

Természet Világa

TERMÉSZETTUDOMÁNYI KÖZLÖNY

149. évf. 5. sz.

2018. MÁJUS

ÁRA: 780 Ft

Előfizetőknek: 670 Ft

A BALATON ÖKOLÓGUS SZEMMEL

VITÁK A DEPRESSZIÓRÓL

AZ ÉV ŐSMARADVÁNYA

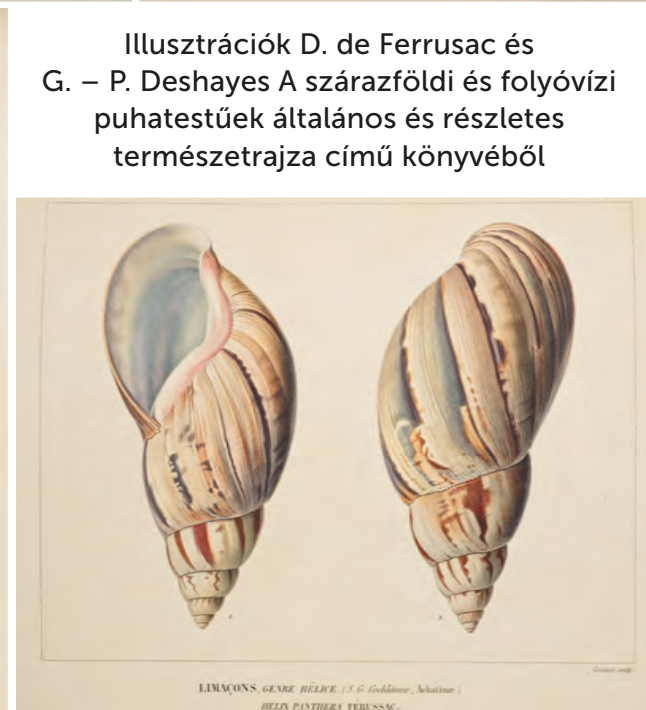
A JÁRÁS BIOMECHANIKÁJA

A PALÓC GRAND-KANYON

BIONIKA ÉS KIBORGIZÁCIÓ

CSODASZÉP CSIGÁK





Illusztrációk D. de Ferrussac és G. – P. Deshayes A szárazföldi és folyóvízi puhatestűek általános és részletes természetrajza című könyvéből





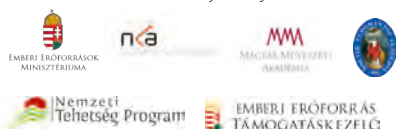
A TUDOMÁNYOS ISMERETTERJESZTŐ
TÁRSULAT FOLYÓIRATA

Megindította 1869-ben
SZILY KÁLMÁN
KIRÁLYI MAGYAR

TERMÉSZETTUDOMÁNYI TÁRSULAT

A TERMÉSZETTUDOMÁNYI KÖZLÖNY
149. ÉVFOLYAMA

2018. 5. sz. MÁJUS
Magyar Örökség-díjas és
Millenniumi Díjas folyóirat



Megjelenik a Nemzeti Kulturális Alap,
az Emberi Erőforrások Minisztériuma,
az Emberi Erőforrás Támogatáskezelő,
a Magyar Művészeti Akadémia,
Magyar Tudományos Akadémia és a
Nemzeti Tehetség Program támogatásával.

Főszerkesztő: GÓZON ÁKOS

Szerkesztőség:
1088 Budapest, Bródy Sándor u. 16.
Telefon: 06-1-327-8950, fax: 06-1-327-8969
E-mail-cím: termvil@titnet.hu
Internet: www.termeszetvilaga.hu

Felelős kiadó:
PIRÓTH ESZTER
a TIT Szövetségi Iroda igazgatója

Kiadja a Tudományos Ismeretterjesztő Társulat
1088 Budapest, Bródy Sándor utca 16.
Telefon: 06-1-327-8900

Nyomás:
PAUKÉR Nyomda

Felelős vezető:
Vértes Gábor

INDEX25 807
HU ISSN 0040-3717

Hirdetésfelvétel a szerkesztőségben

Korábbi számok megrendelhetők:
Tudományos Ismeretterjesztő Társulat
1088 Budapest, Bródy Sándor utca 16.
Telefon: 06-1-327-8950
e-mail: titlap@telc.hu

Előfizetés, reklamáció:
Magyar Posta Zrt.
Telefon: 06-1-767-8262
E-mail: hirapelofizetes@posta.hu
Internet: eshop.posta.hu
Postacím: MP Zrt., Budapest 1900.

Előfizetésben terjeszti: Magyar Posta Zrt.
Árusításban megvásárolható a Lapker Zrt.
árusítóhelyein.

Előfizetési díj:
fél évre 4200 Ft, egy évre 8040 Ft

Vörös Attila: Az Év ősmaradványa.....	194
Vörös Lajos – Tóth Mónika – Somogyi Boglárka: A Balaton ökológus szemmel.....	199
Venetianer Pál: A CRISPR/cas9.....	205
Gellai Bence – Horváth Gábor: A járás biomechanikai elemzése	210
Szabados László: Rendhagyó szemléltetés.....	217
Nánási Tibor – Fiáth Richárd – Márton Gergely – Ulbert István: Alaputatástól a kiborgizációig.....	223
Petschner Péter – Petschner Anna – Bagdy György: Egy vita a depresszió kutatás történetéből	228
Ladányi László: A palóc Grand-kanyon.....	233
Babinszki Edit – Gáspár Anita – Papp Péter: Csodaszép csigák	236
HÍREK, ESEMÉNYEK, ÉRDEKESSÉGEK	239
FOLYÓIRATSZEMLE	240

Címképünk: Az Év ősmaradványa: *Balatonites*

Borítólapunk második oldalán: Illusztrációk D. de Ferrusac és G. – P. Deshayes A *szárazföldi és folyóvízi puhatestűek általános és részletes természetrajza* című könyvéből

Borítólapunk harmadik oldalán: Égi jelenségek ábrázolásai

Mellékletünk: A XXVII. Természet–Tudomány Diák pályázat cikkei (**Csorvási Tímea – Nagy-Lang Evelin:** Nárciszokkal az Alzheimer-kór ellen; **Szász-Cseh Etele:** Néha a vas értékesebb az aranyból)

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

Elnök: VIZI E. SZILVESZTER

Tagok: ABONYI IVÁN, BACSÁRDI LÁSZLÓ,
BAUER GYŐZŐ, BENCZE GYULA, BOTH ELŐD, CSABA GYÖRGY,
[GÁBOS ZOLTÁN], HORVÁTH GÁBOR, KECSKEMÉTI TIBOR,
KORDOS LÁSZLÓ, LOVÁSZ LÁSZLÓ, NYIKOS LAJOS, PAP LÁSZLÓ,
PATKÓS ANDRÁS, RESZLER ÁKOS, SCHILLER RÓBERT, CHARLES SIMONYI,
SÓTONYI PÉTER, SZATHMÁRY EÖRS, SZERÉNYI GÁBOR,
VIDA GÁBOR, WESZELY TIBOR

Főszerkesztő-helyettes:

PÁSZTOR BALÁZS (pasztor.balazs@eletestudomany.hu; 06-1-327-8952)

Szerkesztők:

KAPITÁNY KATALIN (yka@titnet.hu; 06-1-327-8962)
LŐRINCZ HENRIK (lorinczhenrik@telc.hu; 06-1-327-8961)
NYERGES GYULA (nyergesgyula@telc.hu; 06-1-327-8960)

Tervezőszerkesztő: LÉVÁRT TAMÁS

Szerkesztőségi irodavezető:

DEME LÍVIA (titlap@telc.hu; 06-1-327-8950)



AZ ÉV ŐSMARADVÁNYA

A Balatonites

Az immár hagyományossá váló „az Év ősmaradványa” vetélkedő ez évi győztese a Balatonites nevű ammonitesz lett. A Magyarhoni Földtani Társulat által szervezett internetes szavazáson olyan nagyszerű vetélytársakat előzött meg, mint a legyezős levelű üstökös palma és a nagyhírű olajcég emblémáját idéző fésűskagyló. A Balatonites sikeréhez – gyönyörű díszítése mellett – bizonyára nagymértékben hozzájárult az első hallásra kétszeresen is rejtélyes jelszó, „a 245 millió éves tengeraltjáró”, ami a plakáton szerepelt. Az írásban lerántjuk a leplet a rejtélyekről.

Kezdő egyetemista koromban találkoztam a nyilvánvalóan magyar kötődésű *Balatonites*, *Hungarites* és *Arpadites* nevű ammoniteszekkel. Nem sejtettem akkor, hogy majdan szoros kapcsolatba kerülök mindháromukkal, a több évtizedes Balaton-felvidéki munkálkodásom során.

A csigákat mindenki testközelből ismeri. Házuk csigavonalban felcsavarodott, egyszerű cső. A csigavonal téveszt meg sokakat, amikor reprezentatív lépcsőházakban, dísztermek „márvány”-burkolatában, vagy padozatában csigának látszó „tekervényeket” lát. Ezek a tekervények azonban a legtöbb esetben kőbe zárt ammonitesz-vázak keresztmetszetei. A csigáktól világosan megkülönbözteti őket az, hogy házuk egy síkban felcsavarodott, és sok-sok kamrára tagolódik (2. ábra).

Az ammoniteszek megkövült mészvázai vagy kőbelei a triász és az egész mezozoikum (a 66 és 252 millió évek közé eső idő) leggyakoribb ősmaradványai közé tartoznak. A csigáknak csak



nagyon távoli rokonai; a puhatestűek törzsén belül a fejlábúak (*Cephalopoda*) osztályának egyik kihalt csoportját alkotják. A legtöbb hasonlóságot és rokonságot a fejlábúak egyik, ma is élő csoportjával, a *Nautilus*-félékkel mutatják. Hozzájuk hasonlóan, az ammoniteszek is egy síkban felcsavarodott és kamrázott házban éltek, éspedig kizárólag tengervízben. Így élt a *Balatonites* is, 245 millió évvel ezelőtt.

Pontosan 245 millió évvel ezelőtt? – kérdezhetné valaki. Nos, nem pontosan, csak majdnem. Ez a rejtélyesnek látszó, igen távoli idő igenis meghatározható a kőzetekbe, ásványokba zárt radioaktív izotópok bomlási sebessége alapján. A bonyolult módszert itt nem tudjuk részletezni; elég talán annyi, hogy a vulkáni tufákból kinyert cirkon-kristályokba zárt urán- (238U) és ólom- (206Pb) izotópok arányából jó közelítéssel meghatározható a kor. A *Balatonites*-tartalmú rétegekhez kapcsolódó tufákból nyert $245 \pm 0,5$ millió éves adat ezzel a plusz-mínusz 500 ezer év eltérés-

sel fogadható el. Fél millió év? Ez borzaszóan hosszú idő, sokkal hosszabb, mint amióta a *Homo sapiens* él a Földön. A 245 millió évnél azonban csupán két ezreléke. Ha a Föld történetével és az őslénytani kérdéseivel foglalkozunk, meg kell barátkoznunk a százmillió éves időtávlatokkal.

A triász tenger három „ásza” és a felfedezők

A bevezetőben említett három „tösgyökeres magyar” ammonitesz a triász időszak középső szakaszának tengereiben élt. Közülük a legidősebb genusz a *Balatonites* (~245 millió év), valamivel később élt a *Hungarites* (~240 millió év), és a legfiatalabb, az *Arpadites* (~238 millió év).

Maradványaikat, a szép, megkövült ammonitesz-házakat a Balaton-felvidéken találta meg *Böckh János* (1840–1909), a magyar geológia egyik legnagyobb alakja, az 1870 táján végzett földtani térképezései során (3. ábra). Röviden említette őket nagyszabású geológiai összefoglaló munkájában (Böckh 1872), ám a hivatalos „keresztapa”, aki a szabályos névadást el-

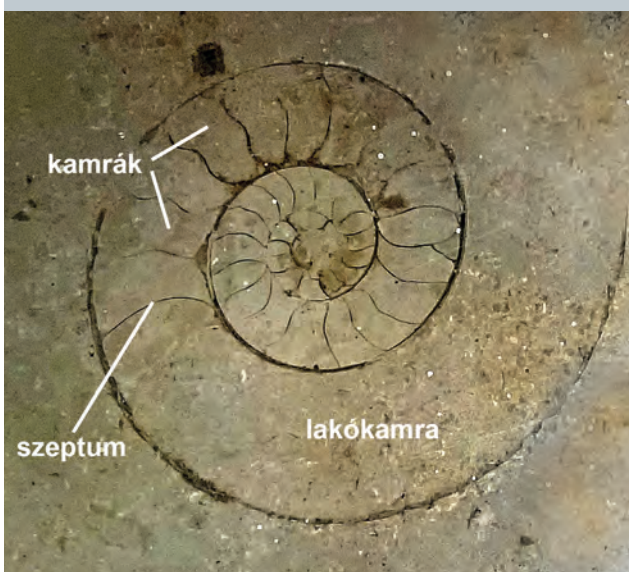


3. ábra. Nagysúri Böckh János (1840–1909), a *Balatonites* megtalálója 30 éves korában. A nemességet és a Nagysúri előnevet későbbi munkásságával érdemelte ki



4. ábra. Edmund Mojsisovics von Mojsvár (1839–1907), a *Balatonites* névadója 45 éves korában; ebben az időben alkotta meg alapvető őslénytani monográfiáit

2. ábra. Ammonitesz-ház, keresztmetszetben, a Magyar Természettudományi Múzeum (Bp., Ludovika tér 6.) lépcsőházában. Jellemző (és a csigáktól alapvetően különbözik) a válaszfalakkal (szeptumokkal) tagolt, kamrázott rész. A lépcsőházat burkoló mészkölapok felső jurából származnak



végezte, *Edmund Mojsisovics von Mojsvár* (1839–1907) lett (4. ábra). Mint neve is mutatja, horvátországi magyar nemesi családból származott, bár – ahogyan ez akkoriban nem számított ritkaságnak – nem írt és valószínűleg nem is beszélt magyarul. Az 1860-as évek végén együtt gyakornokoskodott a bécsi császári és királyi Földtani Intézetben Böckh Jánossal, akinek társaságában később az újonnan felfedezett Balaton-felvidéki triász ammoniteszek lelőhelyeit is meglátogatta. Így nem véletlen, hogy Böckh János órá bízta a leletek, az új ammonitesz-genuszok és -fajok részletes leírását. Ezt a hatalmas munkát a bécsi kolléga és barát 1873 és 1879 között elvégezte – és a végén egy gyönyörűen illusztrált monográfiában (Mojsisovics 1882) mutatta be az összes fontos Balaton-felvidéki triász ammoniteszt. A korai felfedezések sorában meg kell emlékeznünk az id. Lóczy Lajos vezetésével készült nagyszabású, sokszerzős „Balaton-monográfiáról” is (Lóczy 1913), ami a nemzetközi triász rétegtani kutatás egyik legfontosabb referencia-területévé avatta a Balaton-felvidéket, és az itt gyűjtött triász ammoniteszekről is átfogó képet adott.

Balatonites, a „sztár”

A három, világhírűvé vált magyar ammonitesz-genusz közül, bizonyára szépsége miatt – és talán azért is, mert a legcsodálatosabb hazai tavunk nevét viseli – a *Balatonitest* jelölték a szervezők az Év ősmaradványa versenyre. Már a jelölés is, de különösen a győzelem, nagy öröm volt számomra, hiszen a három



5. ábra. A *Balatonites*-tartalmú rétegek feltárása Aszófó közelében, 1982-ben. A vékonyan rétegzett szürke mészkő gazdag ammonitesz-faunát és sok más ősmaradványt adott

„ász” közül ezzel kerültem először személyes és testközeli kapcsolatba – mondhatni barátságba – még az 1980-as évek elején. Az akkori Magyar Állami Földtani Intézet jóvoltából és segítségével százsámra gyűjthettem a *Balatonites*-példányokat az Aszófótól északra eső szőlőskertek közelében, egy félig bozotos, félig erdős területen. Az Intézetnek annak idején még volt kapacitása arra, hogy jelentős feltárásokat, ásásokat végeztessen, szakavatott segéderők, többnyire nyugdíjas bányászok keze által. Így árkozták meg az azóta már nemzetközi hírnévre szert tett aszófői szelvényeket, melyekben a középső-triász, azon belül is a középső-anisusi (kb. 245 millió éves) rétegeket ismerhettük meg (5. ábra). A rétegsor részletes begyűjtése és az ammoniteszek kiszabadítása a szürkés-barnás színű, helyenként kovás mészkő-rétegekből az én örömteli feladatom volt. A gondos laboratóriumi preparálás során, számos más ammonitesz-faj mellett, a *Balatonites*-genusz fajait is sikerült elkülönítenem és meghatároznom (Vörös 1987). Közülük a legszebb és szerencsére a leggyakoribb a *Balatonites balatonicus*-faj volt. Hogy a Böckh János idejében használatos kifejezésekkel éljek: a „tekervénye kevésbé nyitott” (azaz közepesen evolút), „az oldallapok erős sugár-bordákkal és jelentékeny magasságú gömbökkel ékesítvék”; és ami különösen figyelemre méltó, és a *Balatonites*-genuszra jellemző:

„a gömbös hasrészén a bordák a marginálgömböktől rézsút előre húzódnak” (azaz ventrális gyöngysor tarta-ja van) (nyitókép).

A *Balatonites*-fajok díszítése rendkívül változatos. Két osztrák kolléga napokig vizsgálta, mérte, analizálta a gyűjteményemben lévő több száz *Balatonites*-példány morfológiáját. Az alapos statisztikai stúdiumuk eredménye az lett, hogy a számos kutató által korábban elkülönített több mint tíz faj közül csupán kettő, az Ausztriából leírt *Balatonites egregius* és a mi *Balatonites balatonicus* fajunk érdemli meg az önállóságot. A megnyugtató megerősítés jól esett, de még nem dőlhattünk hátra a karosszékben.

Balatonites, a „vezérkövület”

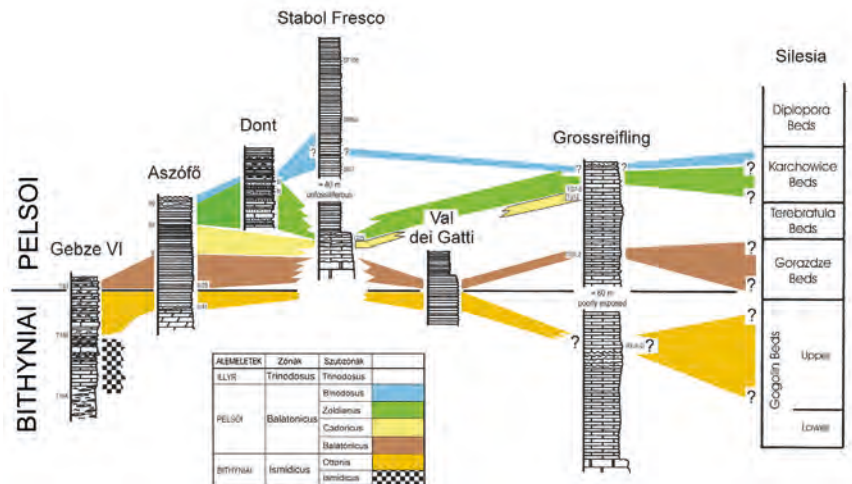
Az aszófői sikereken felbuzdulva – számos kollégával összefogva – nekiláttunk, hogy a Balaton-felvidék más pontjain is megkeressük a *Balatonites*-tartalmú rétegeket. Tudtuk ugyanis, hogy ez az ammonitesz nemcsak szép, hanem egyúttal kiváló „vezérkövület” is, azaz a középső-triászban belül csupán egy szűkebb rétegtani intervallumra korlátozódik az előfordulása. És ahogyan az egy vezérkövülethez illik, az időbeni elterjedése rövid, de a földrajzi elterjedése igen nagy. Valóban, ebben a kb. 245 millió évvel ezelőtti (földtörténeti szempontból pillanat-szerű) rövid időszakban a *Balatonites* világszerte élt a trópusi, szubtrópusi tengerekben. Megtalálták Európa számos pontján, továbbá Törökország, Izrael, Észak-India, Dél-Kína, Thaiföld, Vietnam és Japán lelőhelyein, de még az igazán távoli Nevadában is.

Egy másik körülmény is ösztökölt bennünket a Balaton-felvidéki kutatásaink folytatására. A már említett E. Mojsisovics, egy (Waagen és Diener kollégával készített) korszakalkotó rétegtani szintézisben az (akkor még alsó-triásznak tekintett) anisusi emeleten belül bevezette a „Balatonisch” nevű alemeletet. Ezt a rétegtani egységet J. Pia, osztrák geológus, 1930-ban – a Balaton latin neve (Lacus Pelso) után – „Pelson”-nak, azaz pelsoi alemeletnek nevezte. Lehetőségeinket felmérve, erkölcsi kötelességünknek tekintettük, hogy ezt a „magyar” alemeletet korszerű módszerekkel és szemlélettel kutassuk, és megadjuk pontos rétegtani definícióját. Részletes gyűjtéseket végeztünk többek között Köveskál, Mencshely és Felsőörs szelvényeiben, és igazoltuk, hogy a *Balatonites balatonicus*-tartalmú rétegek mindegyik szelvényben azonos rétegtani szintben jelentkeznek. Emellett azt is megállapítottuk, hogy ezekben a szelvényekben a *Balatonites balatonicus* zónája alatt és fölött további zónák

mutathatók ki, amelyekben más és más ammonitesz-fajok alkotják a faunát (az ősmaradvány-együttest). Sőt arra is rájöttünk, hogy a pelsoi alemeleten belül a Balaton-felvidéken kimutatott ammonitesz-zónák Európa távoli szelvényeiben is felismerhetőek. Ez a rétegtani korrelációnak nevezett eljárás helyreállította a Balatonról elnevezett pelsoi alemelet nemzetközi tekintélyét (6. ábra).

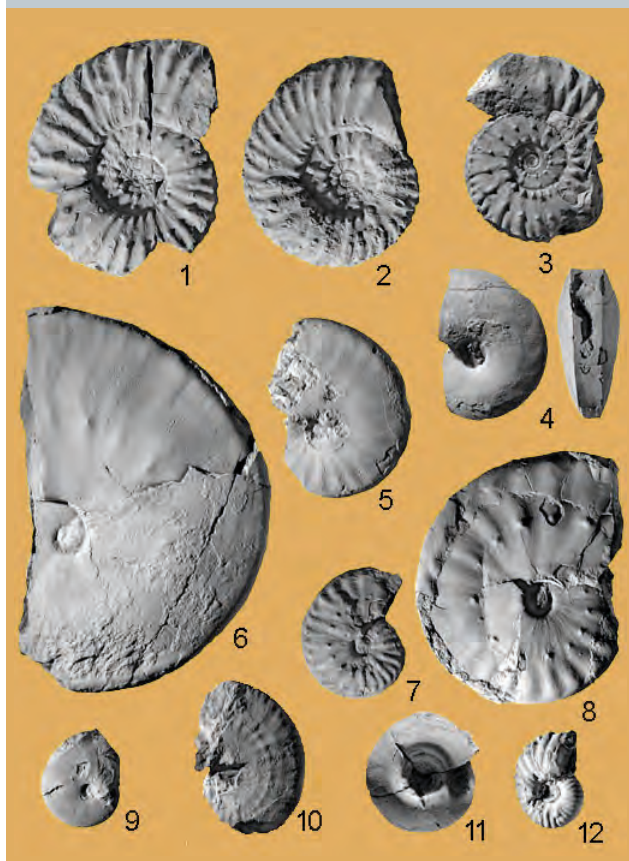
Balatonites és társai

Balaton-felvidéki gyűjtéseink során a *Balatonites*-ek mellett sok-sok más ammonitesz-faj képviselőit is megtaláltuk. A különféle alakú és díszítésű ammoniteszekből



6. ábra. A pelsoi alemelet típusszelvényeként kijelölt aszófői szelvény részletes korrelációja Törökországtól (Gebze) Lengyelorszáig (Szilészia) (Vörös 2003). A legtöbb *Balatonites* a barnával színezett szubzónában található

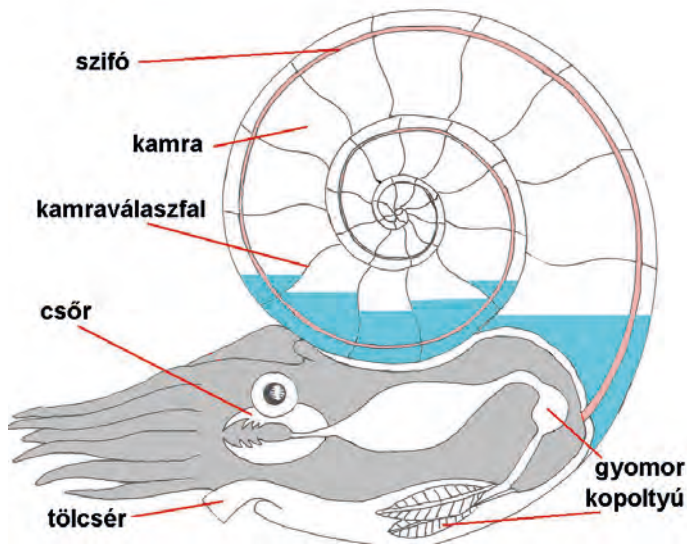
7. ábra. Pelsoi ammoniteszek a Balaton-felvidékről. 1–3: *Balatonites*-változatok, 4: *Proavites hueffeli*, 5: *Beyrichites cadoricus*, 6: *Schreyerites splendens*, 7–8: *Schreyerites lorentzi*, 9: *Norites gondola*, 10: *Ismidites* sp., 11: *Discoptychites* sp., 12: *Acrochordiceras* sp.



összeállított válogatott csapatot (7. ábrán) mutatjuk be. Az egykori tengeri élővilág további tanúi is előkerültek, például lapos kagylóteknők tömege (*Daonella*, *Posidonia*), változatos Nautilus-félék, pörgekarúak (brachiopodák) vázai, halak pikkelyei és csontdarabkái, sőt egy *Ichthyosaurus*-féle halgyík csigolyamaradványai is. Mikropaleontológiai (mikroszkópi) vizsgálataink a parányok gazdag világába vittek bennünket; gyakoriak voltak a mészvázú algák, a likacsoshéjú foraminiferák, a kovaszivacstűk, és a *Conodonták* (kihalt, lágytestű állatok, melyeknek csak apró, kalciumfoszfát anyagú fogacskái maradtak fenn). Különös, hogy ősi fenyők ágacskáinak lenyomatai is megőrződtek ezekben a tengeri mészkőrétegekben; ez azt mutatja, hogy a szárazföld nem lehetett túlságosan távol.

Balatonites, a „tengeralattjáró”

Eljött az ideje, hogy megfejtsük a cím és a plakát másik rejtélyes kifejezését is. Arról már szó esett, hogy a *Balatonites* – a többi ammoniteszhez hasonlóan – tengerben élt. De hogyan mozgott a vízben? Bizony, nagyjából úgy, mint egy tengeralattjáró. Úgy, mint az egyetlen ma élő, távoli rokona, a *Nautilus*, amiről *Verne Gyula* Nemo kapitánya elnevezte a tengeralattjáróját. A *Nautilus pompilius* a trópusi óceánokban él, a sekély vizektől a több száz méteres mélységekig. Okkersárgán sávozott fehér háza, mely belül gyönyörű gyöngyházfényben csillog, a trópusi országok bazárjainak kedvenc turistacsalogató



8. ábra. Az ammonitesz lágytestének és házának felépítése. Kékkel jelöltük a kamrákat részben kitöltő testnedvet, rózsaszínnel a szifót, aminek segítségével az állat a folyadék/gáz arányt szabályozni tudta. A tölcsér a köpenyüregből kipréselt víz segítségével a gyors hátraúszást szolgálta

portékája. A kíméletlen halászat miatt a *Nautilus*-t a kihalás fenyegeti. Ez a csodálatos, polipszerű állat a legkülső, úgynevezett lakókamrában rögzíti magát; a ház belső része számos kisebb kamrára oszlik, melyeket jórészt gáz, kisebb részben testnedv tölt ki. Amint az állat növekedik és előrehúzódik házában, a lakókamra hátsó részén új kamraválaszfalat (szep-tumot) épít. A belső kamrákkal azonban továbbra is élő kapcsolatban marad egy lágy falú, szerves anyagból álló csövecske, a szifó révén. A szifó segítségével, valamint a lágytest izomzatának összehúzásával szabályozza a gáz mennyiségét és nyomását a kamrázott vázrészben belül, és így képes emelkedni vagy süllyedni a tengervízben. A gyors előre (pontosabban hátra) haladást – a többi mai polipfélékhez hasonló módon, rakétaelven – a köpenyüreg tölcsérszerű nyúlványán át kipréselt víz kilövellésével éri el.

Az ammoniteszek háza nagymértékben hasonlít a *Nautilus*-éhoz. Ezért okkal feltételezhető, hogy az ammoniteszek, ugyanúgy „tengeralattjáró” módján mozogtak a tengervízben (8. ábra). A legtöbb ammonitesz ragadozó vagy dögevő lehetett, de akadhattak közöttük plankton-fogyasztók is. Rendkívül változatos formájú házaik alapján feltételezhető, hogy az ammoniteszek életmódja, mozgása, úszóképessége nagyon különböző lehetett. A sima, gömbölyded ammoniteszek a

mélyebb vizekben élhettek, az erősen díszített formák a sekély tengerek lakói lehettek. Ebből kiindulva, és üledékföldtani vizsgálatokkal alátámasztva kimutatható volt, hogy a Balaton-felvidéki tenger mélysége a középső-triászban helyenként meghaladhatta a 200 métert (Vörös 1996). A *Balatonites* – mint erősen díszített ammonitesz – bizonyára a sekély vizek lakója volt, de „tengeralattjárói” képessége lehetővé tette számára, hogy időnként mélyebb vizekbe is ellátogasson.

*

Ha valaki az Aszófót Balatonfüreddel összekötő útról letér, és elindul Balatonszőlős felé, ne csodálkozzék, ha néhány kilométer gyaloglás után, jobb kéz felé, a szőlőskertek közelében hatalmas gödröket és kőkupacokat pillant meg. Ezek az amatőr ősmaradvány-gyűjtők művei. Őket pedig az itt tömegesen gyűjthető *Balatonites*-ek szépsége csábította ide, és ösztökélte komoly földmunkára. A Földtani Intézet egykori szabályos árkolásainak helyén ásott óriási gödrök arról tanúskodnak, hogy a tudományosan oly értékes *Balatonites* az ősmaradvány-börzéken, a kereskedelemben is megmutatta, hogy mennyire hasznos, és hogy értéke közvetlenül is konvertálható.

VÖRÖS ATTILA

IRODALOM

Böckh J. (1872): A Bakony déli részének földtani viszonyai. I. A Magyar Királyi Földtani Intézet Évkönyve, 2 (2): 31–166.
 Lóczy L., id. (1913): A Balaton környékének geológiai képződményei és ezeknek vidékek szerinti telepedése. In: A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei, 1 (1): 1–617.
 Mojsisovics, E. (1882): Die Cephalopoden der mediterranen Triasprovinz. Abhandlungen der kaiserlich–königlichen geologischen Reichsanstalt, 10: 1–322.
 Vörös A. (1987): Preliminary results from the Aszófő section (Middle Triassic, Balaton area, Hungary): a proposal for a new Anisian ammonoid subzonal scheme. *Fragmenta Mineralogica et Palaeontologica*, 13: 53–64.
 Vörös A. (1996): Environmental distribution and bathymetric significance of Middle Triassic ammonoid faunas from the Balaton Highland, Hungary. *Fragmenta Mineralogica et Palaeontologica*, 18: 5–17.
 Vörös, A. (Szerk.) (2003): The Pelsonian Substage on the Balaton Highland (Middle Triassic, Hungary). *Geologica Hungarica*, series *Palaeontologica*, 55, 195 old.



A MAGYAR TENGER

A Balaton ökológus szemmel

A Balaton Közép-Európa legnagyobb tava, hazánk egyik legértékesebb természeti kincse. A tó teljes felülete közel hatszáz négyzetkilométer, a teljes vízgyűjtőterület nagysága pedig ennek csaknem tízszerese. Húsz állandó és harmincegy időszakos vízfolyás táplálja, közülük kiemelkedő jelentőségű a Zala folyó, amely a tóba befolyó vízmennyiség felét szállítja.

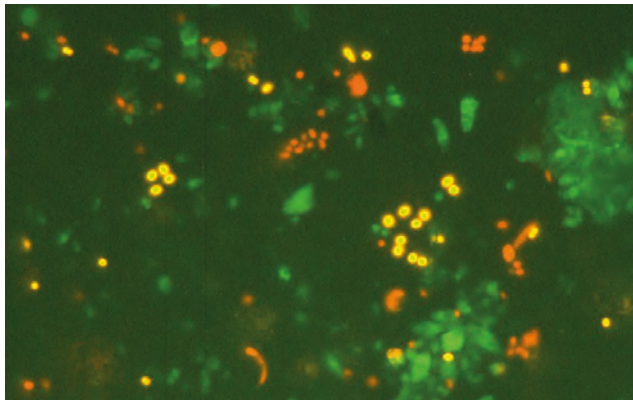
A Balaton egyetlen kifolyása a Siófoknál zsilippel szabályozott Sió-csatorna. A jelenleg érvényben lévő vízszint-szabályozási előírás szerint a tó vízállásának megengedett maximuma 120 cm, a kívánt legalacsonyabb vízállás pedig 75 cm (ezek az értékek nem a víz mélységét, hanem a siófoki vízmérce állását jelentik). Az elnyújtott alakú tó hossza 76,5 km, átlagos szélessége pedig csupán 7,5 km, bár a Tihanyi-félszigetnél szélessége alig éri el a 1,5 km-t (Virág, 1998). A tó átlagos mélysége mintegy 3,36 m, de a déli-part térségében medre sekélyebb. A Balaton édesvízű tó, ionösszetétele különbözik a tengerekétől, jellemzően Mg-Ca-HCO₃ iondominanciát mutat. Vízének kémhatása enyhén lúgos, pH-ja 8,5 körüli. Ez az oka annak, hogy a fürdőzők a Balaton vizét selymesen lágynak érzik. A Balaton életében az 1980-as években volt olyan időszak, amikor a nagy tömegben elszaporodott mikroszkopikus lebegő algák (fitoplankton) a vizet jelentős mértékben elszínezték, elsősorban a tó nyugati területén (ide torkollik

a legnagyobb vízhozamú befolyó, a Zala folyó). Napjainkban, köszönhetően a Balaton vízminőségét javító nagyberuházásoknak (lásd később), az algák mennyisége a Balaton nyíltvízi területein sehol sem haladja meg a fürdővízben megengedhető mértéket.

A tó mikroszkopikus algavilága

A mikroszkopikus algák a vízi életközösség nélkülözhetetlen elemei, a földi élet evolúciója során ezek a parányi élőlények teremtették meg oxigéntermelésükkel a magasabb rendű élet alapjait. A Balaton életében is nélkülözhetetlenek, a napfény energiájának kémiai energiává való transzformálásával (elsődleges szervesanyag termelés) teremtik meg az egész tavi ökológiai rendszer energetikai alapját (a parti öv növényvilágának produkciója a mindössze 5%-os területi arányából következően a planktonikus algák elsődleges szervesanyag termeléséhez képest elhanyagolható).

A Balaton fitoplanktonjának mennyiségi és minőségi viszonyait kielégítő pontossággal 1965-óta ismerjük. Ekkor kezdődött meg az MTA Ökológiai Kutatóközpont Balatoni Limnológiai Intézetben (akkori nevén: MTA Biológiai Kutatóintézete) a mai napig



1. ábra. A pikoalgák epifluoreszcens mikroszkópi képe. Az algasejtek sárga és vörös színben fluoreszkálnak pigment tartalmuk függvényében

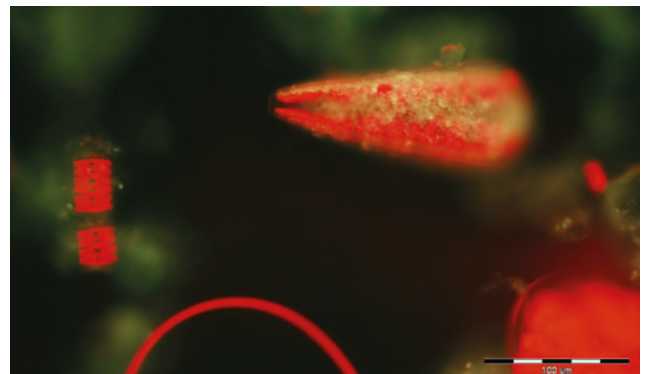
nemzetközi standard módszernek számító fordított planktonmikroszkópos eljárással a fitoplankton tömegének és összetételének a tó egész területére kiterjedő rendszeres vizsgálata (Tamás, 1974). Bár a mennyiségi algavizsgálatok már az 1930-as években elkezdődtek, a korábbi módszerek utólag nem megismerhető mértékben alulbecsülték a fitoplankton mennyiségét. Egyébként az algák összes mennyiségét a nemzetközi gyakorlatban rendszerint nem a nagyon munkaigényes mikroszkópi vizsgálattal állapítják meg, hanem a zöld növényi festékanyag, az a-klorofill műszeres mérésével, ami gyors, egyszerű és speciális szakértelmet nem igénylő eljárás. A két módszer eredményei egymásba átszámíthatók.

A mikroszkopikus algák mérete parányi voltak ellenére nagyon változatos, egy ezred millimétertől néhány milliméterig terjed. A Balaton legkisebb méretű, úgynevezett pikoalgái sejtjeinek átmérője mindössze 1-2 mikrométer, szemben a 100-200 mikrométeres fonalas kékalgákkal, a legnagyobb sejtű kova- és zöldmosszatok mérete eléri a 300 mikrométert, a legjellegzetesebb páncélos ostoros alga, a balatoni fecskemoszat is meghaladja a 100 mikrométert. A Balaton nyíltvízében legnagyobb tömegben kékmoszatok (kékalgák vagy cianobaktériumok), páncélos ostoros algák (pl. fecskemoszat) és kovamoszatok fordulnak elő. A kovamoszatok általában tavasszal, március és április hónapban tömegesek. A kékmoszatok – rendszerint a kovamoszatokat jelentősen meghaladó tömegű – elszaporodásának időszaka a nyár, ami szerencsétlen

módon egybeesik a tó legintenzívebb turisztikai igénybevételével. A Balaton uralkodó cianobaktérium fajai képesek a légköri molekuláris nitrogén megkötésére. Általános tapasztalat, hogy a kékalga-tömegtermékek kialakulása szorosan összefügg az időjárással és ezen belül is a vízhőmérséklet alakulásával. Feltehetően az egyes évek meteorológiai különbségei játszanak döntő szerepet abban, hogy azonos külső tápanyagterhelés mellett a tó algásodottságának mértéke egyik évről a másikra akár két-háromszoros különbséget mutathat.

A legparányibb algák

A bakteriális méretű algák felfedezése, széleskörű elterjedésük és jelentőségük megismerése negyedszázaddal ezelőtt alapjaiban változtatta meg ökológiai szemléletünket. Először az óceánokból közölték (Waterbury és mtsai., 1979), hogy vizükben nagy számban élnek bakteriális méretű (0,8-1,2 μm), korábban közönséges heterotróf baktériumnak tartott oxigéntermeléssel járó fotoszintézist végző parányi ún. pikoalgák (1. ábra). A világszerte megindult intenzív kutatások alapján hamarosan kiderült, hogy az oligotróf óceánokban és tengerekben ezek hozzák létre a fitoplankton elsődleges termelésének nagyobb hányadát. Felfedezésük azért váratott ilyen hosszú ideig magára, mert hagyományos fénymikroszkópi eljárásokkal nem detektálhatók, az epifluoreszcens mikroszkópi technika



2. ábra. Az üledékfelszínen élő kovamoszatok és fonalas algák képe fluoreszcens mikroszkópban (az algasejtek vörös színnel emelkednek ki a háttérből, amelyet üledékszemcsék alkotnak)

limnológiai alkalmazása vezetett felfedezésükhöz. A Balatonban és más hazai sekély állóvízben 1985-ben kezdődött meg kutatásuk (Vörös, 1987-1988).

Ma már tudjuk, hogy pikoalgák az év minden szakában jelentős egyedszámban fordulnak elő a Balaton egész területén. A fitoplankton összetételének



3. ábra. Az üledékfelszínről felszakadt algagyp 2015 nyarán. A telep átmérője mintegy 20 cm volt (Fénykép: Somlyai Imre)

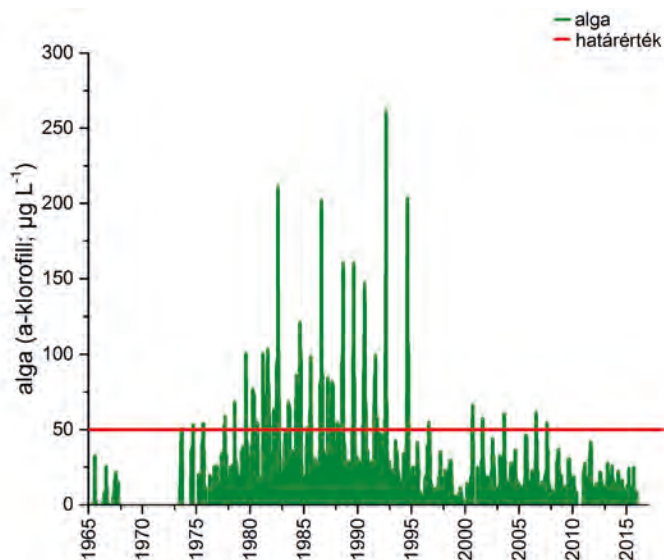
szezonális változása alapján megállapítható, hogy a pikoplankton részesezése a nyári fonalas nitrogénkötő cianobaktériumok tömeges megjelenése idején nagymértékben csökken. A fitoplankton elsődleges szervesanyag termeléséből a pikoalgák részesezése a legproduktívabb Keszthelyi-medencében kisebb, míg a kevésbé eutróf Siófoki-medencében tartósan magas (45-55%). Az a tény, hogy az elmúlt évtizedben a pikoplankton részesezése az elsődleges termelésből a tó nyugati területein jelentősen megnőtt, jelzi a Balaton vízminőségének javulását.

Algaélet a tavi üledék felszínén

Mikroszkopikus algák nem csak a tavak nyíltvizében, hanem víz alatti szilárd felületeken is élnek. Így van ez a Balatonban is, ahol a lebegő mikroszkopikus algák mellett nagyszámban találunk üledéklakó algákat (fitobentosz) és a parti kövek, nádszálak vízalatti felületeit is algabevonat (perifiton) borítja. A teljes tavi elsődleges termelés szempontjából egyedül a fitoplankton és a fitobentosz jelentősége számottevő, a nyári időszakban az előbbi adja a mikroszkopikus algák elsődleges termelésének mintegy háromnegyedét, utóbbi pedig majdnem a negyedét. Ennek ellenére a bevonatlakó algák szerepe a tó életében nem elhanyagolható, hiszen ahogyan azt Sebestyén Olga, a Balaton kiváló ismerője és élővilágának tanulmányozója írta: „Az alzat a víz alatt igen értékes, érte élénk versengés folyik.... a parti öv terített asztal a nyíltvíz halai számára” (Sebestyén, 1943). Ezért a víz alatti, megtelepedésre alkalmas felületek területének nagysága a rajta kialakult perifiton mennyiségének révén van hatással a fogyasztó szervezetek mennyiségére is.

Az üledéklakó algaflórát elsősorban 'nagytestű' kovamoszatok és fonalas algák alkotják (2. ábra). A fitobentosz mennyisége az üledékfelszínre érkező fotoszintetikus aktív sugárzás (400-700 nm) mennyiségével áll összefüggésben. A sekély és emiatt könnyebben felkeveredő Balatonban a mélyebb vízben gyakran nem jut elég fény az üledék felszínére, ezért csak kevés alga képes ott elszaporodni. A sekélyebb részekben azonban, különösen a déli parton, a homokos üledék felszínén, egy négyzetcentiméternyi területen több tízezer kovamoszat élhet, amelyet néha vörösbarnára is színeznek. A strandolók többsége nem is sejtí, hogy gazdag és változatos algagypen sétál.

Az elmúlt pár évben azonban – feltételezhetően a tó magasabb vízszintjének, illetve a hosszantartó, szélcsendes nyári időszakoknak köszönhetően – jelentősen változott a tó fényklimája és több fény jutott le az üledékfelszínre. Ennek látványos következményével 2015 augusztusában találkoztunk, amikor a hosszú szélcsendes időjárás elősegítette az üledékfelszínén egy vastag algagyp kifejlődését. A gypben zajló fotoszintézis



4. ábra. Az alga biomassza (a-klorofill koncentrációban kifejezve) hosszú távú változása a Balaton Keszthelyi-medencéjében és a fürdővizekre alkalmazott határérték (hazai előírások szerint cianobaktérium dominancia esetén egy természetes víz 50 µg/l a-klorofill koncentráció felett nem alkalmas fürdésre). Jól látható, hogy 1995-óta még a kékalgák nyári csúcsértékénél is csak elvétve és rövid időre haladta meg az a-klorofill koncentráció a fürdővízre kifogásolható mértéket

során termelődött oxigén buborékok formájában kivált és ezek a gázbuborékok a vízfelszínre emelték az algákat a hozzájuk tapadt üledékrészecskékkal együtt. Ezek a víz felszínén úszó pénzérme- vagy akár tenyérnyi méretű



5. ábra. A Balaton legtömegesebb fonalas nitrogénkötő kékalgája, a *Cylindrospermopsis raciborskii*. A fonal végén lévő gyertyaláng alakú képlet a légköri nitrogén megkötésére specializálódott sejt. A fonal hossza kb. 0,1 mm

algagyep darabok (3. ábra), a szél és az áramlatok hatására néhol összegyűltek, kellemetlenséget okozva ezáltal a strandolóknak.

A tó vízminőségének változásai

Az algák túlzott mértékű elszaporodása (eutrofizáció) jelentős ökológiai kockázattal jár és a vízhasználat számos módját megnehezíti vagy lehetetlenné teszi. A felszíni vizekben az algaszaporodást leggyakrabban a foszfor és a nitrogén mennyisége szabályozza. A nitrogén hiányát azonban a mérsékelt és a meleg égövön tenyésző nitrogénkötő kékalgák a légköri molekuláris nitrogén megkötésével kompenzálni tudják, ezért egyetlen tápelem, a foszfor az, amelynek túlkínálata nemkívánatos algásodáshoz vezethet. Így volt ez a Balaton esetében is a múlt század hetvenes éveinek végén és a nyolcvanas években (Herodek, 1979). A Zala folyón keresztül a Keszthelyi-medencét nagymértékű foszforterhelés érte, amelynek forrása elsősorban Zalaegerszeg városának nem kellő mértékben megtisztított háztartási és ipari szennyvize volt. A megnövekedett foszforterhelésre a Keszthelyi-medence algái azonnal reagáltak, annak növekedésével arányosan tömegük gyorsan gyarapodott. A nyolcvanas évek elejére az alga-biomassza elérte maximális értékét és ez gyakorlatilag a kilencvenes évek közepéig nem változott (4. ábra).

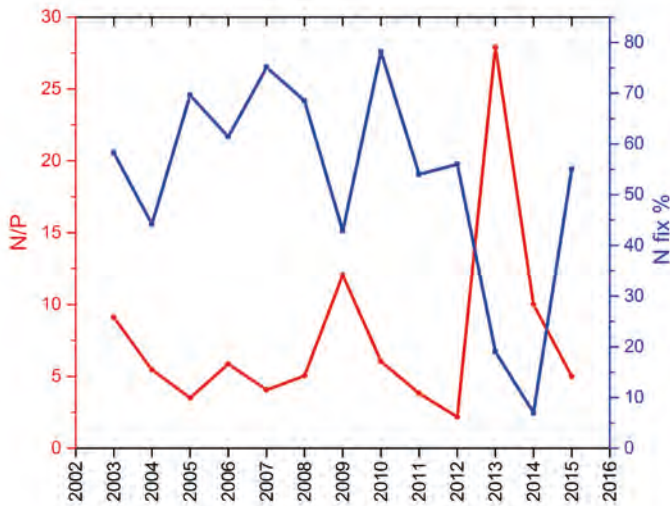
A Balaton vízminősége szempontjából nemcsak az jelentette a gondot, hogy a nyári hónapokban a legalgásabb a víz. A bajt az is tetézte, hogy ekkor a cianobaktériumok fordultak elő a legnagyobb tömegben, és az édesvízi algák közül éppen ezek az egyedüli toxintermelők. A cianobaktérium-toxinok nemcsak a vízi élővilágra hatnak, hanem az emberi szervezetre is veszélyesek lehetnek. A vízpermettel az orrba, szembe kerülő kékalgák nyálkahártya bántalmakat,

asztmatikus tüneteket okozhatnak. Fürdőzőknél bőrirritációt okozhatnak, a véletlenül lenyelt vízzel az emésztőrendszerbe kerülve lázat, hányást és hasmenést idézhetnek elő. Az első számú közellenség ebben az időszakban egy, a trópusi, szubtrópusi területeken honos fonalas kékalga, a *Cylindrospermopsis raciborskii* volt (5. ábra).

Joggal merült fel az a kényszerítő igény, hogy a Balaton algásodását csökkenteni kell, ha el akarjuk kerülni az ökológiai katasztrófát és meg akarjuk tartani idegenforgalmi vonzerejét. A tó foszforterhelését csökkentő nagyberuházásoknak ez volt a célja. A tó partján

6. ábra. A Balaton legtömegesebb páncélos ostoros algája, a fecskemoszat (*Ceratium hirundinella*). Mérete kb. 0,1 mm





7. ábra. Összefüggés a Zala folyón érkező ásványi nitrogén/oldott reaktív foszfor (N/P) terhelés (tonna/év) aránya és a fonalas, nitrogénkötő cianobaktériumok biomassza részesedése között a Keszthelyi-medencében (2003–2015). Jól látható, hogy a magas N/P arány a fonalas nitrogénkötő kéalgák részarányának csökkenését eredményezi

keletkező szennyvizek túlnyomó többségét még megtisztítva sem engedik a tóba, egy körcsatorna rendszer elvezeti azt a Balaton vízgyűjtőjéről. A Balaton vízgyűjtőterületén minden jelentős szennyvíztisztító elláttakfoszfor-leválasztó technológiai egységgel. Így történt ez a Balaton korábbi fő foszforterhelőjénél Zalaegerszegen is. A Nyugati-övcatorna vízgyűjtőjén létesült Marcali-víztározó és a Kis-Balaton tározórendszer is azzal a céllal létesült, hogy a Balaton külső foszforterhelését csökkentse. A tó vízgyűjtőterületén a nagyüzemi állattartó telepeken a hígtrágyás technológia megszüntetése is mérsékelte a külső terhelést. A Balaton foszforterhelésének csökkentéséhez hozzájárult még a rendszerváltást követő műtrágya-felhasználás csökkenése és a foszfátmentes mosószeres elterjedése is. Mindezek együttesen látványos és jelentős változást hoztak, elsősorban a Keszthelyi-medence vízminősége tekintetében (4. ábra).

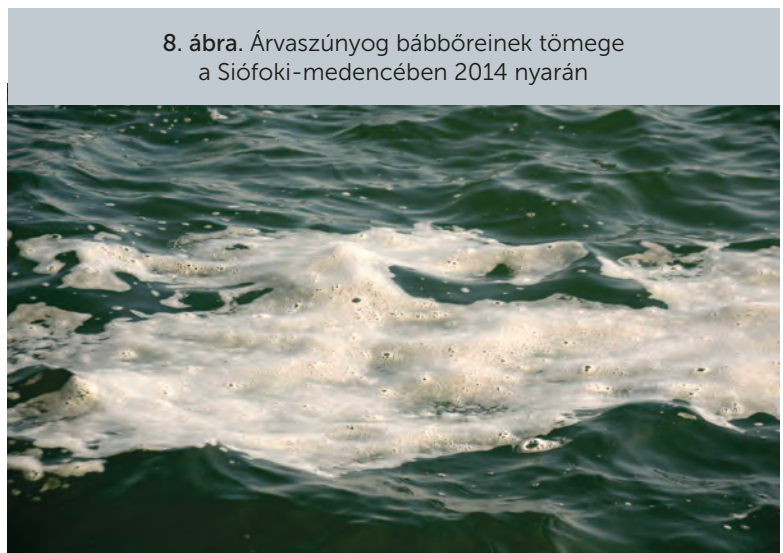
Az 1980-as évek közepéig a Zala folyó évente 100 tonna körüli összes foszfort szállított a Keszthelyi-medencébe, amely érték ezután jelentősen és gyorsan harmadára/negyedére csökkent az eutrofizálódást csökkentő nagyberuházások hatására. Az algák biomasszája közel egy évtizedes késéssel reagált erre a változásra, az üledékben felhalmozódott

és lassan kiürülő belső tartalékok miatt. Szerencsére a beruházások meghozták a kívánt eredményt, és ma már nyáron, a legnagyobb melegben sem képesek az algák kifogásolható mértékben elszaporodni a tóban (a hazai előírások szerint cianobaktérium dominancia esetén egy természetes víz 50 µg/l a-klorofill koncentrációt meghaladó algamennyiség felett nem alkalmas fürdésre). Látható, hogy amíg 1979 és 1994 között a tó legalgásabb területén, a Keszthelyi-medencében az algák mennyisége tartósan és jelentősen meghaladta ezt a határértéket (4. ábra), addig ezt követően mennyiségük csak elvétve, egy-egy alkalommal érte el ezt a határt, és még az aszályos években (2002, 2003, 2010) sem romlott a tó vízminősége. A tó keleti területei sokkal szerencsésebb helyzetben vannak, a Siófoki-medencében csupán egy évben, 1994-ben emelkedett az algák mennyisége a határérték fölé. A fentiek alapján kiemelendő, hogy a Balaton algásodása a foszforterhelést csökkentő beruházások eredményeként jelentős mértékben csökkent. Ez egy nemzetközi viszonylatban is jelentős környezetvédelmi sikertörténet, amely alapvetően a Balatoni Limnológiai Intézetben folytatott algaökológiai, foszforforgalmi kutatásokon alapult.

A kéalgák és a fecskemoszat „háborúja”

Az 1980-as években a fonalas nitrogénkötő kéalgák egyeduralma idején a korábbi időszakokban domináns fecskemoszatok (*Ceratium hirundinella*) gyakorlatilag kiszorultak a Balaton planktonjából (6. ábra). A vízminőség későbbi javulásával az algák mennyisége nagymértékben csökkent, nyaranta azonban továbbra is a fonalas nitrogénkötő kéalgák kizárólagos dominanciáját tapasztaltuk egészen 2012-ig. A következő nyáron ugyanis a fitoplankton összetétele jelentősen

8. ábra. Árvaszűnyog bábbőreinek tömege a Siófoki-medencében 2014 nyarán





9. ábra. A *Chironomus balatonicus* árvaszúnyog lárvája

megváltozott: a Keszthelyi-medencében évtizedek óta domináns cianobaktériumok egyeduralma 2013-ban megtört, és helyettük a balatoni fecskemoszat vált újra dominánssá. 2015 és 2016 nyarán azonban újra a cianobaktériumok kerültek előtérbe. Ezek a változások a tó nyugati területein (Keszthelyi-medence) különösen kifejezettek voltak.

A változások magyarázatát a külső tápanyagterhelés összetételének eltérései adják meg. Az algák testének felépítéséhez hatszor annyi nitrogénre van szükség, mint foszforra. Amennyiben nitrogénből kevesebb áll rendelkezésre, mint foszforból, akkor egyéb környezeti körülmények (elsősorban magas nyári vízhőmérséklet) fennállása esetén az algák pótolni tudják ezt a hiányt, oly módon, hogy a légköri molekuláris nitrogén megkötésére képes cianobaktériumok szaporodnak el. A Keszthelyi-medence legutóbbi történései jól példázzák ezt az összefüggést. A Zalán érkező, az algák számára felvehető nitrogén és foszforterhelés aránya az esetek többségében ezen arányszám alatt, vagy annak közelében volt, ami a kékalgáknak kedvezett. A 10 körüli és azt meghaladó N/P arány esetén azonban a kékalgák kompetitív előnye megszűnt. Ez a magyarázata a fordított összefüggésnek a kékalgák részesedése és a külső N és P terhelés aránya között a Keszthelyi-medencében (7. ábra). A Zala folyó balatoni torkolatában a nitrogén és foszfor arányt a Kis-Balaton tározórendszerben lejátszódó, a mai napig kellően nem ismert, nitrogénvesztéssel járó mikrobiális folyamatok döntően befolyásolják, így a tározó végeredményben jelentős hatást gyakorol a Keszthelyi-medence és az egész Balaton vízminőségére is.

Árvaszúnyogok, halak és a vízminőség

Az árvaszúnyogok (Chironomidae), a kétszárnyúak rendjébe (Diptera) tartozó elterjedt és fajgazdag rovarcsalád. Tagjai a vízi életközösségek fontos részét képezik, a táplálékláncban betöltött meghatározó szerepük miatt. A fejlődési alakok közül a lárvák, mint haltáplálék jelentősek, a bábbőrök és az imágók pedig a madarak számára jelenthetnek táplálékbazist. A kifejlett egyedek élettartama rövid, szinte csak a szaporodásra korlátozódik. A nőstények tojásait közvetlenül a vízfelszínre vagy valamilyen szilárd felszínhez rögzítve rakják le, egyesével vagy csomókban, gyakran több száz tojást tartalmazó nyálkás burokban (Armitage et al., 1995). A kikelő lárvák négy stádiumon keresztül fejlődnek, ezután a lárva bebábozódik. Fejlődése végéhez közeledve a felszínre úszik, majd végül kibújik a szinte azonnal röpképes kifejlett egyed. A hátrahagyott bábőr még pár napig a víz felszínén lebeg, majd lebomlik. A kifejlett egyedek általában nektárt szívogatnak, vagy egyáltalán nem táplálkoznak; a vérszívás nem jellemző az árvaszúnyogokra.

Az azonos fajhoz tartozó árvaszúnyogok egyedei általában közel azonos időpontban bújnak ki és hatalmas rajokat képezve repülnek. A tömeges kirepülés során a fényre repülő kifejlett egyedek kellemetlenséget jelenthetnek az ember által lakott területeken, illetve az üdülőövezetekben (Armitage et al., 1995). Ez a zavarás olyan mértékű lehet, hogy már gazdasági és turisztikai problémákat is felvet. Másrészt az árvaszúnyogok kirepülését követően a víz felszínén visszamaradó nagy mennyiségű bábbőr, valamint a bábbőrök lebomlását kísérő habosodás szintén esztétikai (de nem egészségügyi) problémát jelenthet (8. ábra). Az árvaszúnyogok részletes vizsgálata 1997 és 2002 között 54 fajt mutatott ki a tóból, ám ezek legnagyobb része a tó egészéhez mérten kis területű part menti sávból került elő (Specziár és Bíró, 2000; Bíró és Specziár, 2001; Specziár et al., 2000, 2003). Ezzel szemben a tó nagy kiterjedésű nyíltvízi üledékében alapvetően három faj, a *Chironomus balatonicus*, a *Procladius choreus* és a *Tanytus punctipennis* bizonyult és bizonyul a mai napig a leggyakoribbnak (Specziár és Bíró, 2000; Specziár és Vörös, 2001; Specziár et al., 2003).

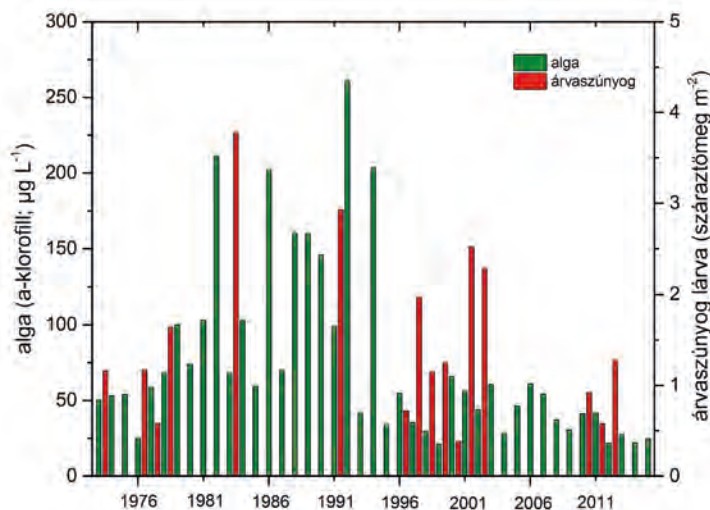
Az üledéklakó árvaszúnyog-lárvák biomaszájának éves átlaga az 1997 és 2002 közötti időszakban a Keszthelyi-medencében jóval meghaladta a tó többi területén mért értékeket, majd a biomasza kelet felé a Siófoki-medence irányába folyamatosan csökkent. Az árvaszúnyogok biomaszáját tekintve megállapíthatjuk, hogy az

elmúlt években (2010–2012) kisebb biomassza-értékek mérhetőek a tóban, mint az 1997 és 2002 közötti időszakban, legalábbis a tó nyugati területeire vonatkozóan. A nagyobb biomassza minden esetben a nagy testű *Chironomus balatonicus* lárvák (9. ábra) dominanciájával hozható összefüggésbe.

Fontos kutatási eredmény annak felismerése, hogy a lebegő mikroszkópikus algák mennyisége (a-klorofill koncentráció) és a domináns *Chironomus balatonicus* lárvák biomasszájának hosszú távú változásai a Balatonban párhuzamot mutatnak. Specziár és Vörös (2001) a Keszthelyi-medencére vonatkozóan szoros, pozitív összefüggést mutatott ki a késő nyári a-klorofill

A tó nyílt vizében a minden bizonnyal legfontosabb táplálékláncot a fitoplankton, a zoobentosz alkotó árszúnyog-lárvák és a halak alkotják. Ilyen egyszerű módon függ össze tehát az elsődleges szervesanyag-terhelés a halhozammal, a halászat és/vagy a horgászat eredményességével. A Balaton vízminőségének sokmilliárdos beruházások eredményeként létrejött látványos javulásával a turizmus és az ivóvízellátás az egyértelműen nyertes, a halak pedig egyértelmű vesztesek (kevesebb alga, kevesebb árszúnyog, kevesebb hal). Nem lehet azonban kétséges, akár csak üzleti szempontokból is, hogy a Balaton esetében a turizmusnak abszolút prioritást kell adni.

VÖRÖS LAJOS–TÓTH MÓNIKA–
SOMOGYI BOGLÁRKA



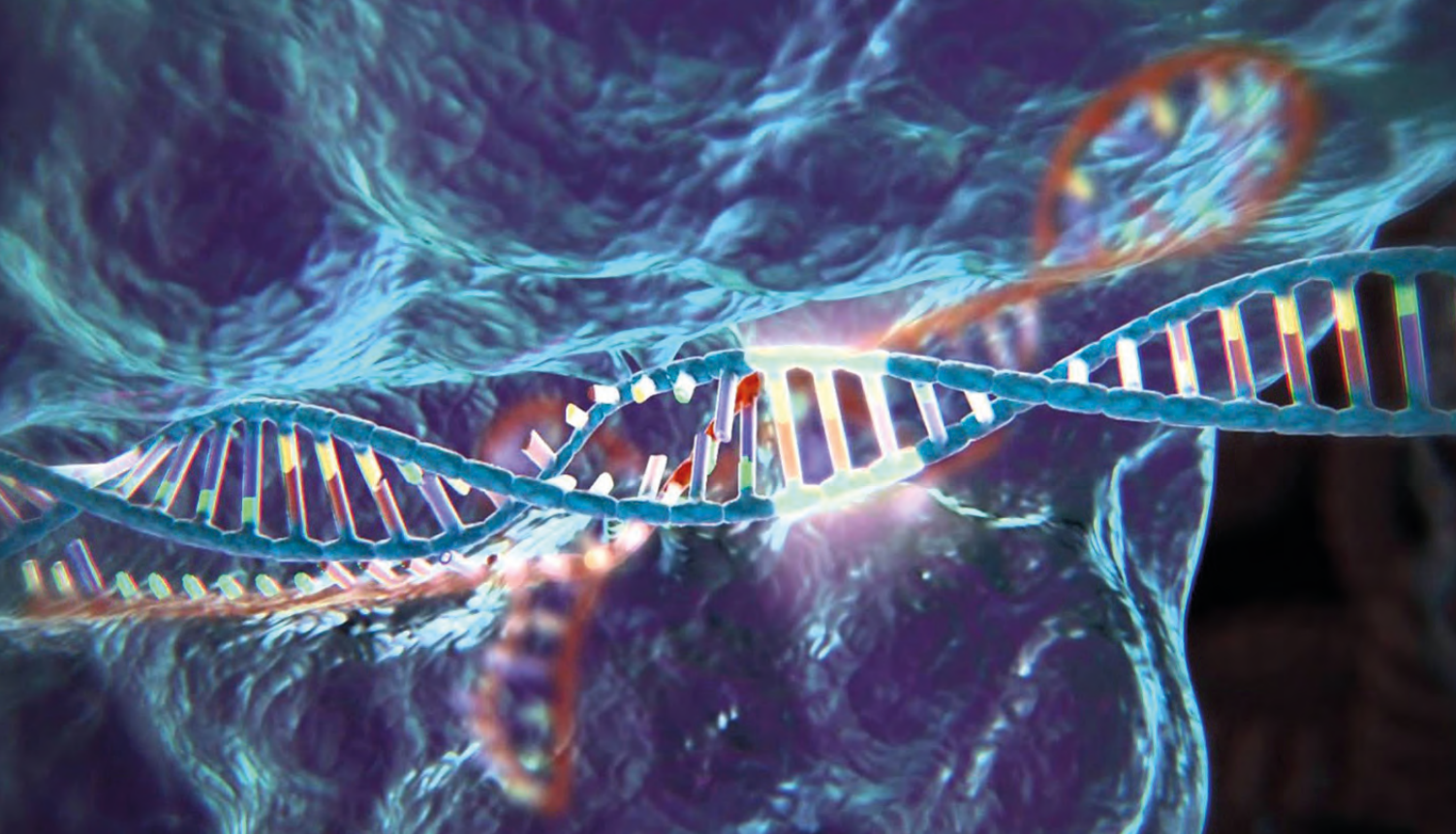
10. ábra. Az éves alga biomassza-maximumok (a-klorofill koncentráció) és az árszúnyog lárvák száraztömege a Keszthelyi-medencében 1973 és 2012 között. Jól látható, hogy az algák mennyiségének növekedésével az árszúnyog lárvák mennyisége is nőtt (1980-as, 90-es évek), majd ezt követően mindkettő jelentősen csökkent

koncentráció és az azt követő tavaszi árszúnyog lárvák biomassza között. Ezek alapján, átlagos időjárási viszonyokat feltételezve, nyárvégi fitoplankton adatokból mintegy 6–8 hónapra előre becsülhető az árszúnyog lárvák várható mennyisége. Összességében elmondható, hogy az árszúnyogok mennyiségi változása követte a táplálékul szolgáló algák mennyiségi változását és napjainkban csupán töredéke a néhány évtizeddel korábbiak (10. ábra).

A Balatonban, más sekély tavakhoz hasonlóan, az algák és a halak közötti táplálékoszték kapcsolata egyik kulcsfontosságú láncszeme az árszúnyog-lárvák.

IRODALOM

- Armitage, P., Cranston, P.S., Pinder, L.C.V., 1995. The Chironomidae. The biology and ecology of non-biting midges. Chapman & Hall, London 572 p.
- Bíró, K., Specziár, A., 2001. Adatok a Balaton árszúnyog (Diptera: Chironomidae) faunájához. Hidrológiai Közlemény, 81: 322–325.
- Herodek S., 1979. Eutrofizálódás, a Balatont fenyegető közvetlen veszély. MTA Biol. Oszt. Közl., 22: 323–336.
- Sebestyén, O., 1943. A parti öv jelentősége a tó életében. — Magy.Biol. Kut. Munk., 15:301-308.
- Specziár, A., Bíró, K., Bíró, P., 2000. A Balaton makrobentoszának felmérése. In: Somlyódi, L., Banczerowski, J., (szerk.): A Balaton kutatásának 1999. évi eredményei. MTA, Budapest, pp. 62–70.
- Specziár, A., Bíró, K., Bíró, P., Vörös, L., 2003. Az üledéklakó árszúnyog lárvák (Chironomidae, Diptera) anyagforgalmi szerepe a Balatonban. In: Mahunka, S., Banczerowski, J., (szerk.): A Balaton kutatásának 2002. évi eredményei. MTA, Budapest, pp. 109–117.
- Specziár, A., Bíró, P., 2000. Az üledéklakó árszúnyog (Diptera, Chironomidae) fauna területi megoszlása és rövid távú változásai a Balatonban 1995 és 1998 között. Állattani Közlemények, 85: 93–107.
- Specziár, A., Vörös, L., 2001. Long term dynamics of Lake Balaton's chironomid fauna and its dependence on the phytoplankton production. Archiv für Hydrobiologie, 152: 119–142.
- Tamás G., 1974. The biomass changes of phytoplankton in Lake Balaton during the 1960s. Annal. Biol. Tihany, 41:323-342.
- Virág, Á., 1998. A Balaton múltja és jelene. Egri Nyomda Kft., Eger, pp. 904.
- Vörös, L., 1987-88. Bakteriális méretű fotoautotrófikus szervezetek néhány sekély tóban. - Botanikai Közlemények, 74-75: 141-151.
- Waterbury, J. B., Watson, S. W., Guillard, R. R. L., Brand, L. E., 1979. Widespread occurrence of a unicellular, marine, planktonic cyanobacterium. Nature, 277: 293-294.



A GENETIKUSOK ÚJ ESZKÖZE

A CRISPR/cas9

A bakteriális genetika megalapozója, Joshua Lederberg 1959-ben a Nobel-díj átvételekor tartott előadásában mondta a következő szavakat: „A genetikusok csalóka lidércfénye mindig is az volt, hogy találjanak egy specifikus mutagént, egy olyan reagenst, amely eljut egy adott génhez, felismeri azt, és meghatározott módon módosítja.” Ez a lidércfény mára valósággá vált.

Az elmúlt évtized során számos új módszert dolgoztak ki, amelyek képessé tették a kutatókat arra, hogy tervezetten és pontosan irányítottan vigyenek be kívánt mutációkat bármely génbe. E technikák közül a legsokoldalúbban, legegyszerűbben és legolcsóbban alkalmazható a CRISPR/cas9, amely „futótűzként” terjedt el a világon, és feltalálóié, *Emmanuelle Charpentiernek, Jennifer Doudnának* és *Feng Zhangnak* több mint két tucat tudományos díjat hozott az elmúlt három év során.

A módszer lényege, hogy az átalakítandó (mutagenizálendő) sejtbe egy fehérje- és egy RNS-molekulát (pontosabban: többnyire az e két molekulát kódoló DNS-t) kell bejuttatni. A cas9 fehérje egy baktériumokból előállítható DNS-bontó enzim, amely csak akkor bántja a DNS-t, ha a vezető-RNS-nek nevezett (többnyire mesterségesen szintetizált) kb. 100 nukleotid hosszúságú RNS-molekula odavezeti hozzá. Ezt a vezető-RNS-t úgy tervezik meg, hogy legyen benne egy kb. 20 nukleotid hosszúságú szakasz, amely pontosan megfelel a DNS

módosítandó részének, és ekkor ezen a szakaszon a cas9 enzim elvágja a DNS-t. Ez a vágás voltaképpen megölné a sejtet, ha nem lépnének be ilyenkor az önvédelmi, javító mechanizmusok. A korrekciónak két lehetséges útja van: az egyik az, hogy a törés egyszerűen befolytódik, azaz helyreáll a vágás előtti folyamatos lánc, ez azonban többnyire hibával jár, azaz egy-két nukleotid kiesik a láncból vagy betoldódik. Ennek a következménye — ha a vágás egy működő génben történt — a gén megbénítása, „kiütése”. Olykor ez is lehet a beavatkozás célja, de ennél fontosabb a másik lehetőség. Ehhez szükséges az előbbieken említett kettő mellett egy harmadik molekula bejuttatása is a célsejtbe: egy olyan rövid DNS-darabé, amely majdnem teljesen megegyezik a vezető-RNS által determinált kb. 20 nukleotid hosszúságú módosítandó DNS-szakasszal, de egy ponton eltér attól, amennyiben tartalmazza a kívánt mutációt. Ekkor a sejt saját DNS-e és a bevitt DNS között létrejön egy kicserélődés (szakszóval: homológ rekombináció történik), és ezáltal a kívánt mutáció bekerül a sejt DNS-ébe.

Az elmúlt három évben számos kutatócsoport dolgozott azon, hogy tökéletesítsék a technológiát, javítsák pontosságát és hatékonyságát. E fejlesztések közül talán a legérdekesebb az a módszer, amelyben a módosított cas9 enzim nem vágja el a célpont DNS-t, csak odavisz hozzá egy másik enzimet, amely a DNS guanin-citozin (GC) bázispárját adenin-timinné (AT) alakítja, és ezáltal közvetlenül idézi elő a kívánt pontmutációt [1]. (Magyar vonatkozás: e munka első szerzője az amerikai *Alexis Komor*, a szecesszió nagy magyar építészének, Komor Marcellnek a dédunokája.

A CRISPR/cas9 technológiával már számos kívánt mutációval rendelkező (azaz potenciálisan hasznos) növényt, állatot, gombát, mikroorganizmust állítottak elő. Írásomban azonban kizárólag a humán alkalmazás lehetőségeiről, illetve kezdeti eredményeiről lesz szó. Ezen a téren a leküzdendő technikai nehézségek, elkerülendő és végzetes hibák mellett egy alapvető etikai problémával is szembe kell nézni. Azaz, hogy amikor – több mint négy évtizede – a génszerkezeti technika felfedezésével először tűnt reális lehetőségnek a humán génterápia, vagyis az örökletes, betegségek okozó mutációk kijavítása, világosan meg kellett különböztetni az úgynevezett „szomatikus” génterápiát a „csíravonali” génterápiától. Az előbbi azt jelenti, hogy a beteg ember betegség által érintett szerveiben, szöveteiben kísérlik meg a mutáció kiküszöbölését, és ezáltal a betegség részleges vagy teljes gyógyítását. Ez a hatás természetesen nem öröklődik. A „csíravonali” terápia az ivarsejtekben vagy a korai embrióban előidézett és így örökletes megváltoztatást jelent. Az akkori – és azóta is általánosan érvényesnek tekintett – etikai álláspont szerint ez a beavatkozás nem megengedhető, mivel



A CRISPR/cas9 hősei: Emanuelle Charpentier és Jennifer Doudna

nemcsak az érintett egyénre, hanem a következő, még meg nem született generációkra is kihat. Nos, a CRISPR/cas9 technológia megjelenése ezt a szigorúan elutasító álláspontot kissé fellazította. Az USA Tudományos Akadémiája és Orvosi Akadémiája tavaly nyáron áttekintette a CRISPR/cas9 forradalom lehetséges humán alkalmazásait, és nem zárkózott el attól, hogy a technológia fejlődésével és jelenleg még meglévő hibáinak kiküszöbölésével a jövőben lehetőségessé válhat a „csíravonali” génterápia. Természetesen hangsúlyozták, hogy csak terápiáról, az életet veszélyeztető mutációk kiküszöböléséről lehet szó, nem pedig „designer” bábik előállításáról [2].

Az elmúlt két év során a tudományos irodalomban nyolc olyan közlemény jelent meg, amely az új technológia lehetőségeit és buktatóit próbálta feltárni a „csíravonali” humán génterápia irányában. Az első cikk egy kínai kutatócsoporttól származott [3], ami első lépésben, elég nagy vihart kavart. Sokan vitatták, hogy szabad-e emberi embriókon ilyen kísérletet végezni, noha a kínai kutatók eleve megsemmisítésre ítélt embriókkal dolgoztak, és természetesen nem engedték azokat kifejlődni, továbbá az illetékes hatóságoktól megkaptak minden engedélyt. A kísérletben egy súlyos örökletes hematológiai betegséget, a béta-talasszémiát okozó mutációt próbáltak meg kijavítani. Az eredmény: 54 embrióból mindössze négyben találták meg a kívánt mutációt, és azok is valamennyien mozaikok voltak, vagyis nem minden sejtjükben történt meg a változás. Továbbá a kívánt mutáción kívül minden megvizsgált embrióban találtak „céltevesztést” is. Ez azt jelenti, hogy bár a CRISPR/cas9 rendszer meglehetősen pontosan vágja el a kívánt helyen a DNS-t, ez a pontosság azért nem 100%-os. Azaz, jóval kisebb valószínűséggel ugyan, de a célszekvenciához többé-kevésbé hasonló más helyeken is

A CRISPR/cas9 hőse: Feng Zhang



történhet hasítás, és ezáltal új mutáció keletkezése más génekben. A sokat vitatott kísérlet tehát annyiban fontosnak és negatív értelemben eredményesnek bizonyult, hogy rávilágított a módszer tökéletlenségére.

Ugyanettől a csoporttól származik a legfrissebb cikk [4] is, amelyben radikálisan javított módszerekkel értek el sokkal jobb eredményt a béta-talasszémiát okozó mutáció kijavításában. A munka különleges érdekessége, hogy úgy került meg az embriókon végzett kísérletek etikai problémáját, hogy a beteg bőrszövetéből vett sejtet klónozták, és a klónozott embriókon végezték el az irányított mutagenézist az előbbieken ismertetett, Komorék által kidolgozott, guanin adeninre módosító módszerrel. Az eredmény: 20 kezelt klónozott embrió közül nyolcat sikerült „meggyógyítani”. Ez az eredmény természetesen még igen messze van attól, hogy a valóságos orvosi alkalmazást megengedhetővé tegye, de a jövő szempontjából biztatónak tekinthető. Óvatosságra int az is, hogy a kezelt embriók többsége ezúttal is „mozaik”, vagyis nem minden sejtjükben történt meg a mutáció korrekciója. Az viszont pozitívum, hogy ezúttal nem számoltak be „céltevesztés”-ről, bár nem is zárták azt ki teljesen.

Egy másik – amerikai-koreai – kísérletben egy örökletes szívbetegséget (hipertrofiás kardiomiopátia) okozó mutációt próbáltak kijavítani [5]. A betegséget okozó mutáció a MYBPC3 nevű génben van és domináns, azaz akkor is szívelégtelenséget okoz, ha csak az egyik kromoszómában fordul elő (azaz heterozigóta állapotban). A kutatók egy ilyen heterozigóta betegtől kapott férfi és egészséges homozigóta női ivarsejtekkel mesterséges megtermékenyítést végeztek, és az így nyert embriókon végezték el a CRISPR/cas9 beavatkozást. Elméletileg (beavatkozás nélkül) egy ilyen keresztezés fele-fele arányban vezetne egészséges, illetve beteg utódhoz. A beavatkozás eredményeként azonban 58 embrióból 42 (72,4%) lett egészséges a homológ rekombináció következtében. A többi 16 embrióban is volt a megfelelő helyen DNS-hasítás, de ott a helyreállítás másik lehetősége következett be, azaz nem a megfelelő mutáció. Ez az eredmény (72,4% az 50% helyett) biztató ugyan, de természetesen még nem kielégítő. Talán ennél fontosabb, hogy a kutatók nem találtak „céltevesztést”, azaz a célszekvencián kívüli hasítást és mutagenézist.

Az eddigiekben olyan, a „csírvonalai” génterápiára irányuló kísérletekről volt szó, amelyek célja a technológia hatásosságának, illetve veszélyeinek felderítése volt, és esetleges alkalmazásuk nyilvánvalóan csak sok év múlva válhat lehetségessé. A „szomatikus” génterápiás alkalmazás azonban sokkal előbb megvalósulhat.

Az ilyen irányú – nem laboratóriumi, hanem klinikai, betegeken végzett – kísérleteket természetesen csak igen szigorú etikai és szakmai előzetes vizsgálatok után lehet elvégezni. Jelenleg világszerte 10 ilyen kísérletről tudunk, amelyek megkapták a szükséges engedélyeket és el is kezdődtek. Eredmények természetesen még nincsenek. Érdekes tény, hogy a tíz tervezett program közül kilenc Kínában folyik és csak egy a világ vezető tudományos hatalmában, az USA-ban. A tervezett eljárások többsége a rák gyógyítására irányul. Ezek szakmai alapja az a nem túl régen felfedezett tény, hogy az emberben van egy olyan gén, ami a PD-1 (Programmed Death = programozott



sejthalál-1) nevű fehérjét kódolja. Ez a fehérje arra szolgál, hogy fékezze, korlátozza az immunrendszert, megakadályozza annak túlreagálását. A rákos folyamatban a ráksejtek – saját életük védelmében – megnövelik az immunitásért felelős T-sejtekben a PD-1 fehérje termelését, hogy ezzel csökkentsék a szervezet immunválaszát a rákra. Nos, a tervezett klinikai kísérletekben a betegektől (egyes esetekben idegen donoroktól) az immunreakcióért felelős T-sejteket nyernek, majd szövettenyésztésben a CRISPR/cas9 technológiával „kiütik” a PD-1 fehérjét kódoló gént, és a „kiütött” T-sejteket elszaporítva visszajuttatják a beteg vérebe. Különböző variációkkal ez az amerikai és hét kínai program lényege. Egy további kínai program a méhnyakrákért felelős papillomavírust veszi célba, egy pedig az AIDS-et okozó HIV vírust.

A CRISPR/cas9 technológia lehetséges humán (gyógyító célú) felhasználásával foglalkozó cikkben nem hagyhatjuk említés nélkül azokat az állatkísérleteket sem, amelyek célja egyértelműen a majdani emberi alkalmazás. Számos fontos emberi genetikai betegségnek van olyan állati modellje, amelyen ezek az eljárások

kipróbálhatók. Az elmúlt két év során megjelentek kísérleti eredmények a Huntington chorea (vitustánc), a korábban említett béta-talasszémia, vagy egy örökletes izomsorvadás (Duchenne-disztrófia) egérmódelleinél a CRISPR/cas9 többé-kevésbé sikeres terápiás alkalmazásáról. A „többé-kevésbé” azt jelenti, hogy a kísérleti egerekben némi állapotjavulást lehetett kimutatni, de nem teljes gyógyulást. Módszertani szempontból ezen kísérletek közül a legérdekesebb (és a legfrissebb) az izomsorvadásos egerek esete [6]. Itt ugyanis az eljáráshoz szükséges molekulák bevitelét úgy oldották meg, hogy azokat arany nanorészecskék felszínére adszorbeálták, majd ezeket a részecskéket injektálták a beteg egerek izmaiba. Az aranyrészecskéket még beburkolták egy olyan mesterséges polimermolekulával is, amely a sejtekben endocitózist indukál, azaz lehetővé teszi, hogy a sejtek felvegyék a részecskéket és ott kiszabaduljanak a sikeres mutagenézishez szükséges molekulák. Az eredmény: egyetlen ilyen aranyinjekció hatására két hét múlva megjelent az ép disztrofin-molekula (ennek hiánya okozza a betegséget) az izomsejtek 5,4%-ában, és az egerek mozgékonyága, izmainak teljesítőképessége jelentősen javult.

Körülbelül itt tartunk most a technológia humán alkalmazása területén. Ismét hangsúlyozni kell azonban a bevezetésben említetteket, vagyis azt, hogy állatokban, növényekben, gombákban és mikroorganizmusokban már igen sok, gyakorlatilag is hasznos és fontos tervezett módosítás történt, ezek közül több hamarosan megjelenik majd a mezőgazdaságban, az iparban, sőt a szupermarketek polcain is. Az alap kutatásban pedig már szinte forradalmi jelentőségű eredményeket köszönhetünk a módszernek.

VENETIANER PÁL

IRODALOM

- [1] Komor A. C. et al. (2016): Programmable editing of a target base in genomic DNA without double-stranded DNA cleavage. *Nature*, 533, 420-424.
- [2] National Academy of Sciences and National Academy of Medicine: Human Genome Editing: Science, Ethics and Governance. (Washington D.C. 2017)
- [3] Liang P. et al. (2015): CRISPR/cas9-mediated gene editing in human tripronuclear zygotes. *Protein & Cell* 6, 363-372.
- [4] Liang P. et al. (2017): Correction of β -thalassaemia mutant by base editor in human embryos. *Protein & Cell*, doi 10.1007/s13238-017-0475-6
- [5] Ma, H. et al. (2017): Correction of a pathogenic gene mutation in human embryos. *Nature* 548, 413-419.
- [6] Lee K. et al. (2017) Nanoparticle delivery of Cas9 ribonucleoprotein and donor DNA in vivo induces homology-directed DNA repair. *Nature Biomedical Engineering*, doi:10.1038/s41551-017-0137-2

TENZIÓS FEJFÁJÓS CSOPORT TOBORZÓJA FELHÍVÁS AGYKUTATÁSRA!

**Gyakran van nyomó/feszítő jellegű fejfájása?
Akkor a kutatásunknak**

PONT ÖNRE VAN SZÜKSÉGE!

Esetleg nem fejfájós, de érdeklődik a kutatás iránt? Akkor is jelentkezhet, kutatásunkhoz ilyen résztvevőket is keresünk!

Olyan jobb kezes, 20-50 év közötti hölgyeket és urakat keresünk, akiknek rendszeres fejfájásai vannak vagy nem fejfájósok, de érdekli őket az agykutatás és szívesen részt vennének benne. Arra vagyunk kíváncsiak, hogyan működik az agy nyugalomban és különböző feladatok végzése közben, melyet agyi Mágneses Rezonancia vizsgálattal (közismertebb nevén koponya MR-rel) fogunk vizsgálni.

Aki szívesen részt venne, kérjük, írjon az agykutas.sote@gmail.com e-mail címre, ahol további tájékoztatást kaphat a vizsgálatról.

Az üzenet tárgyának kérjük, adja meg a „Gyakori fejfájós/ önkéntes” vagy „Egészséges/önkéntes” jeligét!

Ismétlődő stresszt átélő kontrollcsoport toborzója FELHÍVÁS AGYKUTATÁSRA!

**Az elmúlt 1 évben több, stresszt okozó,
negatív életesemény történt Önnel?**

Akkor a kutatásunknak pont Önre van szüksége!

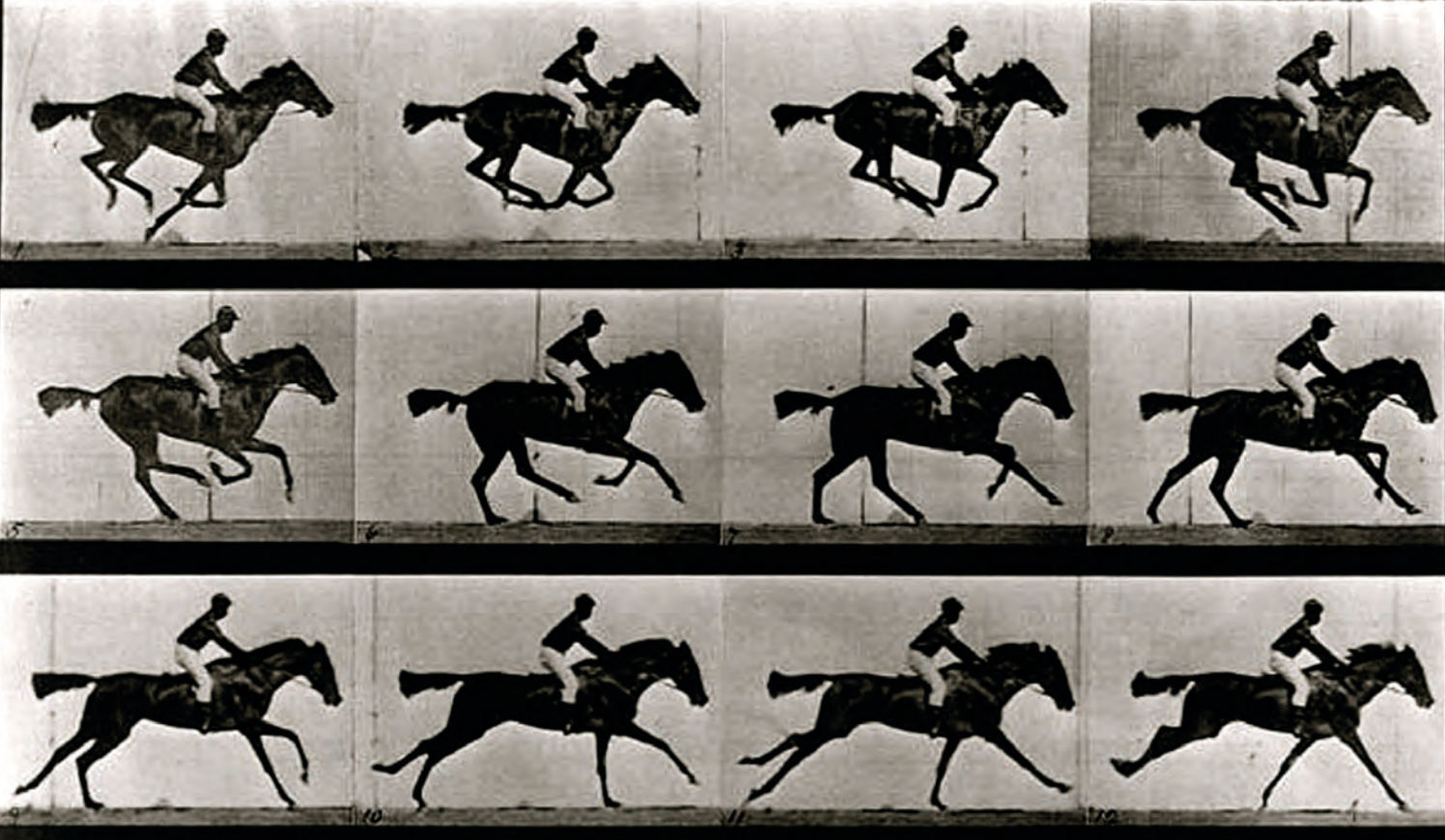
Olyan egészséges, jobb kezes, 20-50 év közötti hölgyeket és urakat keresünk, akik az elmúlt időszakban több, jelentős negatív eseményt éltek át, például a munkahelyükön vagy a családi életükben vagy pénzügyi szempontból.

Arra vagyunk kíváncsiak, hogyan működik az agy nyugalomban és különböző feladatok végzése közben, melyet agyi Mágneses Rezonancia vizsgálattal (közismertebb nevén koponya MR-rel) fogunk vizsgálni.

Aki szívesen részt venne, kérjük, írjon az agykutas.sote@gmail.com e-mail címre, ahol további tájékoztatást kaphat a vizsgálatról.

Az üzenet tárgyának kérjük, adja meg a „Jelentős stressz/önkéntes” jeligét!

(x)



FILMANIMÁCIÓK

A négy lábú járás biomechanikai elemzése

Cikkünkben Eadweard Muybridge (1830–1904) amerikai fotográfus munkásságának a filmes animációra gyakorolt hatását vizsgáljuk. Látványtechnikai szempontból híres filmekben és magyar rajzfilmekben biomechanikailag elemeztük a négy lábú állatokat utánzó, kézzel vagy számítógéppel rajzolt négy lábú animációk lépéssorrendjét. Kiderült, hogy a filmek grafikai fejlődésével együtt jelent meg az igény arra, hogy a négy lábú mozgásokat minél életszerűbben, így minél helyesebben ábrázolják. A régebbi filmekben, amikor még makettek és képkockánkénti felvételt használtak, gyakrabban fordultak elő nem valóságos lépéssorrendek, mint a számítógéppel készült későbbi filmjelenetekben. Érdekes módon, egy magyar rajzfilmben a számítógépes animációk elterjedése előtt helyesen ábrázolták a négy lábúak járását, majd a számítógéppel készített folytatásban már fordult elő hibás járásábrázolás.

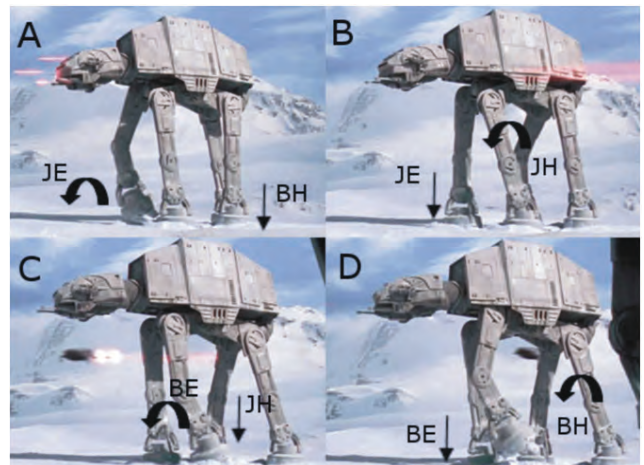
Számos természettudományos végzettségű szakembert (például orvost, kémikust, biológust, csillagászt, fizikust, geológust, meteorológust, mérnököt, matematikust) a munkássága részeként az is érdekli, hogy a képző- és filmművészetekben vagy a bölcsészeti alkotásokban (regényekben, versekben) mennyire helyesen vagy helytelenül jelennek meg a természettudományos ismeretek. Itt csak néhány példát említünk:

- Herman Ottó (1835–1914) polihisztor természetkutató tanulmányt írt arról, hogy Arany János, Tompa Mihály és Petőfi Sándor verseiben a különböző madárfajok énekét helyesen vagy helytelenül írják-e le [1].
- Krauss elméleti fizikus a *The Physics of Star Trek* című monográfiájában a *Star Trek* tudományos fantasztikus filmsorozat fizikai és csillagászati vonatkozását elemezte és kritizálta, hogy jelen tudásunk szerint mi igaz és mi lehetetlen a filmsorozatban szereplő fizikai, csillagászati jelenségek közül [2].
- Matematikusok gyakran írnak arról, hogy a hétköznapi életben mennyi matematikai tévhit, félreértés fordul elő, ami a józan paraszti ész és az egzakt matematikai ismeretek között feszülő paradoxonokra vezet [3].
- Lee és Fraser amerikai légekoptikusok a szívárvány optikájáról szóló könyvükben egy egész fejezetet szenteltek a festészetben és grafikában

előforduló hibás szivárvány-ábrázolásoknak [4].

- Kakalios a *The Physics of Superheroes* című könyvében jó néhány hollywoodi fantasztikus film szuperhősei fizikai képességeinek lehetőségét vagy lehetetlenségét vette górcső alá [5].
- Merriam és kollégái az észak-amerikai Kansas tájegységről készült tájképfestményeket elemezték földrajzi-geológiai szemszögből [6].
- Zerefos és kollégái kimutatták, hogy a festményeken ábrázolt lemenő/fölkelő Nap vörös színárnyalata nagy vulkánkitörések után tendenciózan mélyült, és számítógépes modellezéssel, valamint meteorológiai-optikai mérési adatok felhasználásával azt kapták, hogy a lemenő Nap vörös árnyalata a vulkánkitörések utáni légköri aeroszol-koncentráció növekedésével egyre mélyül [7, 8].
- A 2017. évi egyik fizikai Nobel-díjas, Kip Thorne a *The Science of Interstellar* című könyvében a csillagászat és a relativitáselmélet szemszögből vizsgálta az *Interstellar* című tudományos fantasztikus filmbeli jelenségeket [9].
- Orvosok tanulmányokat írtak arról, hogy a festetben és szépirodalomban a különféle betegségeket miként írják le, illetve azok külső testi megnyilvánulásait hogyan ábrázolják, s azok helyesek-e [10].
- Fikke és kollégái légköroptikai ismeretek alapján kimutatták, hogy Edward Munch *Sikoly* című festményének háttérében nem vulkáni naplemente van – mint korábban gondolták –, hanem poláris sztratoszférikus felhők [11].
- Kémikusok részletesen elemezték Vincent Willem van Gogh (1853–1890) festményei festékeinek összetételét, és kiderítették a levegővel való érintkezéskor lezajló lassú kémiai reakciókat, melyek felelősek több festék szemmel is jól látható színváltozásaiért [12].
- Trigonometriai számításokkal kimutatták, hogy a Homérosz *Iliász* című eposzában szereplő azon állítás, miszerint Poszeidón tengeristen Számosz hegyéről nézte végig a távoli Trója város görögök általi ostromát hibás, mivel ez lehetetlen a Föld felszínének görbülete miatt [13].

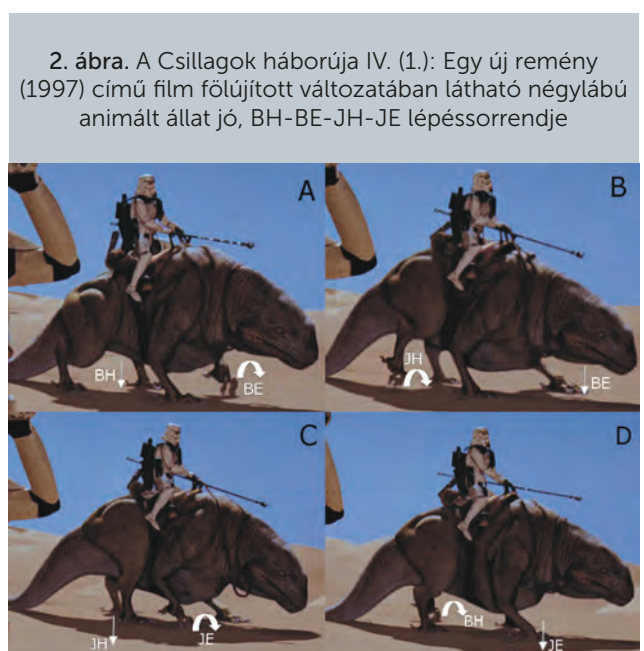
Azzal, hogy természettudósok rámutatnak a bölcsészek, film- és képzőművészek alkotásaiban előforduló olyan hibákra, amelyek ellentétben állnak a természettudományos ismeretekkel, fontos szerepet töltenek be, mert ezáltal is tisztul a kultúra. A tudósok felelősége és feladata az élet bármely területén felbukkanó



1. ábra. A Csillagok háborúja V. (2.): A Birodalom visszavág (1980) című filmbeli AT-AT birodalmi lépegető nevű négy lábú szerkezetek BH-JE-JH-BE rossz lépéssorrendje

tévedésekre felhívni a figyelmet és azokat lehetőség szerint kijavítani. Ily módon például a kutatók szerepköre az áltudományos téveszmék elleni harc is. Az utóbbiak persze sokkal nagyobb kárt okoznak a társadalomnak, mint például a film- és képzőművészeti alkotásokban elkövetett hibák, de mindkettő ellen érdemes és kell is harcolni.

Írásunkban arra vállalkozunk, hogy a látványtechnikai szempontból jelentős híres filmekben és magyar rajzfilmekben biomechanikai szemszögből elemezzük a négy lábú állatok utánozó robotok, kézzel rajzolt és számítógéppel animált négy lábúak lépéssorrendjét [14]. Vizsgálataink előzményeként biofizikusok ezernél is több képen (festményen, grafikán,



2. ábra. A Csillagok háborúja IV. (1.): Egy új remény (1997) című film fölújított változatában látható négy lábú animált állat jó, BH-BE-JH-JE lépéssorrendje



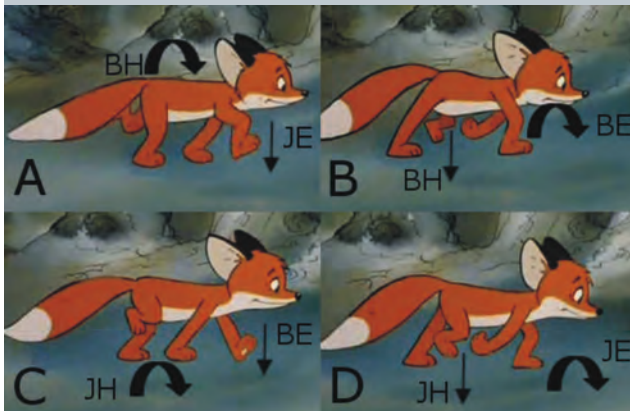
3. ábra. A *Jurassic park III.* (2001) című filmben látható Diplodocus BH-BE-JH-JE jó lépéssorrendje

szobron, bélyegen, domborművön, őskori barlangfestményeken) vizsgálták, hogy a négylábú állatok, főleg lovak járáskori lábtartásait a művészeti alkotásokban, állatanatómiai tankönyvekben és természettudományi múzeumokban mennyire valóságosan ábrázolják [15, 16, 17, 18]. Igen nagy hibarátát találtak, ami az idővel csökkent, de még manapság is nagyobb, mint az őskori barlangi ábrázolások (rajzok, festmények, vésetek) hibarátája, azaz meglepő módon az ősember sokkal valóságosabban ábrázolta a négylábúak járását, mint a modernkori művészek zöme.

Filmekbeli négylábú animációk

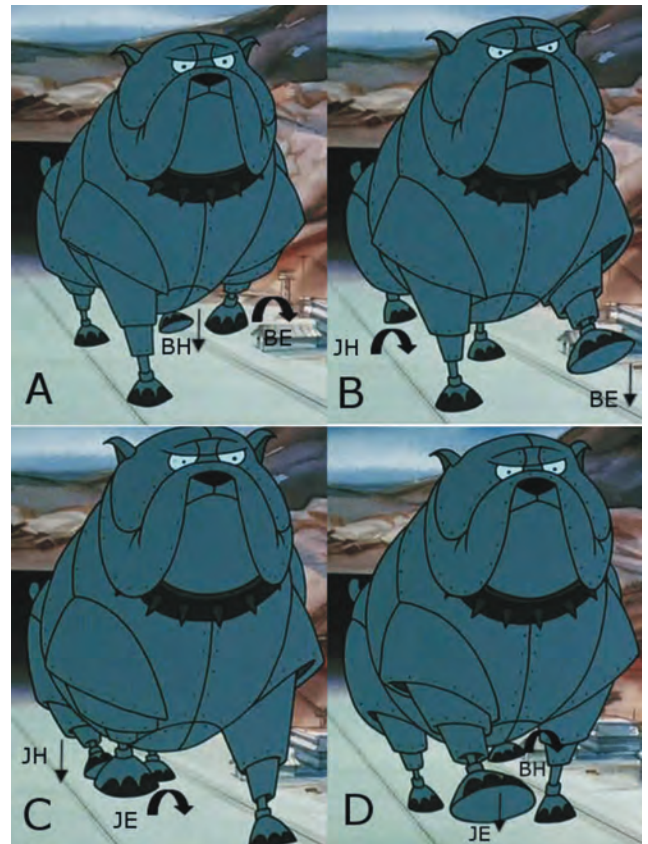
Eadward James Muybridge (1830–1904) angol/amerikai fotográfus úttörő munkássága óta tudható, hogy a négylábú állatok lassú és gyors járásának lépéssorrendje mindig a bal hátsó (BH) – bal első (BE) – jobb hátsó (JH) – jobb első (JE) mintát követi fajtól/fajtától függetlenül. E lépéssorrend biztosítja ugyanis a

4. ábra. A *Vuk* (1981) rajzfilmbeli Kag öreg róka helyes BH-BE-JH-JE lépéssorrendje



legnagyobb állásszilárdságot járás közben. Az **1. táblázatban** foglaltuk össze azon filmeket, amelyek négylábú animációinak járását elemeztük annak kiderítése érdekében, hogy a valódi négylábúak BH-BE-JH-JE lépéssorrendjét követik-e vagy nem.

Az **1. ábra** képei a *Csillagok háborúja V. (2.): A birodalom visszavág* (1980) című filmből származnak. A *Csillagok háborúja* sorozat korai, Steven Spielberg 1993-ban forgatott *Jurassic park I.* című filmje előtti alkotásaiban még nem volt szempont, hogy a négylábú járás animációjakor a valódi négylábú állatok lépéssorrendjét kövessék. Az erre való igény csak azután jelentkezett, mikor Spielberg szakértőként kérte föl Jack Horner paleontológust. Az AT-AT birodalmi lépegetők lépéssorrendje (**1. ábra**) helytelen, hiszen a helyes BH-BE-JH-JE helyett a BH-JE-JH-BE sorrendet használják.

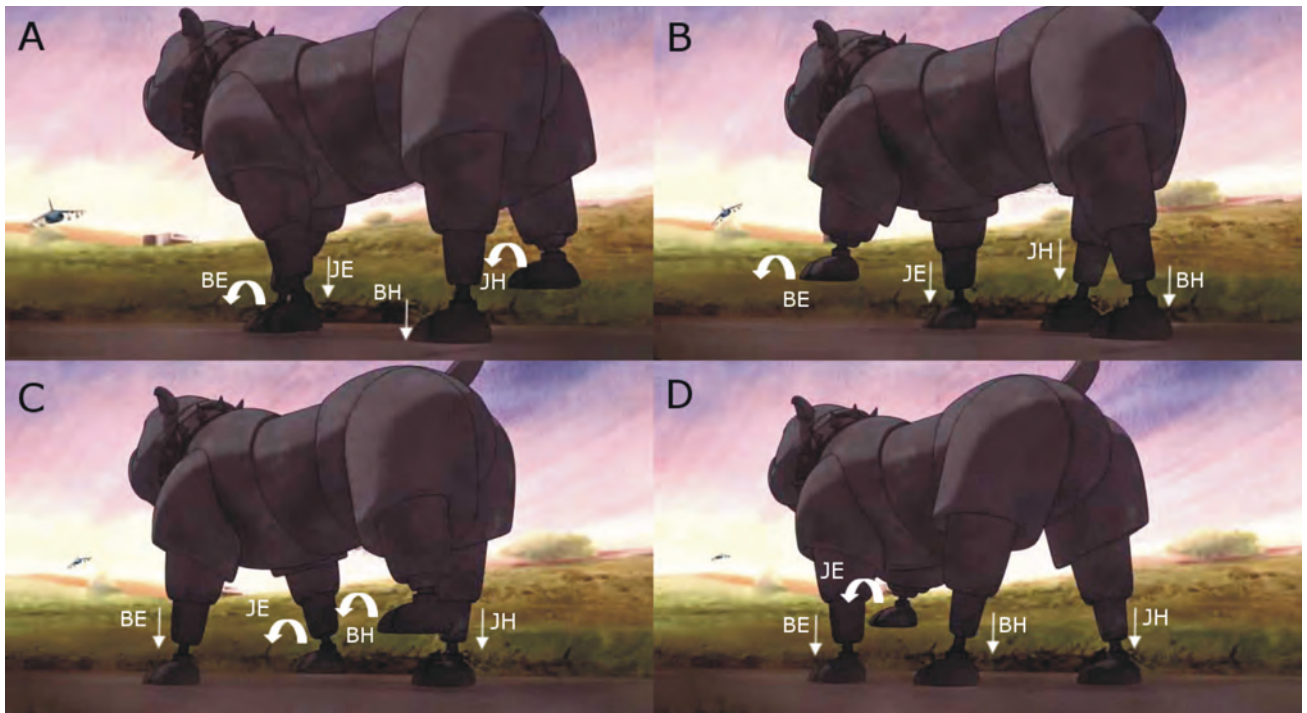


5. ábra. A *Macskafogó I.* (1986) rajzfilmbeli mechanikus kutya BH-BE-JH-JE jó lépéssorrendje

A *Csillagok háborúja IV. (1.): Egy új remény* (1997) című film fölújított változatában a **2. ábrán** látható négylábú állat lépéssorrendje a helyes BH-BE-JH-JE. A *Jurassic park III.* (2001) című filmben a négylábú dinoszauruszok jól járnak. Például a **3. ábrán** látható *Diplodocus* dinoszaurusz lépéssorrendje a helyes BH-BE-JH-JE.

A film címe	Év	Rendező	Négy lábú animáció	Lépéssorrend
Csillagok háborúja I. (4.): Baljós árnyak	1999	George Lucas	lépegető térkivetítő	jó (ügetés)
Csillagok háborúja II. (5.): A klónok támadása	2002	George Lucas	négy lábú harci gépezet	jó
Csillagok háborúja III. (6.): A Sith-ek bosszúja	2005	George Lucas	gyík	jó (ügetés)
Csillagok háborúja IV. (1.): Egy új remény	1977, 1997 (felújított)	George Lucas	négy lábú állat	jó
Csillagok háborúja V. (2.): A birodalom visszavág	1980	Irvin Kershner	AT-AT birodalmi lépegető	rossz
Csillagok háborúja VII: Az ébredő Erő	2015	Jeffrey Jacob Abrams	nagytestű, lassú állat	járásnak rossz, (ügetésnek jó)
Jurassic park I.	1993	Steven Spielberg	Brontosaurus	jó
Jurassic park II.: Az elveszett világ	1997	Steven Spielberg	Stegosaurus	jó
Jurassic park III.	2001	Joe Johnston	Diplodocus	jó
Jurassic World	2015	Colin Trevorrow	Ankylosaurus	jó
A gyűrűk ura II.: A két torony	2002	Peter Jackson	harci elefánt	jó (tevejárás)
A gyűrűk ura III.: A király visszatér	2003	Peter Jackson	harci elefánt	jó (tevejárás)
Vuk	1981	Dargay Attila	Kag és Vuk	jó
Kis Vuk	2008	Gát György	Kis Vuk	jó
Macskafogó I.	1986	Ternovszky Béla	mechanikus kutya	jó
Macskafogó II.: A sátán macskája	2007	Ternovszky Béla	mechanikus kutya	rossz

1. táblázat. Filmek, melyek négy lábú állatainak és/vagy gépezeteinek animált járását elemeztük. Filmsorozatok esetén római szám mutatja a sorszámot, míg a zárójelbeli arab szám a gyártási sorrendet jelöli, ha az eltér a sorszámától. A Csillagok háborúja VI. (3.): A jedi visszatér (1983, rendező: Richard Marquand) és A gyűrűk ura I.: A gyűrű szövetsége (2001, rendező: Peter Jackson) című filmekben nincsen négy lábú animáció, ezért nem szerepelnek itt



6. ábra. A Macskafogó II.: A sátán macskája (2007) rajzfilmbeli mechanikus kutya rossz BH-JE-JH-BE lépéssorrendje

Mi a helyzet a magyar rajzfilmekkel? A *Vuk* (1981) című rajzfilm Fekete István azonos című regénye alapján készült a Pannónia Filmstúdióban Dargay Attila rendezésében. A 4. ábrán látható Kag öreg róka lépéssorrendje helyesen követi a BH-BE-JH-JE lépéssorrendet, mögötte pedig a *Vuk* kis róka szintén jó jármóddal üget. A *Macskafogó I.* (1986) című magyar-német-kanadai rajzfilmet Ternovszky Béla rendezte. A film végén látható mechanikus kutya 5. ábra szerinti lépéssorrendje helyes (BH-BE-JH-JE). A *Macskafogó II.: A sátán macskája* (2007) magyar rajzfilmbeli, 6. ábrán látható mechanikus kutya is csak a film végén jelenik meg, de BH-JE-JH-BE rossz lépéssorrenddel.

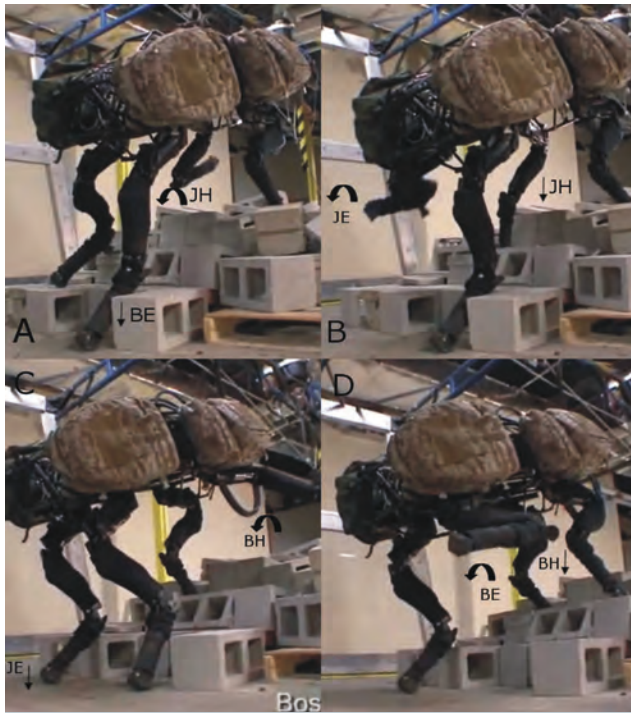
Az általunk elemzett legkorábbi animáció a *Csillagok háborúja V. (2.): A birodalom visszavág* című filmben megjelenő négy lábú birodalmi lépegető. E jelenetnél mozgatható maketteket használtak rossz lépéssorrenddel. Ekkor még nem tartották fontosnak a helyes járásábrázolást, hiszen az ilyen módszerrel készült jelenetekben a mozgás egyébként is darabos, kevésbé életszerű volt. Az első hollywoodi film, amelynél már figyeltek a helyes lépéssorrendre, Steven Spielberg *Jurassic parkja* (1993) volt. Spielberg Jack Horner paleontológus szakértői véleményét is figyelembe vette, aki föltehetően jól

ismerte Muybridge eredményeit. Az animációkért felelős cég az *Industrial Light and Magic* volt, amit George Lucas alapított a *Csillagok háborúja* filmsorozathoz.

Az 1. táblázatban feltüntetett többi négy lábú animáció lépéssorrendje helyes. Ezek az animációk a *Jurassic park* megjelenése után készültek. A *Csillagok háborúja IV. (1.): Egy új remény* (1977) című filmben megjelenő négy lábú állat lépéssorrendje helyes, de e jelenet csak az 1997-es fölújított és újra kiadott változatban jelent meg, tehát a *Jurassic park* után. Steven Spielberg filmjeiben a szakértő által felügyelt animációk meghozták az igényt a négy lábúak járásának filmkbeli helyes bemutatására.

2. táblázat. A Boston Dynamics négy lábú robotjai (http://www.bostondynamics.com/robot_bigdog.html), amelyek mozgását elemeztük

robot neve	gyártás éve	jármód
Big Dog	2008	lassú járás, ügetés
Little Dog	2009	
LS3	2012	lassú járás, ügetés
Spot	2015	
Cheetah	2013	gepárdszerű vágta
Wild Cat	2013	



7. ábra. A Big Dog lassú járásban, BH-BE-JH-JE lépéssorrenddel megy át a téglákból épített akadályon

Figyelemre méltó módon a jóval a Jurassic park előtt készült Vuk (1981) és Macskafogó I. (1986) magyar rajzfilmekben a kézzel rajzolt animációk lépéssorrendje helyes, valamint a 2008-as *Kis Vuk* című számítógépes rajzfilmben is, azonban a Macskafogó II: A sátán macskája (2007) rajzfilmben rossz. Ennek az lehet az oka,

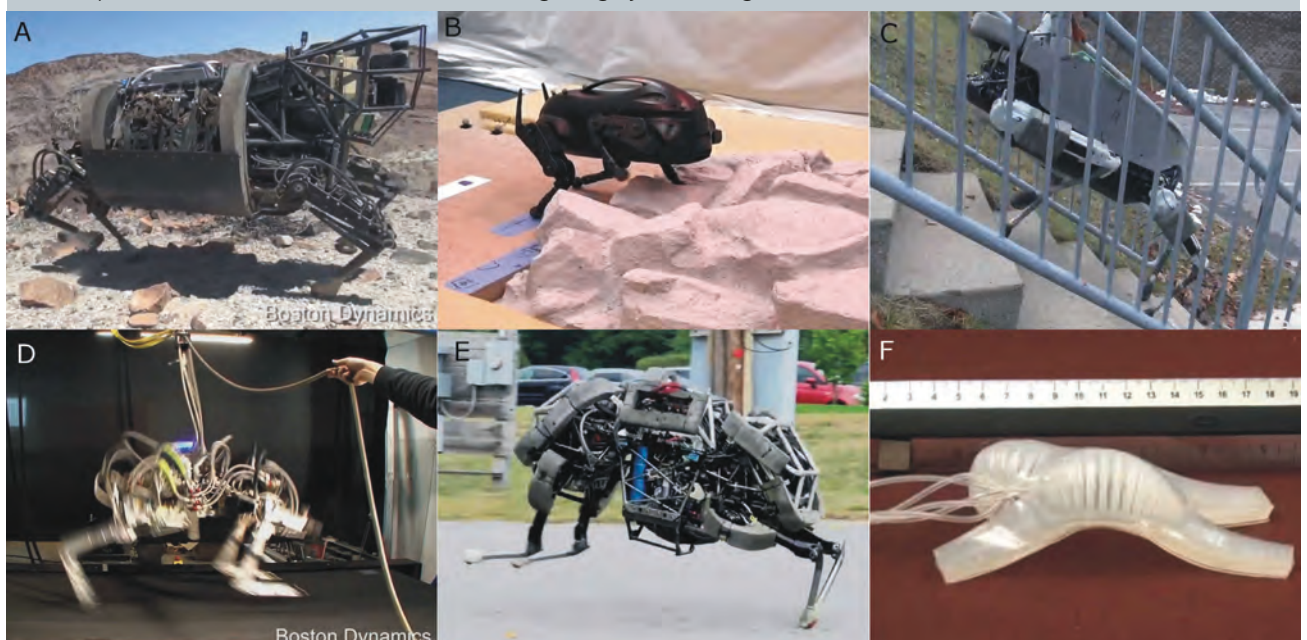
hogy Magyarországon nincsenek olyan animációkkal foglalkozó cégek, mint az *Industrial Light and Magic* Hollywoodban, ahol több filmhez is ugyanaz a csapat készíti az effektusokat, illetve már kialakult egy elfogadott számítógépes módszer az állati mozgások élethű illusztrációjára. Ternovszky Bélától tudjuk, hogy a Macskafogó I-ben az animátor az évtizedes tapasztalatai szerint kézzel rajzolva animált Muybridge eredményeinek ismeretében és a természet törvényei szerint.

A Macskafogó II-ben a számítógépes animátor egy olyan program szerint mozgatta a kutya lábait, amibe nem volt beépítve a négylábúak helyes lépéssorrendje, amit senki sem ellenőrzött.

Négylábú robotok

Az elmúlt évtizedben a *Boston Dynamics* (Boston, USA) számos négylábú robotot fejlesztett ki, amelyek közül itt csak hetet mutatunk be a **7–8. ábrán**, valamint a **2. táblázatban**. A **7. ábra** a *Big Dog* nevű robotot mutatja lassú járásban, mikor BH-BE-JH-JE lépéssorrenddel megy át egy téglákból épített akadályon. A mechanika törvényei állatokra és robotokra egyaránt érvényesek. A stabilitás a négylábú robotok esetén is nagyon fontos szempont, ezért a lehető legnagyobb állásbiztonságra törekednek a tervezőik. Nem véletlen, hogy a vizsgált robotok mindegyike lassú járáskor követi a négylábú állatok járására jellemző BH-BE-JH-JE legnagyobb állászilárdságot biztosító lépéssorrendet. Így képesek sokkal nehezebb terepen

8. ábra. A Boston Dynamics négylábú robotjai. (A) Az LS3 robot ügetése. (B) A Little Dog lassú járásban, BH-BE-JH-JE lépéssorrenddel megy át egy akadályon. (C) A Spot lassú járásban BH-BE-JH-JE lépéssorrenddel megy föl egy lépcsőn. (D) A Cheetah 46,7 km/h sebességű vágója. (E) A vágótázó Wild Cat. (F) A lassan mászó Soft robot



is gondtalanul járni és komoly terheket cipelni. Gyorsabb mozgáskor tudnak ügetni is, vagy akár gepárd módjára futni, vágtazni. Több robotot úgy terveztek, hogy mozgása utánozza valamelyik négylábú állatét. A 2013-ban megalkotott *Chettah* nevű robot (8D ábra) például a gepárd vágóját utánozva állított be sebességrekordot.

Következtetések

A híres filmekbeli négylábú animációk elemzéséből kiderült, hogy grafikai fejlődésükkel együtt jelent meg az igény arra, hogy a négylábú mozgásokat minél életszerűbben, így minél helyesebben ábrázolják. A régebbi filmekben, amikor még makettek és képkockánkénti felvételt (*stop motion*) használtak, gyakrabban fordultak elő helytelen, nem valóságghú lépéssorrendek, mint a számítógéppel generált látványhatásokkal teli későbbi filmekben. Némely magyar rajzfilmben, örömteli módon, még a számítógépes animációk elterjedt használata előtt is helyesen ábrázolták a négylábú járást, majd furcsa módon éppen a számítógépes animációval készített folytatásban fordult elő hibás járásábrázolás.

GELLAI BENCE – HORVÁTH GÁBOR

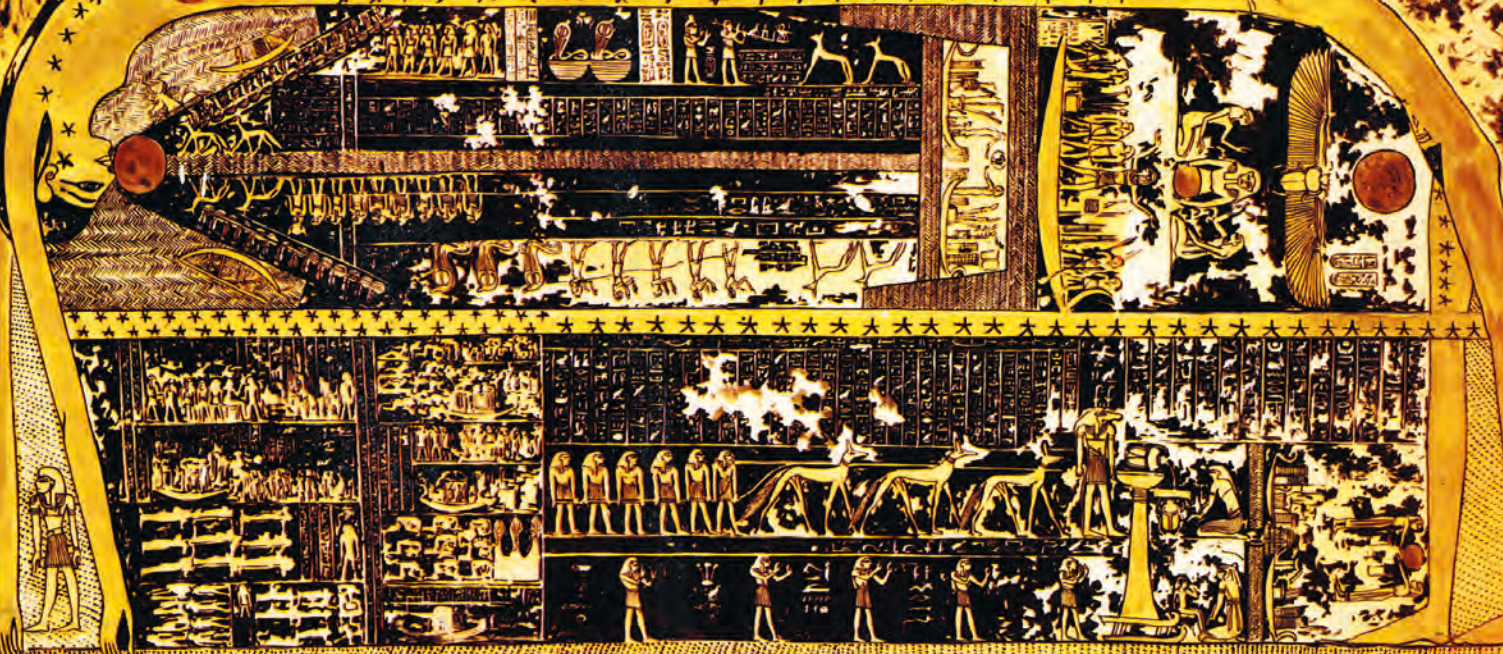
IRODALOM

[1] Schelken P. (1983) *Herman Ottó: Arany, Tompa, Petőfi és a népköltés mádárvilága*. Szépirodalmi Könyvkiadó, Budapest [2] Krauss L. M. (1995) *The Physics of Star Trek*. Harper Perennial, New York [3] Gardner M. (1999) *Aha! Gotcha – Paradoxes to Puzzle and Delight*. W. H. Freeman and Company, New York [4] Lee R. L., Fraser A. B. (2001) *The Rainbow Bridge: Rainbows in Art, Myth, and Science*. Penn State University Press, Washington, USA [5] Kakalios J. (2005) *The Physics of Superheroes*. Gotham Books, New York [6] Merriam D. E., Charlton J. R., Hambleton W. W. (2006) *Kansas geology as landscape art: interpretation of geology from artistic works*. Kansas Geological Survey, Open-File Report 2006-11, 19 p. [7] Zerefos C. S., Gerogiannis V. T., Balis D., Zerefos S. C., Kazantzidis A. (2007) Atmospheric effects of volcanic eruptions as seen by famous artists and depicted in their paintings. *Atmospheric Chemistry and Physics* 7: 4027-4042 [8] Zerefos C. S., Tetsis P., Kazantzidis A., Amiridis V., Zeregos S. C., Luterbacher J., Eleftheratos K., Gerasopoulos E., Kazadzis S., Papayannis A. (2014) Further evidence of important environmental information content in red-to-green ratios as depicted in paintings by great masters. *Atmospheric Chemistry and Physics* 14: 2987-3015 [9] Thorne K. (2014) *The Science of Interstellar*. W. W. Norton & Company, New York [10] Szalainé Tóth T. (2015) Fertőző betegségek művészi felfogásban. *Élet és Tudomány* 70: 686-687 [11] Fikke S., Kristjánsson J. E., Nordli O. (2017) Screaming clouds. *Geophysical Research Abstracts* 19. EGU2017-16489 [12] Lente G. (2017) Van Gogh hervadó festményei. *Természet Világa* 148: 342-345 [13] Herczeg J. (2017) Honnan nézte Poszeidón Trója ostromát? *Természet Világa* 148: 359-361 [14] Gellai B.

(2018) *Négylábú gépezetek és animációk járásának biomechanikai elemzése: Rygg mechanikus lovától a Wild Cat robotig*. B.Sc. Diplomamunka, ELTE Biológiai Fizika Tanszék, Budapest, 65 o. (témavezető: Horváth Gábor) [15] Horváth G., Csapó A., Nyeste A., Gerics B., Csorba G., Kriska G. (2009) Erroneous quadruped walking depictions in natural history museums. *Current Biology* 19 (2): R61-R62 [16] Horváth G., Csapó A., Nyeste A., Gerics B., Csorba G., Kriska Gy. (2009) Járásábrázolások - hibákkal. *Természet Világa* 140: 302-305 [17] Horváth G., Farkas E., Boncz I., Blahó M., Kriska G. (2012) Cavemen were better at depicting quadruped walking than modern artists: Erroneous walking illustrations in the fine arts from prehistory to today. *PLoS ONE* 7 (12): e49786 [18] Farkas E., Horváth G., Boncz I., Kriska Gy. (2012) Az ősember helyesebben ábrázolta a négylábúak járását, mint a modern művész: Hibás művészeti járásábrázolások az őskortól napjainkig. *Fizikai Szemle* 62: 12-20

E SZÁMUNK SZERZŐI

BABINSZKI EDIT, PhD, geológus, Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, Budapest; BAGDY GYÖRGY, gyógyszerész, az MTA doktora, egyetemi tanár, Semmelweis Egyetem Gyógyszerhatástani Intézet, NAP-2-SE Új Antidepresszív Gyógyszercélpont Kutatócsoport, Budapest; FIÁTH RICHÁRD, tudományos munkatárs, MTA Természettudományi Kutatóintézet, Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézet, Pázmány Péter Katolikus Egyetem, Információs Technológiai és Bionikai Kar, Budapest; GÁSPÁR ANITA, informatikus könyvtáros, Magyar földtani és Geofizikai Intézet, Budapest; GELLAI BENCE, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Biológiai Fizika Tanszék, Budapest; HORVÁTH GÁBOR, egyetemi docens, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Biológiai Fizika Tanszék, Budapest; LADÁNYI LÁSZLÓ, geográfus, Budapest; MÁRTON GERGELY, PhD, tudományos munkatárs, MTA Természettudományi Kutatóintézet, Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézet, Pázmány Péter Katolikus Egyetem, Információs Technológiai és Bionikai Kar, Budapest; NÁNÁSI TIBOR, MTA Természettudományi Kutatóintézet, Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézet, Budapest; SOMOGYI BOGLÁRKA, PhD, MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet, Tihany; PAPP PÉTER, geológus, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest; PETSCHNER ANNA, tudományos segédmunkatárs, Semmelweis Egyetem Gyógyszerhatástani Intézet, Budapest; PETSCHNER PÉTER, gyógyszerész, PhD, MTA-SE Neuropszichofarmakológiai- és Neurokémiai Kutatócsoport, Semmelweis Egyetem, Gyógyszerhatástani Intézet, Budapest; TÓTH MÓNIKA, MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet, Tihany; ULBERT ISTVÁN, PhD, DSc, tudományos tanácsadó, MTA Természettudományi Kutatóintézet, Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézet, Pázmány Péter Katolikus Egyetem, Információs Technológiai és Bionikai Kar, Budapest; VENETIANER PÁL, akadémikus, MTA Szegedi Biológiai Kutatóközpont, Biokémiai Intézet, Szeged; VÖRÖS ATTILA, geológus, MTM Őslénytani és Földtani Tár, Budapest; VÖRÖS LAJOS, MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet, Tihany.



A CSILLAGÁSZAT TÖRTÉNETE KÉPEKBEN

Rendhagyó szemléltetés

Nyarláskor vagy külföldi utazás során szokás volt üdvözlő képeslapokat küldeni rokonoknak, barátoknak. Napjainkban azonban a levelezőlap kezd kimenni a divatból – jó, ha a turisták által látogatott nevezetességek környékén még kaphatók. Ám képeslapot nemcsak híres épületekről és szép tájakról lehet kiadni, hanem bármi másról is, igaz, nem feltétlenül azért, hogy a hátlapját megcímezve üdvözlöt küldjenek rajta.

Kisiskolás korom óta szenvedélyesen gyűjtöm a levelezőlapokat. A képek nemcsak a földrajzi ismeretek gyarapításához járulnak hozzá, hanem az általános műveltség bővítéséhez is. Kedvenc témáim közé tartoznak a légi felvételeket, térképeket, közlekedési eszközöket, növényeket, állatokat, hangszereket, vízvezetéseket, barlangokat, színházakat stb. ábrázoló képes levelezőlapok. Szándékosan említettem külön a számomra legkedvesebb témát: szakmám miatt hozzám legközelebb a csillagászati és űrkutatási témájú képeslapok állnak. Ebben a cikkben rendhagyó módon úgy tekintjük át a csillagászat történetét az ókortól napjainkig, hogy szemléltetésül kizárólag a gyűjteményemben levő képeslapok szolgálnak, és azok közül is csupán olyanok, amelyek hátoldalán nem szerepel a reprodukcióra vonatkozó tiltás.

A csillagászat kezdetei

A csillagászat a legősibb tudomány. Évezredekkel ezelőtt nappal a Nap, éjjel a csillagok égi mozgásának megfigyelése alapján mérték az időt, és az utazók, hajósok is ennek alapján tájékozódtak. Az égbolt és a csillagok fontosságát jelzi VI. Ramszesz fáraó (uralk. Kr. e. 1145-1137) Királyok Völgyében feltárt sírkamrájának mennyezetén

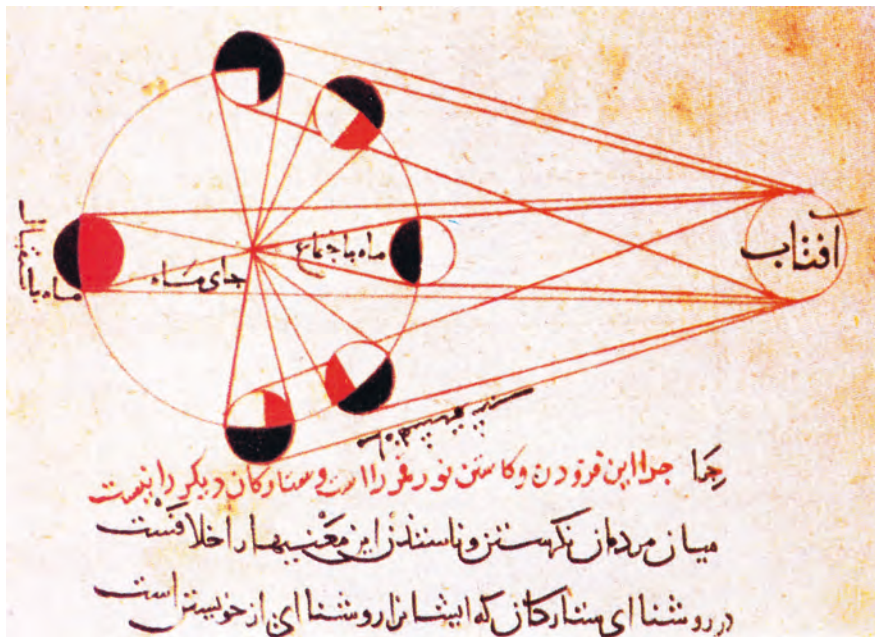
látható festmény is (**nyitókép**). Az Kr. e. XII. században készített képet Nut, az égbolt istennője övezi. Testét csillagok borítják, keze és lába a földet éri, mintha a szabad ég alatt a horizonttól elemelkedő, magasra ívelő, majd az ellenkező oldalon alábukó Tejutat látnánk.

Az égbolthoz fűződő hiedelemvilág mellett a csillagászati megfigyeléseket gyakorlati célra is használták az ókorban. A mai Mexikó és Guetamala területén élt maja civilizáció tudósai az Kr. u. IV–X. században már naptárkészítéssel is foglalkoztak. Az **1. ábrán** látható naptárrészleten jól azonosíthatóak a maják által használt számok: az 1-nek egy pont felel meg, egymás melletti két pont jelöli a 2-es számot, három pont a 3-at, négy pont a 4-et, míg az 5-nek vízszintes vonalka felel meg. A 6 jele egy pont a vonalka fölött, a 7 két pont a vonalka fölött stb. A 10-es számot egymás fölötti két párhuzamos vonalkával ábrázolták. Egy-egy vonalka tehát mindig 5-nek felel meg.

Szabad szemmel végzett megfigyeléseik alapján az ókori görög és arab tudósok meglepően magas szintre emelték a csillagászat tudományát. Felismerték, hogy az egymáshoz képest mozdulatlan állócsillagok között néhány fénypont – bolygócsillag, mai nevén bolygó – folyamatosan mozog. Követték a Nap és a



1. ábra. Maja naptár egy oldala. A mitológiai és csillagászati tartalmú kézirat eredetijét a drezdai Sächsische Landesbibliothek őrzi



2. ábra. A Hold fázisainak létrejöttét magyarázó ábra Al Biruni At-Tafhím című művében. A képeslapot a Mozgó Világ folyóirat adta ki

bolygók pályáját az égen, és kimutatták a precesszió jelenségét is. Ez utóbbit a Föld forgástengelyének folyamatos irányváltozása okozza, még bonyolultabbá téve az égbolton tapasztalható mozgásokat.

Az ókori természetvizsgálók egyik legkiemelkedőbb alakja a perzsa Al-Biruni (973–1048) volt, akinek csillagászati kézikönyve és táblázata az európai tudomány fejlődésére is nagy hatással volt (2. ábra).

A műszerezettség tökéletesítése

A csillagászati megfigyelés évszázadokon át pozíciómérésből állt: a csillagok és bolygók helyzetét határozták meg a hozzájuk közel látszó más égitestekhez viszonyítva. Ehhez eleinte kezdetleges műszereket használtak: előbb irányvonalzót, majd egyre pontosabb eszközök – kvadráns, oktáns – is bekerültek a

3. ábra. Asztrolábium a XVI. századból (a Damaszkuszi Múzeum gyűjteményéből)



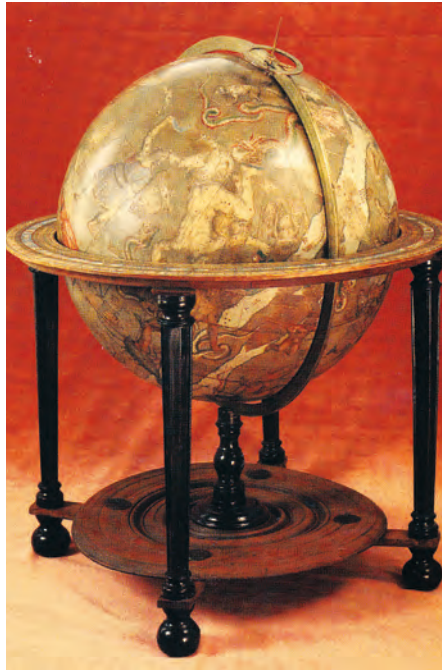
4. ábra. Különleges jelenség észlelése 1583-ban. A prágai Strahovská Knihovában őrzött fametszetről a Mozgó Világ adott ki



5. ábra. Paul Reinmann nürnbergi műszerkészítő mester elefántcsontból készített napórája 1602-ből. A mestermű a milánói Museo Poldi-Pezzoli gyűjteményét gazdagítja. Ezt a képeslapot is a Mozgó Világ adta ki



6. ábra. Jean-Dominique (eredetileg Giovanni Domenico) Cassini portréja Léopold Durangel – egy XVII. századi metszet alapján – 1875-ben készített festményén. A képeplapot a NASA adta ki a Szaturnusz és holdrendszerét vizsgáló Cassini-űrszonda indításakor egy képeplapsorozat részeként. Az űrszondát azért Cassiniról nevezték el, mert ő fedezte fel a Szaturnusz négy nagy holdját, és ő írta le először a Szaturnusz gyűrűjében látható legfeltűnőbb rést



7. ábra. Blaeu-féle éggömb 1630 tájáról az Országos Széchényi Könyvtár által kiadott képeplapon. A műkincsnek is beillő csillagászati eszköz az OSZK Reguly Antal Műemlékkönyvtárában van kiállítva Zircen

A csillagászat történetében új korszak kezdődött a távcső feltalálásával. Az éjszakai égbolt távcsöves megfigyeléseit elsőként Galileo Galilei jegyezte le és hozta nyilvánosságra 1609–1610-ben. Az ő távcsöve is becses múzeumi tárgy, amiről több képeplapot is kiadtak, de azok utánközlése engedélyköteles. Így a XVII. századi kezdetleges csillagászati távcsövek közül itt egy másikat mutatunk. A **6. ábrán** Jean-Dominique Cassini (1625–1712) portréja látható, kezében távcsövél, mellette egy éggömb, a háttérben pedig a Párizsi Observatórium, amely Cassini irányítása alatt vált korának vezető csillagvizsgálójává. Az épület tetején egy jóval nagyobb teleszkóp körvonalai is kivehetők.

A Cassini melletti éggömb alig látszik, ezért egy másikat is mutatunk, ezt a pazar példányt Willem Janszoon Blaeu holland térképész készítette az 1630-as években (**7. ábra**). Az éggömböknél a csillagok helyének pontossága mellett a csillagképek művészi igényű ábrázolása is lényeges szempont.

szögmérés eszköztárába. Az asztrólabium nevű műszerrel (**3. ábra**) pedig bizonyos csillagászati számításokat lehetett gyorsan elvégezni a Nap, a Hold és a bolygó égbolton látszó helyzetére vonatkozóan.

A távcső feltallását, illetve Johannes Kepler és Isaac Newton elméleti munkásságát megelőzően szinte semmit nem tudtak az égbolton látható mozgások és jelenségek okairól. Az **4. ábrán** bemutatott metszet egy 1583-ban észlelt különleges égi jelenséget örökít meg. A korabeli észlelők valójában halót figyeltek meg a Nap körül, sőt nem is egyet, hanem egész halórendszert. Bár a haló is az égen látszik, igazából nem csillagászati, hanem légköroptikai jelenség: a melléknapokat és a fényes gyűrűket, íveket a magaslégkörben képződő jégzemcsék optikai viselkedése okozza.

Az égi mozgások leírásához nemcsak pontos szögmérésre volt szükség, hanem az időt is egészen precízen kellett tudni. Az időmérés pontosítását valójában nem a hétköznapi igények tették szükségessé, hanem a tudományos célú csillagászati pozíciómérések. A mechanikus óra feltalálását megelőzően nappal napórával mérték az időt, éjszaka pedig a csillagos ég elfordulásával. A hordozható napórák egy szép példánya látható az **5. ábrán**.

A XVII–XVIII. században a csillagászat tudományát leginkább Európában művelték. Az egyre jobb minőségű optikai lencsékkel, majd tükrökkel felszerelt távcsövek fontos felfedezésekhez vezettek. Az újabb bolygók, azok holdjai, a Tejút mentén vagy attól távolabb levő csillaghalmazok és az akkor még ismeretlen természetű ködösségek megtalálásában elsősorban francia, angol és német csillagászok jeleskedtek. Európán kívül a csillagászat csak a XIX. században indult fejlődésnek. Anakronizmusnak tűnhet, de a megkésett fejlődést jól szemlélteti, hogy az indiai Új-Delhiben található, ókorinak látszó obszervatóriumot 1724-ben építették (**8. ábra**). Teleszkópok helyett itt szögmérésre szolgáló monumentális eszközök és napórák találhatók.

Ugyancsak lassan kopott ki a csillagászat eszköztárából a több mint másfél évezreden át használt armilláris szféra (**9. ábra**). Az elsőként Eratoszthenész által Kr. e. 255-ben készített armilláris gömbön és annak újabb változatainak a körgyűrűk az égbolt legfőbb köreinek (ekliptika, egyenlítő, horizont, meridiánok) felelnek meg, a szögmérést pedig a gyűrűkön levő skálabeosztás segíti elő.



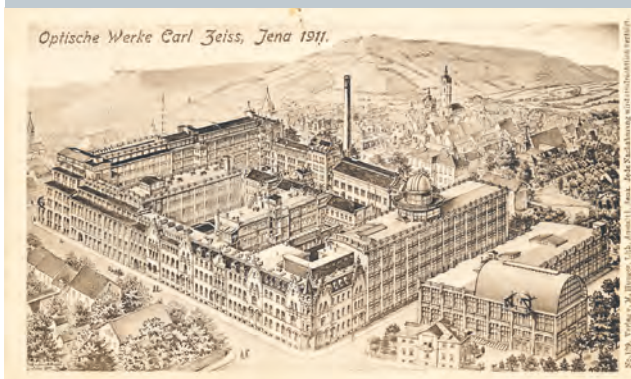
8. ábra. A Jantar-Mantar Obszervatórium Új-Delhiben. A hatalmas építményekkel végezhető csillagászati mérések pontosságára jellemző, hogy a napórával az időt 2 másodperces hibával lehet megállapítani

9. ábra. 1730-ban készített armilláris szféra az Országos Műszaki Múzeum gyűjteményéből



10. ábra. Üstökösök keresésére szolgáló távcső a XIX. század közepéről az Országos Műszaki Múzeum gyűjteményében

11. ábra. A világhírű jénai Zeiss-művek egy 1911-ben kiadott képes levelezőlapon



A távcsövek egyeduralkodóvá válnak

Az égbolt első távcsöves megfigyelései óta négy évszázad telt el. Emlékeztet, hogy az ENSZ 2009-et a csillagászat nemzetközi évének nyilvánította Galilei 1609-ben végzett első észleléseire emlékezve. Galilei kezdetleges távcsövet hamar követték a nagyobb átmérőjű, jobb minőségű optikai elemeket tartalmazó teleszkópok. Először csak lencsés távcsövek (refraktorok), majd a XVIII. századtól tükrös távcsöveket (reflektorokat) is készítettek. Ez utóbbiaknak több előnyük is van a refraktorokhoz képest: nagyobb átmérőjű lehet a teleszkóp (azaz több fényt lehet összegyűjteni, így halványabb égitestek is vizsgálhatók), és rövidebb lehet maga a távcső, mint a refraktorok esetében, megfelelő optikai elrendezést alkalmazva. (Vessünk még egy futó pillantást a **6. ábrán** a festmény háttérében látható igen hosszú refraktorra!)

A XIX. században már jeles optikai műhelyekben készítették a távcsöveket (nemcsak csillagászati célokra). A **10. ábrán** bemutatott példány 1847 körül készült el, és üstökösök keresésére alkalmazták. A csillagászati távcsöveknél nemcsak az optikai elemek minőségére és csiszolásának tökéletességére kell ügyelni, a távcsőmechanika minősége és pontossága legalább ennyire lényeges.

Több mint egy évszázada az egyik leghíresebb távcsőkészítő cég a német Zeiss-művek. A **11. ábra** a Karl Zeiss Jena gyárépületét mutatja egy 1911-ben kiadott képes levelezőlapon. Szinte hihetetlen, hogy már akkor milyen hatalmas üzemben folyt a termelés. A kép jobb oldalán az épület tetején látható az a kupola, amelyben az újonnan elkészült csillagászati távcsöveket összeszerelés után kipróbálták. A Piszkestetői Obszervatórium első három teleszkópját is a jénai Zeiss készítette, de azok már a teleszkópok újabb (1960–1970-es évekbeli) generációját képviselik.

A XX. század kezdetére véget ért Európa egyeduralkodó szerepe a csillagászatban. Észak-Amerikában sorra alapítottak obszervatóriumokat az éjjeli ég megfigyelésére, és azokat egyre nagyobb átmérőjű távcsövekkel szerelték fel. Egy évszázada a Wilson-hegyi 2,5 méter átmérőjű Hooker-távcső volt a világrekorder, de az 1940-es évek második felében a Palomar-hegyi 5 méteres Hale-teleszkóp lett a legnagyobb optikai távcső. Amerikában kezdeményezték azt is, hogy az Egyenlítőtől délre telepítsenek csillagászati távcsöveket, hogy olyan égitesteket is észlelni lehessen, amelyek az északi féltekéről nem látszanak, köztük a két Magellán-felhőt (a Tejútrendszer legnagyobb kísérőgalaxisát), illetve magát a Tejútrendszer központi vidékét.

Hogy hogyan nézett ki a XX. század közepén egy tipikus csillagvizsgáló, azt a **12. ábra** mutatja. A Kaliforniai Egyetemhez tartozó Lick Obszervatórium a kaliforniai

Hamilton-hegyen található, és a felvétel készítésekor, az 1960-as évek elején a legnagyobb műszer egy 3 méter tükörátmérőjű távcső volt (a kép előterében látható kupolában).

Az egyre nagyobb méretű távcsőtükrök készítése természetesen egyre nehezebb feladat műszaki szempontból. A hagyományos megoldás során a tükröt egyetlen tömbből öntik, majd megfelelő alakúra csiszolják, mint a kanadai David Dunlap Obszervatórium **13. ábrán** látható 1,9 méteres távcső főtükre esetében. A legutóbbi évtizedekben készített óriástávcsövek esetében azonban már felhagytak ezzel a megoldással, helyette több (olykor egészen sok) szegmensből állítják össze a főtükröt, és számítógéppel illesztik össze az egyes tükörszegmensek alkotta képet.

Túl (és innen) a látható fényen

A látható fény valójában az elektromágneses sugárzás keskeny (nagyjából 400 és 600 nm közötti hullámhosszak) tartománya, amelyre az emberi szem is érzékeny. A kozmoszból azonban minden más hullámhosszon is érkezik sugárzás, ám a földi légkör az elektromágneses színek bizonyos részeit elnyeli. A látható fényen kívül a földfelszínről csak a kozmoszból érkező rádióhullámok egy része és az infravörös sugárzás néhány keskeny tartománya vizsgálható (ez utóbbi csupán nagyon száraz klímájú, magas hegyekről).

Az elektromágneses színek csillagászati kiaknázásában – az évezredek óta létező optikai csillagászat mellett – a rádiócsillagászat kialakulása jelentette a következő lépést. A rádiócsillagászat a II. világháború után indult gyors fejlődésnek. 1963-ban készült el a **14. ábrán** látható arecibói rádióteleszkóp, amely 305 méteres átmérőjével fél évszázadon át a világ legnagyobb rádióantennája volt (2016-tól már egy 500 m átmérőjű kínai rádióteleszkóp tartja a rekordot).

A kozmoszból érkező elektromágneses hullámok többsége viszont elnyelődik a Földet burkoló atmoszférában. Az optikainál rövidebb hullámhosszú ibolyántúli, röntgen- és gammasugárzás és a látható fénynél hosszabb hullámhosszú infravörös és mikrohullámú elektromágneses sugárzás zavartalan vizsgálatához az érzékelőket a légkör fölé kell vinni. Az űrcsillagászat így csak bő fél évszázaddal ezelőtt jöhetett létre, amikor az emberiség képessé vált mesterséges holdak és űrszondák felbocsátására.

Az Univerzum legalacsonyabb hőmérsékletű régiói és égitestjei főként az infravörös tartományban sugároznak. A **15. ábrán** a NASA amerikai űrügynökség által felbocsátott Spitzer-űrszervatórium egy szép felvétele látható a Cepheus csillagképben levő Elefántormány-ködről.



12. ábra. A kaliforniai Lick Obszervatórium az 1960-as évek elején



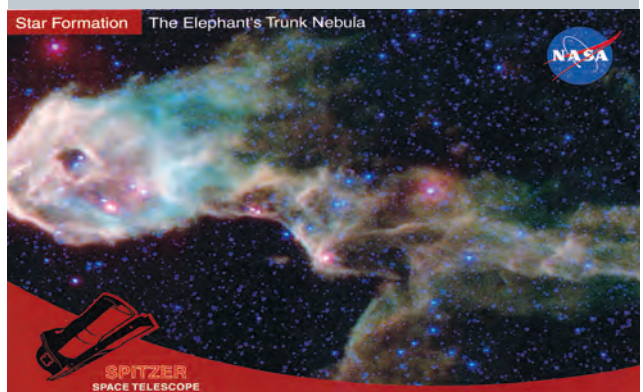
13. ábra. A Toronto melletti David Dunlap Obszervatórium 1939-ben elkészült 1,9 méter tükörátmérőjű teleszkópja



14. ábra. Az Univerzumból érkező rádiósugárzást észleli a világ leghíresebb rádióteleszkópja. A 305 méter átmérőjű műszert egy természetes völgykatlanban alakították ki Arecibóban (Puerto Rico)

15. ábra. Infravörös tartománybeli felvétel az Elefántormány-ködről. A képeslap a Spitzer-űrszonda eredményeit népszerűsíti.

(Forrás: NASA/JPL-Caltech/W. Reach [SSC/Caltech])





16. ábra. A Cassiopeia A szupernóva-maradványa a NASA Chandra-röntgenobszervatóriumát népszerűsítő képeslapsorozat egyik tagján. A nagy képen levő felvétel 2002-ben készült (Forrás: NASA/CXC/GSFC/U. Hwang és munkatársai). A bal oldalon levő kisebb képek ugyanezt a ködösséget mutatják 1999 és 2004 között készített röntgenfelvételeken

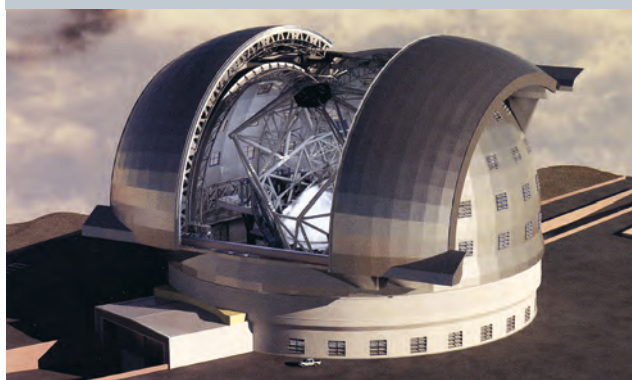


17. ábra. Az ESA Hipparcos nevű asztrometriai űrszondája 1988-ban a földi laboratóriumi tesztek során. (Forrás: ESA 1997)

18. ábra. Extragalaxisok százai-ezrei a Hubble-űrtávcső 2004-es ultramélyvizsgálati felvételén. (Forrás: NASA/ESA/STScI/S. Beckwith és a HUDF-csoport)



19. ábra. A 40 méter átmérőjű E-ELT távcső és kupolája – egyelőre csak fantáziaképen, de valódi képeslapon. (Forrás: ESO)



Ez egy tőlünk mintegy 2500 fényév távolságban található csillagkeletkezési tartomány, ahol jelenleg is folyik a csillagok képződése.

A másik véglet, a legforróbb égitestek és kozmikus térségek a többi nagy energiájú jelenséggel együtt a röntgen- és gamma sugárzás tartományában vizsgálhatók. Jelenleg is számos űrszonda gyűjti az adatokat és végez kutatásokat ilyen hullámhosszakon. A NASA Chandra nevű űrobszervatóriuma például 1999 óta működik. A 16. ábrán az egyik látványos eredményéről készített képes levelezőlapot mutatjuk be. A nagy képen a Cassiopeia A néven ismert szupernóva-maradvány különböző röntgenhullámhosszakon végzett megfigyelései alapján készített hamisszínes kép látható. A központi csillag kb. 350 éve robbant fel szupernóvaként.

A világűrben működő csillagászati távcsöveket azonban nemcsak a Földről elérhetetlen hullámhossztartományok vizsgálatára vetik be, „Közönséges” optikai csillagászatot is művelnek a nem hagyományos feltételek közepette. Mivel az űrtávcsövek a földi légkörön kívül dolgoznak, az égitestek pozícióját nagyságrendekkel pontosabban meg lehet határozni, mint a nyugtalan légkörön áthatoló fénysugarak földfelszíni méréseiből. Az Európai Űrügynökség (ESA) már két űrszondát is felbocsátott szuperpontos asztrometriai mérések végzésére. A Hipparcos szonda 1989 és 1993 között végezte a pozícióméréseket, az újabb szonda, a Gaia 2014 óta működik. A 17. ábra a Hipparcos űrszondát mutatja az indítást megelőző földi tesztek során.

Ha űrtávcsőről esik szó, majdnem mindenkinek a Hubble-űrteleszkóp neve ugrik be elsőként. Ez az 1990 óta működő csillagászati távcső viszonylag széles hullámhossztartományt vizsgál az ibolyántúlitól az infravörösig – benne a látható tartománnyal. A Hubble mérései alapján készített képeslapok vitathatatlanul a legszebbek közé tartoznak. A 2004-es ultramélyvizsgálati mező 18. ábrán bemutatott képén valamennyi fényforrás egyegy távoli – akár tízmilliárd fényévre levő – galaxis.

Túl a múlton és a jelenen

A történetnek a jelennél véget kellene érnie, de a hagyományt felrúgva egy képeslap erejéig a jövőre is térjünk ki! Már készül egy minden eddigit felülmúló optikai távcső, az ELT (Extremely Large Telescope, rendkívül nagy távcső). A 39 méter átmérőjű főtükört tartalmazó teleszkóp (19. ábra) a tervek szerint a következő évtized közepétől működik majd Chilében, az Európai Déli Obszervatórium egyik 3000 méter magasságban levő megfigyelőállomásán. A főtükört majdnem 800 kisebb tükörszegmensből állítják majd össze.

SZABADOS LÁSZLÓ



BIONIKAI KUTATÁSOK A NEMZETI AGYKUTATÁSI PROGRAM KERETÉBEN

Alaputatástól a kiborgizációig

1. RÉSZ A bionikus szemlélet tágabb értelemben véve már a kezdetektől áthatja a műszaki tudományokat: szinte nem találunk olyan mérnöki területet, mely nem merített volna a természet által tökéletesített élő megoldásokból. Ezzel párhuzamosan az igény, hogy az innovatív elme alkotásainak segítségével kijátsszuk testünk fizikai korlátait, csaknem ugyanennyire régi – elég, ha csak Daidalosz és Ikarosz mitológiai történetére gondolunk, mely később hasonló próbálkozások hosszú sorát inspirálva tartotta ébren az emberiség repülésről szőtt vágyait.

A modern bionika a korai, romantikus, közvetlen analógiákon alapuló törekvésekhez képest jóval átgondoltabb, erősebben absztraháló tudománnyá vált. Hazánkban a Nemzeti Agykutatási Program keretében nyíltak források a bionikai kutatások finanszírozására, különös tekintettel az agyi folyamatok vizsgálatára és befolyásolására. A bionika szűkebb értelemben vett fókuszát képezik mindazon törekvések, melyek bizonyos elvesztett testi funkciók (érezkiszervi vagy mozgásszervi fogyatékoságok) mérnöki kompenzációjára, az eredetihez hasonló működés helyreállítására irányulnak, valamint az ezt célzó technológiák fejlesztése közben megismert

összefüggések általános érvényű alkalmazhatóságával foglalkoznak. Ambroise Paré protézisterveitől a központi idegrendszerrel közvetlen összeköttetésben álló kibernetikus eszközök megjelenéséig majdnem négyszáz évnek kellett eltelnie, melyet további két évtizeddel később követtek az első matematikai modellek.

A terület fejlődése e ponton vált exponenciálisá, hazánkban is elérve a kritikus tömeget, melyet a Pázmány Péter Katolikus Egyetem Információs Technológiai és Bionikai Kar, valamint az MTA Természet-tudományi Kutatóközpont és az Országos Klinikai Idegtudományi Intézet bionikai kutatócsoportjai alkotnak.

Alapkutatás, terápiás alkalmazások és lehetőségek

A legtöbb agy-gép interfész rendszer (brain computer interface) hordozható elektroencefalográf (EEG) által rögzített agyhullámok feldolgozásával következett a páciens aktuális mentális állapotára és tesz különbséget bizonyos előre begyakorolt mentális parancsok például „jobbra”, „balra”) között. Bénult (tetraplég), adott esetben önálló beszédre képtelen betegek tehetőek képessé ilyen módon alapvető kommunikációra, különböző orvosi eszközök (motorizált kerekesszékek, mozgást segítő külső vázak, egyszemkeletonok) önálló működtetésére.



Az eredetileg tisztán gyógyászati és rehabilitációs célra fejlesztett eljárások transzlációs potenciálja jelentős. Nagyon hasonló, EEG alapú technológia kezd teret nyerni a szórakoztató elektronikában („gondolatvezérelt” játékok, „neurogaming”) valamint az autonóm járművek és a közlekedésbiztonság területein.

A biológia és technológia integrációjának magasabb, sokszor permanens szintjét képezik az idegi jelekkel vezérelt bionikus protézisek és a központi idegrendszerrel közvetlenül kapcsolódó neuroprotézisek. Előbbi esetben különböző (perifériás ideg- és/vagy izomműködést monitorozó) szenzorok sebészi beültetése történhet meg jellemzően az amputált végtag csonkjába, akár az érzőidegeket stimuláló visszacsatolással kiegészítve. Az így tapintásra képessé tett, robotizált művégtag jóval természetesebben és sokoldalúbban használható a hagyományos gyógyászati segédeszközöknél. A látókéregbe ültetett ingerlő elektródák révén megvalósítható bizonyos fokú látás élmény. A belsőfül

elektromos ingerlése a cochleáris implantátumokkal terjedt el, illetve kutatják a középagyi implantáció lehetőségét. Motoros mozgató kimenetek képzésére közvetlenül az agykéregből szintén régóta folynak kísérletek, újabban a végtagmozgatás szintjén is. Különleges eszközök segítségével lehetségesnek tűnik akár elképzelt szavak, gondolatok kiolvasása is.

A felmerülő nehézségek új innovációkat tesznek szükségessé mind az alapkutatás, mind a mérnöki megvalósítás területén, mely az anyagtudomány, a mikroelektronika, a sebészet és a genetika eredményeinek szintézisét követeli meg. A hagyományos idegélet-tani mérőeszközök és stimuláló elektródok fizikai szerkezetük és anyaghasználatuk miatt az élő rendszerben hosszú időre elhelyezve hegeképződési folyamatokat indukálhatnak, melyek hatékonyságuk csökkenéséhez vezethetnek. A fokozottan szövetbarát, újabb megoldások egyrészt anyaghasználatukban, hajlékonyságukban, másrészt szöveteket kevésbé sértő elhelyezésükkel jelenthetnek előrelépést bizonyos szituációkban. Hasonló eszközök optogenetikával (molekuláris biológiai eljárás, melynek segítségével genetikailag módosított idegsejtek működése fényhatással befolyásolható) kombinálva jelenleg intenzív kutatások tárgyát képezik. Fontos látnunk, hogy az agy-gép interfész rendszer definíciószerűen csak akkor képes jól működni, ha a vizsgált rendszerekben (agyhullámok, lokális mezőpotenciál, egyes idegsejt tüzelési mintázatok) megjelenő információt adekvát módon próbálja kivonni, tehát végső soron a gyakorlati alkalmazás visszacsatol az elméleti megértéshez. Önmagában az agy-gép interfész rendszerek fejlesztése jelentős felismerésekhez vezetett el az idegtudományi alapkutatás terén is.



Az agy-gép interfész alapú orvosi technológiák mellett, hogy drámai mértékben befolyásolják az egyén életminőségét és pszichés állapotát, meglehetősen jelentős és egyre fokozódó kulturális hatással is bírnak, mintegy a modern mitológia köréből a mindennapi valóságba történő átlépés erőteljes szimbólumaiként. A paralimpia analógiájára 2016-ban megrendezésre került az első, fejlett kibernetikus eszközöket felvonultató Cybathlon, mely a megváltozott mozgásképességű atléták versenyét technikai sportként értelmezi újra (képeink e versenyről származnak). A nem túl távoli jövőben várható a kapcsolódó megoldások általános elterjedése, bevonódása a mindennapi világába.

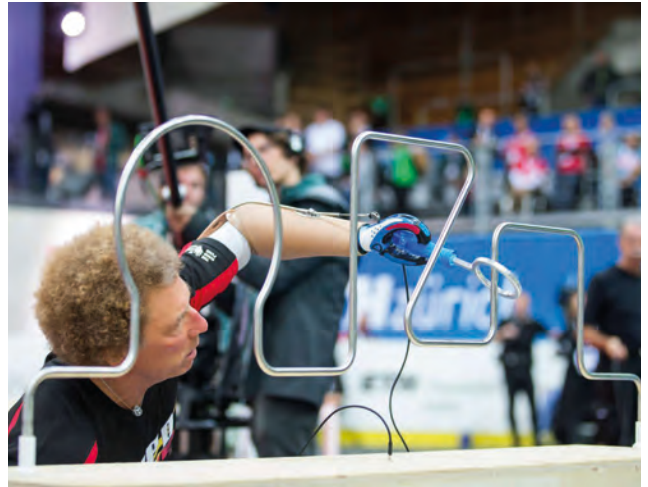
Számítástechnika és adattudomány

A bionikus szemlélet az absztrakciók szintjén is kölcsönhatásban van a megismerés eszközeit előteremtő mérnöki tudományokkal. Az idegéletteni kutatások során megszerzett felismerések visszacsatolása látványosan jelenik meg a mesterséges ideghálózatok (artificial neural network, ANN) az utóbbi évtizedben tudományos és mérnöki trendet teremtő, egyre átfogóbb alkalmazásában. Ezek az adaptív adatfeldolgozó eszközök képesek pusztán kiindulási példák alapján, tanulás (iteratív szabályok szerinti függvénymódosítás) útján igen széleskörű számítási feladatok igen hatékony megoldására, működésük folyamatos tökéletesítésére, finomhangolására. Ezek a hálózatok a mindennapi élet számos szintjén megjelennek például az írás-, arc- és képfelismerő alkalmazásokban, a szövegértő és tolmácsprogramokban, az autonóm járművek és a robotika világában csakúgy, mint az orvostudományban és az alap kutatásban. Számos egyéb felhasználás mellett segíthetik rákos megbetegedések diagnosztikáját szövettani készítmények önműködő kiértékelésével, valamint egyre növekvő szerepet kapnak még a gyógyszerkutatásban és általában véve a molekuláris- és számítási biológiában is.

A mesterséges ideghálózatok és az ezekhez szorosan kapcsolódó mély tanulási (*deep learning*) algoritmusok koncepciója többek között az idegrendszer kis léptékű szerkezetére valamint az agyműködés egészére vonatkozó újabb ismereteinkből merít. Biológiai analógiával élve a mesterséges ideghálózatok alapegységét adó, módosításokon áteső matematikai függvény virtuális „idegsejtként” értelmezhető, mely biológiai társához hasonlóan összegzi a más idegsejtektől (függvényektől) kapott információkat, majd egy újabb idegsejtnek

adja át azokat. A hálózat működése hierarchikus rétegekké szerveződik, az előzőektől egyre „absztraktabb” bemeneteket kapó alrendszerek sorba kapcsolása révén nyer gyakorlati értelmet.

Hasonlóan az emberi agyhoz, egy látó mesterséges ideghálózat elsőként csupán elemi vonalakat azonosít a látott képen, majd ezek a további szinteken egyre összetettebb formákká állnak össze, így jutva el végül a tárgy- vagy arcfelismerésig. Más jellegű feladatok megoldása matematikai értelemben szintén a fenti alapel-



vet követi, a mesterséges idegháló elemi összefüggések egyre összetettebb, lépcsőzetes összehangolásával hoz létre információs szintézist. A megoldható problémák bonyolultsága a modell kiterjedtségével arányosan növekszik; a mély tanulási néven híressé vált terminus technicusban a „mélység” a szimulált idegrendszeri rétegeinek nagy számára, így az „absztrahálási” folyamat soklépcsős voltára utal.

A társadalmi léptékű technicizáció a terület fejlődésének nem csupán felhasználója, hanem katalizátora is. Elsőként a digitális médiatartalmak elterjedése váltotta ki a tömeges igényt olyan számítástechnikai hardver architektúrák kifejlesztésére, melyek nagy adatmennyiségek gyors és párhuzamos feldolgozására alkalmasak – egyszersmind alapfeltételei a fenti eljárások gyakorlati felhasználásának, kutatásának. Ezen eszközök viszonylagos olcsósága, valamint a gyakorlatban kezelhető problémák komplexitásának arányos növekedése eddig soha nem látott módon élenkítette fel a technológiatranszfert az akadémiai és a privát szektor között. A CB Insights adatai szerint a *deep learning*hez hasonló mesterséges intelligencia technikákat kifejezetten egészségügyi feladatok megoldására alkalmazó startupok száma 2012-ben 20 alatt volt, 2016-ban 70 körül; 2017-re ez az érték átlépte a 100-at.

A már említett szövettani diagnosztikus algoritmusokon túl találunk radiológiai felvételeket értelmezni képes alkalmazást (Enlitic), vérmintákból izolált DNS-törzsekből rákos megbetegedésekre következtetni tudó rendszert (Freenome).

A közeli jövő

A figyelemreméltó fejlődés ellenére a bionika még messze jár attól, hogy akár csak a jelenleg adott technológia lehetőségeit maradéktalanul kiaknázza. A mesterséges ideghálózatokon alapuló gépi intelligencia erősen bevonódott a szórakoztató elektronika és az „élettelen” tudományok világába – a fejlődés hasonló katalízise a biológiában és az orvoslásban még csak most kezdődik. A hatékonyan kezelhető adatmennyiségek növekedése tovább fokozza a nagy információsűrűségű vizsgálómódszerek relevanciáját a gyógyszerkutatásban, a genomikában és az idegtudományokban egyaránt. Mintegy szerencsés véletlen, hogy a területnek tárgyi feltételeken túl elsősorban szellemi tőkére van szüksége és azon belül is jól általánosítható tudásanyaggal operál.

A rendelkezésre álló információs „nyersanyag” sűrűsége és mennyisége az utóbbi évtizedben látványos növekedésnek indult. Az idegrendszer kisléptékű megértéséhez új generációs mérőeszközök szolgáltatnak korábban elképzelhetetlen finomságú adatokat. A molekuláris biológiában a teljes genomot lefedő expressziós térképek elterjedése és a nagy áteresztőképességű proteomikai módszerek megjelenése, a hisztológiában a preparátumok digitalizált feldolgozása nyitott új távlatokat. A konkrét alkalmazási területekhez kötődő jártasságokon túl a fenti információk értelmezéséhez szükséges meta-módszerek meglepően hasonlóak, az alterületek szétválasztása sokkal inkább történeti, mintsem objektíven indokolt. Ahogy a bionika maga is hidat képez az élő és élettelen tudományok között, úgy a részben belőle kinőtt adattechnikai módszerek, a különálló problémák megoldása során kifejlesztett új eljárások generalizálása kötheti össze a molekuláris- és idegtudományok leggyorsabban fejlődő ágazatait a számítástechnika és elektronika legújabb eredményeivel.

A kiborgizációról néhány szóban

A bionikus emberről, divatosabb szóval élve, a kiborgokról (*cybernetic organism, cyborg*) folyó diskurzus az irodalomból a tudományfilozófia világába a 60-as években került át, részben a kor fantáziáját kiemelten

izgató úrkutatás és az ebből adódó kihívások hatására. A nagy formátumú pszichológus és pszichiáter, a pszichofarmakológia úttörője Nathan S. Kline szerint az emberi adottságok kibernetikus módosítása mintegy adaptációként szükségessé válhat majd az új felfedezésekor.

A XX. század második felében, különösen az Egyesült Államokban a téma fokozatosan popkulturálissá vált, ugyanakkor szervesen beépült a mindennapi életbe, az informatikán és az orvostudományon keresztül. A kibernetizált ember definíciója ingoványos, a határok meghúzása filozófiai értelemben problémás. Egyértelműen ember-gép integrációról beszélhetünk például a testbe ültetett orvosi eszközök, pacemaker, cochleáris implantátumok kapcsán; társadalomfilozófiai értelemben azonban hasonlóan tekinthető minden olyan eszköz és jelenség, mely kitágítja az emberi test és elme



biológiai értelemben definiált korlátait. Az internet mint közös információs tér mellett egyes szerzők odáig mennek, hogy egyenesen az írásbeliséget is egyfajta techno-organikus fúzióként kezeljék, rámutatva a gondolatok lejegyzése majd újra felidézése segítségével áthidalhat tér- és időbeli korlátokra.

Kiborgok olimpiája: a Cybathlon

A sport világában a bionika és a kibernetika útja bizonyos értelemben az irodalomban bejárthoz hasonlítható, ugyanakkor előrehaladása ahhoz képest jelentősen késik. Megváltozott képességű atléták számára csupán a 60-as évek óta rendeznek rendszeres világversenyekeket. Fontos kiemelnünk, hogy a Paralimpia elsősorban magára a versenyzőre koncentrál, a nem-biológiai segédeszközökre (mint amilyenek a művégtagok vagy a kerekesszékek) mintegy kikerülhetetlen mankókként tekint, melyek, bár lehetővé teszik azt, hogy a sérült személy hasonló helyzetben lévő társaival versenyezzen, nem lehetnek döntő jelentőségűek egy adott sportteljesítmény elérésében.

A segédeszközök azonban a technológiával párhuzamosan fejlődnek. Egy, a *science fiction*t régóta foglalkoztató kérdés lépett elő valós etikai problémává, amikor Oscar Pistorius paralimpikon futó a 2008-as pekingi olimpiai játékokra próbált kvalifikálni: mi történik, ha a folyamatosan tökéletesedő protézisek felülmúlják a helyettesíteni kívánt biológiai funkció, jelen esetben a lábak képességeit? Fokozatosan nyilvánvalóvá vált, hogy a csúcstechnológiájú segédeszközök használá-



tával véghez vihető versenysport nem csupán a klasszikus számok reprodukcióját jelenti – a megváltozott képességű atléták küzdelme technikai sporttá válik. A klasszikus Olimpia és a segédeszközöket csak passzív formában elfogadó Paralimpia mellett létrejött egy harmadik típusú világverseny, a fenti felismerést koncepciójába szervesen integráló Cybathlon víziója, mely az atlétára mintegy a csúcstechnológiát alkalmazó és vezérlő „pilótára” tekint.

Az első Cybathlont 2016. október 8-án rendezték meg a svájci Zürich melletti Klotenben, 25 ország 56 csapatának részvételével. Ebbe az eseménybe kapcsolódtunk bele mint versenyző csapat, a gondolatvezérelt „avatárok” versenyszámban a Nemzeti Agykutató Program támogatásával. Az esemény az emberi és sportkulturális vonatkozásokon túl tudományos-mérnöki értelemben is különös jelentőséggel bírt – valós, sokszor előre nem látható nehézségekkel való megküzdésre kényszerítette az addig javarészt csak laboratóriumban kipróbált megoldásokat, kompromisszumok nélkül ütköztette az elméletet a gyakorlattal. Láthatuk, ahogy bizonyos eszközök egyszerűségük dacára sikerrel veszik az akadályokat, mások technikai értelemben apró hibák miatt felmondják a szolgáltatot.

Végül, a technológia határainak feszegetése közben is egyértelműen érződött a pilóták elszántsága és küzdeni tudása, pusztán mérnöki erődemonstráció helyett valódi sportesemény hangulatát kölcsönözve a rendezvénynek.

Az első Cybathlon hat versenyszámból állt, melyek során a pilóták definíciószerűen olyan területeken versenyeztek, melyekre sérüléseikből kifolyólag aktív bionikus eszközök segítségével nélkül nem lehettek volna képesek. Deréktól lefelé bénult biciklisták álltak rajthoz a funkcionális elektromos stimuláció versenyszámban, lábizmokhoz csatlakoztatott, azokat mesterségesen összehúzódnásra készítő komputervezérelt elektródarendszerek segítségével. Különböző sebességi és ügyességi feladatokban mérték össze tudásukat kibernetikus kar- és lábprotéziseket viselő bionikus atléták, illetve egyszemleletonokkal - külső vázzal - újra járóképessé tett, súlyosan bénult sportolók. Az élő és élettelen rendszerek integrációja a legtöbb esetben a megmaradt mozgásképességet kihasználva, a még ép izmok működésének mintegy lefordításával valósult meg – példaként, a pilóta vállövi- vagy törzsizmai szolgáltatathattak vezérlőjelet egy mesterséges végtag vagy külső motorizált váz működtetéséhez. Ebből is látszik, hogy a „pilóta” szóhasználat a Cybathlon esetében abszolút jogos, hiszen egy ilyen rendszer versenyszintű irányításában rejő kihívás összemérhető azzal, amit akár a technikai sportok esetében láthatunk.

Az élő és élettelen rendszerek összekapcsolódásának ennél is előrehaladottabb szintjét jelentette az utolsó versenyszám, az agy-gép interfészek futama, melyben a csapatunk is megmérettette magát. Itt a feladat az egyes testi funkciók egymással történő helyettesítése helyett elektroencefalográfiai jelek, tehát az agyműködést közvetlenül monitorozó adatok konkrét mozgásokká történő átalakítása volt – a pilóták egy virtuális „játsszóteren”, mintegy gondolataik által irányított „avatárokat” vezérelve futottak versenyt egymással. A Cybathlon úttörő szellemiségére jellemző módon ráadásul olyan komplex (négyirányú) vezérlés megvalósítása volt a cél, mely még ideális laboratóriumi körülmények között is igen komoly technikai és gyakorlati kihívást jelent mind az agyhullámokat értelmező rendszer mind az azokat tudatosan kontrolláló kísérleti személy számára, feszegetve a tudományterület jelenlegi határait.

NÁNÁSI TIBOR – FIÁTH RICHÁRD –,
MÁRTON GERGELY – ULBERT ISTVÁN

Vége az I. résznek



Következik júniusi számunkban:
Elektródfejlesztési irányok



ELHIGGYÜK, VAGY KÉTKEDVE FOGADJUK A TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEKET?

Egy vita a depresszió kutatás történetéből

Vitákkal és konfliktusokkal az élet szinte minden területén találkozni, legyen az egy családon belüli civakodás, egy focimeccsen a bíró döntésének eltérő megítélése, vagy két politikai párt közötti csatározás. Nincs ez másként a tudománnyal sem, a kísérletek során felállított elképzelésekről, hipotézisekről olykor a tudósok sem feltétlenül értenek egyet.

Vannak olyan felfedezések, amelyek alapvetően változtatják meg egy-egy tudományterület nézeteit (például Newton gravitációs teóriájáról az einsteini relativitáselméletre való átállás), illetve olyanok, amelyek egy-egy szűkebb területre vonatkoznak.

Ez utóbbira példa, a DNS ma ismert úgynevezett kettős-hélix szerkezete. Mára ez a tény beépült nem csak a köztudatba – itt elsősorban a DNS klasszikus, többé-kevésbé egységes kettős-hélix ábrázolására kell gondolni – hanem a középiskolai tankönyvekbe is. De hogyan válik egy teória bizonyossággá? Hogyan segíthet egy tudományos vita a hipotézis elfogadásában? És hogyan születnek és alakulnak ezek a tudományon belüli viták?

A tudományos vitákban három, egymással átfedő szakaszt lehet megkülönböztetni. Az első és egyben legrövidebb szakasz, a *konfliktus* kialakulása, amikor két, egymásnak ellentmondó vélemény kerül publikálásra és ezek hatására megindul a vita. A konfliktus megszületése után a vita kibővül, egyre több és több cikk születik az adott témában, amelyek hol megerősítik, hol cáfolják (vagy legalábbis nem igazolják) a

kezdeti hipotézist. Ez az időszak az *ismétlés és variáció* szakasza, aminek elnevezése kettős. Egyrészt arra utal, hogy a tudósok megpróbálják megismételni az eredeti kutatás eredményét, másrészt viszont arra, hogy mindezt apró változtatásokkal teszik, módosítva a kísérleti körülményeket, így tesztelve, hogy a kezdeti eredmény milyen esetekben tekinthető igaznak és milyen feltételek mellett válik már hamissá. Az utolsó szakasz a *feloldás*, amikor a résztvevők végül megegyezésre jutnak, az egymásnak olykor ellentétes eredmények végül magyarázatot nyernek és eldől, hogy az eredeti elképzelés mikor fogadható el. Nem szabad elfelejteni, hogy emiatt egy tudományos eredményt csak akkor érdemes elhinnünk, ha azt több független, azaz mások által végzett vizsgálat is megerősíti. Érdemes megjegyezni, hogy ezek a szakaszok ugyan tisztán elkülöníthetőnek tűnnek, valójában sokszor átfednek egymással, illetve egy-egy ilyen periódus akár több évig-évtizedig is eltarthat. Cikkünkben a depresszió kutatás történetéből mutatunk be egy konfliktust, ami mélyebb bepillantást enged a tudomány világába.

A depresszióról

Sokan a mai napig úgy gondolják, hogy a depresszió nem több egyszerű rosszkedvnél, egy balul sikerült reggeli munkába menetel vagy egy esti veszekedés miatt. Azonban ez a pszichiátriai kórkép a hangulatnak nem csak egy rövid ideig tartó fennállásával egyenlő, és nem egyszerű szomorúság. A depresszió során a beteg hangulata tartósan, negatív irányba megváltozik, elveszti a boldogság érzését és érdeklődését olyan tevékenységek iránt, amelyek korábban örömet okoztak a számára. Mintha a depressziós személy ilyenkor már nem látná a pozitív dolgokat az életében, csak a negatívumokat. Ez a jelenség leginkább a hangulat egy spektrumán képzelhető el, amelyen a rövid ideig tartó szomorúság érzése természetes, míg a depresszió már egy hetekig-hónapokig fennálló szélsőséget képvisel.

Ez a betegség már ma is komoly problémát okoz, leggyakoribb típusa összesen 300 millió embert érint a világon, és az Egészségügyi Világszervezet (WHO) előrejelzései szerint a helyzet csak rosszabbodni fog. A depresszió 2030-ra a legsúlyosabb népegészségügyi problémává fog válni, hatalmas anyagi terheket róva az államok gazdaságára, mind a kieső munkaidő, mind a (kezeletlen) betegség óriási költségei miatt. Ráadásul a terápia hatékonysága az intenzív kutatások ellenére is legfeljebb elfogadhatónak mondható, az első kezelések után a betegek felében nem figyelhető meg érdemi javulás, ami különösen fontossá teszi új gyógyszer-célpontok azonosítását. Ezek megtalálásához azonban ismerni kell a kórkép hátterét is.

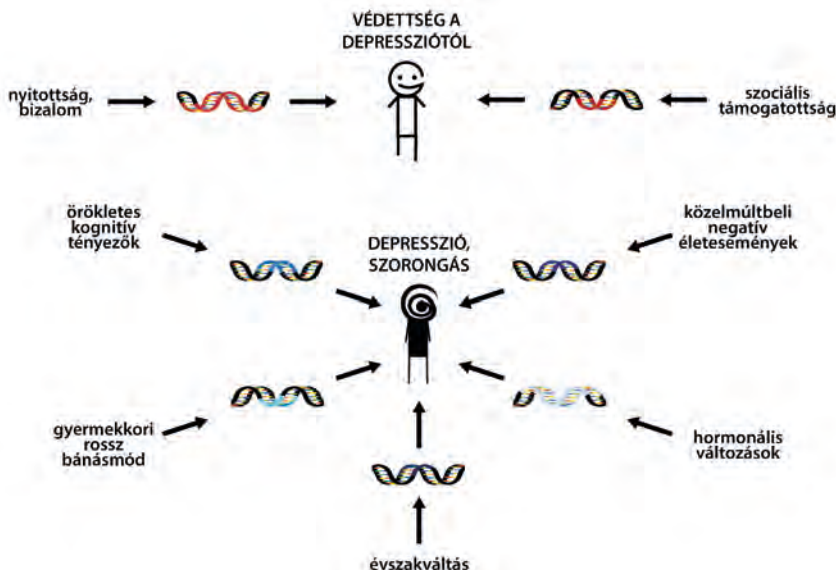
A depresszió kialakulását két összetevő is befolyásolja: a genetika és a környezet. Ám sem az örökletes tényezők (például egy adott gén megléte), sem a minket ért környezeti hatások (például gyerekkori bántalmazás, egy családtag elvesztése) önmagukban még nem feltétlenül elegendők a betegség kifejlődéséhez. Ehhez hajlamosító géntváltozatok és bizonyos környezeti tényezők megléte, mások hiánya, általában egyaránt szükséges. Ugyanígy a depressziótól való "védelem" is többféle (örökletes és környezeti) tényező együttes eredménye.

Egy rég várt felfedezés

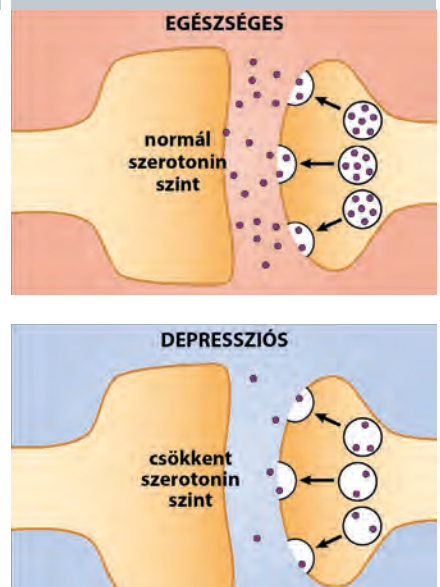
A depresszió hátterének kutatásában hatalmas áttörést jelentett egy 2003-ban, a *Science* című folyóiratban publikált cikk. Avshalom Caspi-nak és munkatársainak eredménye szerint az 5-HTTLPR SS genetikai változatának nagy jelentősége van a betegség kialakításában stressz hatására. De mi is ez az 5-HTTLPR SS génvariáns?

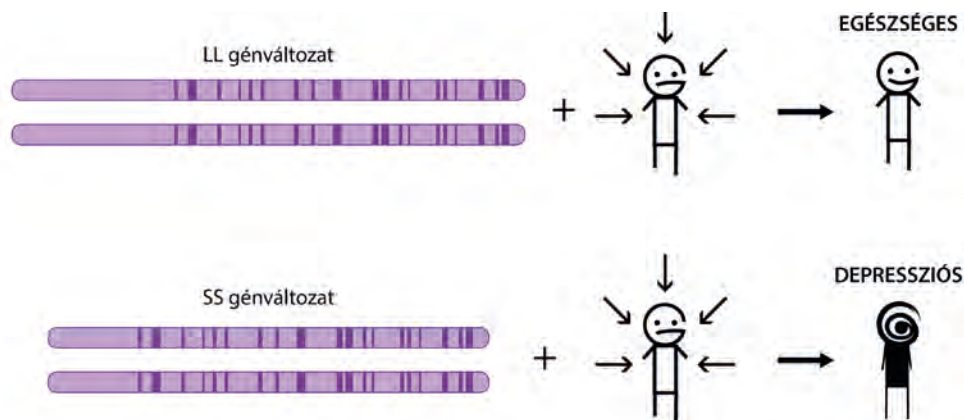
Amikor az agyban található egyik idegsejt valamilyen „üzenetet” küld egy másik sejtnek, azt ingerületátvivő anyagok segítségével éri el, amelyek közé az ún. szerotonin is tartozik. Ennek mennyiségbeli csökkenését az agyban (több más ingerületátvivő anyaggal együtt) úgy azonosították, mint a depresszió egyik lehetséges kiváltó okát. Ahhoz, hogy a szerotonin normál szinten maradjon különböző fehérjék segítségével van szükség, amelyek vagy megemelik, vagy csökkentik a mennyiségét. Ezek közé tartozik a szerotonin transzporter fehérje. E fehérje génjének

1. ábra. A depresszió kialakulásához vezető lehetséges környezeti és genetikai tényezők, valamint ezek kapcsolatai (a kék szín a kockázatokat jelenti, a piros a védelemet adó genetikai változatokat jelenti)



2. ábra. A szerotonin szint egészséges és depressziós betegben a legegyszerűbb elmélet szerint





3. ábra. A szerotonin transzporter SS és LL változatainak feltételezett hatása stressz esetén

egyik szakasza az úgynevezett 5-HTTLPR, aminek három változata létezik, az LL, az LS és az SS. Az utóbbi Caspi-ék tanulmánya szerint, stressz hatására fokozza egy adott személy depresszióra való hajlamát, míg az LL génvariáns inkább védelmet nyújt a betegséggel szemben. Bár a cikknek voltak előzményei (rhesusmajmokban, egerknél már megtalálták az összefüggést) emberekben ekkor írták le először ezt a kapcsolatot. Ez az eredmény azért is volt különösen fontos, mert az SS gént változat a társadalom kb. 15-20%-ban, tehát minden 10 emberből

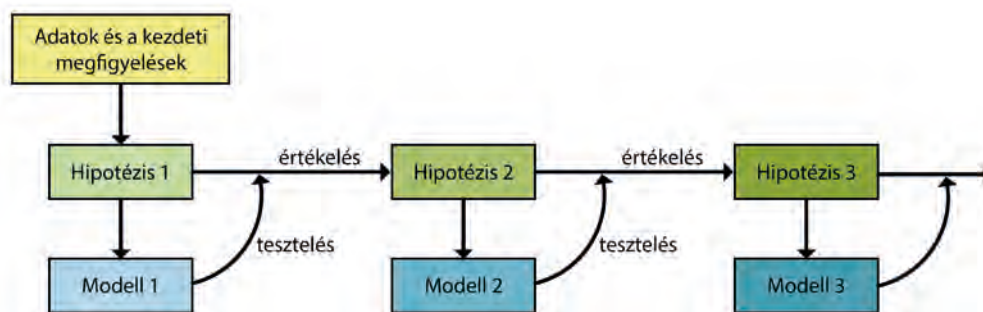
egy-két emberben megvan. Mivel úgy tűnt Caspi-ék egy általános összefüggést találtak, a cikket hatalmas lelkesedés fogadta a depresszió kutatók körében.

A konfliktus

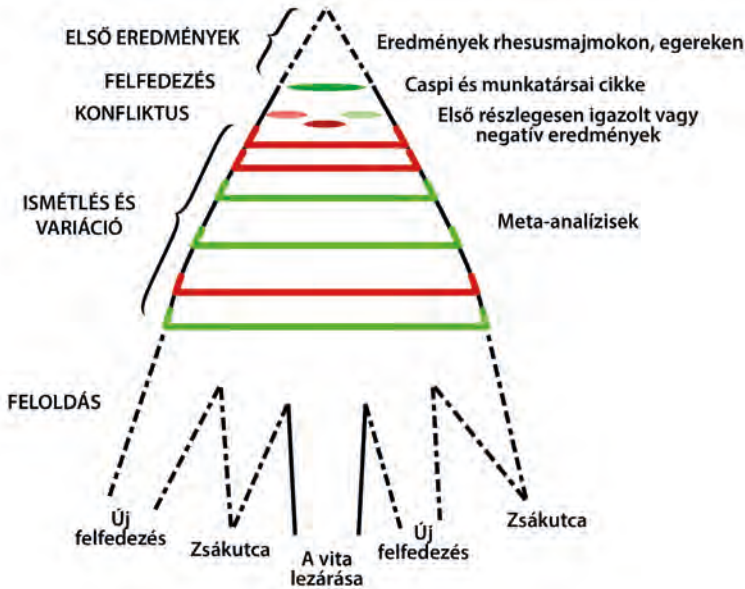
Azonban már alig egy évvel a cikk megjelenése után publikálásra kerültek olyan eredmények, amelyek csak részben tudták igazolni az eredeti közleményt. Néhányan az új írások közül csak nők

AZ ELMÉLETTŐL A BIZONYÍTÁSIG

A tudományban egy hipotézis megszületését először megelőzik a korai megfigyelések egy-egy kutatás során. Ekkor fektetik le az alapvető kutatási kérdéseket, amelyek a kezdeti adatokkal együttesen segítik a kutatókat az első elmélet felállításáig. A munka azonban itt közel sem ér véget, a megalkotott hipotézis ellenőrzésére felállítanak egy modellt, amely lehetővé teszi az elmélet igazolását vagy cáfolását. A modell tesztelése során kapott adatokat aztán újabb vizsgálatoknak vetik alá, majd a kapott eredményeket összevetik a kiinduláskor létrehozott hipotézissel. Amennyiben a kettőben eltérés mutatkozik, úgy újabb, az elsőhöz képest valamelyest módosított elmélet kerül felállításra, amelyre aztán újabb modelleket építenek, majd azok eredményeit ismét összevetik a kezdeti hipotézissel, és így tovább. A folyamat addig ismétlődik, amíg pl. a felállított hipotézist a modellek túlnyomó többsége (kb. 90-95%-a) igazolja, ekkor az elmélet elfogadásra kerül, bővítve a tudományos tudásunkat. Ez a folyamat figyelhető meg az ismétlés és variáció szakaszában is, bár a lépték ez utóbbi esetben nagyobb és az elméletek nem csak egyirányú sorrendje figyelhető meg, hanem azok szerteágazása, bővülése is.



4. ábra Egyetlen kísérlet folyamata



5. ábra. Egy tudományos vita szerkezete a felfedezéstől a feloldásig, amelyben már egymástól elkülöníthető új utak is megjelennek (néhányik sikeressé válik, némelyik zsákutca lesz)

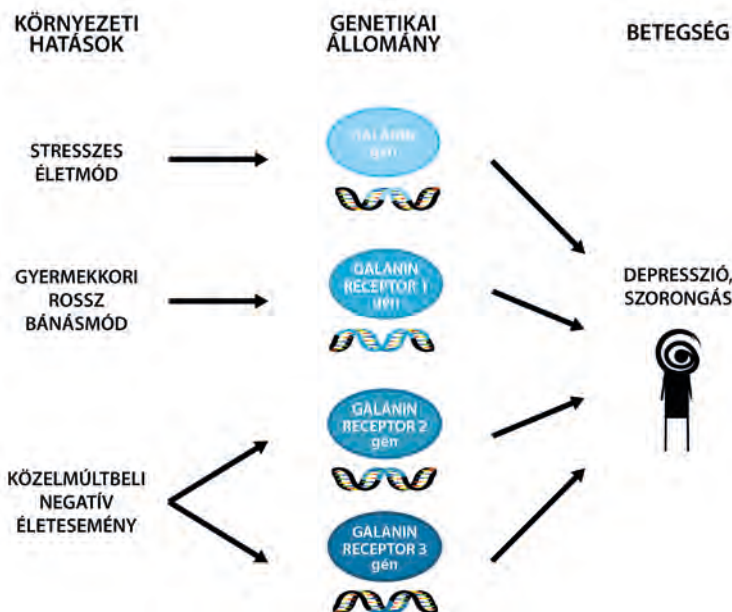
esetén találták meg a kapcsolatot az SS változat és a stressz depressziót fokozó hatása között, cáfolva egy általános összefüggés létét. Ehhez hasonlóan 2006-ban napvilágot látott egy tanulmány, amely lányokban ismét ki tudta mutatni a kapcsolatot, ám fiúk esetén pont az ellenkezőjét találta, vagyis azt, hogy a szerotonin transzporter SS genetikai változata inkább védő szerepet biztosít stressz esetén a depresszióval szemben. Ezt az eredményt

követte még ugyanebben az évben egy másik publikáció, ami viszont egyáltalán nem tudta igazolni az összefüggést az SS génvariáns és a stressz, valamint a depresszió között. A negatív eredmények hatására kialakult a konfliktus a szerotonin transzporter SS genetikai változatának szerepét illetően.

Ismétlés és variáció

A kialakult konfliktus után sorra jelentek meg az újabb és újabb publikációk, amelyek között voltak támogató és cáfoló közlemények is. A vita hatalmas méreteket öltött, a kérdésre választ kereső kutatások száma megugrott, az elmúlt 15 évben Caspi-ék cikke több mint 4000 hivatkozást kapott. Ezek között is nagy szerephez jutottak az ún. meta-analízisek. Ezeket kicsit leegyszerűsítve az elemzések elemzéseinek is hívhatjuk. Céljuk az, hogy összegyűjtsék és egy hatalmas adatbázisba építsék a korábban született tanulmányok adatait, hogy azokat egy sokkal átfogóbb és szisztematikusabb vizsgálatnak vethessék alá. 2008 és 2018 között összesen hat különböző meta-analízis jelent meg, amelyek közül három alátámasztotta a kezdeti eredményeket, míg három nem talált kapcsolatot. Ám nem csak Caspi-ék cikkét próbálták meg igazolni ebben az időszakban, ugyanis a negatív eredmények elősegítették új elméletek megszületését is. A tudományos kutatások skálája kibővült, az SS genetikai változat mellett korábban nem ismert gének és környezeti hatások közötti összefüggéseket sikerült feltárniuk a kutatóknak, új utakat nyitva a tudományos vizsgálódások számára (a szaggatott vonallal határolt útvonalak az 5. ábrán).

6. ábra. A galanin és receptorainak kapcsolata a depresszióval



A feloldás

Egy idén megjelent NAP-2-SE Új Antidepresszív Gyógyszercélpont Kutatócsoport által írt tanulmányban arra a következtetésre jutottak a kutatók, hogy az SS génvariáns szerepe csak bizonyos csoportok esetén jelentős. Például egy körülbelül 2500 főt számláló nagy adatbázison nem lehetett általános kapcsolatot találni a szerotonin

transzporter változatai, a stressz valamint a depresszió között. Ugyanakkor egy részletes elemzés szerint, a 30 év alatti, gyerekkorban rossz bánásmódot és emellett felnőttkorban egy éven belüli komoly élet-stresszt (például közeli hozzátartozó elvesztését) megélt nők esetén a kapcsolat már jelentős, éppúgy, mint az anyagi nehézségekkel küzdő férfiaknál.

A szerzők másik megfigyelése, hogy bár a szerotonin transzporter bizonyos feltételek mellett előidézhethet depressziót, de vannak más fehérjék, melyek genetikai változatai stressz esetén sokkal erősebb hatást fejtenek ki, mint az SS génvariáns. Ilyen például a galanin (az idegrendszerben termelődő kicsi, fehérje típusú molekula) és annak három receptora (amik galaninnal kapcsolódva változásokat indíthatnak be egy sejtben). Eredményeik szerint a galanin-1 receptor inkább gyerekkori bántalmazás, míg a galanin-2 és -3 receptorok adott géntípusai az elmúlt évben tapasztalt súlyos negatív életeseménnyel együtt emelték a depresszió kialakulásának valószínűségét. Különösen jelentősnek látszott pl. a galanin-2 receptor szerepe azoknál, akik közepes mértékű stressznek voltak kitéve. Ezek alapján a galanin-rendszer tagjaira és a többi erősebb kapcsolatot mutató génvariánsra érdemes lenne a jövőben nagyobb hangsúlyt fektetnie a kutatásoknak. És természetesen ezeknek az új géntípusoknak a vizsgálata szintén újabb konfliktusokhoz, ismétlés és variáció szakaszokhoz, majd feloldásokhoz vezethetnek.

Bár a szerotonin transzporter SS génvariánsa körüli vitában a konfliktus feloldása már megkezdődött és megszűntek az első magyarázatok, érdemes szem előtt tartani, hogy ilyen viták a tudomány minden területén folyamatosan születnek és szűnnek meg. Ezek a konfliktusok – az elméletek igazolásának vagy éppen cáfolatának köszönhetően – biztosítják számunka az új ismereteket, sőt e bizonyítékokon és logikán alapuló pro- és kontra érveléseknek köszönhetjük folyamatosan mélyülő tudásunkat a körülöttünk lévő világról.

PETSCHNER PÉTER – PETSCHNER ANNA –
BAGDY GYÖRGY

i Egy hipotézis felállítás, majd a modell gyakorlati igazolása és ellenőrzése. Vajon a cikk írása során mi is támaszkodtunk erre a mintára? A kérdés megválaszolását az Olvasóra bízunk.

Az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-4-I-SE-8 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült.

- Klempe, S. H. (2011) "Mythical Thinking, Scientific Discourses and Research Dissemination." *Integrative Psychological and Behavioral Science* 45(2): 216–222.
- Caspi, A. et al. (2003) "Influence of life stress on depression: moderation by a polymorphism in the 5-HTT gene." *Science* 301(5631): 386-9.
- Eley, T. C. et al. (2004) "Gene-environment interaction analysis of serotonin system markers with adolescent depression." *Molecular Psychiatry* 9(10): 908-15.
- Sjöberg, R. L. et al. (2006) "Development of depression: sex and the interaction between environment and a promoter polymorphism of the serotonin transporter gene." *International Journal of Neuropsychopharmacology* 9(4): 443-9.
- Surtees, P. G. et al. (2006) "Social adversity, the serotonin transporter (5-HTTLPR) polymorphism and major depressive disorder." *Biological Psychiatry* 59(3): 224-9.
- Munafò M. R. et al. (2009) "Gene × environment interactions at the serotonin transporter locus." *Biological Psychiatry* 65(3): 211–219.
- Risch N. et al. (2009) "Interaction between the serotonin transporter gene (5-HTTLPR), stressful life events, and risk of depression: a meta-analysis." *JAMA* 301(23): 2462–2471.
- Karg, K. et al. (2011) "The serotonin transporter promoter variant (5-HTTLPR), stress, and depression meta-analysis revisited: evidence of genetic moderation." *Archives of General Psychiatry* 68(5): 444–454.
- Sharpley, C. F. et al. (2014) "An update on the interaction between the serotonin transporter promoter variant (5-HTTLPR), stress and depression, plus an exploration of non-confirming findings." *Behavioural Brain Research* 273:89–105.
- Culverhouse, R. C. et al. (2018) "Collaborative meta-analysis finds no evidence of a strong interaction between stress and 5-HTTLPR genotype contributing to the development of depression." *Molecular Psychiatry* 23(1): 133-142.
- Bleys, D. et al. (2018) "Gene-environment interactions between stress and 5-HTTLPR in depression: A meta-analytic update." *Journal of Affective Disorders* 226: 339-345.
- Juhász, G. et al. (2014) "Brain galanin system genes interact with life stresses in depression-related phenotypes." *PNAS* 111(16): E1666-E1673.
- Gonda, X. et al. (2018) "Significance of risk polymorphisms for depression depends on stress exposure." *Scientific Reports* 8, Article number: 3946.

JÚNIUSI SZÁMUNKBÓL

Interjú **VIZI E. SZILVESZTERREL**,
a Corvin-lánc testület elnökével (**GÓZON ÁKOS**)

KORDOS LÁSZLÓ: Misztikus ősszállatnyomok a Balaton körül

CSABA GYÖRGY: Meddig élhetünk?

KAMONDI ANITA-HORVÁTH ANDRÁS:
Epilepsziás rohamok és az Alzheimer-kór kapcsolata

WESZELY TIBOR: Bolyai János és a relativitáselmélet



A PÁRIS-PATAK VÖLGYE

A palóc Grand-kanyon

Különös nevű földrajzi helyekkel találkozhat, aki „Palócországban” jár. Kis távolságon belül megmászhatja a „Olimposzt”, vagy végigjárhatja a „Grand-kanyont”. Utóbbi legkevesbé sem nagy, földrajzi értelemben nem igazi kanyon és állandó vízfolyás sem található benne. Ugyanakkor látványos formakincsével, különleges hangulatával könnyedén magával ragadja az utazó fantáziáját.

Sokféle néven emlegetik a Mátrától és a Bükk-től északra fekvő, az Ipoly-völgyét (az Ipolyságig) magában foglaló, medence jellegű, változatos felszínű területet. A „Palócföld”, „Palócország”, vagy Mikszáth Kálmán, a legnagyobb palóc elnevezésével élve „Görbeország” elsősorban nem földrajzi, hanem főként néprajzi, kulturális tájegységet jelöl, amely ma már átnyúlik megye- és országhatárokon. Mikszáth képzeletbeli térképén – a valóságos földrajzi nevek mellett – olyan kitalált nevek is szerepeltek, mint Bágy-patak, Gózon, Csoltó, Bodok, Karancskeszi vármegye, Litkei vármegye vagy a Királyné szoknyája nevű hegy. Ezek ismeretében már egyáltalán nem lepődik meg az utazó, ha olyan elnevezésekkel találkozik, mint palóc Olimposz, vagy palóc Grand-kanyon. Előbbi a Karancsra utal (mivel csúcsát gyakran burkolja felhő, vagy ködtakaró), utóbbi pedig a Páris-patak szurdokvölgyére. Ezek a nevek nemcsak az itt élők humorát és képzelőerejét fejezik ki, hanem a szülőföld szeretetét is!

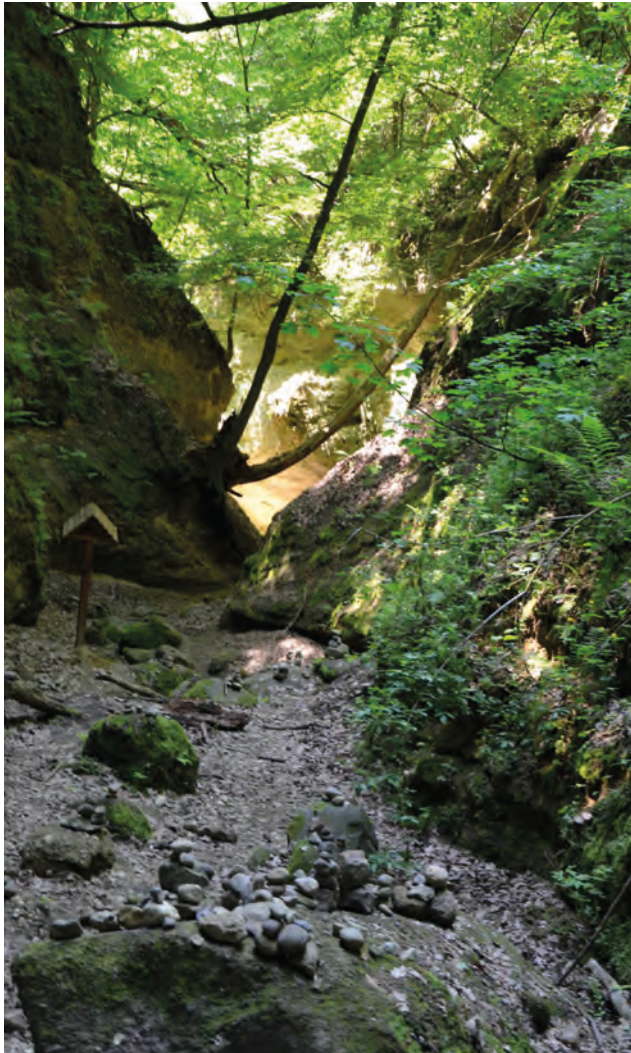
A Szécsényt Ipolytarnóccal összekötő közúton haladva, Nógrádszakál községtől északra, ahol az Ipoly, a közút és a vasút szinte egymáshoz szorulnak, található a Páris-patak szurdokvölgye. Ez az Ipoly bal oldali, a szlovák oldalon

lévő Rárósmúlyaddal szemben található mellékvölgye. Állandó vízfolyása ugyan nincs, de csapadékos időben és hóolvadáskor látványos vizesések képződnek benne. Aki ide betéved, egy árnyas, 300–500 méter hosszú, zezugos lefutású, 20–25 méter magas, szűk, néhol csak 2–3 méter széles völgyben találja magát. A több milliárd évvel ezelőtt itt kanyargó vízfolyás hordalékából keletkezett, bizarr sziklaszerű képződmények, gyakran függőleges völgyfalak és egyedülálló fatörzsbarlangok olyan sajátos hangulatot teremtenek, amely méltán mozgatja meg az idelátogatók fantáziáját

Fedezzük fel a „Grand-kanyon kicsinyített mását”

A terület kialakulását tekintve a Litke és Nógrádszakál között található andezittakaró része. Valamikor a felvidéki Osztrovszki-hegységhez tartozott, de évmilliók alatt az Ipoly leválasztotta a hegység délkeleti nyúlványáról. Az egykor itt munkálkodó vulkanizmus emlékei a felszínre bukkanó epiklasztitokban¹ és vulkáni

¹ Az epiklasztit a robbanásos vulkáni működés során levegőbe került, és onnan leülepedett törmelékes üledékes kőzetek egyik fajtája.



A Páris-patak kavicsai túlnyomó többségben andezitből, kvarcitból és metamorfitokból állnak és kb. 16–14 millió éve rakódtak le

üledékekben lépten-nyomon felfedezhetőek. Ezek a képződmények kb. 15 millió évvel ezelőtt itt kanyargó folyam tengerparti deltatorolatánál halmozódtak fel, amelybe a Páris-patak egyre jobban bevágta medrét. A középső-miocén korú tufába ágyazódott kemény agglomerátumos és andezites törmelék réteg megvédte az alatta lévő lazább üledékeket a lepusztulástól, így ebből a rétegből szinte érintetlenül kerültek felszínre paleontológiai (öslénytani) leletek és földtani értékek. A nagy vastagságban képződött kavicsos, homokos üledékbe helyenként tufás márga vagy riolituffa-, tufitrétegek települnek. A terület szerkezetileg az Etesi-árok északnyugati folytatása, melyet a szlovák oldalon Tórincai-árokknak neveznek.

A szurdokvölgyben két teljesen különböző korú földtani folyamat hatásait tanulmányozhatjuk. Egyrészt láthatunk egy kb. 10–20 ezer év óta folyamatosan

formálódó, völgyet, amit az időszakosan lezúduló patakvíz vésett az idősebb kőzetekbe. Másrészt a fiatalkorú völgybevágódás eredményeként a szurdokfalokban élénk tárul egy 15–16 millió évvel ezelőtti sekélytengerparti, folyóvízi üledéksorozat, amit a közeli vulkáni tevékenység befolyásolt. A lerakódott kőzetrétegek nem párhuzamosak, hanem hajlottak, metszik egymást. A rétegeket alkotó üledékszemcsék méretei (a homoktól a kavicsig) és határai hirtelen változnak

Már a völgy bejáratánál szembetaláljuk magunkat azokkal a megkövesült hordalékrétegekkel, amit az egykor itt kanyargó folyó halmozott fel. Miközben a különböző üledékrétegeket tanulmányozzuk, számtalan kisebb kavicsos és nagyobb kővön, fagyökéren, vagy éppen kidőlt fatörzsen kell keresztülegyensúlyoznunk.

A Páris-patak kavicsai túlnyomó többségben andezitből, kvarcitból és metamorfitokból állnak és kb. 16–14 millió éve rakódtak le. Valószínűleg egy ősi folyam szállította a jelenlegi helyére őket. Ugyanakkor találhatunk kavics formájú, legömbölyített diorittömböket, amelyek anyagukban és méretükben (0,5–1 méter nagyságúak) is eltérnek a völgy falában lévő kisebb kavicsoktól. Ezeket valószínűleg az Osztrovszki-hegységet létrehozó vulkanizmus hozta felszínre a nagyobb mélységben elhelyezkedő alaphegységéből és innen később mállottak ki. A folyami üledékből több helyen nagyméretű vulkáni andezit és mélységi gránittömbök preparálódtak ki, helyenként pedig erősen összecementálódott konglomerátumok váltak le a meredek völgyfalból.

A patakvölgyben található fatörzs-, vagy lenyomatbarlangok világviszonylatban is kuriózumnak számítanak. Első ránézésre csak egyszerű, furcsa, kerék, „lyukaknak” látszanak, melyek a szurdok falába

Az útvonal „kalandosabbá” is tehető a meredek mellékvölgyek bejáráásával, ahol hatalmas kőzettömbök és bedőlt fák nehezítik a túrázást (A szerző felvételei)



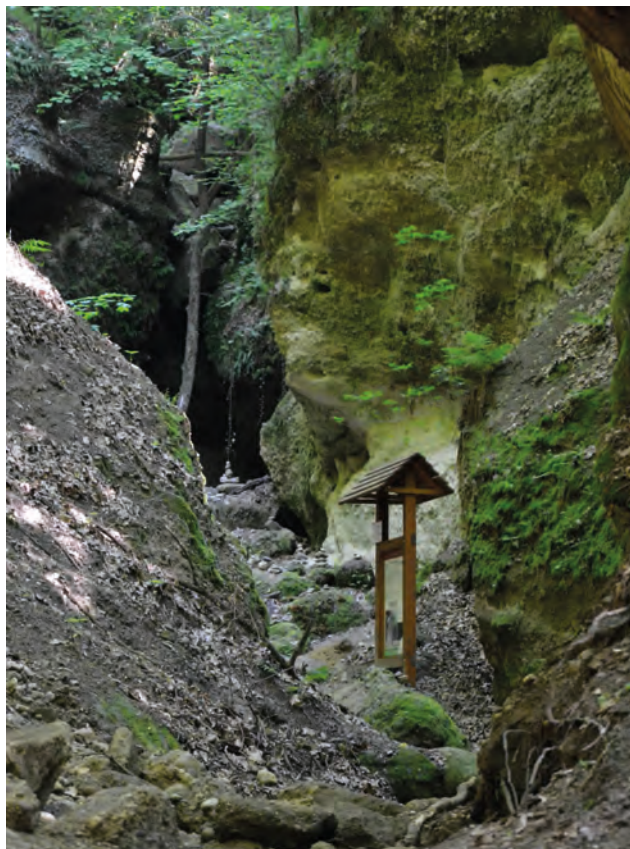
ágyazódtak be és henger formában haladnak befelé a kőzet anyagába. A látszat ellenére ezek nem kiesett kavicsok helyei, hanem egykori fatörzsek, gallyak visszamaradt üregei. Különlegességüket keletkezésük körülményei adják. A megáradt folyóvizek gyakran fákat is magukkal sodorhatnak. Az áramlás csökkenésével ezek fennakadtak, beágyazódhattak a vulkáni törmelékbe és befedte őket a folyami kavicsos, homokos üledéksor. Ha ez elég gyorsan történt, akkor oxigénhiányos környezetben nem volt idejük elkorhadni, hanem átítatódtak kovással és megindulhatott a megkövesedés folyamata. Később ezek a szurdok bevágódásával felszínre kerültek, majd kimállottak, kiperegtek és csak egy lyuk maradt a helyükön. A nagyobb méretű törzsek helyén barlangnak minősíthető üregek is keletkeztek. Az üledéksor nevezetes még az opálosodott famaradványairól is, amelyek vélhetően ilyen üregekben keletkeztek.

Kis szerencsével találhatók még levél-, és növénylenyomatok is, ami szintén a vulkáni működéssel hozható összefüggésbe, amely a folyami üledékszállításal egy időben zajlott a környéken. Ennek során levegőbe került vulkáni por visszahullva olyan rétegeket, illetve a folyó vizével keveredve olyan finomszemű anyagot hozott létre, amely beborítva a növényeket megőrizte lenyomatukat, rajzolatukat. Ezek vizsgálatából tudjuk, hogy az ősi folyót nyárfák, juharok, szilfák és fűzfák szegélyezték. Az üledéköszletből nemcsak növény-, hanem szárazföldi emlősök maradványai is előkerültek (például őssormányosok fogai).

A völgyet egy aláhajló tereplépcső zárja le, ahol hóolvadás, vagy csapadék esetén kisebb vízesés is kialakul. Itt a felül elhelyezkedő keményebb kőzetréteg megakadályozta a völgy bevésődését, miközben az alatta található puhább kőzetekben ez a folyamat már előrehaladt. Éppen ezért a tereplépcső fala alámosódott, így fent egy kisebb párkány keletkezett. Várható, hogy ez a párkányvölgy továbbfejlődése során alátámasztás hiánya miatt le fog szakadni. Az időszakos vízesés mögötti eróziós tevékenység hatására kialakult egy barlang (a völgy végét lezáró üreg), amely előtt „antropogén felszínformák”, a látogatók által a szurdokvölgy kavicsaiból épített tornyocskák találhatók.

Az erdei környezetben lévő nedves, mély szurdokvölgy kérészeknek és szitakötőknek nyújt élőhelyet. Ezek közül kiemelendő védett fajok a feketelábú szitakötő (*Gomphus bidentatus*), a csermely szitakötő (*Onychogomphus forcipatus*) és a nem védett, de ritkának számító fenékjáró poloska (*Aphelocheirus aestivalis*).

A Páris-patak völgye 1976 óta helyi jelentőségű természetvédelmi terület, amely a *Novohrad-Nógrád Geopark* egyik kiemelt helyszínének számít. Területe



A völgyet egy aláhajló tereplépcső zárja le, ahol hóolvadás, vagy csapadék esetén kisebb vízesés is kialakul. Mögötte egy barlang, előtte „antropogén” kavicsstornyok találhatók

29,92 hektár. A völgy bejáratnál fedett pihenő található, melynek kialakításában és a terület természeti értékeit bemutató tanösvény létrehozásában az Ipoly Erdő Zrt. és a Bükk Nemzeti Park vett részt. A látogatók többnyelvű információs táblák segítségével ismerhetik meg a területet kialakító földtörténeti folyamatokat, látványos felszínformákat és a geológiai érdekességeket. A völgy könnyed sétával bejárható, de mindenhol figyelni kell az omlásveszélyre, amelyre figyelmeztető táblákon folyamatosan fel is hívják a látogatók figyelmét. Az útvonal „kalandosabbá” is tehető a meredek mellékvölgyek bejárásával, ahol hatalmas kőzettömbök és bedőlt fák nehezítik a közlekedést. A szurdokvölgy minden évszakban látogatható. Megközelíteni Nógrádszakál-Rárópuszta irányából Nógrádszakál felé haladva az országútról balra letérve, majd a vasúti sínen áthaladva lehet. Itt kisebb parkoló is található. A látogatást érdemes egybekötni a közeli, ősmaradványairól híres ipolytarnóci bemutatóhely felkeresésével.

LADÁNYI LÁSZLÓ

A TERMÉSZET ÉKSZEREINEK RÉSZLETES KATALÓGUSA

Csodaszép csigák

Kényszerű megszakításokkal – előbb az egyik szerző halála, később a másik Algériába költözése miatt – több mint 30 évig, 1820-tól 1851-ig készült D. de Férussac és G.-P. Deshayes jelenkori és kihalt szárazföldi és folyóvízi puhatestűeket bemutató, négykötetes sorozata: *Histoire naturelle générale et particulière des mollusques terrestres et fluviatiles* [A szárazföldi és folyóvízi puhatestűek általános és részletes természetrajza]. Az összesen 247 oldalnyi színezett rézkarcot tartalmazó atlaszok olyan pontosan és részletgazdagon mutatják be a puhatestűeket, amelyek a kiadáskor utolérhetetlennek bizonyultak, és azóta is csak ámulatot ébresztenek azokban, akik kézbe veszik e csodaszép műveket. A Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat Földtani Szakkönyvtárának gyűjteményében található sorozatot 1954-ben vásárolta meg hazánk legnagyobb földtani szakkönyvtára.

Kagylókból, csigákból készült nyakláncok, ékszerek nagyon sok régészeti lelőhelyen megtalálhatók, az azték romoktól a Földközi-tenger szigetein át az ősi Kínáig, olyan területeken is, melyek nagyon távol helyezkednek el az óceánoktól, tengerektől. Ez jelzi, hogy már az őskortól kezdve kereskedtek velük az emberek. Évezredekkel később, a reneszánsz ember újra felfedezte a természetet, melynek szépségeit, kuriózumait úgynevezett csodaszobában, vagy furcsaságok szekrénykéjében (cabinet of curiosities, Wunderkammer, wonder-rooms) gyűjtötte össze. Ezek szinte mindegyikében megtalálhatók voltak a szebbnél szebb, érdekesebbnél érdekesebb csiga- és kagylóhéjak.

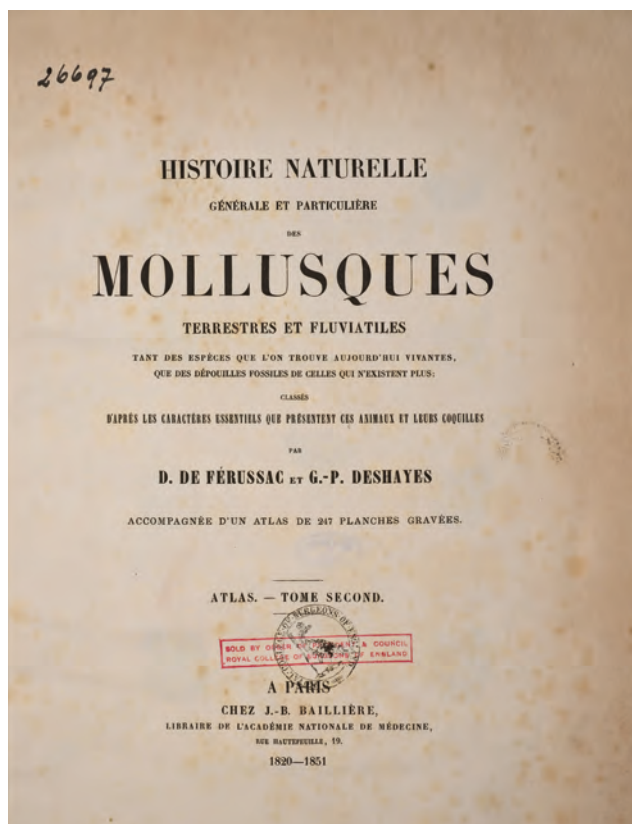
A XVII. század vége felé kezdték el a puhatestűeket tudományosan is tanulmányozni: 1685–1692 között jelent meg Martin Listernek, a conchológia atyjának nagy ívű, több mint 1000 gravírozott lemezből készült munkája, a *Historia Conchyliorum*, amely az első átfogó conchológiai mű volt. A conchológia szót, mint a puhatestűhéjak tanulmányozásának tudományát jelző kifejezést Emanuel Mendez da Costa használta először 1776-ban megjelent *The Elements of Conchology*:



or, an Introduction to the Knowledge of Shells [A conchológia elemei: avagy bevezetés a héjak tudományába] című munkájában.

John Mawe, brit mineralógus írta meg az első conchológiai kalauzt 1821-ben (*The Voyager's Companion or Shell-Collector's Pilot*) és foglalta össze a puhatestűhéjak rendszerét 1823-ban (*The Linnæan System of Conchology*). 1830–1836 között jelent meg Thomas Say, amerikai entomológus, conchológus és herpetológus hétkötetes összefoglaló munkája az észak-amerikai puhatestű vázokról (*American Conchology, or Descriptions of the Shells of North America, Illustrated from Coloured Figures From Original Drawings, Executed from Nature*).

Ebben az időben kezdte el de Férussac összeállítani a szárazföldi és folyóvízi, jelenkori, illetve kihalt puhatestűeket bemutató művét. Báró André Étienne Justin Pascal Joseph François d'Audebert de Férussac a XIX. század elején élt francia természettudós, malakológus, politikus volt. Már gyermekkorában nagy lelkesedéssel gyűjtötte az ásványokat, ősmaradványokat, kagylókat és rovarokat. A puhatestűek iránti szenvedélyét szintén természettudós apjától, Jean Baptiste Louis d'Audebert de Férussactól örökölte,



A könyv címlapja

aki számos közleményt írt a puhatestűekről. 1811-ben, 25 évesen csatlakozott Napóleon seregéhez; harcolt Austerlitznél és Jenánál. Zaragoza ostrománál súlyosan megsérült. A seb rosszul gyógyult be, emiatt hamarosan elhagyta a hadsereget és az Oleron-sziget alispánja lett.

Párizsba visszatérve folytatta apja tudományos munkásságát, és az ő eredményeit is felhasználva 1819-ben kezdte el összeállítani a szárazföldi puhatestűeket jellegzetességeik szerint csoportosítva bemutató többkötetes művet. 1820 és 1832 között készült el az első 28 résszel. Sajnos de Férussac 1836 januárjában meghalt, ezért hatalmas vállalkozását nem tudta már befejezni.

A munka folytatásáról Jean-Baptiste Baillière, könyvkiadó és -kereskedő, aki a sorozatot végül 1851-ben kiadta, a könyv előszavában így ír: „1838-ban, DE FÉRUSSAC úr halála után G.-P. DESHAYES úr vette fel a munka fonalát, a 29-ik ívtől; de mivel őt egy tudományos feladat Algériába parancsolta, és az új kiadó is elhalálozott, a vállalkozás a 34-ik ívnél megint félbeszakadt. A természetbúvárok nagyon sajnálták, hogy ez a szép munka, melybe annyi fáradságot öltek már, nem fejeződik be...

Ilyen volt a kiadvány állapota, mikor 1848 elején, „belesöppentem”, mint örököse a kiadásnak. Tudós természetbúvárok támogatták a kiadás tervét, magam is ezzel akarom foglalkozni ebben az oly szerencsétlen esztendőben,

művészek álltak mellé, és adták nevüket, tehetségüket a francia könyvkiadás szolgálatába, így véglegesen elhatároztam, hogy végigviszem ezt a munkát. Így fordultam hát Deshayes úrhoz, Algériában, aki akkor már jólismert tudósa volt minden héjas-kagylós puhatestűnek.”

Az ekkor már 53 éves, elismert tudós, Gérard Paul Deshayes kezdetben orvoslást tanult Strاسبourgban, de nagyon korán otthagya az orvosi szakmát, hogy a természetrajznak szentelje életét. Geológiai magánórákat tartott, majd a Museum d'Histoire Naturelle professzora lett. Elsősorban a Párizsi-medence fosszilis puhatestűi érdekelték. 1839-ben hívták Algériába. E hosszú évekig tartó kutatás eredményeit foglalta össze az 1848-ban megjelent Mollusques de l'Algérie című könyvben.

Baillière-nek végül sikerült meggyőznie a tudóst, hogy a hatalmas értékű, kiadásra már szinte teljesen előkészített anyagot ne hagyja veszni. Már csak ki kellett egészíteni a még szükséges ábraanyaggal és közre kellett adni az egészet. Ehhez a tervéhez megszerezte az Algériában dolgozó Deshayes mint jogtulajdonos engedélyét, és a munkához megnyerte a legkiválóbb grafikusokat és rézmet-szőket is, akik – közvetlenül a '48-as párizsi forradalom után – másutt nemigen jutottak megbízáshoz.

A Helix nembe tartozó csigafajok





Bulimus Scopoli, ma érvényes nevének a *Bithynia Leach*



Helix Cochlitome, ma érvényes nevének a *Cochlitoma* nembe tartozó csigafajok

Deshayes a könyv előszavában ezt írja: „E munkának a folytatásával de Férussac úr emlékének is, a tudománynak is tartoztam, több okból. Egyrészt át kellett, hogy érezsem a felelősségét annak, hogy ezt a még együtt megkezdett nagy munkánkat, azt a sok fáradtsággal és áldozathozatallal párosult vállalkozásunkat tető alá kell hozni végre, másrészt: látnom kellett, hogy a Franciaország riválisainak számító fejlett nemzetek megközelítenek minket, több téren, meglehet, sokat átvéve erőfeszítéseinkből, de csak ritkán vivén azt végig. ... de Férussac úr számomra több lett, mint tudományos vezető, mint vitapartner. Az eltelt évek után már csak a Tudomány érdekében szakadatlanul munkálkodó Ember maradt meg Róla bennem.

E mű első kötetének előszavában de Férussac úr már megszabta az irányt, mit követni is jónak tartott, az általánosságokat illetően éppúgy, mint az egyes fajok leírásánál; az elveknek, miket Linné, Bruguiere és Lamarck nyomán minden természettudós elfogadott a nevezéktant illetően, és miket ma is követünk mindannyian, legfeljebb kisebb változtatást hajtván végre a rendszerben, melyek a megfigyelések pontosabbá válása nyomán szükségessé váltak. Ilyenek nyomán újabb tulajdonságok kaptak a *Helicidae*-k igen változatos nagy nemzetségében fajmeghatározó szerepet.

... Ilyenek pl. a szájnylásnak a héj hosszirányú tengelyével bezárt szöge. Vizsgálataink során bebizonyosodott, hogy ez pedig egy olyan sajátosság, mely kétségtelenül az állatnak a helyzetével, így az életmódjával, a fejlődésbeli pozíciójával van szoros kapcsolatban. Párizs környékén módunk volt ugyanannak a fajnak igen sok egyedén elvégezni ezeket a megfigyeléseket, és de Férussac úr meglévő gyűjteménye lehetővé tette, hogy erről meg is bizonyosodjunk.”

Tudományos jelentősége mellett az összesen 247 oldalnyi színezett rézkarcot tartalmazó két atlasz művészi értéke sem elhanyagolható, ahogyan azt Bailliére is elismeri előszavában: „Lezárva ezt a fontos kiadványt: nem sajnálnám sosem a fáradságot s a jelentős költséget sem, mely szükséges volt, hogy általa a Tudomány egy ily hasznos munkát kaphasson, s méltó arra, hogy a jó és szép könyvek kedvelőinek könyvtárában rangos helyen lehessen.”

BABINSZKI EDIT – GÁSPÁR ANITA – PAPP PÉTER

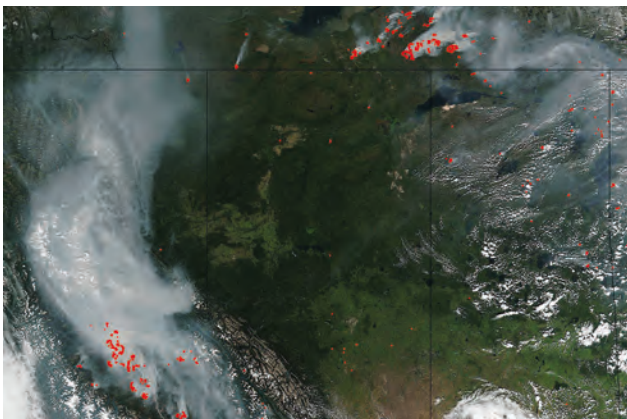


A szárazföldi és folyóvízi puhatestűeket bemutató könyvsorozat legszebb oldalai nagy felbontásban megtalálhatók a <http://mbfsz.gov.hu/ismeretterjesztes/kovek-es-konyvek> címen.

AZ ÉSZAK-AMERIKAI ERDŐTÜZEK FELÉRTEK EGY KÖZEPES VULKÁNKITÖRÉSSSEL

2017 nyár végén az Észak-Amerikában tomboló nagy kiterjedésű erdőtüzek füstje a sztratoszférába hatolt és heteken át jól láthatóan keringett bolygónk légkörében, többek közt hazánk fölé is eljutott.

A forró tüzek hatására a sztratoszférát elérő mikroszkopikus aeroszolrészecskék az ott uralkodó erős szelekkel körbejárták az északi féltekét, s mind a felszínről, mint műholdakról pontos méréseket lehetett végezni a mennyiségüket illetően. E mérések eredményét felhasználva számították ki a légkörbe jutott szennyező anyag mennyiségét.



Mivel a füst részecskéi a vulkánkitörések kén-dioxid alapú aeroszolrészecskéinél nagyobb méretűek, szabálytalanabb alakúak, a napsugárzásból elnyelt hő szintén segítette az anyag magasabbra (12 km-ről 22 km-re) jutását.

A füst Kanada felett augusztus 16-án emelkedett először a sztratoszférába, a tropopauza fölé, 10-14 km magasságba, ott a függőleges eloszlása miatt több ágra szakadva utazott tovább kelet felé. Augusztus 30-án a füst már körbejárta az északi féltekét, s visszaérkezett Kanadába. Habár az erdőtüzekből eredő kormos aeroszol fizikai és kémia tulajdonságaiban jelentősen eltér a vulkánkitörések során magasba jutó kén-dioxid és finomszemcsés hamu tulajdonságaitól, az optikai szűrőhatásukat mégis össze lehet vetni. A mérésekben összehasonlították a Szaricsev vulkán 2009-es kitörésének nyomán a sztratoszférába került anyagok optikai szűrőhatását a moszoni erdőtüzekével, s a tüzekből eredő szennyeződés háromszor erősebb hatású volt, mint a vulkáni aeroszol.

Az erdőtüzek ilyen jellegű légköri hatásaival eddig nem túl sokat foglalkoztak, elsődlegesen a vulkáni hatásokkal kapcsolatos megfigyelések és számítások domináltak a kutatásokban. Valószínű, hogy a klímaváltozás miatt gyakoribbá vagy súlyosabbá váló tüzek hatásait is többet fogják vizsgálni a jövőben.

(*Geophysical Research Letters*, 2018. február 6.)

TÜCSÖKHANGON ÉNEKEL EGY KOLIBRI - ÉS AZ SEM BIZTOS, HOGY HALLJA

Véletlen felfedezésnek köszönhetően derült fény a brazil atlanti esőerdőkben honos fekete jakobinuskolibri (*Florisuga fusca*) különös énekhangjára. A hangmagassága meghaladja a madarak érzékelésének 7 kHz-es felső tartományát, az ének alapfrekvenciája 11,8 kHz.

A kutatók kolibri-megfigyeléseket végeztek (kb. 40 kolibrifaj él a régióban), amikor feltűnt nekik a ciripelés-szerű hang, azonban a hanghoz társított tücsök vagy levelibéka helyett a jakobinuskolibrit találták az ének forrásának. A denevérek hangjának rögzítésére szolgáló mikrofonnal tértek vissza, és felvették a kolibri dalát. A későbbi elemzés során derült ki, hogy az ének egyes összetevői ultrahang tartományúak, amelyet mi emberek sem hallunk, felharmonikusai egészen 80 kHz-ig mérhetőek voltak!

Mivel a madarat csak a természetben volt alkalom megfigyelni, laboratóriumi méréseket, vizsgálatokat nem végezhetek, az sem lehet teljesen bizonyos, hogy hallja a saját hangját a kolibri. Valószínűbb persze, hogy igen, a ciripelő éneket ugyanis akkor hallatták, ha a közelben látták a fajtársakat, különösen, ha a megfigyelés idejére kihelyezett etetőhöz közelített a másik



jakobinuskolibri. Valószínűleg úgy használják a kommunikációban ezt az extrém hangmagasságot, ahogy a rádiósok egy-egy privát csatornát, így a többi madár nem hallja őket, nekik pedig nem kell azok énekét túlkiabálniuk.

Egyetlen olyan kolibrifajt ismert eddig a tudomány, amelynél detektáltak kb. 20 kHz-es ultrahangot a dala felharmonikusaiban, de az a madár bizonyosan nem képes az ének ezen összetevőit hallani, így nem zárható ki, hogy a jakobinuskolibrival is ez a helyzet. Ha így van, az persze további érdekes kérdéseket vet fel arról, hogy mi okból alakult ki náluk az igen magas frekvenciák dominálta ének.

(*Current Biology*, 2018. március 5.)

40 GRAMMOS „ÓRIÁSDENEVÉR” ÚJ-ZÉLANDON

Az úgynevezett beásódó denevérek napjainkban csak Új-Zélandon élnek, de egykor Ausztráliában is előfordultak. Ez a csoport azért számít különlegesnek, mert nem csak repülni tudnak, hanem négy lábán is képesek mozogni, az erdő talaján, az elszáradt levelek alatt, vagy éppen a fák törzsén, miközben növényi és állati táplálékot keresnek.

A közelmúltban egy ilyen beásódó, viszonylag nagyméretű denevér fosszilizálódott maradványait fedezte fel egy nemzetközi kutatócsoport Új-Zélandon. Az ausztrál, új-zélandi, brit és amerikai paleontológusok a Déli-szigeten, St Bathans városa mellett fedezték fel a maradványokat a körülbelül 16-19 millió éves (miocén) üledékes kőzetekben. A ma élő átlagos denevéreknél háromszor nagyobb állatnak a csontjai és a fogai kerültek elő. Így sem kell persze hatalmas állatra gondolni, hiszen a becsült tömege mindössze 40 gramm, de a most talált fosszília ezzel is az eddig ismert legnagyobb új-zélandi denevérnek számít. Az új lelet azért is említésre méltó, mert több mint 150 éve ez az első új denevér nemzetség, amit a kutatók hozzáadhattak Új-Zéland faunájához. Az új nemzetség új faja a *Vulcanops jennyworthyae* nevet kapta. A fajnév a kutatócsoport egyik tagja, Jenny Worthy előtt tiszteleg, aki az ősmaradványt felfedezte. A nemzetségnév pedig Vulkánra, a tűz és a vulkánok mitikus római istenére utal, mivel Új-Zéland geológiai felépítésében jelentős szerepet játszottak a vulkánkitörések.

A beásódó denevérek közelebbi rokonságban vannak a Dél-Amerikában élő fajokkal, mint a DNy-Pacifikum többi denevérével. Kapcsolatban vannak többek között a vérszopó denevérekkel, a hártýasorrú denevérekkel, a halászó és békaevő denevérekkel, és a nektárevő denevérekkel, és egy olyan főcsaládba tartoznak, amelynek tagjai egykor elterjedtek voltak a déli földrészeken: Ausztráliában, Új-Zélandon, Dél-Amerikában, és valószínűleg az Antarktison is. Körülbelül 50 millió évvel ezelőtt ezek a területek még kapcsolatban voltak egymással, a hatalmas déli szuperkontinens, a Gondwana távolodó részeiként. A globális hőmérséklet akkoriban akár 12 fokkal is magasabb lehetett, mint napjainkban, és ennek megfelelően az Antarktisz sem fagyos terület, hanem erdő borította vidék volt. Gondwana későbbi feldarabolódása, a lehülő éghajlat és az antarktisi jégtakaró növekedése miatt azonban az ausztrálzásiai beásódó denevérek elszigetelődtek a dél-amerikai rokonoktól.

Az új-zélandi beásódó denevérek a rendkívül változatos érendjükéről is híresek. Nagy mennyiségben fogyasztanak pókokat és a szöcskékhez hasonló jellegzetes új-zélandi

rovarokat. Az állatokat repülés közben, vagy a talajon kapják el, de ezek mellett rendszeresen fogyasztanak gyümölcsöket, virágokat és nektárt is. A *Vulcanops* nagy mérete, és specializált fogazata azonban arra utal, hogy ennek eltérő táplálkozása lehetett, több növény és ugyanakkor akár kisebb gerincesek is felkerülhettek az étlapjára. Ez nem jellemző a ma élő ausztrálzásiai denevérekre, hanem inkább a dél-amerikai rokonokra emlékeztet.

Ez a különleges denevér fosszília és a St Bathans fauna számos egyéb tagja is azt mutatja, hogy Új-Zéland miocén kori légtére a madarak mellett meglepő változatosságban tartalmazott szőrös állatokat is. Ezek a denevérek a szárazföldi teknősökkel és a krokodilokkal együtt azt mutatják, hogy fontos állatcsoportok tűntek el Új-Zélandról. Ennek az elveszett faunának



az ikonikus túlélői (például a hidasgyíkok, a moák, a kiwi, az álcuszkafélék, és az ősbékafélék) egy sokkal összetettebb közösségben fejlődtek ki, mint azt eddig feltételezték. Ez a változatos fauna az 5600 km² területű Manuherikia-tóban és környékén élt, ami a Déli-sziget jelentős részét borította egykor. A kora-miocénben a hőmérséklet a mainál melegebb volt Új-Zélandon, és szubtrópusi – meleg mérsékelt erdők és páfrányok szegélyezték a hatalmas tavat.

A *Vulcanops* evolúciós vonala a kora-miocén után kihalt, a St Bathans fauna számos más csoportjához hasonlóan. Ilyenek voltak többek között a krokodilok, a szárazföldi teknősök, flamingó-szerű madarak, fecskéfélék, számos galamb, papagáj, parti madár és a nem repülő emlősök. Ezek többsége valószínűleg a meleg éghajlatához alkalmazkodott faj volt. A középső-miocén után a globális éghajlatváltozás miatt hidegebb és szárazabb lett Új-Zélandon, emiatt jelentősen változott a vegetáció és a környezet. Ezek a változások csökkenést eredményeztek az új-zélandi denevérek diverzitásában. A szigeten meglepő módon csak két denevérfaj tartozik az eredeti őslakos szárazföldi emlős faunához. Az összes többi modern szárazföldi emlőst az emberek hurcolták be az elmúlt 800 évben.

(*Scientific Reports*, 2018. január 10.)

XXVII. TERMÉSZET–TUDOMÁNY DIÁKPÁLYÁZAT

Nárciszokkal az Alzheimer-kór ellen

1. Bevezetés

1.1. Az evolúció elmélete

Dolgozatunk alapjául az evolúció elmélete szolgált. Az evolúció elméletét *A fajok eredete* című művében Charles Darwin dolgozta ki. Az evolúciós elmélet szerint egy fajba azok az egyedek tartoznak, amelyek evolúciós története megegyezik. Darwin egyik alaptézise kimondja, hogy az egyedek különböznek egymástól, az előnyös tulajdonságokkal rendelkező egyedek életben maradnak (ez a természetes szelekció), és ezeket a tulajdonságokat továbbörökítik. A jó tulajdonságú egyedek száma tehát az idő során megnő. Ezek a változások akár új fajokká különülhetnek el [1]. Ez alapján arra következtettünk, hogy a közeli rokonságban lévő egyedek nagy valószínűséggel tartalmazzák ugyanazokat az anyagokat.

1.2. A nárciszok orvostudományban betöltött szerepe

A Nárcisz (*Narcissus*) az Amarilliszfélék (*Amaryllidaceae*) családjának az Amarilliszformák (*Amaryllidoideae*) alcsaládjába tartozó növényfaj. A nárciszok hagymájukban tartalmazzák az Alzheimer-kór kezelésére szükséges galantamint.

Az Alzheimer-kór a szellemi képességek súlyos romlását eredményezi, olyan mértékben, amely már a mindennapi életvitelt is lehetetlenné teszi. A betegség kialakulásában nagy szerepet játszik a csökkentett acetilkolin szint az agyban. Az acetilkolin egy kémiai mediátor, amely információt közvetít egyik neuronról a másikra, így ha ennek a szintje nem megfelelő az agyban, akkor az információ nem áramlik megfelelően. Az acetilkolin szint csökkenéséért a szinapszisban az acetilkolint lebontó acetilkolin-észteráz befolyásolja.

A nárciszok hagymájukban tartalmazott galantamin viszont képes növelni az acetilkolin szintet, azáltal, hogy megakadályozza a lebontást végző enzim, az acetilkolin-észteráz.

A nárciszok tartalmaznak olyan anyagokat is, amelyek képesek átjutni a vér-agy gáton. A vér-agy gát egy szorosan kapcsolódó sejtekből álló hálózat, amely megakadályozza egyes anyagok agyba jutását, s ezzel megakadályozza egyes gyógyszerek bejutását is. Ezáltal a nárciszokban lévő anyagok bejutnak az agyba, ahol kifejthetik hatásukat, a galantamin megakadályozza az acetilkolin-észteráz, ezáltal nő az acetilkolin mennyisége és a betegség tünetei is javulnak.

A gyógyszerkészítésre a *Narcissus tazetta* használják [3] [4].

2. Célkitűzéseink

A nárciszban lévő anyagok hasznossága vitathatatlan, azonban ezen növények termesztése nehézségekbe ütközik. A *Narcissus* fajok közül az orvostudományban csak igen csekély mennyiséget használnak. Dolgozatunkkal azt szeretnénk elérni, hogy az orvostudomány felfigyeljen olyan, eddig még nem használt fajokra, amelyek hasznosak lehetnek új gyógyszerek kifejlesztésében, vagy akár már meglévő gyógyszerek alapanyagaként is szolgálhatnak [4].

3. Anyag és módszer

3.1. Kísérletünk menete

Az evolúció elméletét felhasználva elkészítettük a nárcisz fajok evolúciós törzsfáját, ezzel meghatározva a *Narcissus tazetta* legközelebbi rokonát.

A filogenetikai fa az időben bekövetkező változás egy modellje, a történetet szemléltető fa egy ága egy leszármazási sornak felel meg, egy csomópont pedig a fajok elkülönülésére, divergenciájára utal [5].

A fa felépítéséhez a nárciszfajok fehérje szekvenciáit hasonlítottuk össze. A fehérjék aminosavakból épülnek fel. Húszt különböző aminosav létezik, ezek jelölése, a fehérjeszekvencián belül Fasta formátumban egy-egy betűvel történik. Ezen aminosavak sorrendje határozza meg egy fehérje szerkezetét, ezért már egy eltérés is egy másik fehérjét kódolhat.

3.2. Módszerek

Kísérletünket két módszerrel végeztük el:

1. Szekvenciaillesztés bioinformatikai feldolgozás használata nélkül (a bioinformatikai adatbázisokból kinyert aminosav szekvenciákat mi magunk, manuálisan hasonlítjuk össze).
2. Szekvenciaillesztés bioinformatikai feldolgozással (kísérletünket számítógépes programok segítségével végezzük).

```

1a. INRNLLSTM NNVVFFSKD IYRIDNVRN RVRYFSTYFR NKYTCTYPHE SDNTMLFPLL
VLGLFTLFIG AIGHFDRGV IDFDLLSKWJ TPYADFFHPN
2a. VNRNLLSTM NNRVFFSKD IYRIDNVRN GVRDFSTYFR NKYTTHPHE SDNTMLFPLL
VLVLFPFIG AIGHFDLGV IDFDLLSKWL TPSADFFHPN
3a. VNRNLLSTM NNVVFFSKD IYRIDNVRN GVRYFSTYFR NKYTCTYPHE SDNTMLFPLL
VLVLFTLFIG AIGHFDRGV IDFDLLSKWL TPSADFFHPN
4a. VNRNLLSTM NNRVFFSKD IYRIDNVRN GVRYPSTYFR NKYTTHPHE SDNTMLFPLL
VLVLFTLFIG AIGHFDRGV IDFDLLSKWL TPPADFFHPN

1b. SKDSSDWYEF LKNVVFVSI ALFGLFVASI LYGSVYSSLQ NLGLVNSFVK KSPKRILLDQ VK
2b. AKDSSDWCEF LKNVVFVSI ALFGLFVASI LYGSVYSSLQ NLGLVNSFVK KSPKRILLDQ AQ
3b. SKDSSDWYEF LKNVVFVSI ALFGLFVASI FYGSVYSSLQ NLGLVNSFVK KSPKRILLDQ VK
4b. AKDSSDWCEF LKNVVFVSI ALFGLFVASI LYGSVYSSLQ NLGLVNSFVK KNPKRILLDQ VQ
    
```

1. ábra

1a. INRNLLSTM NNVVFFSKD IYRIDNVRN RVRYFSTYFR NKYTCTYPHE SDNTMLFPLL VLGLFTLFIG AIGHFDRGV IDFDLLSKWI TPYADFFHPN
 2a. VNRNLLSTM NNVVFFSKD IYRIDNVRN GVRDFSTYFR NKYTTHPHE SDNTMLFPLL VLVLFPFIG AIGHFDLGV IDFDLLSKWL TPSADFFHPN
 3a. VNRNLLSTM NNVVFFSKD IYRIDNVRN GVRYFSTYFR NKYTCTYPHE SDNTMLFPLL VLVLFTLFIG AIGHFDRGV IDFDLLSKWL TPSADFFHPN
 4a. VNRNLLSTM NNRVFFSKD IYRIDNVRN GVRYPSTYFR NKYTTHPHE SDNTMLFPLL VLVLFTLFIG AIGHFDRGV IDFDLLSKWL TPPADFFHPN

1b. SKDSSDWYEF LKNVVFVSI ALFGLFVASI LYGSVYSSLQ NLGLVNSFVK KSPKRILLDQ VK
 2b. AKDSSDWCEF LKNVVFVSI ALFGLFVASI LYGSVYSSLQ NLGLVNSFVK KSPKRILLDQ AQ
 3b. SKDSSDWYEF LKNVVFVSI ALFGLFVASI FYGSVYSSLQ NLGLVNSFVK KSPKRILLDQ VK
 4b. AKDSSDWCEF LKNVVFVSI ALFGLFVASI LYGSVYSSLQ NLGLVNSFVK KNPKRILLDQ VQ

1. *Galanthus nivalis* (Hóvirág)
2. *Narcissus cernuus*
3. *Narcissus tazetta*
4. *Narcissus asturiensis*

2. ábra

4. Kísérlet

Tizenhárom növényfajt választottunk ki: tizenkettőt a nárcisz nemzetségből, és a *Galanthus nivalis*-t a *Galanthus* nemzetségből.

A fajok a következők: *Galanthus nivalis*, *N. asturiensis*, *N. atlanticus*, *N. calciola*, *N. cernuus*, *N. jacetanus*, *N. longispathus*, *N. nevadensis*, *N. pseudonarcissus*, *N. scaberulus*, *N. serotinus*, *N. tazetta* és *N. triandrus*.

A *Galanthus nivalis*-t, vagyis a hóvirágot viszonyítási pontként választottuk, mivel ez a nárcisz fajok legközelebbi rokona, amely hasonló tulajdonságokkal rendelkezik.

4.1. Első módszer

A nárciszok NADH F alegységének FASTA formátumaival dolgoztunk. Ezeket bioinformatikai adatbázisokból nyertük ki.

A fajok szekvenciáit egymás alá helyeztük, majd színeket, vagyis színekódot használtunk, az észrevételeink jelölésére. Ezen művelet jelölésére négy fajt választottunk ki az átláthatóság kedvéért: *N. cernuus*, *N. tazetta*, *N. asturiensis*, *Galanthus nivalis* (1. ábra).

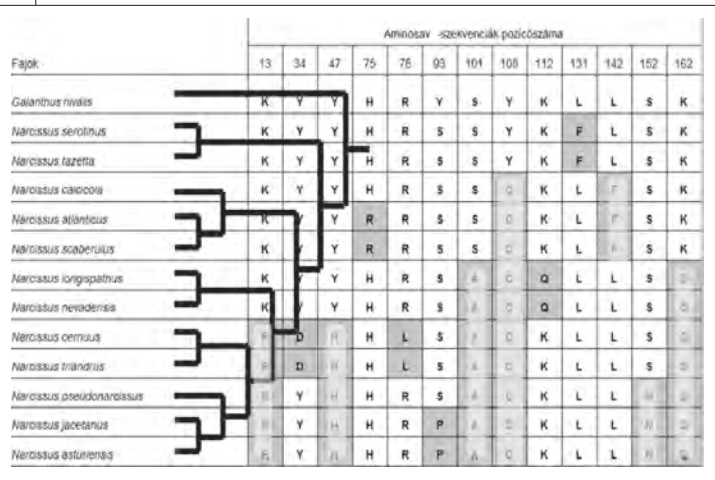
Zöld színnel jelöltük a teljesen azonos részeket, vagyis ahol az aminosavak megegyeznek. A narancssárga szín mutatja az egyszeri eltérést, de itt a hóvirágot nem vettük figyelembe. Majd sárgával jelöltük azokat az egyszeri eltéréseket, ahol a hóvirágot is számításba vettük. Végül pedig kék színnel szemléltettük a kétszeri eltérést (2. ábra).

Fajok	Aminosav -szekvenciák pozíciószáma												
	13	34	47	75	78	93	101	108	112	131	142	152	162
<i>Galanthus Nivalis</i>	K	Y	Y	H	R	Y	S	Y	K	L	L	S	K
<i>Narcissus asturiensis</i>	R	Y	H	H	R	P	A	C	K	L	L	N	Q
<i>Narcissus atlanticus</i>	K	Y	Y	R	R	S	S	C	K	L	F	S	K
<i>Narcissus calciola</i>	K	Y	Y	H	R	S	S	C	K	L	F	S	K
<i>Narcissus cernuus</i>	R	D	H	H	L	S	A	C	K	L	L	S	Q
<i>Narcissus jacetanus</i>	R	Y	H	H	R	P	A	C	K	L	L	N	Q
<i>Narcissus longispathus</i>	K	Y	Y	H	R	S	A	C	Q	L	L	S	Q
<i>Narcissus nevadensis</i>	K	Y	Y	H	R	S	A	C	Q	L	L	S	Q
<i>Narcissus pseudonarcissus</i>	R	Y	H	H	R	S	A	C	K	L	L	N	Q
<i>Narcissus scaberulus</i>	K	Y	Y	R	R	S	S	C	K	L	F	S	K
<i>Narcissus serotinus</i>	K	Y	Y	H	R	S	S	Y	K	F	L	S	K
<i>Narcissus tazetta</i>	K	Y	Y	H	R	S	S	Y	K	F	L	S	K
<i>Narcissus triandrus</i>	R	D	H	H	L	S	A	C	K	L	L	S	Q

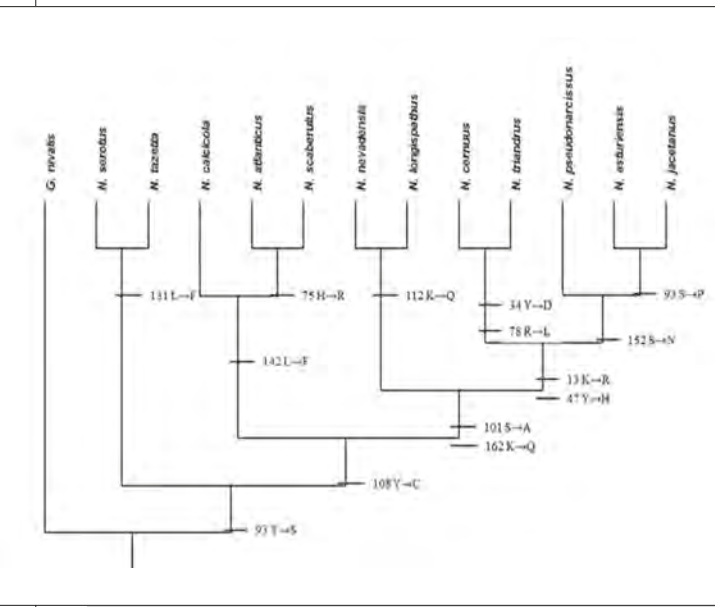
3. ábra

Fajok	Amino sav -szekvenciák pozíciószáma												
	13	34	47	75	78	93	101	108	112	131	142	152	162
<i>Galanthus Nivalis</i>	K	Y	Y	H	R	Y	S	Y	K	L	L	S	K
<i>Narcissus serotinus</i>	K	Y	Y	H	R	S	S	Y	K	F	L	S	K
<i>Narcissus tazetta</i>	K	Y	Y	H	R	S	S	Y	K	F	L	S	K
<i>Narcissus calciola</i>	K	Y	Y	H	R	S	S	C	K	L	F	S	K
<i>Narcissus atlanticus</i>	K	Y	Y	R	R	S	S	C	K	L	F	S	K
<i>Narcissus scaberulus</i>	K	Y	Y	R	R	S	S	C	K	L	F	S	K
<i>Narcissus longispathus</i>	K	Y	Y	H	R	S	A	C	Q	L	L	S	Q
<i>Narcissus nevadensis</i>	K	Y	Y	H	R	S	A	C	Q	L	L	S	Q
<i>Narcissus cernuus</i>	R	D	H	H	L	S	A	C	K	L	L	S	Q
<i>Narcissus triandrus</i>	R	D	H	H	L	S	A	C	K	L	L	S	Q
<i>Narcissus pseudonarcissus</i>	R	Y	H	H	R	S	A	C	K	L	L	N	Q
<i>Narcissus jacetanus</i>	R	Y	H	H	R	P	A	C	K	L	L	N	Q
<i>Narcissus asturiensis</i>	R	Y	H	H	R	P	A	C	K	L	L	N	Q

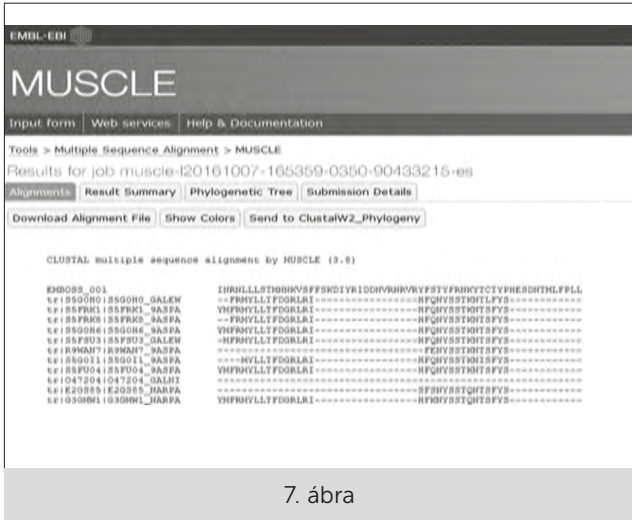
4. ábra



5. ábra



6. ábra

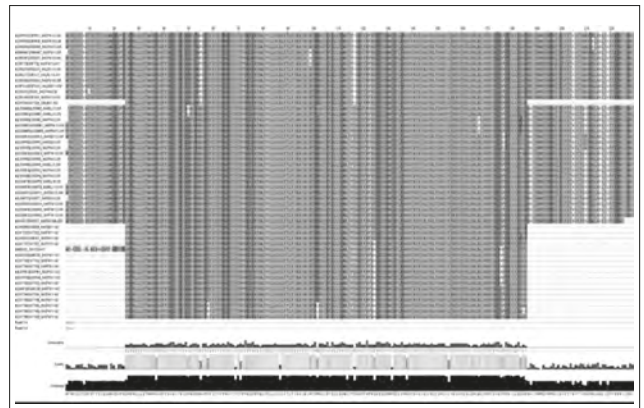


7. ábra

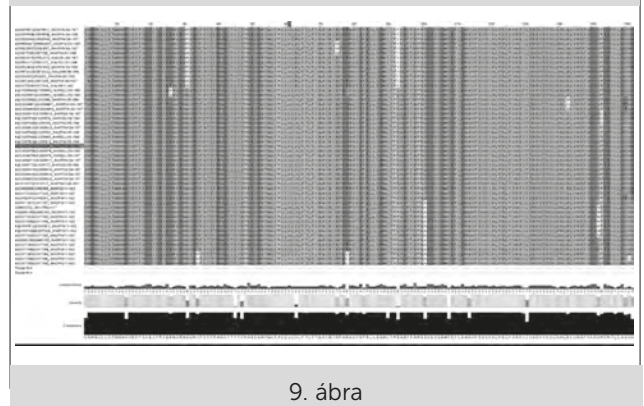
Összesítve, mind a 13 fajnál tapasztalt változásokat táblázatba gyűjtöttük, jelölve az adott aminosavak pozícióját (3. ábra). Ebben a táblázatban zöld színnel jelöltük a fa elkészítésében fontos információkat, a hasonlóságokat vagy éppen a különbségeket, amelyek a fajok elkülönülésére utalnak (4. ábra).

A következő ábránkon azt szemléltettük, hogy ezen információk alapján hogyan alkottuk meg az evolúciós törzsfát (5. ábra).

A következő bűnk az elkészült fát tartalmazza, amelyen jelöltük, hogy milyen helyzetekben milyen aminosav változások eredményezték a fajok elkülönülését (6. ábra). A fáról már könnyedén leolvastuk az általunk keresett fajt, a *N. tazetta* legközelebbi rokonát, amely a *N. serotinus*. Ez a két faj a 131. pozícióban történt változás alapján különült el egymástól, ahol leucin változott fenil-alaninre. A biztos siker érdekében eredményünket leellenőriztük bioinformatikai feldolgozással történő szekvenciaillesztéssel is.



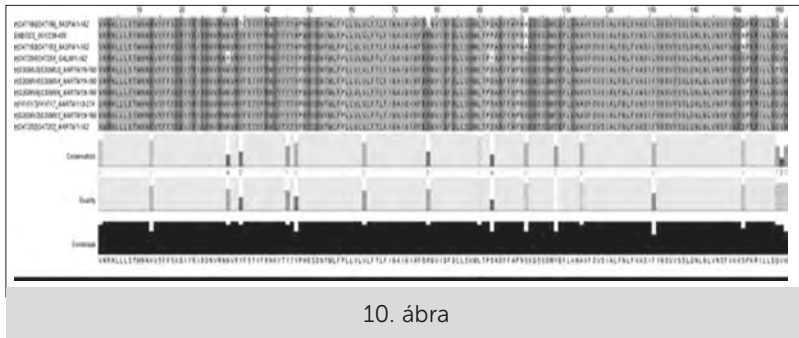
8. ábra



9. ábra

4.2. Második módszer:

Az EMBL-EBI (Európai Bioinformatikai Intézet) oldalán dolgoztunk. A fehérje sorrendeket az NCBI BLAST+ programjával azonosítottuk. A program ez alapján kiadta az összes létező nárcisz faj szekvenciáit is. Ezeket a MUSCLE (Multiple Sequence Alig-



10. ábra

nment) program hasonlította össze. A program vonalakkal jelölte a nem teljesen azonos szakaszokat (7. ábra).

A páronkénti szekvencia-illesztés a molekuláris biológia egyik leggyakrabban használt algoritmus. A feladat az, hogy két, hasonló kódsort a lehető legpontosabban megfeleltessünk egymásnak - ha szükséges, akár rések (deléciók) és beillesztések (inszerciók) segítségével. A többszörös illesztés problémája szerencsére visszavezethető a páronkénti illesztésekre. A legtöbb modern illesztőprogram előbb végrehajtja az összes lehetséges páronkénti

13 fajra, amelyekből az előző fánk is készült (10. ábra). Ezek alapján a program felállította a filogenetikai fát (11. ábra). Eredményül ugyanazt kaptuk, mint az előző módszerrel, hogy a *N. tazetta* legközelebbi rokona a *N. serotinus*.

5. Következtetések

Miután mindkét módszerrel elvégeztük a kísérletet egyértelművé vált, hogy a *N. tazetta* legközelebbi rokona a *N. serotinus*. Mivel az *N. tazetta*-ból, galantamin tartalma miatt, már készítenek Alzheimer-kór, súlyos izomgyengeség és más idegi alapú betegségek kezelésére való gyógyszereket, ezért az *N. serotinus* is alkalmas lehet erre a célra, a már meglévő gyógyszerek alapanyagaként, vagy akár új gyógyszerek kifejlesztésére is használható.

Mivel két módszerrel dolgoztunk, azt a következtést is levonhatjuk, hogy, habár az első módszerünk is helyesnek bizonyult, a modern technológia vívmányainak felhasználásával rengeteg időt és energiát spórolhatunk meg a biztos siker mellett.

(Megjegyzés: az adatbázis és az általunk használt program a *N. serotinus*-t még a faj régi nevén, a *N. serotus*-ként említi, de a legújabb feljegyzések ismeretében mi már a faj új megnevezését használjuk dolgozatunkban)

CSORVÁSI TIMEA – NAGY-LANG EVELIN

IRODALOM

- [1] Dr. Bakonyi Gábor, dr. Juhász Lajos, dr. Kiss István, dr. Palotás Gábor, 2011, Digitális tankönyvtár: Állattan (http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/2011_0001_521_Allattan/ch21s02.html)
- [2] Antus Sándor, Mátyus Péter, 2011, Digitális tankönyvtár: Szerves kémia III (http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/2011_0001_519_42574_3/ch01s08.html)
- [3] Adam M. Takos and Fred Rook: NCB:PMC (US National Library of Medicine National Institutes of Health) Towards a Molecular Understanding of the Biosynthesis of Amaryllidaceae Alkaloids in Support of Their Expanding Medical Use (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3709753/>)
- [4] Dr. Kiss Gabriella: Fitoterápia kalauz - gyógynövény leírások és alternatív gyógymódok: Hogyan merít az orvostudomány a virágok erejéből (<http://fitoterapiakalauz.hu/hogyan-merit-az-orvostudomany-a-viragok-erejebol/>)
- [5] Péntes Zsolt, 2012, Digitális tankönyvtár: Makroevolúció: módszerek és mintázatok (http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop412A/2011_0025_bio_2/ch08s02.html)

11. ábra

illesztést, majd a két legjobban illeszkedő szekvenciát kiválasztva, konszenzust képez. Ezek után hierarchikusan haladva építi fel a végleges illesztést. A módszer lényegéből fakadóan automatikusan generált „törzsfát” is kapunk, amely az egyes szekvenciák „rokonsági” (hasonlósági) viszonyait mutatja [5].

Ezután az eredményünket átvittük a Jalview programba, amely többszörös szekvenciaillesztés megjelenítésére és elemzésére képes, valamint filogenetika fák elkészítésére is alkalmas. A program ugyanúgy szinkódokat használ az aminosavak jelölésére, ahogyan azt mi is tettük (8. ábra). Majd kivágtuk a nem teljesen azonos részeket, mivel a fa elkészítésében csak a különbségek játszanak szerepet (9. ábra). A táblázatot leszűkítettük az általunk vizsgált

Néha a vas értékesebb az aranyból

- In memoriam szintjelzők -

*„Aki nem ismeri a múltját,
nem igazodik el a jelenben,
és nem tudja a jövőjét sem építeni.”*
J. J. Stalter

*„Becsüld meg, amid van,
és ne hagyd kicsúszni a kezedből!
Sosem tudhatod,
mikor ragadja el tőled a sors.”*
Jennifer Ashley

Iskolám a szamosparti kincses város, Kolozsvár központjában található. Mitől kincses? – tettem fel a kérdést, mígnem tavaly év végén egy szomorú esemény során megvilágosodtam. Történt ugyanis 2016. december 19-én, hogy az iskolaépületből kilépve – mint mindig – hazautam a főtéren vezetett át, ahol meglepődve vettem észre, hogy a nyáron gondosan átfestett tengerszint fölötti magasságot jelző oszlopnak csak a hűlt helye maradt a járda szélén (1. ábra). Hatalmas lyuk tátongott, űrt hagyva a járda szintje alatt és néhány ember szívében. „*S a sírt, hol nemzet süllyed el*” (Vörösmarty Mihály: Szózat), nem vették körül népek, s az emberek millióinak a szemében sem űlt gyászköny. Egyedül álltam ott az ürességbe merengve. Földbe gyökerezett a lábam. Akkor tudatosult bennem, hogy azok az „ócskavasak” kincsek, hiszen ami pótolhatatlan, az kincs. Kincses városunk pedig ismét elveszített egy gyöngyszemet, s azóta sincs semmi hír róla.

A tengerszint fölötti magasságot jelző oszlopokról édesanyám mesélt, miközben a néhai főtéri oszlop mellett haladtunk el. Akkor tudtam meg, hogy a jelzés az oszlop oldalán az adott hely és az Adriai tenger szintje közötti magasságot jelölte milliméteres pontossággal. A tátongó lyuk megérintett, én pedig tudtam, hogy most lépni kéne. Így kezdtem el, édesanyám segítségével, feltérképezni a még meglévő testvéreit a vasasztalnak a városban, s közben tájékozódni, információt gyűjteni arról, hogy mikor is készültek ezek a jelzőoszlopok, milyen céllal, hol található még a nagyvilágban s mennyire népszerűek a világhálón?

Rongálás, lopás történt, de a rendőrség nem foglalkozott az ügygel, pedig hihetetlen, hogy Erdély szívében, egy egyetemi város központjában senki sem figyel fel egy hatalmas robajra, és a tettesek (nem lehetett egyedül) háborítatlanul el tudják cipelni a helyszínről a „túlsúlyos sérültet”. Felkerestük a *Szabadság* napilap szerkesztőségét, jelentettük az esetet, pár nappal később közöltek is egy cikket róla, de

látszólag ennél több nem történt. Közben még egyszer szemügyre vettük a vasoszlopból maradt csontot. A megmaradt rész felső felületén szemcsés törésfelület látható, mely arra utal, hogy a vasoszlop anyaga öntöttvas, mely ütés következtében tört ketté a föld felszínének a közelében. Figyelembe véve, hogy ekkora oszlopot csak hatalmas erővel lehet kettétörni, az oszlop viszont nagyon közel volt a járda széléhez és a főtér délnyugati járdája enyhén belelóg a kereszteződésbe, valószínűnek tűnik, hogy a Jókai (jelenleg Napoca) utca felől jövő robusztusabb kocsi mehetett neki nagy sebességgel az oszlopnak, kitörvén azt, majd az éj leple alatt meglógott oszlopostól. Összehasonlítva a kereszteződés jelenlegi fényképét a járdafelújítás előtti



1. ábra. A járda szélén levő oszlopmaradvány.
A kép a *Szabadság* napilapban jelent meg
2016. december 29-én

fényképpel, kiderül, hogy a járda felújítását tervezők is felelősek részben a történetekért, mert védtelenül hagyták a vasasztalt azáltal, hogy a villanyoszlopot, mely régen a vasoszlop előtt volt, áthelyezték a vasoszlop mögé. Teltek-múltak a napok, semmi fejlemény, majd a napilap még két cikket közölt, amiben

kéri a kolozsvári lakosokat, hogy térképezzék fel a város még meglévő iparművészeti emlékeit. Szinte négy hónappal a tragikus esemény után az egyik temesvári helyi román napilap is érdekes cikket közölt, keserű hangnemben ecsetelve, hogy Temesvár régi épületeinek falain még fellelhetőek a monarchiabeli szintjelző tárcsák, de számuk nap mint nap apad, elsősorban az épületfelújítások eredményeképpen. Reményeink szerint a lavina elindult, és az erdélyiek egy részében tudatosítottuk legalább, hogy milyen értékek veszik őket körül, s több szem többet lát alapon, hiszem, hogy ma már kevesebb eséllyel ismétlődhetne meg a decemberi történet.

A tengerszint fölötti magasságmérés kezdetei az Osztrák-Magyar Monarchiában

Dr. Busics György 2010-ben megjelent geodéziai könyvének második fejezetében olvastam, hogy a XIX. században Európa-szerte megkezdték a térképkészítést, a holland fizikus, Snellius által kidolgozott háromszögelési módszer segítségével. Az Osztrák-Magyar Monarchia területén a munkálatokat 1859-ben kezdték el, nyolc főalappontot állítottak fel a monarchia területén, ebből a trieszti (ma Olaszország) a Molo Sartorio mólón található, az Adriai-tenger partján. A választás azért esett erre a mólóra, mert természetes



2. ábra. Az Osztrák-Magyar Monarchia szintezési főalappontjai. (Forrás: commons.wikipedia.org)

képződmény, a szikla belenyúlik a tengerbe, így időtállóbb és stabilabb, mint más mólók. Itt működött az a mareográf, mely az Adriai-tenger középtengerszintjét határozta meg 1875-ben. Ehhez a szinthez képest határozták meg a többi hét főalappontnak a tengerszint fölötti magasságát, hegységek felületi szikláján kicsiszolt felületre, obeliszkkel védve állították fel őket, mert a sziklák viszonylag stabilak a földmozgásokkal szemben. Mint az a térképen is látható (2. ábra) (pirossal van jelölve a trieszti mareográf helye, kékkel a főalappontok), a hajdani

monarchia területén levő hét főalappont jelenleg hét különböző ország területén fekszenek. Lehet, hogy testvériesen megosztottak volna rajtuk?

Magyarország jelenlegi területén egy főalappont található, a nadapi, melyet őspontnak neveznek (3. ábra).

A hét főalappont felállítása után következtek az első-, majd a többrendű hálózatok. Minél nagyobb rendű hálózatról van szó, annál több alappontot állítottak fel, s értelemszerűen annál közelebb kerültek az alappontok egymáshoz.

Alappont-állandósítás

Dr. Busics György szerint a helységekben átlagban 2-3 alappontot határoztak meg, szerintem nagy városokban ezek száma jóval több lehetett, a Kolozsváron fennmaradt jelzések sorszámból ítélve.

Az alappontok állandósítására különböző módokat használtak, olvasható a fenn említett forrásmunkában. A régi pontjelek között megemlíti az



3. ábra. Nadapi őspont, a föltötte levő szikláról fényképezve. (Fotó: Busics György)

egyszerű vasoszlopot, a rudas vasoszlopot, az épületek falaira elhelyezett szintezési tárcsát és a furatos falitáblát.

Geodézikus emlékek Erdélyben

Erdély viszontagságos történelmét tekintve nem csoda, hogy kevés ipartörténeti emlék maradt fenn a XIX. századból.

Erdélyi magyarként először az Erdélyben levő főalappontot szerettem volna azonosítani. Dr. Busics György



4. ábra. A legnagyobb sorszámú kolozsvári vasasztal.
(Fotó: Márkó László, 2014)

szerint ez a Vöröstoronyi-szoros (mai nevén Pasul Turnu Roşu) valamelyik szikláján található. Kutatásaim itt megtorpantak, úgy tűnik, hogy míg Magyarországon a nadapi ősjegy felújítására áldoztak és alapul használták fel a későbbi felmérések során, addig az erdélyi főalappont Trianon utáni tulajdonosának a szemében volt egy főbűne, az, hogy az Osztrák-Magyar Monarchia idején épült. Valószínűleg magyar múltja akadályozta meg a román katonai szakembereket abban, hogy felhasználják a vöröstoronyi főalappont nyújtotta információkat. Ehelyett, ahogyan az Maria Cristina Anastasiu dolgozatában olvasható, 1958-tól kezdődően a Fekete-tenger szintjét véve alapul kezdték kialakítani az elsőrendű szintezési hálózatot Romániában. A vöröstoronyi főalapponttól pedig nem esik szó egyetlen romániai geodéziai írásban sem, így csak reménykedni lehet, hogy talán még megvan, s valaki egyszer még időben megtalálja, s megmentik az utókornak.

Ami az alappontokat illeti, szerencsésebb a helyzet, hiszen többségük helységekben volt felállítva, így több embernek volt esélye észrevenni őket, tehát kisebb erőfeszítéssel lehet rájuk bukkanni.

Eddig három városban és egy községben sikerült szintjelzőket azonosítani. Temesváron egy frissen felújított épület falán megmaradt egy szintjelző tárcsa, „Temesvár, SZ. K. Város” felirattal, ami arra utal, hogy a

jelzést biztosan 1781 után (amikor Temesvár elnyerte szabad királyi város státusát, s mint Királyföld része, megtartotta ezt a státust az 1876-os törvény életbe lépése után is) és 1919 (Temesvár Romániához csatolásának dátuma) előtt állították fel.

Míg Temesváron egyetlen szintjelző tárcsáról van tudomásunk, csakúgy, mint Kisbács községben, ahol a vasúti sorompó állványán található egy magasságjegy furatos fémtáblán, addig Marosvásárhelyen két egyszerű vasoszlopról, Kolozsváron pedig többről, sőt több fajta alappont-állandósításra használt jelről is van tudomásunk (4. ábra). Épületfalon találtuk legfrissebb felfedezéseinket, hat falba rögzített vastáblát, arab számozású sorszámmal, közülük egyiken „Kolozsvár – sz.kir.város” felirat látható (5. ábra). Ördög Béla cikke megemlíti ezek közül négyet, kettő viszont nem szerepel a jegyzékében, pedig főleg a Benigni (Élián) palotán felfedezett tábla nagy jelentőséggel bír, hiszen tudjuk, hogy a palota 1891-1892-ben épült, tehát aránylag pontosan meg tudjuk határozni



5. ábra. Vastábla polgári ház falán.

ezeknek a vastábláknak a korát. Az Élián-palotán levő biztosan 1891 és 1919 között került az épületre. Az a tény viszont, hogy falra erősített szinte azonos küllemű vastáblák szinte egymást követő sorszámmal (35. és 37.) egymástól alig egy kilométerre, ugyanannak az útnak a mentén, abban különböznek egymástól, hogy egyiken van szabad királyi város felirat, másikon meg nincs, felvetik a kérdést, hogy vajon mennyi idő telhetett el a két tábla felállítása között? A kolozsvári vastáblák formailag eltérnek a kisbácsi fémtáblától, valószínűleg azért, mert ugyan már meglévő függőleges felületet használtak fel mindkét esetben az alappont-állandósításra, de míg a kisbácsi egy fémállványra, addig a kolozsváriak épületekre voltak rögzítve. Az elmúlt egy évben Kolozsvár polgármesteri hivatala drasztikus intézkedésekkel ugyan, de kényszeríti a lakosságot, hogy felújítsák a házak utcafrontját. Ez első benyomásra öröndetesnek tűnik, de sajnos ez



6. ábra. Szegedi vasasztal. (Fotó: Rózsa Péter)

együtt fog járni további alappont-állandósítások eltűnésével, hiszen egyrészt tudatlanságból (sokan nem ismerik az értékét), másrészt esetleg kényelemből, hogy ne kelljen kerülgetni a kiálló vastáblát, a népszerű haszivatcs-szigetelési munkák során több ilyen vastábla kerül veszélybe, éppen ezért a polgármesteri hivatal műemlékvédő tanácsa kellene lépjen ez ügyben. Itt kell megemlítenünk egy második alappont-állandósítást, mely nagy valószínűséggel eltűnt, vagy jobbik esetben elbújtatták a haszivatcs-szigetelés mögé. Ördög Béla júliusi cikkében még szerepelt a listán („Mócok útja/Moșilor 62., falban (XXI 344.121)”), mára sajnos már nem látható, így alig tíz hónap leforgása alatt immár két szintjelző eltűnéséről tudunk, csak Kolozsváron, s fáj belegondolni, hogy akkor Erdély-szerzte hány eshetett áldozatul az emberi tudatlanságnak, butaságnak, közönyösségnek vagy rosszindulatnak.

A vastáblákon kívül egyszerű vasasztalok is találhatóak, tetejükön a négy égtáj bejelölésével. Jelen pillanatban hat ilyen vasasztal található Kolozsvár területén a frissen kidöntöttön kívül. Mindegyik vasasztal lábára tábla volt rögzítve az adott hely tengerszint feletti magasságát jelölve milliméteres pontossággal az Osztrák-Magyar Monarchiához tartozó Adriai-tenger közép szintjéhez képest, valamint római számmal jelölték, hogy hányadik oszlop (a megmaradt sorszámokból ítélve Kolozsváron legalább

harminchét ilyen oszlop volt). Vasoszlopokra Budapesten, Kolozsváron és Marosvásárhelyen kívül én csak Szegeden bukkantam (6. ábra). A szegedi hasonlít a Budapesten található vasoszlopoknak egyik változatára. Érdekessége, hogy pontosan lehet tudni, hogy 1879-ben állították a nagy árvíz után. Azt is lehet tudni, hogy a budapesti oszlopok másik fajtáját Budapest 1930 körüli háromszögelésénél használták. A kolozsváriak és a marosvásárhelyiek ennél biztosan régebbiek kell, hogy legyenek, egyrészt, mert jobban hasonlítanak a szegedihez, mint az újabb fajta budapestihez, másrészt, mert Trianon után ugyan még pár évre visszakerült Erdély a magyar közigazgatáshoz, kevéssé valószínű, hogy a világháború alatt Magyarország elsőrendű prioritása lett volna az erdélyi városok háromszögelése. A négy városból származó vasasztalok formailag némileg eltérnek egymástól, valószínűleg más-más időben készültek. A szegedi és az egyik fajta budapesti vasasztal lába szögletes, míg a kolozsvári és a marosvásárhelyi lába kerek, csakúgy, mint a budapesti Bosnyák téri térképészeti székház előtti szabadtéri múzeumban található vasasztal, mely a kolozsvári ikertestvére, vagy talán az egyik elveszett kolozsvári példány lenne?

Egyrészt a kolozsvári napilapon keresztül, másrészt a közösségi médiában közzétett információknak köszönhetően remélhetőleg egyre többen lesznek tudatában annak, hogy milyen értékeket rejteget városunk, hogy nagyapáink örökségét ápolni kell, s így remélhetőleg nem fog több ilyen ipartörténeti emlék köddé válni a közönyösség csöndjében.

SZÁSZ-CSEH ETELE

IRODALOM

- dr. Bucics György: Geodéziai hálózatok, Nyugat-magyarországi Egyetem, Székesfehérvár, 2010
- dr. Bucics György: Adalékok a nadapi szintezési főalappontok történetéhez, Székesfehérvár, 2013 (http://www.geo.info.hu/geodezia/dokumentumok/nadap/kiadvany_nadap.pdf)
- Asztalos Lajos: Kolozsvár-közelről, Ábel kiadó, Kolozsvár, 2015
- Maria Cristina Anastasiu: Evoluția sistemelor de altitudini utilizate în România și Europa, Bukarest, 2014
- Szabadság napilap 2016. december 29-i, 2017. február 21-i és július 22-i számai (Ördög Béla, Lába kelt egy köztéri iparművészeti emléktárgynak, Kolozsvári köztéri iparművészeti emléktárgyakat leltároztunk fel, Köztéri iparművészeti emléktárgyak leltára című cikkei)
- <http://www.atikovizig.hu/vizugyimuzeum/megnez.aspx?p=kiallitas%2Fkulteri%2Fegyeb%2Fgeovasasztal.jpg&c=Geod%C3%A9ziai>
- http://adevarul.ro/locale/timisoara/bornele-timisoara-arata-nivelul-solului-fata-marea-adriatica-1_58e798035ab6550cb-80d261e/index.html

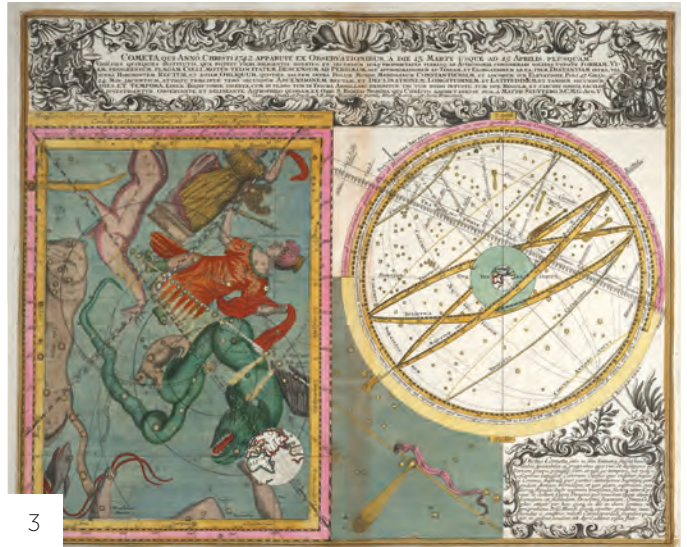


1

Égi jelenségek ábrázolása



2



3



4



5

1. Az 1007-es üstökös az augsburgi csodás égi jelek könyvében (XVI. század)
2. A Bayeux-i falikárpit az 1066-os üstökössel
3. Mattheaus Seutter XVII. századi égboltképe üstökös ábrázolásokkal
4. Jan Comenius: Orbis Sensualium Pictus
5. Matthias Gerung: Melankólia az élet kertjében (1588)

A Természet Világa különszámai

A különszámok korlátozott számban megrendelhetők a Kiadónknál, a Tudományos Ismeretterjesztő Társulatnál.

Cím: 1088 Budapest, Bródy Sándor utca 16.
Telefon: 06 1 327 8965
E-mail: titlap@telc.hu

