésre ösztönöz e cél gyakorlati megvalósítása érdekében.

### *6. Könyvkiadás, folyóirat-megjelentetés támogatása*

Az MTA Arany János Közalapítványa a beérkezett pályázatok minősége alapján és pénzügyi lehetőségeihez képest évente elbírálja az EME könyv- és folyóirat-kiadási

tevékenységének támogatására beérkező pályázatokat, és ilyen formán hozzájárul azok költségeihez.

### *7. Együttműködés ösztönzése az erdélyi tudományosság különböző fórumaival*

Az MTA szorgalmazza az erdélyi magyar tudományosság belső integrációját, így különösen fontosnak tartja és lehetőségeihez mérten ösztönzi a tényleges együttműködés megvalósulását az EME és szakosztályai, a romániai magyar felsőoktatási intézmények és más tudományos műhelyek kutatói

között. Ez a feltétele annak, hogy egyeztetett vélemények alapján hosszú távú projektek szülessenek a romániai magyar tudományosság megerősítése érdekében. Szükséges a magyarországi határon túli kutatástámogatás koncentrációja: a kiemelt projektek meghatározásában az EME szerepe jelentős.

### *8. Akadémiai kutatóállomás-hálózat*

2001-ben a Magyarországgal szomszédos országok közül négyben – Romániában Kolozsvárott és Sepsiszentgyörgyön – létrejött az akadémiai kutatóállomás-hálózat. Ennek szerepét Erdélyben az EME és az

Erdélyi Magyar Anyanyelvűpolók Szövetsége keretében megalakult Szabó T. Attila Nyelvi Intézet látja el, amelynek működését teljes egészében az Arany János Közalapítvány biztosítja.

### *9. Érvényesség*

Jelen megállapodás a következő három évre szól, és amennyiben a két fél 2005. március 31-éig nem kéri írásban a megállapodás módosítását vagy érvénytelenítését, úgy további három évre automatikusan érvényben marad.

E keretjellegű együttműködési megállapodás évente konkretizálódik részletes együttműködési megállapodás formájában; első ízben 2002. december 15-ig a 2003. évi konkrét program megfogalmazásával.

Budapest, 2002. november 23.

**Egyed Ákos**  
az Erdélyi Múzeum Egyesület  
elnöke

**Vizi E. Szilveszter**  
a Magyar Tudományos Akadémia  
elnöke

# A FUNKCIONÁLIS GENOMIKA SZEREPVÁLLALÁSA

Közgyűlési felszólalás

Akadémiánk számos alkalommal vállalt úttörő szerepet az új kutatási irányok hazai bevezetésében. Kikerülhetetlen kötelességünk, hogy érzékeljük és nyomon kövessük a tudomány fő nemzetközi áramlatait, valamint versenyképesen bekapcsolódjunk az ismeretszerzés globalizált folyamataiba. Így nem hagyhatjuk figyelmen kívül azt a ténytet, hogy napjainkban szemünk előtt zajlik a genomikához kötődő szemléletváltás, amely kivétel nélkül érinti az élettudományok szinte minden ágát, és természetesen meghatározó szereplővé válik az egészségügy, a mezőgazdaság és a környezetvédelem területén. Mint tapasztalhatjuk, az informatika szántalan formában részese mindennapi életünknek. Ehhez hasonlóan a genomika is mint új gondolkodási rendszer és technológia, megkezdte szerepvállalását az orvosi prevencióban, diagnosztikában, terápiában, az egészségkímélő élelmiszerek előállításában. A genomikai programoknak köszönhetően folyamatosan bővül azon fajoknak a száma, amelyek esetében a teljes DNS-állomány nukleotid-sorrendje ismertté válik. Megállás nélkül dolgoznak a DNS-szekvenátorok, a komputerok megjósolják a gének határait. Evolúciós rokonságok és fejlődési ágak rajzolódnak ki a DNS-szerkezeti vizsgálatok eredményeként. A biodiverzitás molekuláris paraméterekkel jellemezhető. A gének misztikus világa egyre inkább kézzelfogható realitássá szelídül, szellemes kutatási stratégiák szolgálják a gének funkcióinak megfjtését. A funkcionális genomika lényeges sajátja, hogy több-

ezer gén működésének egyidejű jellemzésével kívánja az életfolyamatok komplexitását követni. A rendszerszemléletű biológia kapcsolatot teremt a génkifejeződési mintázatok, a proteomikai adatbázisok és az anyagcsereutak értékeléséből származó információk között. Jelátviteli hálózati rendszerek feltárása segít számos életjelenség alapjainak tisztázásához.

A fenti rövid helyzetelemzés talán meggyőzően rávilágít arra a tényre, hogy a genomikának köszönhetően valami igen fontos új fejlődési irány kezdődött, Európa szinte genomikai lázban ég. A politikai döntéshozók is érzékelik ennek az ügynek a jelentőségét. Nemzeti genomikai programok, központok sora alakul az EU-tagországok szinte mindegyikében, a 6. keretprogram a genomikát kiemelt jelentőségű prioritásként kezeli. A kutatói közösségek idehaza is reagáltak az új kihívásra, és folyamatosan bővül a sikeres kutatások köre. Látna a nemzetközi tevékenység kibővülését, a jelentkező hazai társadalmi igényeket, talán indokolt lehetőségeinket reálistan értékelni. A genomika mint ismeretszerző alapkutatási tevékenység alkalmazási lehetőségeket kínál az egészségügy, a mezőgazdaság és a környezetvédelem számára. Az együttműködések és a koordináció szükségességét belátva ezúttal szeretném kérni az alábbiakat:

1. Az akadémiai vezetés vállaljon kezdeményező szerepet a genomikai kutatás és fejlesztés hazai kapacitásának bővítésében.

2. Az MTA biztosítson szakmai háttérrel a leghatékonyabb szervezeti és működési formák kidolgozásához.

3. Járuljon hozzá az érintett minisztériumok közötti koordináció és együttműködés létrejöttéhez.

4. Kezdeményezze, hogy a genomikai megközelítés jelenjen meg a Nemzeti Fejlesztési Tervben mint az életminőség javítása kapcsán megfogalmazott célok megvalósításának eszköze.

### *Kiegészítés*

A genomikai kutatásokban és fejlesztésekben érdekelt kutatói közösségek ezúttal köszönik az Akadémia vezetésének, kiemelten Vizi E. Szilveszternek, az MTA elnökének támogató együttműködését, amely hatékonyan segíti a politikai döntéshozatalt ebben az egész magyar társadalmat érintő fontos ügyben.

*Dudits Dénes*

az MTA rendes tagja, az MTA Szegedi  
Biológiai Központ főigazgatója

---

## **SZILÁRD LEÓ PROFESSZORI ÖSZTÖNDÍJAK – ÖTÖDSZÖR –**

Az 1998-ban, Szilárd Leó születésének centenáriuma alkalmából alapított ösztöndíjat évente három olyan kutató veheti át, akinek eredményeit világszerte elismerik, és aki személyes tekintélyét iskolateremtő felelősségérzettel párosítva segíti elő fiatal munkatársai, egyetemi hallgatói sikeres pályáját.

Az amerikai ALCOA cég magyarországi vállalatai és a Magyar Felsőoktatásért és Kutatásért Alapítvány ösztöndíját idén a következőknek ítelték oda:

### **Kovács Ferenc**

okleveles bányamérnök, a Miskolci Egyetem oktatója, az MTA rendes tagja. Tudományos és alkotói munkássága a bányatelepítés, a bányaművelés és biztonság elméleti és gyakorlati kérdéseit öleli fel.

### **Pócs Tamás**

biológus, az MTA rendes tagja, az Eszterházy Károly Főiskola professzor emeritusa. Tudományos szempontból egyedülállóan értékes növénygyűjtemény-fejlesztő tevékenysége, amelyből kiemelkedik a főiskola herbáriumának megalapítása.

### **Vicsek Tamás**

az ELTE biológiai fizika tanszékének alapító tanszékvezető professzora, az MTA rendes tagja, aki számos eredménnyel lepte meg a világot olyan emberi tömegjelenségekkel kapcsolatban, mint a menekülési pánik, a vastaps vagy a sportstadionok emberhulláma.

---

# Megemlékezés

2003. január 29-én, hosszú betegség után elhunyt a modern magyar összehasonlító idegtudományi kutatások elindítója és kiváló művelője, a Balaton-kutatás és a nemzetközi neurobiológia fáradhatatlan szervezője, Salánki János, az MTA rendes tagja.

Salánki János Debrecenben született 1929-ben, és ugyanott nyert orvosi diplomát 1954-ben. Már debreceni hallgató korában és végzése után az élettani kutató-

munka vonzotta, így lett Kesztyüs Loránd munkatársa. Tudományos pályája az összehasonlító idegélettan nagy egyénisége, Hacsatur Kostojanc professzor mellől indult, akinek Moszkvában 1955-től aspiránsa, Tihanyban pedig az ötvenes évek második felében lelkes tanfolyam hallgatója volt. Salánki akadémikus a tudományos szféra több területén alkotott maradandót.

Első területként tudományos kutatásainak jelentőségét kell aláhúzni. Ő indította el hazánkban a gerinctelen állatok idegrendszerének korszerű kutatását. Tisztázta a puhatestűek ritmikus aktivitásának idegi szabályozását, annak elektromos és kémiai hátterét. Elsősorban a glutamát hatásával kapcsolatos eredményeit kell kiemelni, ő mutatta ki elsőként ezen fontos átvívó anyagnak a puhatestűek neuronjaira kifejtett hatását. De lényegesek a szerotoninnal és az acetilkolin befolyásával összefüggő adatai is. Többek között azt is bizonyította, hogy egyazon sejtmembrán receptorai többféle átvívóanyag



**SALÁNKI JÁNOS**

(1929–2003)

iránti érzékenységet mutatnak, e felismerés az ún. multifunkciós neuronok első leírásai közé tartozik. Feleségével, S. Rózsa Katalinnal, úttörő munkát végzett a Helix és a Lymnea teljes agyi neuronállományára kiterjedő térképezésben, valamint annak kimutatásában is, hogy a csigaagy sejtszövetéből eredő ingerek nyomán serkentő és gátló válaszokat egyaránt adhatnak.

Salánki János munkásságában külön fejezet annak feltárása, hogy milyen körülmények között fertőzték meg mérgező anyagokkal a Balaton állatvilágát. Ez a kutatás nagy gyakorlati jelentőségűnek bizonyult, és alapját képezte a nemzetközi szinten is elterjedt és jegyzett biomonitorprogramnak. Ő ajánlotta az élővíz-szennyezés jelzéseként a tavi kagylót – ez az egyszerű és hatékony jelzőmódszer világszerte bevált. Nem véletlen, hogy a Nemzetközi Biológiai Unión belül alakult Biológiai Monitor Bizottságnak ő volt a kezdeményezője és mindhaláláig elnöke is! Fél tucat tanítványa ma a tudomány doktoraként, professzorként működik, további másfél tucat munkatársa pedig PhD (kandidátusi) fokozatot szerzett. Eredményeit 260-nál is több publikációban közölte. Salánki János évekig az ELTE-n oktatott, melynek címzetes egyetemi tanára lett, az utóbbi években pedig a Veszprémi Egyetem környezet- és neurobiológiai tanára volt. Érdemei alapján a Magyar Tudományos Akadémia 1976-ban levelező tagjává, 1987-ben

rendes tagjává választotta. Ezzel a tudományos teljesítménnyel szorosan összekapcsolódik az első hazai összehasonlító neurobiológiai kutatócsoport megalapítása és nemzetközi szintre való fejlesztése Tihanyban; a részleg ma is sikeresen működik. E laboratórium kibontakozásával függött össze magának a tihanyi Biológiai (ma: Limnológiai) Kutatóintézetnek megszilárdítása és korszerűsítése. Salánki János csaknem harminc évig volt e nagy hírű intézet vezetője, neki köszönhető, hogy e páratlan hazai kutatóközpont hosszú évek után ismét az alapító Verzár Frigyes és kutatótársai igény szintjén, Klebelsberg Kunó szándéka szerint kiegyensúlyozottan, ma is magas színvonalon működik. A hazai kultúra története sokféle Balatonrajongást ismer. Mindnyájan meg tudjuk nevezni azon klasszikus írók, költők, képzőművészek sorát, akiknek szinte egész munkássága e csodás tavunkhoz kapcsolódik. Sajátos csapat ezen alkotók között a tudományos kutatók raja! Ők alkotják a legjózanabb, legszívósabb, de egyben a legelkötelezettebb és legfelkészültebb lévek és tóvédők csoportját! Ezek élvonalába kell sorolnunk Salánki Jánost is, aki életének alig hetvennégy évéből negyven esztendőt szentelt a balatoni élet megismerésének! Debrecenből 1962-ben érkezett igazgatóként Tihanyba, és szinte elhunytáig napjáiig állhatatosan küzdött a tavi élővilág jobb feltárásáért és védelméért. Például ő rendezte 1988-ban az UNESCO Nemzetközi Tókönyvet Bizottságának (ILEC) nagy sikerű kongresszusát. A balatoni kutatás érdekében kormányzati szolgálatot is vállalt: 1995-től évekig mintegy harminc illetékes laboratórium kutatómunkájának tervezési és koordinációs feladatát látta el.

Végezetül: a fent leírtak is nagy hangsúlyval emelik ki Salánki János páratlan tudománysszervezői tevékenységét. Gyakorlatilag őt ismerjük el a Magyar Idegtudományi Társaság létrehozójaként: egyesületünk az

általán alapított MÉT Idegtudományi Szekcióból alakult. 1967-től tucatnyi nemzetközi, gerinctelenekkel foglalkozó neurobiológiai szimpóziumot szervezett Tihanyban, ezek anyaga húsz kötetben angolul, négy kötetben magyarul gazdagítja a vonatkozó nemzetközi forrásirodalmat. 1988-tól három évig a tekintélyes Nemzetközi Biológiai Unió (IUBS) elnöke volt. 1980-tól élete végéig az IUBS Magyar Nemzeti Bizottságát is vezette. Szorosan vett szakmai közéleti munkáján felül Salánki János 1985-1997 között a Veszprémi Akadémiai Bizottság elnöki tisztségét is betöltötte. 1989-ben kezdeményezte az International Society for Invertebrate Neurobiology megalakulását, amelynek első elnöke lett. 1985-től kezdve mostanáig az Acta Biologica Hungarica főszerkesztője volt.

Elhunyt kollégánk és barátunk markáns, egy tömbből faragott jellem volt, aki természetes módon és büszkén viselte debreceni ősei legkiválóbb plebejusi jellemvonásait: a józan ítélőképességet, a ragyogó intellektust, a kiemelkedő alkotói tehetséget, a szilárd és megvesztegethetetlen elgazodást a társadalom és a tudomány dolgaiban. Lelkierejére és higgadt helyzetfelismerésére jellemző, hogy végzetes kórfolyamata teljes tudatában, alig néhány hete karácsonyi levelet írt külföldi kollégáinak és barátainak, amelyben vázolta betegségét és mindennek dacára kifejezte töretlen optimizmusát és reménykedését a jövőt illetően.

Salánki János elhunytáig a magyar és a nemzetközi összehasonlító neurobiológia nagy vesztesége. Emléke azonban jelentős műveiben fennmarad. Elsősorban az állatok összehasonlító agyműködésének feltárása terén elért, széles körben ismert kimagasló eredményeiben, valamint az általa alapított vagy fejlesztett, fent méltatott intézmények és tudományos közösségek működésében.

*Ádám György*  
az MTA rendes tagja

---

# Kitekintés

## MATEMATIKA: CIPŐFŰZŐ ÉS NYAKKENDŐ

A *Nature* 2002 decemberében *Matematika* felcímmel közölte Burkard Polster *A cipőfűzés legjobb módjáról* című rövid értekezését. A dolgozat a *The New York Times* érdeklődését is felkeltette. Dr. Rosalind Cotter, a *Nature* illetékes rovatvezetője a napilapnak elmondta, hogy az ausztrál matematikus cikke tudományosan pontos, és ugyanazon a lektorálási folyamaton esett át, mint a *Nature*-ben közölt többi tanulmány.

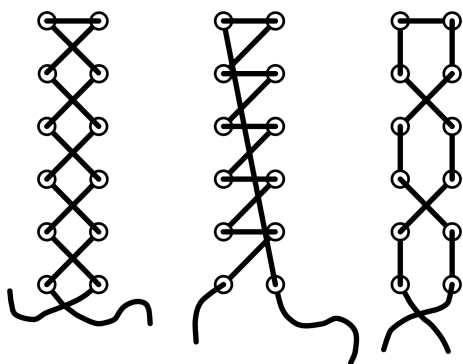
A téma kétségtelenül szórakoztató. A szerző elavás előtt, birkák számolása helyett a cipőfűzők számolgatásával pihentette agyát.

A cipőfűzésben két megoldás uralkodik. Az egyszerű *cikkcakk* a legnépszerűbb (*1. ábrán* baloldalt). Kedveltségben nem sokkal marad le mögötte az a mód, amikor csak a cipőfűző egyik szára halad cikkcakkos úton, a másik az egyik oldal tetejéről egyenesen a másik oldal aljára vezet (*1. ábrán* középen). A továbbiakban egyszerűen X, illetve N mintázatnak nevezzük ezeket a megoldásokat. Burkard Polster a mindkét oldalon hat lyukkal bíró cipők fűzési lehetőségeit vizsgálva arra az eredményre jutott, hogy a feladat 43 200 különböző módon oldható meg. Valójában a lehetséges megoldások száma ennél is nagyobb, ő már praktikus, szigorító szempontot is bevezetett. Megkövetelte, hogy minden lyuk játsszon szerepet a cipő két felének összehúzásában. Ez azt jelenti, hogy a cipőfűző nem haladhat át egyenes vonalban három egymást követő lyukon, mert ez esetben a középső lyuk nem segíti tevőlegesen az összehúzást.

A lehetséges 43 200 befűzési mód többsége nem szép. A szépség mellett természetesen más szempont szerint is folytatódhat az elemzés. Polster megkereste azokat a megoldásokat, amelyek a legerősebb összehúzást biztosítják, illetve a legrövidebb cipőfűzőt igénylik. Kiderült, hogy a két hétköznapi megoldás, az X és az N fűzés adja a legerősebb kötést, de köztük is van különbség. Ha a lyukak viszonylag közel és az összehúzendó oldalak viszonylag távol vannak egymástól, akkor az X cikkcakk az ideális megoldás. Egymástól távolabb eső lyukaknál viszont az N megoldás a legjobb. A legrövidebb befűzési módot Polster csokornyakkendő megoldásnak nevezte, ez látható az *1. ábrán* jobboldalt. Mivel a kirakatrendezők a megszokottól eltérő fűzéseket is használnak, a matematikus szorgosan látogatta a cipőboltokat, és két esetben fel is fedezte a csokornyakkendő megoldást.

Polster témaválasztására két Cambridge-i fizikus korábbi munkája hatott, akik a nyakkendőkötés lehetséges módozatait tárták fel, és a szigorú matematikai alapokon nyugvó nyakkendőkötés elmélete alapján új, esztétikus csomózási módokat fedeztek fel. (Munkásságukat egy korábbi írásom felhasználásával mutatom be.)

Thomas M. Fink és Yong Mao, a brit Cavendish Laboratory fizikus kutatói a *Nature*-ben közölték *Nyakkendőcsomók tervezése bolyongással* című tanulmányukat. A bolyongás, a véletlen mozgás leírása ismert matematikai probléma, a kutatók a statisztikus fizika módszereivel oldották meg a feladatot. Először a képletek nyelvére fordították le a csomókötés fázisait. Elemi alapvevésekből indultak ki: a nyakkendőnek két



1. ábra

vége van, egy szélesebb (aktív) és egy keskenyebb (passzív). A nyakkendő keresztezett szárai négy részre osztják a teret, ebből a számításokhoz három térrész a fontos: a jobb, a bal és a középső. A szárok félfordulattal kerülnek át egyik térrészből a másikba. Ezt háromszögekből felépülő ráccsal modellezték, a J, B és K tengelyek jelölik ki a három térrészt a mozgatható számáért, valamely háromszög egy oldala felel meg a nyakkendőcsomózás egyetlen lépésének. Ezek után már nincs is más teendő, mint megnézni, vajon hogyan, hányféleképpen lehet bolyongani, vándorolni a háromszög oldalai mentén.

A matematikai probléma szépségét az adja, hogy a bolyongás mégsem lehet teljesen tetszőleges, ha a végén stabil nyakkendőcsomóhoz szeretnénk jutni. Már a kiindulás sem tetszőleges, ugyanígy kötöttek a befejező lépések. Ha csomóhoz akarunk jutni, akkor két egymás utáni lépés nem vezethet ugyanabba az irányba, ugyanabba a térrészbe. A nyakkendő hossza véges, ezért a végrehajtható lépések száma sem lehet túl nagy. Három lépésnél kevesebből nem köthető csomó, a felső határt a kutatók kilencnél húzták meg, e fölött már aránytalanul nagy csomó adódott volna. Ezek után már tényleg a matematikáé volt a szó. A megszorításokat figyelembe véve nyolcvanötféle bolyongás alakulhatott ki, nyolcvanötféle nyakkendőcsomózási lépéssorozat hajtható végre.

A kutatók – még mindig szigorúan matematikai alapon és nem a gyakorlatban, a tükör előtt – tovább válogattak a lehetőségek között. Az emberek szeretik a szimmetriát, ezért előírták, hogy a csomók legyenek szimmetrikusak, ez úgy érhető el, ha a balra, illetve jobbra vezető lépések száma egyenlő. Megfogalmazható az egyensúly követelménye is: vagyis a magára hagyott csomó ne essen szét. Tanulmányukban a tíz legesztétikusabb csomó képletét, kötési módszertanát tették közzé. Természetesen a tíz között van az eddig a gyakorlatban alkalmazott négyféle kötésmód is.

Divattörténészek szerint a hagyományos, négylépéses csomózási mód a múlt század végén Angliában alakult ki. A következő formát 1936-ban a windsori herceg, a későbbi VIII. Edward vezette be, ez a nyolc lépésben készíthető ún. Windsor-csomó, ebből származott később a hatlépéses fél-Windsor. 1989-ben született meg a Pratt-csomó, ez akkora esemény volt, hogy a *The New York Times* címlapon adott róla hírt. Az újabb nyolcvanegy lehetőség felfedezői is megérdemlik tehát, hogy hírt adjunk róluk.

## CIPŐFŰZŐ:

Burkard Polster: Mathematics: What is the Best Way to Lace Your Shoes? *Nature*. Vol. 420, 5 December 2002. p. 476.

Chang, Kenneth: Seeking Perfection in Shoe Lacing, With 43,200 Choices, *The New York Times*, 10 Dec., 2002 vagy <http://www.nytimes.com/2002/12/10/science/10LACE.html>

## NYAKKENDŐ:

Thomas M. Fink – Yong Mao: Designing Tie Knots by Random Walks. *Nature*. Vol. 398, 4 March 1999, p. 31.

Henry Fountain: It Takes a Scientist to Tie a Necktie, 85 Different Ways. *Science Desk*. *The New York Times*. March 9, 1999,

Jéki László: A fizikusok a divatba is betörek Magyar Hírlap. 2000. március 3.

Thomas Fink *nyakkendőcsomó* honlapja: <http://www.tcm.phy.cam.ac.uk/~tmf20/>

J. L.

## MEGMÉRTÉK A GRAVITÁCIÓ TERJEDÉSI SEBESSÉGÉT?

2003. január 7-én Seattle-ben, az American Astronomical Society éves közgyűlésén két kutató bejelentette, hogy a világon elsőként sikerült megmérniük a gravitáció terjedési sebességét. Az eredmény Einstein relativitáselméletével összhangban megegyezett a fény sebességével. Nincs tehát szenzáció, továbbra is jó a relativitáselmélet, ennek ellenére a bejelentés gyorsan az írott és elektronikus napilapok vezető tudományos híre lett. A gyors és nagy sajtóvisszhang miatt a kritikai észrevételek sem késtek sokáig, ezeket azonban már hiába keresnék a napisajtóban, itt a *Nature*-ben és a *Science*-ben közzreadott észrevételeket idézzük.

A gravitáció sebességének megmérése lehetőséget adna a gravitációs hullámok észlelése. Egyre érzékenyebb kísérleti berendezések épülnek, de eddig még a legnagyobb kozmikus kataklizmákat kísérő gravitációs hullámokat sem sikerült észlelni. Sergei Kopeikin elméleti fizikus (University of Missouri) más utat keresett. Nagyjából évtizedenként egyszer a Jupiter a Földről nézve elhalad egy kvazár, a rádióhullám tartományban intenzíven sugárzó égi objektum előtt. A Jupiter gravitációs tere kissé eltéríti a rádióhullámokat. Kopeikin számításai szerint az eltérítés mértéke függ a gravitáció sebességétől. Méréssel lehet tehát tisztázni, hogy Newtonnak volt-e igaza, amikor az azonnali távolhatást tételezte fel, vagy Einsteinnek, aki a gravitációs hatás fénysebességgel való terjedésével számolt. (Ha a Nap egy pillanat alatt eltűnne a Naprendszer középpontjából, és a gravitáció fénysebességgel terjed, akkor a Föld még tizenkilenc percig változatlanul keringene pályáján. Tizenkilenc perc után, a gravitációs erőhatás megszűntével egyenes vonalban kilőne a világűrbe. Ez a lehetőség szerencsére csak gondolatkísérlet formában létezik.)

A Jupiter 2002. szeptemberben haladt el egy rádióhullámokat sugárzó kvazár előtt. Kopeikin és Edward Fomontov csillagász (National Radio Astronomy Observatory, Charlottesville, Virginia) összegyűjtötte a rádióteleszkópok mérési adatait, és Kopeikin formulája alapján ebből számították ki a terjedési sebességét. A gravitáció sebessége a fénysebesség 1,06-szorosának adódott, kb. 20 %-os hibával. A végtelen nagy sebességű terjedést tehát egyértelműen kizárhatták, a gravitáció és a fény sebessége a mérés hibahatárán belül megegyezik.

Asada Hideki (Hiroasaki Egyetem, Japán) már hetekkel az égi esemény előtt amellelt érvelt az *Astrophysical Journal Letters* hasábjain, hogy a tervezett módon nem a gravitáció, hanem a fény sebességét fogják megmérni. A gravitációelmélet egyik tekintélyes művelője, Clifford M. Will szerint a Kopeikin által mérni vélt jelenség csak olyan kis másodrendű hatást okoz, ami ma mérésekkel nem mutatható ki. Mások azt emelik ki, hogy az általános relativitáselméletben a fénysebesség és a gravitáció olyan szoros kapcsolatban állnak egymással, hogy még elvi különválasztásuk lehetősége és módja is vitatott. Ezért vitatják Kopeikin formuláját, amelyet az általános relativitáselméletből vezetett le. John Baez (University of California, Riverside) szerint jó esetben a mérés megerősíti azt az elméletet, amelyben eddig sem kételkedtünk, rossz esetben pedig egy új, rendkívül pontatlan módszert kaptunk a fénysebesség mérésére. Kopeikin és Fomontov kitart eredeti állítása mellett.

### KRITIKUS ÖSSZEFOGLALÓK:

Geoff Brumfiel: Gravity Experiment Sparks Spat Between Physicists. *Nature*. News. 421.16 January, 2003. 198. p.

Robert Irion: The Speed of Gravity? Not So Fast. *Science*. Vol. 299. 17 January, 2003. 323–324. pp.

J. L.

## TROMBÓZISVESZÉLY A SZÁMÍTÓGÉP ELŐTT

Növeli a mélyvénás trombózis és a tüdőembólia kialakulásának esélyét, ha valaki vég nélkül, órákon át ül a számítógép előtt. Richard Beasley, az új-zélandi Orvostudományi Kutatóintézet igazgatója a *European Respiratory Journal* című folyóiratban közölte egy olyan 32 éves fiatalember esetét, aki lábában mélyvénás trombózist kapott, majd akinél egy leváló vérrög tüdőembóliát okozott. A férfi életveszélyes állapotba került.

Mivel túl fiatalnak találták az effajta katasztrófákhoz, vizsgálni kezdték, mi okozhatta a bajt, azonban semmiféle rizikótényezőt nem találtak. A férfi nem dohányzott, nyilvánvalóan nem szedett fogamzásgátló tablettát, ereiben nem találtak rendellenességeket, vérzsír-értékei normálisak voltak. A kutatók szerint betegsége nagy valószínűséggel azzal magyarázható, hogy naponta legalább tizenkét órát ült a számítógép előtt, sokszor órákig fel sem állt.

Néhány éve ismert, hogy hosszú repülőutak után gyakrabban fordulnak elő trombózisok, tüdőembóliák – ez az úgynevezett „turistaosztály-szindróma”. A sok üléstől pang a vér a vénákban, a repülőgépeken igen száraz a levegő, ha valaki nem iszik eleget, a vér besűrűsödik. A visszerek is növelik a kockázatot.

Az új-zélandi kutatók szerint a 32 éves férfi esete bizonyítja, hogy a számítógép előtt is lehetséges a turistaosztály-szindróma, és valószínűleg sokakkal történt már hasonló, csak eddig nem hozták összefüggésbe a komputerrel.

A számítógép előtt sokat ülőknek tehát komolyan kell venniük a tanácsokat: óránként álljanak fel, sétáljanak, mozogjanak, tornázzanak pár percet, és fogyasszanak el naponta 2-3 liter alkoholmentes folyadékot.

European Respiratory Journal. February 2003 (Vol. 21. 374–376)

G. J.

## ALLERGIA-ÁTVITEL SZERVÁTÜLTETÉSEL

Szervátültetéssel átvihető az allergia. Ezt a meglepő felfedezést tették ausztrál orvosok, akiknek májtranszplantáción átesett betege a műtét után huszonöt nappal majdnem belehalt egy kesudió okozta allergiás reakcióba, majd később egy ételben elfogyasztott földimogyoró is súlyos tüneteket váltott ki nála. A férfinél, aki korábban semmiféle olajos magra nem volt érzékeny, a bőrteszt igazolta az erős allergiát.

Kiderült, hogy az a 15 éves fiú, akinek máját megkapta, egy mogyoró okozta allergiás sokkba halt bele. A feltételezések szerint májában túl sok volt azokból az immunfehérjékből, ellenanyagokból, amelyeket szervezete az olajos magvak ellen termelt, és így a máj átadta az üzenetet a befogadó testnek: az olajos magvakat meg kell támadni.

Tri Giang Phan, a Sidney- Royal Prince Alfred Kórház immunológusa szerint az eset felhívja a figyelmet arra, hogy transzplantáció esetén mindig tájékozódni kell a donor allergiáiról.

Tri Giang Phan: Nut Allergy Transferred Through Liver Transplant. *NewScientist* online. 28 January 2003. <http://www.newscientist.com/news/news.jsp?id=ns99993316>

G. J.

## ÉNEKLŐ BAKTÉRIUMOK

„Az értékes információkat még atomkatasztrófa esetén is meg kell védeni” – mondta a Washington állambeli PNL (Pacific Northwest National Laboratory) atomenergiái kutatóintézetben dolgozó Pak Chung Wong, aki nemrég az állította: új adattárolási módszereket keresve megtalálta a probléma megoldását. A fontos információkat baktériumok örökítőanyagában kódolva lehet raktározni.

Az ötlet megvalósíthatóságának első bizonyítékát máris bemutatták a világnak: az „It’s a Small World” című sláger szövegéhez alkottak egy, a DNS négyféle alkotóelemének megfelelően, négy betűből álló kódrendszert, majd olyan DNS-molekulákat építettek, amelyek e kód szerint a dal különböző részletei voltak. Ezeket aztán baktériumokba ültették be, mégpedig az egyik alkalmazott mikroorganizmus egy rendkívül ellenálló, az emberi szervezet számára halálos sugárdózis ezerszeresét is túlélő baktériumfaj volt. Az első kísérletek azt mutatták, hogy a baktériumok örökítőanyaga befogadta az egyes dalrészleteket, és száz generáción keresztül továbbadta az utódoknak.

Hogy mindez jó-e információk tömeges tárolására – azt ma még nem tudni. Például a nótá szövegét részletekben adagolva építették be különböző baktériumokba, mert túlságosan hosszú, „semmire nem használható” információszakaszt valószínűleg nem bír el a baktérium-genom. Felmerül még az is, hogy a mesterséges DNS-láncok építésekor egyelőre túl gyakoriak a hibák ahhoz, hogy

ezt a kódrendszert megbízhatónak tekinthessék. Bonyolult a visszaolvasás is: aki el akarja olvasni a baktériumba rejtett szöveget, annak alkalmaznia kell azt az összetett biokémiai rendszert, ami képes az örökítőanyag alkotóelem-sorrendjének leolvasására, az úgynevezett szekvenálásra.

Egy azonban biztos: a baktériumok – a beléjük épített információkkal együtt – fagyasztva-szárítva az idők végezetéig eltartathatók, és minden bizonnyal ellenállnak egy olyan atomvihamnak, ami a mágneses adattárolókat tönkreteszi.

Az eredeti közlemény: Pak Chung Wong – Kwong-kwok Wong – Harlan Foote: Organic Data Memory Using the DNA Approach. Communications of the ACM. Vol. 46. (1) (January 2003)

Ismertetés és háttér: Kimberly Patch, Technology Research News: Data Stored in Live Cells. <http://www.europedaytraders.com/bionanoartikel.htm>

*G. J.*

*Jéki László – Gimes Júlia*

## Könyvszemle

### *Olvasónapló*

Krausz Tamás szerkesztésében az ELTE Ruszisztikai Központja fontos gyűjteményes munkát tett közzé a szovjet munkatáborokról, a Szolzsenyicin regénycíme nyomán elhíresült Gulagról. Előszavában Krausz arra utal, hogy a könyv összeállítását a szovjet levéltárak megnyílása tette aktuálissá. A Ruszisztikai Központ 1999 novemberében rendezett konferenciát a kérdéskörrel, ennek kibővített anyagát nyújtja ez a kiadvány.

Az I. részben a tanulmányokat három csoportba osztotta a szerkesztő. Az első csoportban *a jelenség történeti értelmezését* adják. Krausz az eddigi szakirodalomról ad kritikus áttekintést, megbírálván a jelenséget a náci koncentrációs táborokkal összemósó értelmezéseket. Hangsúlyozza: a Gulagban nem volt előre megtervezett genocídium. A mintegy tízmillió fogoly fele kommunista volt, ez az erkölcsi mozzanat vezetett a rendszer összeomlásához. Ormos Mária a nácizmussal veti össze a rendszert, a nácik tanultak a bolsevikoktól, de a nácizmus nem csak a bolsevizmusra adott válasz volt, előzményei jóval régebbiek. Céljuk csak a terület-szerzés volt. A rendszert egyik célja teszi egyedülállóvá: egy nép teljes kiirtása. Czéh Zoltán a Gulag gazdasági jelentőségét elemelve úgy látja, az államszocializmus és az erőltetett iparosítás terméke volt a rendszer, az extenzív szakaszban fontos, mert munkatérőt biztosított, az intenzív szakaszban viszont már válságba jutott. A jelenség megismételhetetlen. Vlagyimir Buldakov szerint a rendszer históriájának volt a terméke, jellemző, hogy a köztörvényes bűnözők itt előkelőbbek voltak a politikai elítélteknél. A jelenség

– az előző tanulmány állításával ellentétben – megismételhető. Viktor Bergyinszkij a rendszer rövid történetét vázolja fel, a táborokon belül szinte leképezték a külső világot, még szocialista munkaversenyt is rendeztek. Bartha Eszter a kérdéskör angolszász historiográfiáját tekinti át, több irányzat is volt; akadt, amelyik pozitívumokat is látott. Vita folyt már régóta akörül, vajon orosz sajátoságról van-e szó. Sokan a totalitarizmus fő megnyilvánulását látták a sztálinizmusban, volt, aki ellenforradalomnak minősítette, de olyan értékelés is akadt, amelyik egy újfajta civilizációt látott benne.

A második rész a *rendszer működését* mutatja be. Vlagyimir Borovkin szerint először az értelmiségiek kerültek ide, meg azok, akiket megfosztottak állampolgárságuktól, azután a NEP-korszak ügyeskedő nepmanjai, a trockisták, a jobboldali ellenzék tagjai, mindazok, akik bírálták a kollektivizálást vagy Sztálin politikáját, végül a kulákok. A. Bezborodov – V. Bezborodova – Sz. Golotyik a harmincas-ötvenes évek vonatkozásában a szökések formáit kategorizálták aszerint, hogy az elítéltek a munkahelyről, a tábori zónából vagy a menetoszlopokból szöktek-e meg. 1939-ben 12 250 volt a szökések száma, nyolcvan százalékukat elfogták. 1945-től az egykori hadifoglyokkal, a németek megszállta területekről kikerülő megbízhatatlanokkal bővült a táborlakók száma. Részletes számadatokat kapunk az 1950-57 közötti szökésekről, 1953-57 közt a foglyok száma egyharmadára csökkent. Peter Kenez a szocialista realizmus és a táborok kapcsolatát elemzi. Az irányzat hazugságokra épült,

de szépirodalmi alkotásait mégis elfogadták. Viktor Panyejah az 1929-31-es „akadémiai ügyről”, a Szergej Fjodorovics Platonov történész elleni vizsgálatokról ír. Alekszandr Sztikalin és Vjacseszlav Szereda saját könyvük alapján foglalják röviden össze Lukács György 1941-es letartóztatásának történetét. Lukács 1941. június 29-től augusztus 26-ig volt vizsgálati fogságban, a primitív kihallgatóknak fogalmuk sem volt arról, ki is a vádlott. Lukács kiszabadítását Rákosi kérte, mert az új pártprogram összeállításához szüksége volt rá, végül Dimitrov közbenjárására engedték szabadon. Bebesi György az orosz szélsőjobboldal sorsát vázolja fel. Már az októberi forradalom pillanatától szervezkedtek, a kormányzat 1918 tavaszától lépett fel keményen ellenük. Sokan az Egyesült Államokba menekültek. Puriskevics három kötetben adta ki a cárizmusért meghalt mintegy húsz ezer mártír életrajzát. Harsányi Iván a spanyol polgárháború idején jelentkező terror jelenségeit vizsgálja. A köztársaságiaknál ezt a szovjet titkosrendőrség vezette, ebben volt szerepe Gerő Ernőnek is.

A harmadik csoport tanulmányai a táborokban őrzött foglyok számát járják körül. Vagyim Rogovin a túlbecsült számokkal szemben eddigi titkos hivatalos források alapján ad részletes adatokat egyes évekről. 1921-53 között szerinte mintegy 10 millió ember volt a táborok foglya, vagyis a Szovjetunió lakosságának egy százaléka. A számok megállapítását megnehezíti, hogy többnyire nem különítették el a politikai foglyokat a köztörvényesektől. Jellemző adat az 1937/38-as nagy terrorra: 1937-ben 315-ször annyi embert végeztek ki, mint az előző évben. A szerző a későbbi rehabilitációkról is közöl számokat. A későbbi jelentések a párttagok számát csökkentették, 1937/38 során mindössze 116 885 párttag ült a táborokban, csakhogy sokat már előtte kizártak, vagy éppen a letartóztatás előtt vették el a tagsági könyvüket. Szaharov szerint 1926-39 közt

1,2 millió kommunista volt a táborokban, az akkori párttagság fele, kb. 600 ezer főt kivégeztek. Stephen Wheatcroft a számokat elsőként kutató Robert Conquesttel vitatkozva arra utal, hogy az akkori (titkos) számadatok hiteleseknek tekinthetők, ezért tartja túlzottnak Conquest számadatait. Azt is cáfolja, hogy az 1932/33-as nagy éhínséget szándékosan idézték volna elő. Számos táblázatot is közöl. Conquest rövid írásban vitatkozik Wheatcroft felfogásával, saját adatait már korábban csökkentette. (A vita mindkét részről eléggé gusztustalan.) Mintegy lezárásként Szilágyi Ákos *Számbeszéd* címen fűz megjegyzéseket a vitához és egyéb adatokhoz. Utal arra, milyen jelentős szerepe van a táborok történetírásában az *oral history* műfajának. A számokat mindig a konkrét történeti kontextusban kell elhelyezni, az erkölcsi elmarasztaló ítélet amúgy sem a számoktól függ.

A kötet felét a II. rész és a mellékletek teszik ki. Itt nemcsak dokumentumokat találunk a sztálintalanítás utáni időből, de feldolgozásokat is. Viktor Zemszkov is megpróbálja összefoglalni az adatokat, etnikumok szerinti számokat is közöl. További iratok találhatóak a táborok halandóságáról, a kulákok kitelepítésére vonatkozó rendeletekből. Azután adatok következnek a háború alatti helyzetről, a deportáltakról, a németországi hadifogolytáborokból hazatértekről. Viktor Bergyinszkij a vjatkai tábor mutatja be, ahol a 3 ezer elítéltekből 1661 volt a köztörvényes. Beszámol a táborok kulturális programjairól és a tábori alvilágról. Részletek következnek Lukács György kihallgatási jegyzőkönyvéből, iratok Karikás Frigyes 1938-as letartóztatásáról és kivégzéséről. Fontos a 339-375. lapokon közölt betűrendes jegyzék a Moszkvában és a moszkvai területen kivégzett magyarokról, amihez minden esetben rövid életrajz csatlakozik. Sajnos semmi adat sincs arra, mikor és hogyan kerültek ki a Szovjetunióba, de az olvasó információt kap az egyes kivégzettek rehabilitációjáról.

A mellékletek közt van egy rövid, anonim összefoglalás a táborok kialakulásáról és első éveiről, 1934-ig megy, jegyzetek nélkül. Hasznos a Gulagban használatos kifejezések szótára, kellő magyarázatokkal (414–420. p.), az orosz alapszövegű rövidítések feloldása, a felhasznált bibliográfia (425–433. pp.) a szerzők névsora a kötetben szereplő tanulmányok eredeti lelőhelyével, végül az első rész névmutatója. A munka tehát valóban igen sok adatot közöl, a további kutatások alapját teremti meg. Kívánatos lett volna az egykori szovjet, mai orosz levéltárak felsorolása, amelyekben a témára vonatkozó anyag található, de ezt alkalmasint nehéz lett volna összeállítani.

(Krausz Tamás szerkesztő: *Gulag. A szovjet táborrendszer története. Pannonica, Budapest, 2001. 440 p.*)

A horrort lehet fokozni, ahogyan azt Karsai László kötete mutatja. A Holokausztnak még nagyobb irodalma van, mint a Gulagnak. Magyar részről a magyarországi vonatkozásokat már régóta feltáró Karsai László egy-maga vállalkozott a kérdést összefoglaló feldolgozás elkészítésére. Bevezetőben az eddigi irodalomra vet futó pillantást, elsősorban az áldozatok számánál a becslésére vonatkozólag. Felemlít egyéb népiirtásokat is (a gyarmatosítók Dél-Amerikában vagy a törökök örmény pogromja 1915-ben), de a Holokauszthoz egyik sem mérhető. Ugyancsak a bevezető fejezetekben kíséri végig az ókortól kezdve az antijudaizmus és antiszemitizmus történetét. Az antiszemitizmus kifejezést Wilhelm Marr hamburgi újságíró találta ki. Karsai itt utal arra, hogy a 19. századig a keresztények és muszlimok többsége írástudatlan volt, a zsidó hitközségekben mindenütt volt iskola.

A III. fejezet Hitler elképzeléseit tárgyalja a faji kérdésről, de bemutatja ennek a 17. század óta követhető előzményeit is. A kötet legnagyobb terjedelemben a náci Németor-

szág faji politikáját elemzi, az egész Európában nagy felháborodást keltő első pogromoktól (Kristályéjszaka) kezdődően. Ekkor még a Németországból való eltávolítás volt a cél, de az eutanázia kérdése kapcsán már itt megmutatkozott az emberi élet általános megvetése. Ekkor került elő az elmebeteg és gyógyíthatatlan betegek eltüntetésének a terve, és valami hasonló elképzelés a homoszexuálisokról is.

A következő rész a lengyelországi fejleményeket mutatja be. Itt 3 millió zsidó élt, 45 százalékuk iparos és munkás. Először a papokat és egyéb értelmiségieket gyilkolták le, azután tömörítették a zsidó lakosságot gettókba (a lodziban 3 ezer fő, a gettobeliek 1,5 %-a éhen halt). Eleinte még engedték a gettók lakosait dolgozni. 1940-ben Varsóban hatvanezer körül volt a munkába járók száma. 1942 júliusában kezdődött meg a deportálás a haláltáborokba. A varsói gettó felkelésében mintegy kétezer harcos vett részt, közülük csak néhányan haltak meg, de a harcok során 13 929 főt meggyilkoltak, 5-6 ezer ember elpusztult a lángoló városban. Végül is 2,9-3 millió zsidót öltek meg, ebből félmillió volt a gettók halottja. Varsó mellett ugyanis egyéb gettókban is voltak felkelések. A bevetési csoportok (Einsatzgruppe) 1941-ben már félmillió, a szovjet területen 1943 végére már egymillió embert gyilkoltak meg, elsősorban párttagokat és funkcionáriusokat. A litvánok – külön parancs nélkül – maguk is csatlakoztak a náci gyilkosokhoz. Egy fejezet a koncentrációs táborok kérdésével foglalkozik (az intézményt az angolbúr háború során találták fel az angolok). Ezeknek a táboroknak gazdasági funkciójuk is volt: a foglyokat dolgoztatták. Csak lengyel területen hatezer ilyen tábor működött. 1942-től már működésbe léptek a gázkamrák. Volt, ahol a foglyok 19-25 %-át ölték meg, de ezt az ütemet a felsőbb hatóságok túl gyorsnak találták, és leváltották a tábor vezetőjét. A meggyilkoltakról nincsenek pontos

adatok, az iratokat megsemmisítették, a becslések 3 és 6 millió közt mozognak.

A könyv a továbbiakban az olaszországi fejleményeket mutatja be. Itt 44 500 volt a zsidók száma. Zsidótörvényt, német nyomásra, csak 1938-ban hoztak, addig még a fasiszta pártban is voltak zsidók – 1933-ban 4800 fő. Az olaszok által megszállt területekről sem engedte meg Mussolini a zsidók deportálását. A hagyományos olasz lustaság és rendetlenség is kedvezett a zsidók megmaradásának. Persze 1943 őszétől kezdve a németek megszállta Észak-Olaszországban megindultak a deportálások: Rómában tizenkétezer főt deportáltak, hétezer embernek sikerült elrejtőznie, 7680 volt a kivégzettek száma (név szerint ismertek).

A IX. fejezet a nyugat-európai Holokausztról ad képet. A skandináv országokban csekély volt a zsidók száma. Norvégiában csak Quisling miniszterelnökségétől kezdve indult meg az üldözés, az eredetileg ezerhét-száz-ezernyolcszáz főből háromszázharminc Svédországba menekült, hétszázhetven főt deportáltak, közülük 762 főt kivégeztek. Dániában, ahol ugyancsak kevés zsidó élt – és mind asszimilálódott – 477 főt deportáltak, hatvanan estek a terror áldozatául. Franciaországban 350 ezer körül volt a zsidók száma. Itt már régóta élték erős antiszemita hagyományok. 1942-től a katolikus főpapok tiltakozása ellenére a külföldi zsidókat elkezdték deportálni. Itt is név szerint ismerjük a 77 320 meggyilkolt áldozatot. A zsidók háromnegyed része mégis túlélte a háborút. A sík vidékű Hollandiában nem volt lehetőség az elrejtőzésre, és a 140 ezer zsidó lakosból 80 ezer Amszterdamban élt. A százötezer Auschwitzba deportált közül százezer halt meg. Itt az eredeti zsidó lakosság 73%-át ölték meg, Franciaországban csak 25 %-át, Belgiumban 40 %-át (itt is ismerjük a 28 900 kivégzett nevét).

A csatlós országoknak egy ideig volt bizonyos mozgásterük. Bulgáriában eredetileg, 1938-ban 50 ezer zsidó élt, a háború végére

55 ezer. Csak a külföldi (vagyis a bolgárok megszállta területekről származó) zsidókat deportálták. A zsidók fele Szófiában élt. A megszállt területekről tízezer főt deportáltak. Borisz király szerepe ebben a kérdésben vitatott. Az ortodox egyház tiltakozott az üldözés ellen. Korábban itt nem volt antiszemitizmus. Szlovákiában a parlamentben egyedül a magyar kisebbség egyetlen képviselője, Esterházy János szavazott a zsidótörvény ellen. 1942-től 50 000 embert deportáltak (1940-ben 88 591 volt a számuk). Szeptemberben leállították a deportálást. Az áldozatok száma összesen hetvenezer fő. Romániában már régóta erős volt az antiszemitizmus, Hitler szerint a románok még nála is radikálisabbak voltak. A történetíró Nicolae Iorga szerint a zsidókat nem lehet asszimilálni. A Holokauszt mégis szervezetlenül történt, harminc internálótáborban 271-287 ezer foglyot őriztek. A háromszázezer cigány közül hat-nyolcezeret ölték meg, háromezer fő éhen halt. Horvátországban az olasz megszállási övezetben az olasz tiszték védték meg a zsidókat úgy, hogy beköltöztek a lakásukba. A veszteség végül harmincezer főre tehető, de ebből 20-25 ezer főt az uszதாக ölték meg. Szerbiában 42 ezer az áldozatok száma, más adat szerint tizenötezer és tizenkétezer cigány. Az olasz megszállás Görögországban is a védelmet jelentette, csak ennek megszűntével indult meg 1943-ban a deportálás, hatvanezer főt deportáltak, tizenkétezer főt nem. Más becslések 60-67 ezer meggyilkoltról szólnak.

A szerző az eddigieknél jóval részletesebben tárgyalja a magyarországi Holokauszt történetét, utalva arra, hogy az Osztrák-Magyar Monarchia az antiszemitizmust kormány szinten még nem ismerte. 1780-1918 között a Monarchia hadseregében félmillió zsidó szolgált, ami Európában egyedülálló adat. Két táblázat mutatja a két háború közt a zsidók arányát az egyes foglalkozásokban, illetve az értelmiségi munkakörökben. Európában elsőként itt vált az antiszemitizmus a kormány-

politika eszközévé. A zsidótörvények ismeretése után Karsai utal a munkaszolgálatra, továbbá arra, hogy az állampolgárság nélküli zsidókat Kamenyec-Podolszkba deportálták, ahol 23 600 embert öltek meg. Az 1941-es délvidéki (újvidéki) „partizánellenes” pogromban 743 zsidót gyilkoltak meg. A munkaszolgálatosok sokszor megadták magukat a szovjet csapatoknak, de ez nem javított a sorsukon, *secko jedno* – mondták a szovjet katonának (ez azonban nem oroszul van, hanem szlovákul). A vidéki zsidóságot a lakosság közömbössége mellett deportálták, bár voltak együttérzők és kárörvendők is. A budapesti zsidók deportálását Horthy csak a normandiai partraszállás után állította le. Az áldozatok számát Karsai 550 ezer főre becsüli.

Külön fejezet foglalkozik a Zsidó Tanácsokkal. Ezeket mindenütt a megszállók parancsára hozták létre, a tanácsok tagjai próbálták menteni az embereket, de ki is szolgálták a németeket. Az utolsó részben a szerző utal arra, hogy 1941 táján már lehetett tudni, mi történik a zsidókkal a táborokban, de sokan mégsem hitték, annyira elképzelhetetlennek tartották a szörnyűségeket. Karsai sok adalékot hoz fel arra, hogy ki mit tudott Nyugaton vagy a megszállt területeken. Bibó István szerint a magyarok közül is sokan tudták, mi történik, de saját megmentésük érdekében nem akarták elhinni.

A szerző roppant sok olyan részletkérdést világít meg, amelyekre az ismertetésben persze nem lehetett kitérni. A rengeteg jegyzet mellett majdnem egy ívet tesz ki a felhasznált források bibliográfiája. Majdnem hetvenoldalas a névmutató, ami a legtöbb esetben rövid életrajzot is ad. Van földrajzi nevek mutatója is, sőt a 417. lapon az auschwitz-i foglyok elkülönítésére használt jelzések képe is megtalálható. A kronológia mindössze két oldalt tesz ki. A szerző nemegyszer Pozsony helyett Bratislavát mond és Zimony helyett Zemunt, erre a pártállami göröcsre manapság már semmi szükség, Bécs-et sem szoktuk Wiennek nevezni. Nagyon részletes könyv Karsaié, és még sokkal szomorúbb. A 15. lapon található egy táblázat országokénti bontásban a zsidó lakosság eredeti számáról, és a pusztítás minimális és maximális becsült adatairól. Összesítve és kerekítve a halottak minimális becsült száma 5 596 000, a maximális 5 860 000.

A két munka áttanulmányozása után az olvasó eltöprenghet azon, vajon a két rendszer közt a hasonlóságok vagy a különbségek a jelentősebbek.

(Karsai László: *Holokauszt. Pannonicica, Budapest, 2001. 426 p.*)

*Niederhauser Emil*

az MTA rendes tagja, egyetemi tanár (ELTE)

## *Magyar tudománytár 1. kötet Föld, víz, levegő*

A *Magyar tudománytár* sorozat a Magyar Tudományos Akadémia Társadalomkutatási Központja és a Kossuth Kiadó Rt. közös alkotása. A sorozat főszerkesztője Glatz Ferenc. Az itt tárgyalt első kötet, melyet Mészáros Ernő és Schweitzer Ferenc szerkesztett, *Föld, víz, levegő* címmel nemrég jelent meg több mint ötszáz oldalnyi terjedelemben. A kötetben 211 főként színes ábrát, 38 főként színes képet

és 40 táblázatot találunk. A gazdag illusztrációs anyag nyomdai kivitelezése, csakúgy, mint az egész kötet kiállítása, kifogástalan és méltó a vállalkozáshoz. Az anyag összeállításában harminchét szerző működött közre.

A kötethez Somogyi Sándor írt bevezetőt, amely akár egy önálló földrajzi fejezetnek is beillene, de sajnos nem az, amire itt szükség lett volna: például egyetlen mondatban sem utal a kötet széles témakörére és tartalmára. Jobb lett volna, ha a kötet szerkesztői írnak egy ide illő bevezetőt, és megmagyarázzák, hogy a kötet miért lett olyan, amilyen lett.

Sajnos az anyag távolról sem egységes. Az indító fejezet (*Geológiai viszonyok és talajok*) tizenhárom szerző műve. Itt remek áttekintést kapunk a Kárpát-medence és környezete mélyszerkezetéről, a geológiai egységek kialakulásáról, a földtörténeti korok eseményeiről, a földtani tájegységekről és a talajtakarókról. Alapos munka, az illusztrációk fenomenálisak, a leírások kifogástalanok. Nagyon hasznosak és szemléletesek például a földtani szelvények. Érdekes példaként említem a Korpás László nyomán közölt 42. ábrát, amely a Gellért-hegy földtani szelvényét mutatja be az Erzsébet híd látképével kombinálva. A talajtakaróval foglalkozó fontos alfejezet lehetett volna lényegesen hosszabb is. A kötetből nem derül ki, hogy ki koordinálta a tizenhárom szerző együttműködését, de akárki is volt, elismerést érdemel.

A második fő fejezet a *Geomorfológiai tájak, felszíni formakincsek* címet viseli. Ellentétben az előző résszel, ezt egyetlen szerző, Pécsi Márton írta meg, a tőle megszokott magas színvonalon. Normális körülmények között ezt a fejezetet illetet volna (esetleg Somogyi Sándor írásával kombinálva) az első helyre tenni, mert ez adja az általánosabb áttekintést.

A harmadik fő fejezet (*Levegőkörnyezet*) Mészáros Ernő munkája. Tömör és kitűnő áttekintést ad a légkör kémiai és éghajlati jellemzőiről, a levegő ózontartalmáról, a sugárzási egyenlegről, a légköri vízmérlegről és ennek lehetséges változásairól, az üvegházhatású gázok légköri körforgalmáról, s végül a légköri aeroszollal kapcsolatos kérdésekről. De a fejezet – sajnos – túl rövid.

Szerintem a szerkesztők a „levegőkörnyezet” témakört eleve túl szűken értelmezték, ráadásul még e túl szűken értelmezett témakörnek kifejtéséhez is túl kevés teret adtak. Mindenekelőtt tágítani kellett volna az itt tárgyalt témák körét, és lehetőséget kellett volna adni legalábbis az ember okozta éghajlatváltozás szerteágazó kérdéseinek a körvo-

nalazására. Ezen túlmenően rá kellett volna szánni egy-egy alfejezetet az olyan témákra, mint a hidrometeorológia, a légköri környezeti katasztrófák, a meteorológiai előrejelzésekkel kapcsolatos tudományos fejlemények stb. Az előrejelzések kapcsán még arra a nagyon aktuális kérdésre is ki lehetett volna témi, hogy a magyar meteorológusok munkája hogyan illeszkedik az európai együttműködés fokozatosan kiépülő kereteibe.

A következő rész (*Felszíni és felszín alatti vizek*) Alföldi László 2002. évi Eötvös-koszorús címzetes egyetemi tanár remekműve, a kötet legsikerültebb tanulmánya. Fölényes tudásról, sok évtizedes tapasztalatról, imponáló áttekintésről tanúskodik. Ezt a fejezetet országszerte tanítani kellene. A szerző leírja benne a hazai vízrendezések pár száz évre visszanyúló rendkívül érdekes történetét. Elmondja, hogy mi miért történt úgy, ahogy történt, melyek voltak a hibás elképzelések, és milyen következményekkel jártak. Milyen nyomonvonalon kereshetjük a jövő megoldásait. Milyen külföldi (németországi és ausztriai) beavatkozások vonták maguk után például a Duna hazai szakaszán bekövetkező változásokat. Megtudjuk, hogy mi a helyzet a Tisza szabályozása körül és nagyobb tavainkkal kapcsolatban. Ha a magyar választópolgárok tudnák és jól megértenék mindazt, ami itt le van írva, sok jövőbeli gondot elkerülhetnénk.

Az ötödik fejezet címe: *Természeti, gazdasági, közigazgatási régiók*. Tudjuk, hogy a közigazgatási régiók kérdése ma fontos és aktuális politikai kérdés. De nem értem, hogy e kérdés tárgyalása miért nem a sorozat *Táj, régió, település* című második kötetébe került.

A *Geológiai erő- és veszélyforrások* című tanulmányt tizenhárom szerző írta. Ez az anyag nagyon érdekes. Bele lehet feledkezni. Az illusztrációk itt is éppen olyan kitűnőek, mint az első geológiai fejezetben. Ezt főleg didaktikai szempontból lehet értékelni. Külön ki szeretném emelni a felszín alatti tér hasz-

nosítását vázoló 165. ábrát, a radioaktív hulladék föld alatti tárolásának modelljét bemutató 167. ábrát, vagy a riolittufába vágott egri mélypincék alaprajzait és jellemző szelvényeit bemutató 177. ábrát. Az a meg nem nevezett személy, aki ezt a fejezetet egybeszerkesztette, minden dicséretet megérdemel.

A kötet utolsó fejezete a *Gazdaságföldrajzi adottságok* címet viseli, és öt szerző műve. Ugyanaz a gondom vele, mint az ötödik fejezettel: nem tudom, hogy miért került ebbe a kötetbe. Tudván, hogy a sorozat ötödik kötete a gazdálkodás kérdéseivel foglalkozik, bátorkodom azt kérdezni, hogy ezt a fejezetet miért nem oda tették? Szerintem a Tudománytár attól tudománytár (mint minden tár attól tár), hogy ott találjuk a dolgokat, ahová tartoznak.

Egészében véve a kötet legzavaróbb vonása az, hogy a fejezetek mellett nem látjuk a szerzők neveit. Egy hátul eldugott listából derül ki, hogy a hét fejezet közül hámat egy-egy szerző írt, viszont van két olyan fejezet

is, amelyben 13-13 szerző működött közre. Ez nem vall egységes szerkesztésre. A kötet végén található angol nyelvű összefoglalóban egyetlen oldalon sikerült több zavaró hibát is véteni. Ezt a szöveget valószínűleg nem látta nyelvi lektor. A „great number of information” fordulat olvasásakor megrémültem. Végül az irodalomjegyzék semmiféle elfogadott konvenciónak nem felel meg, és abszolút használhatatlan.

Hogyan is összegezzem? Adva volt a sorozatszerkesztő kitűnő koncepciója, kezünkben van a sorozat első kötete, és mi mégsem lehetünk boldogok, mert ennek a kötetnek a szerkesztése nem sikerült olyan jól, mint ahogyan a nagyigényű sorozat méltán megérdemelte volna. (*Glatz Ferenc főszerkesztő, Mészáros Ernő és Schweitzer Ferenc szerkesztők: Magyar tudománytár 1. Föld, víz, levegő. MTA Társadalomkutató Központ – Kossuth Kiadó, Budapest, 2002. 511 p.*)

*Czelnai Rudolf*  
az MTA rendes tagja

## *Földes Anna: Az Irodalmi Ujság könyve*

Végyes műfajú kötetet tett közzé Földes Anna a legendás *Irodalmi Ujság* (1950-1956) működéséről, miként ezt igen tisztességesen az alcím – Tanulmányok, portrék, dokumentumok – jelzi is. Földes Anna az egyetemről egyenesen a szerkesztőségbe került, s fiatalon nagy idők tanúja lett. 1952 őszén még a kultúrpolitika irányította „hivatalként” működő szerkesztőségbe veték fel dolgozni, de amikor néhány hetes szilveszter szabadságáról a következő évben visszatért az *Irodalmi Ujsághoz*, már egy „műhely” felszabaduló és történelemcsináló szellemét tapasztalta meg. A változás folyamatát kereste, amikor majdnem fél évszázad múltán a bekötött újságok fellapozására vállalkozott. Az olvasás emlékeket hívott elő, az emlékek ellenőrzésére újraol-

vasta az évfolyamokat. Szemtanú maga is, s más szemtanúk kifaggatására is vállalkozott. Sajnos későn, mert igen kevesen élnek már az egykor meghatározó írók, publicisták közül. Az interjúkat elemzések és személyes visszaemlékezések közé illesztette a szerző.

Először az *Irodalmi Ujság* publicisztikájának elemzését végzi el Földes Anna. A lapot felsőbb politikai akarat hívta életre, mert a koalíciós korszak végével nem volt lehetőség az irodalom önszerveződésére. Az irodalom egy része alkalmazkodott, fiatalabb és alsóbb néposztályokból származó nemzedéke belső vívódással ugyan, de egyértelműen elfogadta egy időre – mert szemhatára nem terjedt még tovább – a keretet. De az irodalom tekintélyes része kiszorult a pályáról, alkalmi munkákra, gályapadra kényszerült. Róluk azonban itt nem eshet szó, mert a hetilaphoz közük nem volt. Földes Anna nem vállalkozhatott az irodalom vagy a sajtó egészének szemre-

vételezésére, de nem is jelzi a teljes színeképet, az ámyalatok viszonyrendszerét.

Mégis: könyve hiánypótló és megkerülhetetlen. Az utókor olvasója másként ugyan is nem tudhatná meg, miként, milyen áron jelenhetett meg Csoóri Sándor *Röpirat* című verse 1953 nyarán a hetilapban. Nem tudná, hogy a csatolt „optimista” vers – bár nem volt idegen a költő hitétől és reményétől, szerkesztői kívánságra, alku révén került a szülőfalujában tapasztalt keserőségekről tudósító lírai vádirat mellé. Pedig már Nagy Imre kormányprogramja után voltak, mire a másik, szerkesztőséget is megjárta vers nyomdafestékhez jutott, de a miniszterelnök pozíciója nem jelentett védelmet a bátor, szokatlanul nyers hangnak egy irodalmi orgánumban. Vagy megéri-e az utókor Zelk Zoltán bizonyosságot megkérdőjelező két sorát – *Szélfúttá levél a világot / De hol az ág? De ki az ág?* – ha nem nézi a keletkezés dátumát és a megjelenés helyét? Vagy gondolná-e egy ifjú Nemes Nagy Ágnes-rajongó, aki csak kötetben látja a verset, hogy a szinte átkokat mondó, meg nem bocsátó vers, a *Patak* a forradalom előtt alig egy hónappal jelent meg az *Irodalmi Ujságban*?

A szöveggörnyezet felidézésében van elévülhetetlen érdeme Földes Annának. S nemcsak ebben: a szövegek újraközlésében, egy külön ciklusban. A *Tallózás* címet viselő – félkötetnyi – szöveggyűjteményben szerzőnk ma már néhány nehezen hozzáférhető szöveget is közlétesz. Többek között Kuczka Péter *Nyírségi naplóját*, Háry Gyula *Miért nem szerettem?* című, népszerűbb címén a Kucsra elvtársról szóló publicisztikasorozatának éppen azt a darabját, amely Rajk Lászlóék tragédiába illő, kulisszák között zajlott temetésének napján jelent meg. Az első közzétett dokumentum Szabó Pál *Írói magatartás és felelősség* című írása 1953 nya-

ráról. Ennél visszább nem hátrál az időben, mert nem akar senkit, utólag sem, megszegyeníteni. Ami kritikája a többiekkel szemben van, azt saját szövegébe, elemzésébe illeszti, de elegánsan bevallja, melyik az az írás, amelyet utólag maga is szégyell. A szöveggyűjtemény így bizony félképet mutat; valóságot, de kevesebbet a teljes folyamatnál, nem helyettesíti az indulástól fogva a korszak belső határait is jobban jelző, remélt *Irodalmi Ujság* antológiát. Ez utóbbi persze késik, talán soha nem is készíti el senki. Ma inkább annak a tudományosan akár még meg is indokolható vállalkozásnak van olvasói keletje, amely az *Agitatív antológiaköltészet Magyarországon 1945-1956* címet viseli, s mely nemrégiben jelent meg. (Tegyük hozzá: súlyos félreértéseket, tévedéseket is tartalmazva.) Magára adó kutató egyre inkább hátrál, a jelenségek és tények mögött azok mozgatóját keresi, nem áll meg a nyers és póre dokumentumnál.

Van azonban olyan dokumentum, amely sajtótörténeti érvényű, kinagyítható és kinagyítandó önmagában is. Ez pedig az *Irodalmi Ujság* 1956. november 2-i száma, élén Németh László esszéjével, az *Emelkedő nemzettel*, benne Illyés Gyula korszakos versével, az *Egy mondat a zsarnokságról* című antológiadarabbal. Földes Anna kötetében található egy facsimile, a négyoldalas példány újrakiadása. Fontos szemléltetőeszköz, helyes döntés volt közreadása.

A kötet fűzése azonban gyalázatos, lapjaira esik szét már az első olvasáskor. Pedig az, aki a korszak sajtótörténetének megírására vállalkozik, sokat forgatja majd. (*Földes Anna: Az Irodalmi Ujság könyve. Tanulmányok, portrék, dokumentumok. Széphalom Könyvműhely – Új Kézirat Kiadó, Budapest, 2001, 398 p.*)

Széchenyi Ágnes

kandidátus, irodalomtörténész

## *Tizenkét év – Összefoglaló az erdélyi magyar tudományos kutatások 1990-2001 közötti eredményeiről*

Valóban tiszteletreméltó az az együttesen közel ezeroldalas két kötet, amely az erdélyi magyar tudományosság tizenkét év alatt elért eredményeit mutatja be. Az elsőben azokat a tanulmányokat találjuk, amelyek a bölcsészeti-, a társadalom- és a történettudományokkal, a másodikban pedig azokat, amelyek az alap- és alkalmazott természettudományokkal (műszaki és orvostudományok) foglalkoznak. A két kötet mintegy negyven önálló dolgozatot tartalmaz, mindegyik egy-egy tudományszak eredményeit foglalja össze a magyar nyelvtudománytól és a történelemtudománytól kezdve a fizikáig és a belgyógyászatig. Csak az orvostudomány különböző ágairól kilenc tanulmány szól.

Nincs mód arra, hogy kitérjünk minden egyes tanulmányra. Mindenestre meg kell állapítanunk, hogy csak elismeréssel lehet szólni arról, amit az erdélyi magyar kutatók a legkülönbözőbb tudományágakban az elmúlt alig több mint egy évtized alatt elértek.

Számos tanulmányban visszatérő kérdés, hogy mit is jelentett a diktatúra megdöntése, 1989 a magyar tudományosság szempontjából Erdélyben. „Az 1990 utáni változás talán legnagyobb eredményének az tekinthető, hogy a pártirányítás megszűntével történetíróink visszanyerték alkotói szabadságukat, részben lehetővé vált számukra intézményi és anyagi feltételeik újjáteremtése, megnyílt előttük az egész egyetemes tudományosság eddig feltéve elzárt világa.” (Csetri Elek) „Jellemző, hogy 1990 után az erdélyi magyar intézményes és egyéni kutatás jelentősen bővült. Ennek magyarázata egyfelől, hogy megnyíltak az addig szinte teljesen zárolt információs csatornák Magyarország és a nagyvilág felé. Szabaddá vált az anyanyelv használata.

Másfelől számos új, tudománnyal foglalkozó szerződés jött létre, amelyek megpezsdítették az addig szunnyadó erdélyi magyar műszaki tudományos életet.” (Bucur Horváth Ildikó)

Több tanulmányban is szó esik az anyaországi támogatásokról, és szinte kivétel nélkül mindenütt első helyen a Domus Hungarica ösztöndíjrendszer szerepel.

A rendkívül gazdag anyagról szólva meg kell azért említenünk, hogy míg az alkalmazott tudományok közül a műszaki tudományokat három, az orvostudományokat kilenc tanulmány képviseli, addig például az agrártudomány hiányzik a kötetből. Másrészt az egyes tanulmányok szerkezete, információ-tartalma igen különböző. Van, amelyikben rövid áttekintést kapunk a szóban forgó tudományszak helyzetéről, a világszerte tapasztalható tendenciákról, a romániai eredményekről, és e keretbe helyezik bele az erdélyi magyar kutatók teljesítményét, sőt, nemegyszer történelmi visszapillantásra is sor kerül. Máshol viszont csak az Erdélyben elért magyar eredmények „szikár” felsorolását kapjuk. Ezen a két szélsőségen belül azután a legkülönbözőbb változatok fordulnak elő. Úgy látszik, a szerkesztők – Tánzos Vilmos és Tökés Gyöngyvér – nem kényszerítették semmiféle szerkesztői koncepciót a szerzőkre.

Bizonyára lesz, aki csak a saját szakterületére, esetleg a rokon szakterületekre vonatkozó tanulmányokat fogja elolvasni. Valóban, a csak az Erdélyben adott szakterületen dolgozók nevére, kutatói tevékenységére vonatkozó pusztán információforrásként is hasznos a kiadvány. Ám az sem fog csalódnia, aki rászánja az időt, végigolvasa a két kötetet, és így teljes gazdagságában és vitalitásában láthatja a mai erdélyi magyar tudományt. (*Tizenkét év. Összefoglaló az erdélyi magyar tudományos kutatások 1990–2001 közötti eredményeiről. Szerk. Tánzos Vilmos és Tökés Gyöngyvér. Sapientia, Kolozsvár, 2002.*)

*Berényi Dénes*  
az MTA rendes tagja

---

# CONTENTS

Guest Editors: TAMÁS ROSKA; Editor: ZSUZSA SZENTGYÖRGYI

## Simple and Complex – Notions and Measurements in Artificial and Living Systems

Tamás Roska: Preface.....	290
Árpád Csurgay: Real and Virtual World of the Nanoscale .....	292
József Gyulai: Complexity in Electronics and Nanoelectronics.....	300
Tamás Vicsek: “Complexity Theory” .....	305
András Falus: Complexity in Genome-scale Biology: Thoughts Toward Postgenomic Agnosticism.....	308
József Hámos: Human Brain: Rationalized Complexity.....	313
György Székely: Complexity in the Nervous System .....	318
Tamás Roska: Complexity and Simplicity in Analogic Cellular Wave Computers As Well As in Related Neural Phenomena.....	328
Tibor Vámos: Complexity, Philosophy, Speculation and Scientific Consequentiality...	332
Erzsébet Csuha: On Complexity of Formal Languages.....	336
Gábor Prószéky: Complexity Questions of Natural Language Models.....	344
Gyula Katona: From the Complex Towards the Simple (in Mathematics) .....	351
Lajos Rónyai: Wrestling with Complexity: Efficient Algorithms.....	356

## Interview

To Teach and Research the Middle Ages in Szeged (Lukácsi Béla’s interview with Gyula Kristó) .....	363
---	-----

## Study

Rezső Solymos: The Academy’s Recreational Forest in Mátraháza.....	370
--	-----

## 2002, the Kozma-Centenary

László Keviczky: László Kozma .....	378
Győző Kovács: László Kozma.....	379

## Academy Affairs

On the Connections between HAS and CNRS.....	389
Agricultural Higher Education in Hungarian in Slovakia, Serbia and the Ukraine ( <i>László Heszky</i> ).....	391
Invitation to Promote Hungary’s Joining the European Union .....	394
Agreement Between the Museum Society in Transylvania and the Hungarian Academy of Sciences.....	396
A funkcionális genomika szerepvállalása ( <i>Dudits Dénes</i> ) .....	399
Leo Szilard Professorial Award: The Fifth Time.....	400

## Obituary

János Salánki ( <i>György Ádám</i> ) .....	401
--	-----

Outlook ( <i>László Jéki – Júlia Gimes</i> ).....	403
---	-----

Book Review .....	408
-------------------	-----

## 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 téma-összefoglaló, magas szintű ismeretterjesztő, illetve egy-egy tudományterület újabb eredményeit bemutató tanulmányokat; a társadalmi élet tudományokkal kapcsolatos eseményeiről szóló beszámolókat, tudománpolitikai elemzéseket és szakmai szempontú könyvismertetőket.

2. A kézirat terjedelme szöveges tanulmányok esetében általában nem haladhatja meg a 30 000 leütést (a szóközökkel együtt, ez kb. 8 oldalnak felel meg a MT füzetekben), ha a tanulmány ábrákat, táblázatokat, képeket is tartalmaz, a terjedelem 20-30 százalékkal nagyobb lehet. Beszámoló, recenziók esetében a terjedelem ne haladja meg a 7-8 000 leütést. *A teljes kéziratot .rtf formátumban, mágneslemezen és 2 kinyomtatott példányban kell a szerkesztőségbe beküldeni.*

3. A közlemények címének angol nyelvű fordítását külön oldalon kell csatolni a közleményhez. Itt kérjük a magyar nyelvű kulcsszavakat (maximum 10) is. A tanulmány címe után a szerző(k) nevét és tudományos fokozatát, a munkahely(ek) pontos megnevezését és – ha közölni kívánja – e-mail-címét kell írni. A külön lapon kérjük azt a *levelezési és e-mail címet*, telefonszámot is, ahol a szerkesztők a szerzőt általában elérhetik.

4. Szövegközbeni kiemelésként *dólt*, (esetleg **félkövér** – bold) betű alkalmazható; ritkítás, VERZÁL betű és aláhúzás nem. A jegyzeteket lábjegetként kell megadni.

5. A rajzok érkezhetnek papíron, lemezen vagy email útján. Kérjük azonban a szerzőket: tartsák szem előtt, hogy a folyóirat fekete-fehér; a vonalas, oszlopos, stb. grafikonoknál tehát ne használjanak színeket. Általában: a grafikonok, ábrák lehetőség szerint minél egyszerűbbek legyenek, és vegyék figyelembe a megjelenő olda-

lak méreteit. A lemezen vagy emailben érkező ábrákat és illusztrációkat lehetőleg .tif vagy .bmp formátumban kérjük; értelemszerűen fekete-fehérben, minimálisan 150 dpi felbontással, és a továbbítás megkönnyítése érdekében a kép nagysága ne haladja meg a végleges (vagy annak szánt) méreteket. A közlemény szövegében tüntessék fel az ábrák kívánatos helyét.

6. Az irodalmi hivatkozásokat mindig a közlemény végén, abc sorrendben adjuk meg, a lábjegetekben legfeljebb utalások lehetnek az irodalomjegyzékre. Irodalmi hivatkozások a szövegben: (szerző, megjelenés éve). Ha azonos szerző(k)től ugyanabban az évben több tanulmányra hivatkozik valaki, akkor a közleményeket az évszám után írt a, b, c jelekkel kérjük megkülönböztetni mind a szövegben, mind az irodalomjegyzékben. Kérjük, *fordítsanak különös figyelmet a bibliográfiai adatoknak a szövegben, illetőleg az irodalomjegyzékben való egyeztetésére!* Miután a Magyar Tudomány nem szakfolyóirat, a közlemények csak a legfontosabb hivatkozásokat (max. 10-15) tartalmazzák.

7. Az irodalomjegyzéket abc sorrendben kérjük. A tételek formája a következő legyen:

- Folyóiratcikkek esetében:

Alexander, E. O. and Borgia, G. (1976). Group Selection, Altruism and the Levels of Organization of Life. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* **9**, 499-474

- Könyvek esetében:

Benedict, R. (1935). *Patterns of Culture*. Houghton Mifflin, Boston

- Tanulmánygyűjtemények esetén:

von Bertalanffy, L. (1952). Theoretical Models in Biology and Psychology. In: Krech, D., Klein, G. S. (eds) *Theoretical Models and Personality Theory*. 155-170. Duke University Press, Durham

8. Havi folyóirat lévén a *Magyar Tudomány* kefelevonatot nem küld, de az elfogadás előtt minden szerzőnek elküldi egyeztetésre közleménye szerkesztett példányát. A tördelés során szükséges apró változtatásokat a szerző egy adott napon a szerkesztőségben ellenőrizheti.