

Természet Világa

TERMÉSZETTUDOMÁNYI KÖZLÖNY

149. évf. 6. sz.

2018. JÚNIUS

ÁRA: 780 Ft

Előfizetőknek: 670 Ft



KIS ÉGITESTEK FÖLDKÖZELBEN
MEDDIG ÉLHETÜNK?

MISZTIKUS ŐSÁLLATNYOMOK
BOLYAI ÉS A RELATIVITÁS-ELMÉLET
SZIGETÖKOLÓGIA





▲ A nagyméretű, háromujjú, egymásra taposódott lábnyomokról az első helyszíni vázlatok készülnek a tatai Geológus Parkban



▲ Mintha egy kisméretű gyíkserű hüllő kúszásnyoma, háromszögletű feje és kétoldalra kilógó ötujjas lábnyomai rajzolódának ki a balatonalmádi tópart vízmosta kövein

A kétfényernyi méretű, Ábrahámhegyről származó közetbe mélyülő lábnyom formája csak ebben a nézetben rajzolódik ki ▼

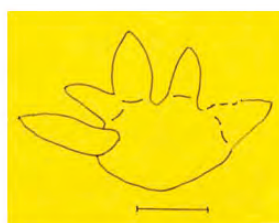


Az Amphisauropodus-ra emlékeztető csúszómászó lábnyoma a balatonalmádi móló melletti sétaútba betonozott vörös homokkőben

Misztikus őssálatnyomok a Balaton körül



A



B



C



D-E



F



G



H

Ötujjú lábnyomok (az ábrák léptéke: A-C, F 5 cm; D-E 1 cm; G 2 cm; H: 10 cm)
A: A korábban *Korynichnium sphaerodactylum*-nak határozott lábnyom újraértékelésével leginkább a *Dimetropus*-ra hasonlít.

B: A balatonalmádi *Amphisauropodus* lábnyoma

C: A 8-9 cm hosszúságú, megnyúlt ívelt, lekerekített kéz- és lábközépcsonti lenyomat. A valószínűleg egy fajtól származó állat elülső végtagján 4, a hátsón 5 keskeny, hegyben végződő ujjat viselt (új faj).

D – E : Az ilyen kicsi lábnyomokat - ha a nagyobbakat figyelő szemű kutatók a kisebbeket egyáltalán észreveszik, - általában a kihalt kétélttűek Microsauria rendjébe tartozóknak tekintik. D: Az eddig ismert egyik legkisebb 0,7-0,8 cm hosszúságú, nem karmokban végződő, ötujjú, enyhén megnyúlt talpnyomatú lépésnyoma (új faj). E: Gyakori a kisméretű, 1,8-2,3 cm hosszúságú, kihegyesedő harmadik ujjpercben végződő, kör alakú talpnyom. Az északi féltekén, az egykori Laurázsia területén a *Batrachinchus* közismert nyomtípus.

F: A kis-közepes méretű, 6 cm hosszúságú, 5 keskeny, megnyúlt, hegyben végződő ujjú, elkeskenyedő hosszú talpú nyom (új faj).

G: Korábban a három jól látható ujjú, 6 cm hosszúságú nyomot a *Tridactylchnum* nemzetsége sorolták. Valójában az erősen aszimmetrikusan nyom ötujjú és valószínűleg a *Dicynodontipus* nyomnemzetségbe tartozik.

H: A hegyes és görbült, 7-9 cm hosszú 5 ujjat viselnek. Jellegzetességük, hogy az I és az V. ujj oldalra toldott, a talp lenyomata rövid (5-6 cm), szélesebb a hosszúságánál (6-8 cm). A *Dimetrodon* (lábnyom neve *Dimetropus*) leginkább az északi félteke egykori területéről ismert.



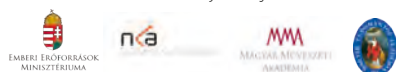
A TUDOMÁNYOS ISMERETTERJESZTŐ
TÁRSULAT FOLYÓIRATA

Megindította 1869-ben
SZILY KÁLMÁN
KIRÁLYI MAGYAR

TERMÉSZETTUDOMÁNYI TÁRSULAT

A TERMÉSZETTUDOMÁNYI KÖZLÖNY
149. ÉVFOLYAMA

2018. 6. sz. JÚNIUS
Magyar Örökség-díjas és
Millenniumi Díjas folyóirat



Nemzeti Tehetség Program
EMBERI ERŐFORRÁS TÁMOGATÁSKÉZELŐ

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: hirlapelofigetes@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

Kordos László – Mészáros Ildikó:

Misztikus őssálatnyomok a Balaton körül 242

Kamondi Anita – Horváth András:

Epileptikus rohamok és az Alzheimer-kór kapcsolata 246

Juhász Áron: A Kepler űrtávcső korszaka 253

Gózon Ákos: Interjú Vizi E. Szilveszterrel 258

Braun Tibor: A Novicsok idegbénító gáz 259

Weszely Tibor: Bolyai János és a relativitás- elmélet 261

Fiáth Richárd – Márton Gergely – Nánási Tibor – Ulbert István:

Elektrodfejllesztési irányok 2. rész 265

Csaba György: Meddig élhetünk? 269

Horváth Zsófia – Vad Csaba Ferenc: Szigetek a szárazföld tengerében 275

Emlékezés Gábos Zoltán fizikusra 280

Tóth Imre: Kis égitestek földközelségben 281

FOLYÓIRATSZEMLE 286

HÍREK, ESEMÉNYEK, ÉDEKESSÉGEK 287

Móser Zoltán: Lefelé folyik a Visztula, vagyis Északra 288

Címképünk: Földközeli égitestek

Borítólapunk második oldalán: Őssálatnyomok a Balaton mentén
(Forrás: **Kordos László**)

Borítólapunk harmadik oldalán: Visztula, a lengyel függetlenség folyója
(Forrás: **Móser Zoltán**)

Mellékletünk: A XXVII. Természet–Tudomány Diák pályázat cikke (**Puskás Dávid**):
A Hold meghódítása – Egy holdbázis elkészítése 3D nyomtatás segítségével

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:

TEGZES MÁRIA (tegzesmaria@telc.hu; 06–1–327–8954)
LÓRINCZ 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)



260 MILLIÓ ÉVVEL EZELŐTTI NYÜZSGŐ ÉLŐVILÁG

Misztikus őssálatnyomok a Balaton körül

A kövületvadász ősszel ballagjon a Balaton partján, ott, ahol vörös színű homokkövek védik a hullámveréstől a mólókat, strandokat. Nincsenek már fürdőzők, a fák is lehullatják leveleiket, a derengő fényben a gyakorlott szem előtt életre kelnek a 260-270 millió évvel ezelőtt képződött permi vörös homokkő – másnéven a Balatonfelvidéki Homokkő Formáció – kőzetlapjain megmaradt ősi kétéltűek és hüllők lábnyomai. Misztikusak, mert csak a lábnyomaikat ismerjük, s jelenlétüket misztifikálták is. A geológiai szakirodalomban eddig csak sajnálkoztak a kutatók, hogy a permi vörös homokkő ősmaradványokban igen szegény, és mindössze két lábnyom került elő, bár sejtjük, hogy a gyűjtőknél továbbiak is lehetnek...

A Balaton-felvidéki vörös homokkővet az északi parton sokfelé bányászták, régebben a XIII. századtól Balatonalmádiban, majd leginkább Balatonrendesen, ahonnan a pálkövei kikötőben rakodták meg az uszályokat, s szállították a tó más partjaira. Az első hüllőnyomot a pálkövei bányából Majoros György 1964-ben ismertette, majd leírását (*Korynichnium sphaerodactylum*) Kaszap András 1968-ban tette közzé (az eredeti homokkőlap az egykori Magyar Állami Földtani Intézet folyosóján látható). A második, szintén a Pálköve kőfejtőből előkerült lábnyom (*Tridactylchnum sp.*) fényképét Fülöp József 1990-ben megjelent könyvéből ismerjük. Majoros György a későbbiekben a balatonrendesi Pálköve kőfejtőben újabb – eddig nem publikált – nyomtípusokat talált, amelyek leginkább a dél-alpi olaszországi, úgynevezett grödeni homokkő klasszikus leleteivel hasonlíthatók össze.

Kevés és sok – ritkaságból mindenhol van

A jelzések viszont folytatódtak. 1994-ben Ferencz Károly geológus az ábrahámhegyi telkén, majd a XXI. század első éveiben Csillag Gábor, a terület földtanát tanulmányozva Kordos Lászlóval és Bodorkós Zsolt közreműködésével a Pálköve kőfejtőben és a kikötőben nagyméretű háromujjú lábnyomokat dokumentált és gyűjtött. Jelen tanulmány szerzői ezek után már tudatosan próbáltak szerencsét. A felhagyott pálkövei rakodókikötőben járva az úttorlasznak kirakott kőtömbökön minden alkalommal sikerült lábnyomokat felfedezni. Eddig a Tihanyban az MTA Balatoni Limnológiai Intézet partján kirakott kőzeteken sikerült felfedezni a legtöbb lábnyomot. 2015-ben a Tudományos Újságírók Klubjának évi közgyűlésén a jelen lévők még hitetlenkedve nézték, hogy az ebédszünetben mit gyűjtöttünk,

majd 2017-ben már elvárták a sokféle lábnyom felfedezését. A nyomok Fonyód-Bélatelepen ugyanúgy előkerültek, mint a balatonalmádi kikötő melletti partszakasz kövezetéből, továbbá a tatai Kálvária dombon a Geológus Parkban kiállított, Pálkövéről odaszállított homokkő tömbök réteglapjain is. A meglepetésekre nem sokáig kellett várni, mert e sorok írásakor (2018. február) szemünk már mindenhol a vörös homokkővet kereste. Így, a villamosról nézelődve tűnt fel, hogy a Déli pályaudvar Alkotás utca felőli szolgálati épületének falát az 1960-as években ezzel az időálló kőzettel borították. Közelről megnézve teli volt lábnyomokkal! Már most is legalább 10-14 különböző állat több száz életnyomát sikerült tanulmányozni, miközben a Balaton partszegélyén, a vörös homokkőből épített épületek, szobrok, sírkövek még legalább annyit rejtenek, mint ahányan ősszel éppen a ballagnak a Balaton felé.

A lábnyomok sokfélesége

A balatonfelvidéki permii vörös homokkőben egyaránt megtalálni az alig 1 centiméterestől a 15-28 cm hosszúságúakat, a három-, négy- és az ötujjú, karomban végződő vagy anélküli, mellső- és hátsó végtagok lenyomatait. Esetenként a néhány lépésből álló, egy állattól származó nyomok követik egymást. Ezek több vékony rétegben, sokszor egymásba taposva fordulnak elő. Az egykori felszínt mutató réteglapokba mélyednek a valódi életnyomok, míg az azt beborító fiatalabb kőzetben a nyomok kiemelkednek, természetes másolatot alkotnak. A nyomok tanulmányozását gyakran nehezíti az a jelenség, amikor az ujjak között a

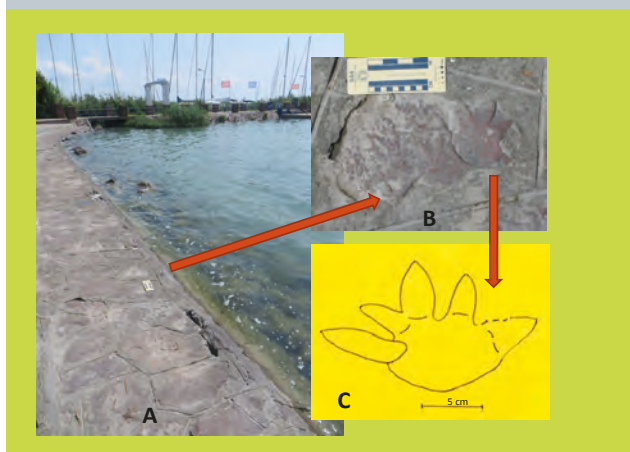
befogadó kőzet kitüremkedik, s ezáltal sokszor nehéz eldönteni, hogy a mélyedés, vagy a kiemelkedés formája tekinthető-e mérvadónak. A kőzet egykori képződési környezete (például árterület, a tó ingadozó vízszintje, partszegélyének változása, a beszáradt pocsolya vagy mozgó homokfelszín) nagymértékben befolyásolja, hogy az állatok miként használták a felszínnel érintkező végtagjaikat. A lábnyomoknál gyakran hiányoznak az esetleges karmok, valamint a kéz- és lábközépcsonkok alkotta lenyomatok. Az eddig vizsgáltak között mindegyik eset előfordult.

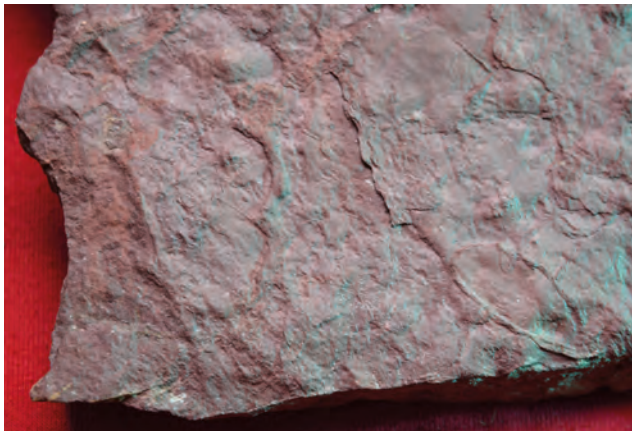
A hasonló korú leletek kutatói csak a perm időszakból egy 2000. évi felülvizsgálat során 281 nyomnemet és fajt írtak le (Haubold, 2000), amelyek számát a Balaton-felvidéki vörös homokkőből származó nyomtípusok gyarapítanak. Az eddig megkülönböztetett 12-14 lábnyomtípusból ötöt (*Batrachichnus*, *Dimetropus*, *Dicynodontipus*, *Tridactylchnium*, *Amphisauropodus*) az eddig leírtakkal többé-kevésbé már azonosítani lehetett, a többiek a tudomány számára újonnan felfedezettnek tekinthetők. Hacsak nem derül ki később, hogy a különböző méretű, és az eltérő ujjnyomszámot maguk után hagyó, de alapvetően hasonló formájú lábnyomok valójában ugyanazon faj fiatal és kifejlett, hím és nőstény egyedeitől származnak, vagy a járófelszínnel különbözőképpen érintkező végtagok miatt látunk különbséget a lenyomatokban, és a permii vörös homokvidéken valójában kevesebb egykori kétéltű- és hullőfaj élt. Természetesen a változó fényviszonyok között az el-eltűnő, majd újra látható, egymásra taposott nyomok a kutatókat is félrevezethetik. Lehetséges, hogy egy gyíkyszerű állat jellegzetes mozgására utaló test, láb és fejlenyomat is kimutatható. Érdekes megoldandó jelenség, hogy a Balaton-felvidéken több esetben is felismerhetők a 4-5 cm hosszú, öt ujjas, lekerekített talpnyomú, illetve a nagyméretű háromujjú 260 millió éves nyomtípusok, amelyek kísértetiesen hasonlítanak a 100 millió évvel későbbi későbbi élt, a mecseki kőszénbányákból megismert kerekded talpformájú állat, valamint a Komlosaurus lábnyomára. Ilyen sokáig éltek volna ezek a nyomhagyó állatok, vagy az őslények között gyakori, az élőhelyhez alkalmazkodó párhuzamos fejlődéssel találkozunk?

Kozmopoliták és lokálisak

A permiben az egymáshoz csatlakozott öt kontinens-mag, a Pangea a négylábú kétéltűeknek és hullőknek szárazföldi vándorlásokat biztosított. Emiatt vannak olyan kozmopolita csoportok, amelyek szinte mindenhol előfordulnak. Ilyen a *Dimetropus*, a *Batrachichus* és

1. ábra. A balatonalmádi kikötő melletti sétányt 1987-ben készítették (A). A látogatók az egyik jellegzetes, Westfáliából, a Szudétákból és Birmingham környékéről ismert alsó perm korú (270-290 millió év) ősi kétéltű, a (*Amphisauropodus*) lábnyomán taposnak. Az eredeti lenyomat (B) és körvonala (C).





3. ábra. Kisebb és nagyobb méretű kaotikusan megmaradt lábnyomok, valamint eddig nem látott növények lenyomatai borítják az MTA tihanyi Limnológiai Intézet hullámtörő közeit (Mészáros Ildikó fényképei)

a *Dicydontipus*, amelyek sokféle lábnyomai Brazíliában, Új-Mexikóban és az USA több államában, Kanadában, Angliában, Spanyolországban, Franciaországban, Németországban, Lengyelországban, a Kaukázustól északra, és a Dolomitokban is megtalálhatók. Némelyiküket Dél-Afrikából és Ausztráliából is kimutatták. A perm-i szuperkontinens déli (Gondwana) és északi része (Eurázsia részeként Euramerika) között felgyűrődött variszkuszi-hercyniai hegységrendszer lepusztulásából származó perm-i (vörös homokkő), valamint a perm-triász határán (251 millió évvel ezelőtt) a tenger előretörésével lerakódott szárazföldi-partszegélyi üledékek lábnyomai között csak a kozmopoliták jelentik a kapcsolatot. A Kárpát-medence aljzatát napjainkban két olyan, egymástól eltérő eredetű és felépítésű kéregdarab alkotja, amelyek az Eurázsiai- és az Afrikai-lemez ütközési zónájában keletkeztek. Az afrikai eredetű litoszférblokkot az Alpok, a Kárpátok és a Pannon-medence kezdőbetűivel képzett mozaikszóval „ALCAPA”, vagy a Balaton latin neve után Pelsoi, míg ettől délre az eurázsiai kontinenshez tartozót Tiszai főegységnek nevezik. Magyarország jellegzetes DNy – ÉK-i irányú, pásztákba rendeződött hegység szerkezeti vonalai csak a középső-jurától (kb. 170 millió évvel ezelőtől) torlódtak mai helyzetükbe.

A perm-ben az őssálatok lábnyomai alapján legalább három olyan földtörténeti eseményt lehet megkülönböztetni, amelyek befolyásolták az ősi kétéltűek és hüllők földrajzi elhelyezkedését és az ökoszisztémákban elfoglalt helyét. Az alsó perm-ben (299 és 270 millió évek között) létrejött az afrikai és az Észak-Amerikát Európa magjával összekötő kapcsolat. A legtöbb perm-i lábnyom ebből az időszakból ismert, és az alsó perm-ben gyakori, de a fiatalabb perm-ben is még élő

Dimetrodon-nal (lásd nyitóképünket, Felipe Elios festményét) jellemzett lábnyom együttest tartalmazza. A középső perm-ben az afrikai és az eurázsiai lemezek további közeledésével keleti irányban folytatódott a Közép-Variszkuszi-hegyvonulat felgyűrődése, aminek hatására olyan kőzetek rakódtak le, amelyek alig tartalmaznak lábnyomokat. A szakirodalomban ezt a jelenséget „Olson-hiátusnak” nevezik. A középső-perm végén és a perm-triász között (267 és 251 millió évek között) az Ural mentén a Pangeához csatlakoztak a szibériai és a kínai őskontinensek, és az ősi Tethys-óceán keletről nyugatra behatolva elkezdte feldarabolni a szuperkontinentet. Alapvetően új, a therapsidák (emlősszerű őshüllők) dominanciájával jellemezhető időszak jött létre, majd a földtörténet legnagyobb méretű kihalásakor, a perm-triász határon ezek nagy része is eltűnt. Csak ezt követően, 5-6 millió év elteltével jelentek meg az első dinoszauruszok. A krokodilszerű lábnyomot maguk után hagyó, négy lábon járó állatok lépésnyomai nem széles terpeszben, hanem a test alá húzódó, egymáshoz közeli lábnyomokat hagyó járásmódra és testfelépítésre utalnak. Ők lennének a dinoszauruszok közvetlen elődei, akik a Balaton-felvidéken is éltek?

A Balaton környéki vörös homokkővek lerakódása a lábnyomok alapján nem csak a felső perm-ben, de azt megelőzően a középső perm végén (körülbelül 267 millió évvel ezelőtt) már elkezdődhetett. Ezt a gondolatot már 1961-ben Stuhl Ágnes és 1968-ban Kaszap András is felvetette. A Balaton-felvidéki perm-i homokkő napjainkban két területen nyomozható. Az északi előfordulás Sóllytól Balatonfüredig, a déli vonulat pedig Zánkától Badacsonytomajig terjed. A Dunántúli-középhegység DK-i részén a vörös homokkő Dióskál és Alcsútdoboz irányába is kiterjed. A mélyfúrások alapján kimutatták, hogy a két terület a felső-perm-ben a Vértes és a Gerecse

4. ábra. Az ötujjú kozmopolita *Dimetrodon* (nyomnevén *Dimetropus*) lábnyoma Tihanyból

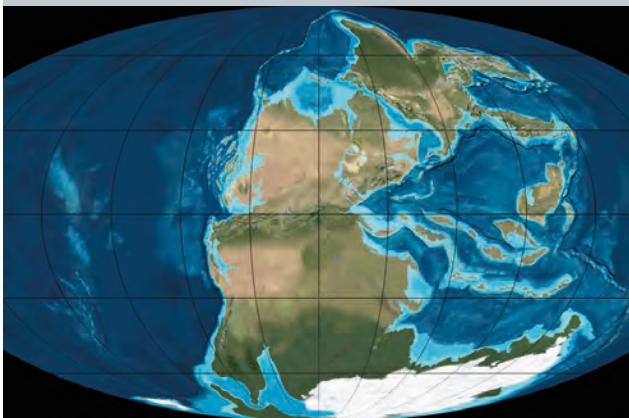




5. ábra. Nagyméretű háromujjú lábnyomot mos a Balaton vize Almádinál

aljzatában egykor egységesen szárazföldi környezetet alkotott. A nagyrészt folyóvízi eredetű kőzet alsó, idősebb része inkább kavicsos, majd fiatalabb része homokpadokba megy át, míg végül a kezdődő tengerelöntés dolomitos triász korú kőzetei borítják. A rétegek tanúsága szerint térben és időben időszakosan változó felszíneken nem csak sivatagi körülmények voltak, hiszen a lábnyomok gyakran növénymaradványokon, máskor a tavak-pocsolyák kiszáradásakor keletkező cserepesen megrepedezett úgynevezett szeptáriás felszínen maradtak fenn. Külön tanulmányok foglalkoztak a homokkő spóraösszetételével, kövesedett famaradványaival, valamint az édesvízi

6. ábra. A felső-permben a kontinensek a Pangeában egyesültek. Az Egyenlítő mentén a déli és az északi lemezek összetorlódásával kialakult a Közép-Variszkuszi-hegységrendszer lepusztuló kőzeteiben őrződtek meg a Balaton-felvidéki ősi kétéltűek és hüllők lábnyomai (Bernardi et al, 2017 nyomán)



gerinctelen állatok egykori életnyomaival. A spórák alapján a felső-permben a Balaton-felvidéken száraz meleg, időszakonként nedvesebb körülményekkel megszakított éghajlat uralkodott.

Cholnoky Jenő az 1936-ban megjelent Balaton című könyvében azt írta, hogy a permi vörös homokkő képződése idején „nagyon hideg, zord éghajlat lehetett hazánkban, általában Európában. Rettentő magas hegyeknek kellett emelkednie, mert temérdek homok került a tengerek partjaira”. Valóban, a Közép-Variszkuszi-hegységrendszer olyan magasságokra tornyosulhatott, hogy abból a Balaton-felvidéken akár 600-800 m vastag vörös homokkő is lerakódott. Cholnoky még nem tudhatta, hogy ez a hegységrendszer akkoriban az Egyenlítő közelében, időszakosan esős évszakokkal tagolt száraz, meleg övezetben helyezkedett el.

A Balaton-felvidéki, 260 millió évvel ezelőtti élővilág a korábbi ismereteinkkel szemben egyre gazdagabbá válik. Az új felfedezések alapvetően megváltoztatták a vörös homokkővet létrehozó sivár, kietlen tájról alkotott nézeteinket. Ballagjunk tehát vissza a Balaton partjára, fedezzük fel és élvezzük a Föld 260 millió évvel ezelőtti eseményeit!

KORDOS LÁSZLÓ ÉS MÉSZÁROS ILDIKÓ

IRODALOM

- Bernardi M., F. M. Petti, E. Kustatscher et al. (2017) Late Permian (Lopon-gian) terrestrial ecosystems: A global comparison with new data from the low-latitude Blatterbach Biota. *Eath-Science Reviews*, 175 (2017) 18-43.
- Budai T., Császár G., Csillag G., Dudko A., Koloszar L., Majoros, Gy. (1999) A Balaton-felvidék földtana. *Magyarázó a Balaton felvidék földtani térképéhez*, 1: 50 000.- Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest kiadványa, p. 26-31.
- Budai T., Konrád Gy. (2011) Magyarország földtana, Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kar, Pécs, p.6-23.
- Cholnoky J. (1936) *Balaton-* Franklin, Budapest
- Fülöp J. (1990) Magyarország geológiája. *Paleozoikum I.* Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest kiadványa, p. 1-325.
- Haas J. ed. (2001) *Geology of Hungary*, Eötvös University, Press, Budapest
- Haubold H. (1971) *Ichnia Amphibiorum et Reptiliorum fossilium*. In: Kuhn O. ed. *Handbuch der Paläoherpetologie Encyclopedia of Paleoherpertology*. Teil 18/Part 18., p. 1-124., Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Portland-USA
- Haubold H. (2000) *Tetrapodenfährten aus dem Perm – Kenntnisstand und Progress 2000*. *Hallesches Jahrb. Geowiss. B* 22, 1-16., Halle (Saale)
- Kaszap A. (1968) *Korynichium spaerodactylum* (Pabst) a balatonrendesi permben. *Földtani Közlöny*, Budapest, 98(3-4) 429-433.
- Lucas S. G., A. P. Hunt (2006) *Permian tetrapod footprints: biostratigraphy and biochronology*. Geological Society, London, *Special Publications*, 265, 179-200.
- Majoros Gy. (1964): *Óshüllő-lábnyom a balatonrendesi permből*. *Földtani Közlöny*, Budapest, 94(2): 243-245.
- Stuhl Á. (1961) *A Balatonfelvidék perm időszi üledékeiben végzett spórávizsgálatok eredményei*. *Földtani Közlöny*, Budapest, 91(4): 405-412.



NÉGY MÁSODPERCENKÉNT EGY ÚJ BETEG

Epilepsziás rohamok és az Alzheimer-kór kapcsolata

A súlyos neurokognitív zavar (korábbi nevén demencia) a gondolkodás és a tanulási-, emlékezési folyamatok progresszív hanyatlása, amelyhez a beszéd és a cselekvés zavara, az emóciók és a társas képességek károsodása társul. Mindez a beteg személyt jelentősen korlátozza az önálló életvitelben, a betegség előrehaladásával pedig a beteg képtelenné válik önmaga ellátására. A tünetek jellegzetesen 60 éves kor felett jelentkeznek, ebből következően az átlagéletkor emelkedésével a betegek száma évről-évre nő. A világon jelenleg 47 millió embert érint, és ez a szám feltételezhetőleg triplázódni fog 2050-re.

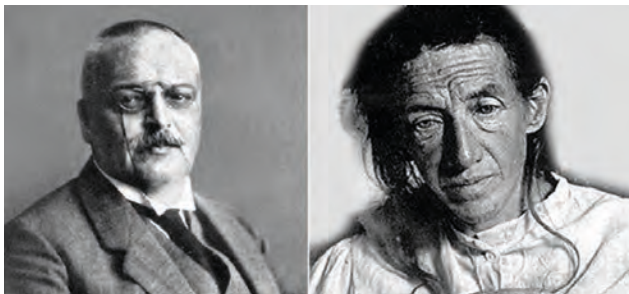
Évente közel 8 millió új súlyos neurokognitív zavarban szenvedő beteget diagnosztizálnak, azaz minden negyedik másodpercben regisztrálnak egy új esetet. A súlyos neurokognitív zavar (NKZ) számos típusa ismert, leggyakrabban az idegrendszer szerkezeti károsodása kimutatható a háttérben. Ritkábban olyan agyi működészavar okozza, amely reverzibilis, azaz megfelelő kezeléssel a tünetek javíthatók vagy megszüntethetők. Ilyen okok lehetnek a pajzsmirigy alulműködése, bizonyos vitaminhiányok vagy az agyvíz keringésének zavarai.

A világon a leggyakoribb neurokognitív zavar az Alzheimer-kór (AK), amely az összes esetek 50-70 százalékát teszi ki. Szövettenilag két jellegzetes elváltozás figyelhető meg az agyállományban; a béta-amiloid fehérjéből álló, az idegsejtek közötti térben elhelyezkedő *neurit-plakkok*, illetve az idegsejteken belül található, tau fehérjéből álló, *neurofibrilláris kötegek*. Az elváltozásokat

először 1892-ben *Paul Blocq* és *Georges Marinesco* írta le epilepsziás betegek agyának szövettani vizsgálata alkalmával, azonban nem állapítottak meg kapcsolatot a lelet és a betegség között. *Alois Alzheimer* 1901 és 1906 között kezelt egy nőbeteget, *Auguste Deter*-t, Frankfurtban egy elmebetegek és epilepsziások számára fenntartott intézetben. A beteg viselkedése az évek során fokozatosan megváltozott: paranoid gondolatai támadtak és a memóriája rendkívül megromlott. Az asszony halála után agyát vizsgálatoknak vetette alá Alzheimer, és 1906-ban egy rövid, majd 1907-ben egy hosszabb közleményben leírta azokat az elváltozásokat, melyeket a mai napig az AK legfontosabb szövettani jellegzetességeinek tartunk. Alzheimer összekapcsolta a szövettani eltéréseket a beteg tüneteivel, és azt állította, hogy az elbutulás nem az öregséggel, hanem az agykéregben kialakuló elváltozásokkal van összefüggésben. A betegséget először

Emil Kraepelin, a kor egyik leghíresebb pszichiátora nevezte Alzheimer-kórnak, akinek müncheni intézetében Alzheimer a szövettani vizsgálatokat végezte.

Az elmúlt 110 évben az Alzheimer-kórról számos fontos ismeret került napvilágra, köszönhetően annak a nagy érdeklődésnek, amely mind a klinikai mind az elméleti idegtudományi kutatások területén megnyilvánult. Mára már bizonyítást nyert, hogy az AK progresszív, az idegsejteket elpusztító neurodegeneratív betegség, amelynek a kiváltó okát azonban nem sikerült megtalálni. A betegség kialakulásának egyik legfontosabb rizikófaktora az életkor; 65 éves kor fölött a betegség létrejöttének rizikója 5 évente megduplázódik. Jelentős rizikót növelő faktorok továbbá a klasszikus szív- és érrendszeri betegségek, a magasvérnyomás-betegség, a 2-es típusú cukorbetegség, valamint a dohányzás, az elhízottság, a magas vérzsír értékek. Érdekes és intenzív kutatások tárgyát képezi a traumás agykárosodás szerepe, amelyet főként sportolók esetében vizsgálnak. Úgy tűnik, hogy a fejet ért traumák is vezethetnek AK-szerű demencia



1. ábra. A kór leírója, Alois Alzheimer (balra) és az első megfigyelt Alzheimer-kórban szenvedő beteg, Auguste Deter (jobbra)

kialakulásához. Bár a jelenség bokszolók esetében régóta ismert, manapság az amerikai futballistákat vizsgáló kutatások kiemelt nyilvánosságot kapnak. Ismert továbbá, hogy a krónikusan fennálló alvászavarok szintén növelik a demencia kialakulásának esélyét. Úgy tűnik, hogy az ébren töltött éjszakákért komoly árat fizethetünk a későbbiekben.

Fontos új megfigyelés, hogy a neuronok pusztulásának kezdete akár 20-30 évvel is megelőzheti az első klinikai tünetek megjelenését. Van tehát egy olyan időszak, amikor a betegség folyamata már megkezdődött, azonban az érintett még nem mutatja a típusos tüneteket. A kórfolyamat felismerése ebben az időszakban kiemelt cél, mivel a későbbi tünetek kialakulásának megelőzésére ekkor lehet a legnagyobb esélyünk.

A betegség korai stádiumában az agynak a temporális (halánték-) lebenye károsodik elsősorban. A temporális lebeny épsége kiemelt jelentőségű a tanulási- és

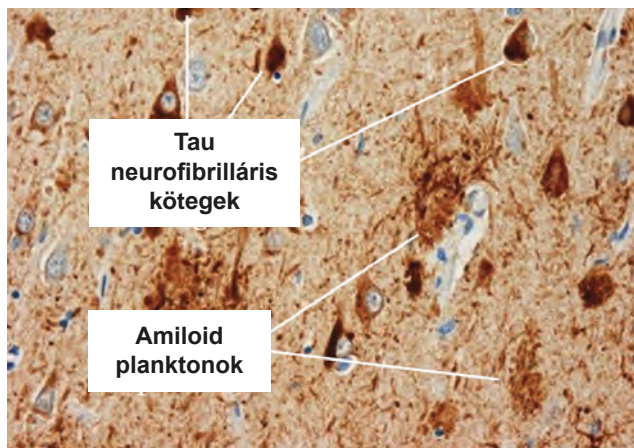
memória-folyamatok szempontjából, mivel ebben a lebenyben helyezkedik el a hippocampus, mely a rövidtávú memória elsődleges szerve. Az AK tehát kezdetben a hippocampuszt károsítja, ez okozza a betegek súlyos memóriazavarát. A későbbi stádiumokban a nagyagykéreg homlok- és fali lebenye is érintett lesz, emiatt jelentkezik a viselkedés- és magatartás zavar, a beszéd károsodása és a súlyos fokú tájékozatlanság. Ma már azt is tudjuk, hogy a neuronokban illetve a sejten kívüli térben lerakódó béta-amiloid és a tau fehérjék jelentősen károsítják az idegsejtek egymás közötti kommunikációját biztosító szinaptikus kapcsolatokat, és végeredményben neuronpusztulást idéznek elő.

Mivel a betegség kiváltó okát nem ismerjük, a kezelése sem megoldott. Az már az 1970-es években kiderült, hogy a betegségre jellemző gondolkodás- és memóriazavart, többek között, az acetilkolinnak nevezett idegrendszeri ingerületátvivő anyag mennyiségének csökkenése okozza, mivel az azt előállító idegsejtek a betegség korai fázisában elpusztulnak. Az 1990-es évek végén kezdték alkalmazni elsőként azokat a gyógyszereket, melyek az acetilkolin mennyiségét növelik, és ezzel, bár a betegség előrehaladását nem lehet megállítani, de a betegek állapotában javulást lehet elérni. Habár jelenleg is körülbelül 80 terápiás vizsgálat zajlik, a betegség kezelésének lehetőségei rendkívül korlátozottak. Többek között emiatt is a gyógyszeres terápia mellett a kezelésben egyre nagyobb szerepet kapnak a nem-gyógyszeres, rehabilitációs jellegű beavatkozások is, például a rendszeres sportolás, a megfelelő táplálkozás, a nyelvtanulás, a beszédterápia, a motoros és kognitív tréning. A betegség gyógyításával kapcsolatos figyelem az utóbbi időben egyre jobban kiterjedt az AK-ban észlelhető társbetegségekre (magas vérnyomás, cukorbetegség stb.) kezelésére is.

A temporális lebeny károsodása

A temporális lebeny és a benne elhelyezkedő hippocampus nemcsak a memória-folyamatok kulcsfontosságú idegrendszeri szerkezetei, hanem károsodásuk nagyon gyakran epilepsziás rohamokat idéz elő.

Az úgynevezett temporális lebeny epilepszia jellegzetes klinikai tünetekkel jár. A rohamokat gyakran aura jelenség vezet be, ennek során a betegek furcsa szag- vagy ízélményekről számolnak be, illetve kellemetlen gyomorpanaszok jelentkezhetnek. A temporális epilepsziás roham alkalmával a beteg nem veszíti el az eszméletét, ugyanakkor viselkedése hirtelen megváltozik, például megáll az éppen végzett cselekvésben, rövid időre elbambul, és ha ilyenkor szólnak hozzá, arra nem reagál. Gyakran cselekvési automatizmusok figyelhetők



2. ábra. Az Alzheimer-kór jellemző neuropatológiai eltérései az idegsejtek között felhalmozódó amyloid plakkok és az idegsejtekben akkumulálódó tau neurofibrillumok.

meg, ismétlődő, sztereotíp rövid mozdulatokat végez a beteg, például matat vagy csámcsogó, rágó mozdulatokat végez. A roham néhány percig tart, majd ezt követően a beteg nem emlékszik a történetekre. A rohamot követő zavartság általában néhány percen belül megszűnik, ritkábban azonban akár napokig is eltarthat. Előfordulhat az is, hogy a roham nem szűnik meg percekben belül, hanem hosszabb ideig, akár órákon keresztül fennáll, és ezen idő alatt a beteg folyamatosan zavartan viselkedik.

Az epilepsziás működészavar kimutatása

Az epilepszia egyértelmű bizonyításához elektroencefalográfiás (EEG) vizsgálatot kell végezni. Az EEG vizsgálat során a fejbőrre helyezett elektródákkal regisztráljuk az agyi elektromos aktivitás változását.

Az idegsejtek (neuronok) nyúlványaikon keresztül elektromos impulzusok közvetítésével lépnek egymással kapcsolatba. Az elektromos aktivitás változása összefüggésben van az idegsejtek normális vagy kóros működésével. Az agyszövet károsodásakor olyan változások jönnek létre a neuronok működésében, illetve egymással való kapcsolataiban, amelyek hatására aktivitásuk kórosan fokozódik. Amennyiben elegendő számú, egymáshoz közeli idegsejtben jön létre kóros túlműködés, úgy epilepsziás aktivitás, illetve epilepsziás roham keletkezik. Az epilepsziás roham alatt az érintett idegsejtek kórosan fokozott mértékben aktívak, megakadályozva ezzel a normális idegrendszeri működést. Az EEG vizsgálat alkalmas az epilepsziás működészavart jelző eltérések, az epileptiform jelek kimutatására.

A temporális lebenyben keletkező epilepsziás jelek detektálása azonban nem egyszerű, mivel a kóros aktivitás az agyállomány mélyén, a felhelyezett elektródoktól távol

keletkezik, ezért a hagyományos regisztrálási módszerek nem mindig elégségesek. A pontosabb detektálás érdekében hosszabb EEG elvezetéseket érdemes végezni. A szokásos EEG vizsgálat általában 20 percig tart. Ha több órán keresztül végezzük a vizsgálatot, akkor jóval nagyobb az esélyünk arra, hogy kóros aktivitást detektáljunk. Régóta ismert, hogy epilepsziás betegeknél alvás alatt az epileptiform jelek gyakrabban megjelennek, ezért ha epilepsziás eltérést keresünk érdemes az EEG vizsgálatot az éjszakai alvás időszakára is kiterjeszteni. Tovább növelheti az epilepszia diagnózisának esélyét, ha a beteget video-EEG monitorizálással vizsgáljuk. Ezt azt jelenti, hogy miközben az EEG elektródok az agyi elektromos aktivitást regisztrálják, egy video kamera a beteg viselkedését rögzíti. Ez a módszer lehetővé teszi, hogy az epilepsziás rohamok által kiváltott viselkedésváltozás és/vagy mozgások és az EEG eltérések közötti összefüggést feltárjuk.

A gondolkodási képességek hanyatlása

Az utóbbi évtizedben végzett neuropszichológiai vizsgálatok adatai azt igazolják, hogy epilepsziás betegek körében a gondolkodási képességek romlása, illetve a tanulás- és memóriazavar nagyobb valószínűséggel alakul ki, mint nem-epilepsziás személyeknél. Azt is igazolták, hogy minél súlyosabb az epilepsziát okozó idegrendszeri szerkezeti eltérés annál súlyosabban érintettek a gondolkodási képességek. Ennek oka lehet az epilepszia betegséggel összefüggő (például a betegnek, a kezelés ellenére nagyon sok rohama van), de megjelenhet akár az epilepszia ellenes gyógyszeres kezelés mellékhatásaként is. Fontos felismerés, hogy bizonyos területeken körülírtan megjelenő epilepsziás működészavar úgy is károsíthatja a gondolkodási funkciókat, hogy rohamok klinikailag nem jelennek meg. Mivel ennek felismerése EEG vizsgálat nélkül nem lehetséges, ismeretlen eredetű kognitív zavarok esetén érdemes ezzel a módszerrel történő kivizsgálását is megfontolni. Előfordulhat azonban, hogy az epilepszia-betegségtől függetlenül jelentkezik gondolkodási- vagy viselkedészavar. Erre elsősorban a tartósan kiegyensúlyozott állapotú epilepsziás beteg hirtelen kialakuló progresszív memóriazavara esetén gondolhatunk, és érdemes a háttérben nem-epilepszia okot keresni.

Epilepszia Alzheimer-kóros betegeknél

Irodalmi adatokból ismert, hogy Alzheimer-kórban az epilepsziás rohamok előfordulási gyakorisága magasabb, mint a hasonló életkorú egészséges személyek

körében. A korai kezdetű, genetikailag meghatározott örökletes Alzheimer-kórban az epilepsziás rohamok előfordulási valószínűsége rendkívül magas. A 14-es kromoszómán található presenilin1 gén mutációja által okozott Alzheimer-kórban szinte minden betegnél jelentkezik epilepsziás roham.

Alzheimer-betegségben a rohamoknak egy része olyan motoros tünetekkel jár, amelyek alapján az epilepsziás működészavar egyértelműnek tartható. Azokban az esetekben azonban, amikor az epilepsziás roham a temporális lebenyből indul, és nem terjed át az agykéreg egészére, nincsenek motoros tünetek, így a rohamot nehéz felismerni, és valószínű, hogy számos esetben ezeket nem is diagnosztizálják. Általános klinikai megfigyelés, hogy az Alzheimer-kóros betegek viselkedése nagyon változékony lehet, előfordul, hogy átmenetileg hirtelen romlik a betegek magatartásvávara és/vagy memóriateljesítménye. Az ilyen átmeneti epizódok mögött motoros tünetekkel nem járó epilepsziás rohamok állhatnak.

Az alvás és az Alzheimer-kór

Az elmúlt évtizedek során az alvás funkciójáról alkotott elképzelésünk drasztikusan megváltozott: míg korábban mint passzív, az erőforrások feltöltésére szolgáló folyamatot képzeltük el, manapság egyre inkább aktív, az agyi plaszticitás alappilléreinek számító mechanizmusnak tekintjük. A tanulásban és memóriafolyamatokban betöltött funkciónak azonban alapvető követelménye a megtartott alvási struktúra. Az alvási struktúra tanulmányozásának leggyakoribb módja a poliszomnográfias (PSG) vizsgálat, amely során az EEG mellett az izomaktivitást, a szemmozgásokat, a légzést és a szívritmust egy időben regisztráljuk. Az agyi aktivitás elemzésének használatával az alvást különböző szakaszokra tagolhatjuk: REM (rapid eye movements/gyors szemmozgású alvás) fázisra, illetve non-REM alvásra, amely három stádiumból áll (S1, S2, S3). Mindegyik stádiumnak megvannak a jellegzetes EEG jelei.

Az alvás szerkezetének, hosszának változásai az életkori öregedési folyamat jól ismert velejárói; az életkor előrehaladásával az alvás feltöredezik, az elalváshoz szükséges idő (alvási látencia) megnyúlik, a mélyalvás mennyisége csökken, az éjszakai felébredések száma és hosszúsága megnő, a nappali álmoságérzet fokozódik. Irodalmi adatok alapján az alvászavar az Alzheimer-kór rizikótényezője is lehet. Tartós alváshiány hatására az Alzheimer-kórra jellemző amiloid plakkok jelennek meg az agyszövetben. Ismert továbbá az is, hogy Alzheimer-kórban az alvási problémák

kétségkívül gyakrabban jelentkeznek. A fentiek alapján megállapíthatjuk, hogy az alvás tanulmányozása az Alzheimer-betegség kutatásának ígéretes területe, amely segíthet abban, hogy megértsük a kognitív funkciók károsodásának mechanizmusát.

Állatkísérletes modellek

Az Alzheimer-kórban kialakuló epilepsziás működészavar lehetőségének valódi jelentőségére az állatmodellekből származó megfigyelések elemzése hívta fel a figyelmet.

Az emberi betegségek tanulmányozásának, és a lehetséges gyógyszeres kezelés kifejlesztésének egyik módszere az állatkísérletes modellek használata. Ezekben a modellekben olyan változásokat hoznak létre a kutatók, például genetikai úton, amelyek hatására egy adott emberi kórfolyamat jellegzetességei alakulnak ki az állatban. Az állatmodelleken végzett kísérletek eredményei, — megfelelő szempontok szerinti értékelést követően —, felhasználhatók az emberi betegségre vonatkozó következtetések levonására is.

Az Alzheimer-kór tanulmányozására az elmúlt években több állatmodellt hoztak létre. Ezekben olyan géneket változtattak meg, amelyek az emberi betegség kialakulása szempontjából fontosak. A genetikailag kezelt állatokban bizonyos viselkedési és tanulási tesztek elvégzése során jellegzetes változások figyelhetők meg. A csökkent tanulási képesség erős összefüggést mutat a hippocampusban található neuronok

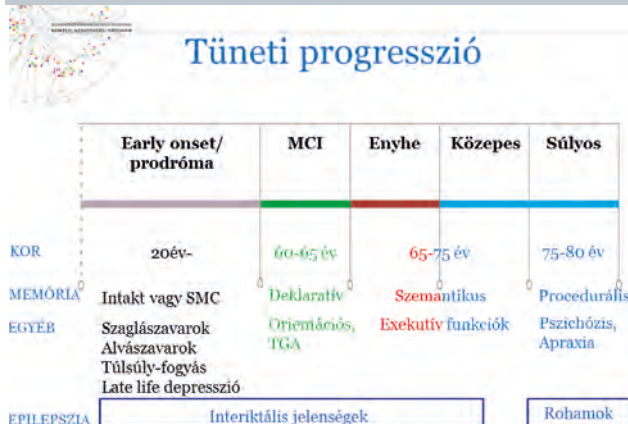
3. ábra. Az Alzheimer-kór előfordulása fokozatosan nő a társadalomban. Míg jelenleg közel 50 millió ember szenved demenciában világszerte, feltételezhetően ez a szám triplázódni fog 2050-re. Jól látható, hogy a legerősebb növekedési tendenciát a fejlődő országokban látjuk, feltételezhetően a változó életmódi szokások, környezeti feltételek és a javuló diagnosztikus technikák miatt.



kórosan fokozott ingerelhetőségével. Természetesen nem szabad azt állítanunk a genetikailag manipulált állatokról, hogy Alzheimer-kórban szenvednek, mindazonáltal, a kórszövettani és kórélettani változások (a neuronok pusztulása, az amiloid plakkok jelenléte, a kórosan megváltozott neuronális kapcsolatok, stb.) mind-mind közös vonások a humán és az állati kórképek között.

Az Alzheimer-kór és az epilepszia kapcsolatára vonatkozóan Lennart Mücke és munkacsoportja szolgáltatotta a legfontosabb állatkísérletes adatokat a hAPPJ20 egérmodellben. A genetikailag módosított egerekben a temporális lebenybe helyezett mély agyi elektródák segítségével epilepsziás rohamokat detektáltak. A vizsgálat alatt az egerek viselkedését videón keresztül folyamatosan megfigyelték, és azt találták, hogy érdekes módon az egerek semmilyen motoros aktivitást nem mutattak az EEG-vel bizonyított epilepsziás rohamok zajlása során; szinte mozdulatlanul ültek a ketrecben. Ez a viselkedés nagyon hasonlít az emberi temporális lebeny epilepsziában megfigyelhető, átmeneti magatartásváltozáshoz. A megfigyelés felveti annak a lehetőségét, hogy Alzheimer-kórban a temporális lebenyből kiinduló epilepsziás rohamok valójában gyakoribbak, mint korábban gondolták, de mivel nem járnak motoros aktivitással, ezért nem felismerhetők.

4. ábra. Az Alzheimer-kór tüneti progressziója. Az első patológiai eltérések akár 20 évvel is megelőzhetik a típusos tünetek jelentkezését. Ebben a prodrómális szakaszban figyelmeztető jel lehet a megjelenő enyhe, szubjektív memória panasz (SMC: subjective memory complaints), illetve egyéb homeosztatisz szabályozást érintő eltérések. Ezt követően súlyosabb memória zavarok alakulnak ki, azonban a beteg még képes az önellátásra, szociális életét nem érinti a betegség (MCI: mild cognitive impairment). Ebben a fázisban fontos intő jel a megjelenő orientációs probléma, rövid amnéziás epizód (TGA: tranziens globális amnézia). A legújabb kutatások szerint az epilepsziás működészavar már a betegség iniciális fázisában jelentkezik, azonban a rohamok csak a súlyosabb stádiumokban jelennek meg.



5. ábra. Az elmúlt években az Alzheimer-kór terépiájában az elérhető gyógyszeres támadáspontok mellett egyre nagyobb figyelem terelődik a megelőzésre és az aktív öregedés társadalmi promotálására. A rizikó csökkentésében elengedhetetlen a szív-és érrendszeri állapotok (KV-kardiovaszkuláris) megfelelő kontrollja, illetve újonnan felismert és nagy publicitást kapó tényező a fejtraumát kísérő agykárosodás megelőzésének fontossága (CTE: chronic traumatic encephalopathy). Feltételezések szerint ezek figyelembe vételével akár 5 millió Alzheimer esetet is megelőzhetnénk évente.

Egy másik genetikai állatmodellben végzett EEG vizsgálat elemzése során kiderült, hogy az epilepsziás aktivitás jellemzően alvás alatt keletkezett, és az epilepsziás jelek már jóval azelőtt kimutathatók voltak, mielőtt az egerek a memóriazavar tüneteit mutatták volna. Egy további kísérlet azt igazolta, hogy a fokozottan ingerelhető állapotban lévő neuronok jellemzően az amiloid plakkok környezetében fordulnak elő, bizonyítva azt, hogy az amiloid képes a neuronok fokozott ingerelhetőségét előidézni.

Hol az összefüggés?

A fentiekben tárgyaltak alapján tehát jogosan merülhet fel az a kérdés, hogy van-e kapcsolat a két betegség, az Alzheimer-kór és a temporális lebeny epilepszia között.

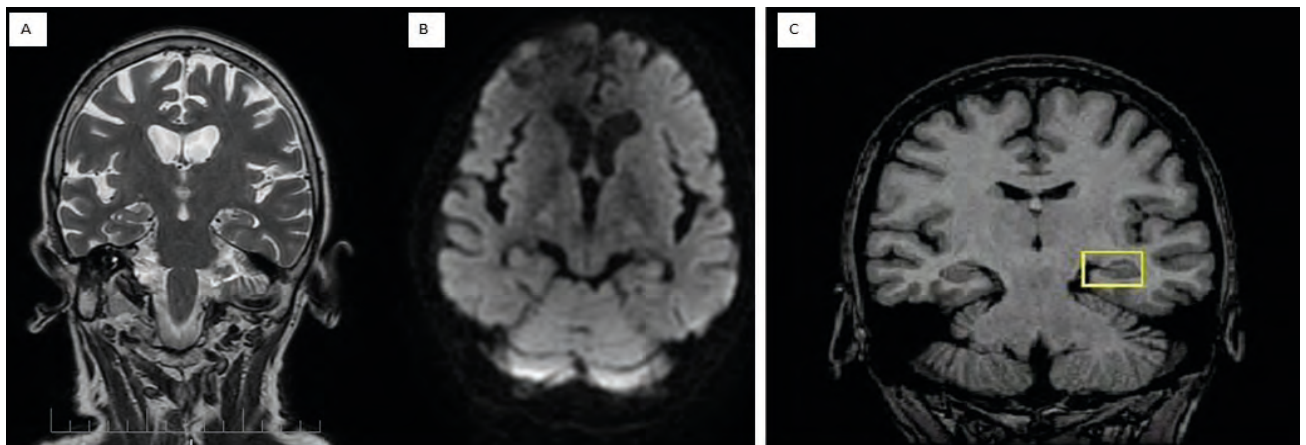
A lehetséges összefüggés kutatása csak az elmúlt évtizedben került a tudományos érdeklődés középpontjába, annak ellenére, hogy – amint korábban említettük –, Blocq és Marinesco már 1892-ben leírta epilepsziás páciensek agyából származó szövettani mintákon az amiloid plakkok jelenlétét. Később ez a megfigyelés további megerősítést nyert, sőt az Alzheimer-kórra jellegzetes másik fehérjét, a tau-t is kimutatták epilepsziás agyszövetben. További hasonlóságokat is feltártak a kutatók, például a hippokampusz térfogata

jelentősen csökken mind Alzheimer-kórban mind temporális lebeny epilepsziában, illetve mindkét betegségben egyformán változik a neuronok fokozott ingerlékenységével összefüggésben álló bizonyos kalcium-kötő fehérjék mennyisége. Mindkét betegségben csökken az idegsejtek közötti információ közvetítése, és csökken a temporális lebenyben az agyszövet anyagcseréje.

A korábbi irodalmi adatokból és a friss állatkísérletes modellek eredményeiből kiindulva kutatócsoportunk az Országos Klinikai Idegtudományi Intézetben, a Nemzeti Agykutatási Program keretében klinikai vizsgálatot indított a temporális lebeny epilepszia és az Alzheimer-kór kapcsolatának feltárására. A kérdés kiemelt jelentőségét az adja, hogy a feljebb ismertetett adatok arra utalnak, hogy Alzheimer-kóros betegnél jelentkező epilepsziás rohamok felgyorsíthatják a kognitív zavar

végzett vizsgálatok eredménye azonban meglepően változatos; epilepsziát 0.5-64 százalék között találtak. Az eltérő adatok hátterében valószínűleg az áll, hogy a kutatók egymástól jelentősen eltérő módszereket alkalmaztak, és nem végeztek megfelelő EEG vizsgálatokat a motoros tünetek nélküli rohamok diagnózisához.

Mindezek fényében megfogalmazható volt az igény egy olyan speciálisan tervezett vizsgálatra, amely megfelelően szelektált betegek beválogatásával zajlik, megfelelően alkalmazott EEG regisztrálás mellett. Kutatócsoportunk Alzheimer-kóros betegeken 24-órás EEG monitorizálással végzett vizsgálatai számos érdekes, és korábban még nem ismert adattal szolgáltak. Megállapítottuk, hogy az AK-os betegeknél a tartós EEG vizsgálat nehézségek nélkül elvégezhető, a betegek jól tűrik az elektródokat, és a vizsgálat során jól kooperálnak. Az EEG görbék elemzéséből kiderült, hogy a betegeknél az



6. ábra. Alzheimer-kórban szenvedő beteg strukturális MR felvétele. Jól látható a temporális és frontális lebenyek kifejezett sorvadása, a hippocampusok volumencsökkenése (A ábrarészlet) és a liquor terek kiszélesedése (B ábrarészlet). Egészséges beteg felvételén a hippocampusok volumene jelentősen kifejezettebb (C ábrarészlet, sárga téglalap).

progresszióját, és tovább ronthatják a beteg gondolkodási képességeit. Az epilepsziás rohamok alatt felszabaduló amiloid képes újabb epilepsziás rohamot provokálni. Ha az Alzheimer-kóros betegeknél zajló epilepsziás rohamokat diagnosztizáljuk, és azokat gyógyszeresen kezeljük, feltételezhetően javulni fognak a betegek gondolkodási- és viselkedési tünetei, illetve csökkenhetnek a kórosan felszaporodó amiloid által előidézett maradandó szerkezeti károsodások az agyszövetben.

A két betegség összefüggésére irányuló humán kutatások korábban jellemzően azt vizsgálták, hogy az Alzheimer-kóros beteg között milyen gyakori az epilepsziás roham. A fiatal korban kezdődő, genetikailag meghatározott formákban az epilepsziás rohamok kifejezetten gyakoriak, a betegek 40-60 százalékában előfordulnak. Ebben a kérdésben a szakirodalom egyetemes. A késői indulású, nem-genetikai formákban

azonos életkorú nem demens személyekhez viszonyítva sokkal gyakrabban fordulnak elő epilepsziára jellemző eltérések. Az Alzheimer-kóros betegek közel felében találtunk ilyen elváltozásokat. Világossá vált továbbá az is, hogy az epilepsziára utaló jelek elsősorban az éjszakai órákban jelennek meg, tehát akkor, amikor a betegek alszanak. Ez az irodalmi adatok ismeretében nem meglepő, hiszen tudjuk, hogy az alvás bizonyos értelemben provokálja az epilepsziás aktivitást, ugyanakkor a AK-ban hasonló megfigyelés korábban még nem volt. Részletesen elemezve az adatokat kiderült, hogy ahhoz, hogy 90 százalékos biztonsággal detektálhassunk epilepsziás jeleket egy betegnél, legalább 8 órás EEG elvezetésre van szükség, és lehetőség szerint ez alatt az időszak alatt alvási aktivitást is regisztrálni kell. Az Alzheimer-kóros betegek negyedénél nem csak epilepsziára utaló jeleket észleltünk



7. ábra. A memória károsodás, Alzheimer patológia és az epilepszia bonyolult multidirekcionális kapcsolatrendszerének feltételezett modellje,

EEG-n, hanem epileptiform rohamot is azonosítottunk. A rohamok 70 százaléka, az előzetes feltételezéseknek megfelelően, a temporális lebenyből indult.

Megvizsgáltuk azt is, hogy milyen kapcsolat van a betegségjellemzők és az epilepszia előfordulása között. Azt találtuk, hogy azoknál az Alzheimer-kóros betegeknél, akiknek nem volt epileptiform működészavaruk a betegség később kezdődött, és rövidebb ideig állt fenn. Érdekes módon, azoknál a betegeknél alakult ki nagyobb valószínűséggel epileptiform eltérés az EEG-n, akiknek magasabb volt az iskolai végzettsége. Azoknál a betegeknél, akiknél a betegség súlyosabb stádiumú volt, szintén nagyobb valószínűséggel találtunk epileptiform jelet. Az életkor vonatkozásában azonban nem volt ilyen jellegű eltérés, tehát a magasabb életkor önmagában nem jár az epileptiform jelek gyakoriságának növekedésével. Szintén érdekes megfigyelés, hogy az epileptiform jelek 65 százalékában izoláltan a bal oldali agyféltekében jelentkeztek, míg kizárólag a jobb oldalon mindössze 10 százalékában. Ennek a különbségnek az oka jelenleg még nem pontosan érthető, magyarázatához további kutatások szükségesek. Mivel ismert az alvás és az epileptiform működészavar közötti szoros kapcsolat, megvizsgáltuk az Alzheimer-kóros betegek alvásának jellegzetességeit. Azt találtuk, hogy AK esetén az alvás időtartama és az alvás hatékonysága lecsökkent, míg az elalváshoz szükséges időtartam (alvási látencia) kifejezetten megnőtt. A felületes alvás időtartama megnőtt, a mélyalvás és a gyors szemmozgású (REM) alvás időtartama megrövidült. Megállapítottuk azt is, hogy minél súlyosabb volt a kognitív zavar mértéke annál rövidebb volt a mélyalvás és a REM alvás hossza. Kutatásunk legfontosabb kérdése az volt, hogy miképpen függ össze az epileptiform működészavar jelenléte a betegeknél

észlelhető memóriazavar hosszútávú romlásával. Közel 3 éves követéses vizsgálataink alapján megállapítottuk, hogy azoknál az Alzheimer-kóros betegeknél, akiknél epileptiform működészavart igazoltunk a gondolkodási képességek közel kétszer nagyobb mértékben romlottak, mint azoknál, akiknél epilepszia nem volt igazolható.

Jelentős javulás esélye

A szakirodalom adatai, valamint a Nemzeti Agykutatási Program keretében végzett saját vizsgálataink alapján megállapíthatjuk, hogy Alzheimer-kórosban az epileptiform működészavar, és ezen belül a temporális lebenyből kiinduló epilepszia jóval gyakoribb, mint azt eddig feltételeztük. Az Alzheimer-kór és a temporális lebeny epilepszia közötti kapcsolat feltárása rendkívül fontos, hiszen az epileptiform rohamok számának csökkentése a betegek állapotában jelentős javulást eredményezhet. Az epileptiform ellenes gyógyszerek új kezelési lehetőségeket jelenthetnek az Alzheimer-demencia klinikai tüneteinek enyhítésében, megfelelően kiválasztott betegek esetében.

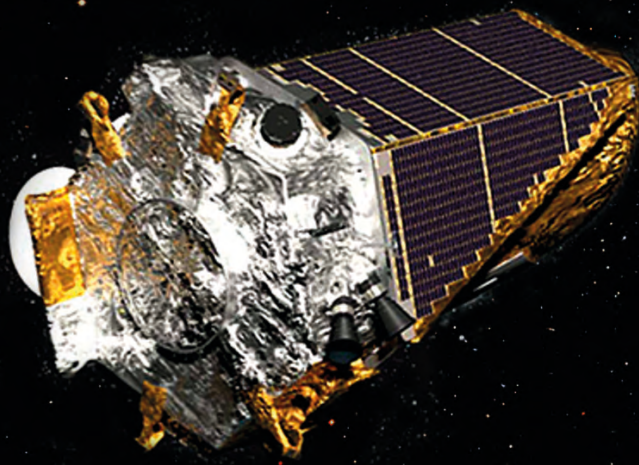
KAMONDI ANITA – HORVÁTH ANDRÁS



A közlemény megírását a Nemzeti Agykutatási Program KTIA_NAP_13-1-2013-0001 projektje támogatta.

IRODALOM

- Abbott, A. (2011). Dementia: a problem of our age. *Nature*, 475: S2-S4.
- Blocq, P., Marinesco, G. (1892). Sur les lésions et la pathogénie de l'épilepsie dite essentielle. *Sem Méd.*, 12: 445–6.
- McKhann, GM., Knopman, DS., Chertkow, H., Hyman, BT., Jack, CR Jr., Kawas, CH., Klunk, WE., Koroshetz, WJ., Manly, JJ., Mayeux, R., Mohs, RC., et al. (2011). The diagnosis of dementia due to Alzheimer's disease: Recommendations from the National Institute on Aging-Alzheimer's Association workgroups on diagnostic guidelines for Alzheimer's disease. *Alzheimer's & dementia*, 7: 263-269.
- Horváth, A., Szűcs, A., Barcs, G., Noebels, JL., Kamondi, A. (2016). Epileptic seizures in Alzheimer disease: a review. *Alzheimer Dis. Assoc. Disord.*, 30: 186-192.
- Horváth, A., Szűcs, A., Barcs, G., Kamondi, A. (2017). Sleep EEG detects epileptiform activity in Alzheimer's disease with high sensitivity. *J. Alz. Dis.*, 56: 1175-1183.
- Noebels, J. (2011). A perfect storm: converging paths of epilepsy and Alzheimer's dementia intersect in the hippocampal formation. *Epilepsia*, 52: 39-46.
- Palop, JJ., Chin, J., Roberson, ED., Wang, J., Thwin, MT., Bien-Ly, N., Yoo, J., Ho KO., Yu, GQ., Kreitzer, A., Finkbeiner, S., Noebels, JL., Mucke, L. (2007). Aberrant excitatory neuronal activity and compensatory remodeling of inhibitory hippocampal circuits in mouse models of Alzheimer's disease. *Neuron*, 55: 697-711.



10 ÉV KRÓNIKÁJA

A Kepler űrtávcső korszaka

Kepler adatokkal dolgozó kutatóként nehéz elfogulatlanul írni arról a hamarosan nyugállományba kerülő űreszköwről, amely majd 10 éves működésével olyan sok területen bővítette tudásunkat a világunkról. Az eredeti Kepler misszió, majd később annak kiterjesztése, a K2, olyan mennyiségű és minőségű adatokkal látta el a csillagászokat, amelyek még akár évtizedekig is alapjául szolgálhatnak a kutatásoknak.

A 2009. március 7-én pályára állított Kepler űrtávcső eredeti és elsődleges feladata a fedési módszerekkel történő exobolygó kutatás volt az égbolt egy meghatározott területén, a Hattyú és a Lant csillagképek irányában. Érzékenysége alapján akár a csillaguktól 1 CsE távolságra (1 CsE, vagyis 1 Csillagászati egység, a Föld és Nap közepes távolságával egyenlő, körülbelül 150 millió km) lévő exobolygók kimutatására is képes, a legkisebb detektálható objektum pedig 0,5 földtömegű. 4 évnyi működést követően, miután a második lendkereke is meghibásodott, 2013 májusában idő előtt felfüggesztették a teleszkóp működését. A műszert eredetileg négy stabilizáló célú lendkerékkel látták el, amelyeknek a feladata a távcső folyamatos irányban tartása volt, és úgy tervezték, hogy három ilyen eszköz képes legyen ezt a feladatot ellátni. A K2 misszió keretében a kiesett lendkerekek stabilizáló hatását a Nap sugárnyomásának minél egyenletesebb eloszlását biztosító térbeli pozicionálással oldották meg. Ez azt jelenti, hogy a távcsövet a keringési síkjának irányába, azaz az ekliptikára vagy más néven az állatövre irányozták.

Előnye a korábbi űrfotometriai missziókhöz (mint a CoRoT vagy a MOST) képest, hogy nem Föld körüli, hanem Föld-követő pályára tervezték, így mentesült a bolygónk zavaró hatásaitól. Maga a teleszkóp egy 1,4 méteres főtük-rű, 95 cm-es nyílásátmérőjű Schmidt-távcső. Az eredeti misszió alatt közel 170 000 fősorozati és óriáscsillag fé-

1. ábra. Az eredeti Kepler látómező és a K2 égterületek.
(Forrás: NASA/Ames Research Center/Wendy Stenzel)



nyességét mérte, ugyanazon a 105 négyzetfokos területen, míg a K2 során körülbelül háromhavonta más-más ekliptikai égterületre irányozták a berendezést (1 ábra). A hatalmas, 42 CCD-ből álló, összesen 95 megapixeles felbontású detektor nem használ szűrőket, 430 és 840 nanométeres hullámhosszak közötti tartományban, szinte a teljes optikai tartományt lefedve érzékeny.

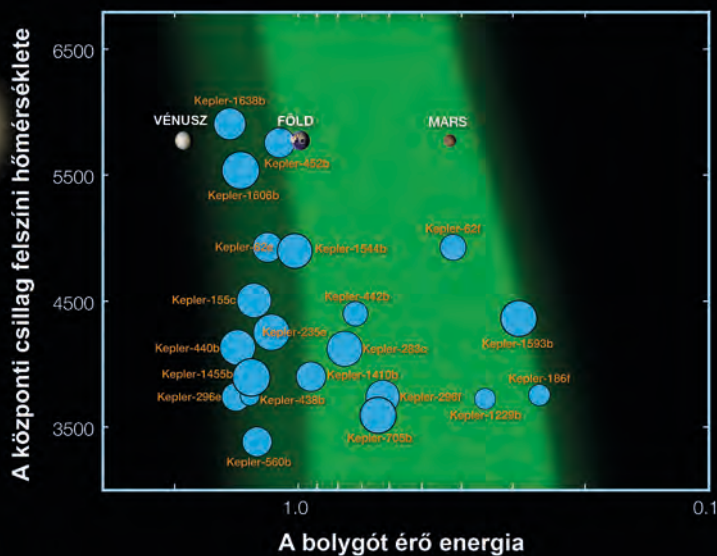
Az exobolygó-kutatás zászlóshajója

Az űrtávcső fő feladata, amiről elsődlegesen ismertté vált, a fedési módszerekkel történő exobolygó detektálás volt, és túlzás nélkül állítható, hogy forradalmasította a csillagászat ezen területét (is). Ezt jól példázza az a tény, hogy a (cikk megírásának pillanatában) ismert exobolygóknak (3767 db) közel kétharmada (2343 db) Kepler felfedezés.

Különösen fontos az, hogy nem csak a nagyméretű és a csillagukhoz nagyon közel keringő bolygók észlelésére képes (amelyek ebből kifolyólag nagyon forró felszínűek). Kifejezetten úgy tervezték meg, hogy a kisebb, a csillaguktól nagyobb távolságra lévő Föld-szerű bolygók detektálására is alkalmas legyen (a központi csillag lakhatósági zónájában). Ezekből eddig 30 db-ot talált (2. ábra).

Ahhoz, hogy biztosak legyünk benne, hogy egy idegen planéta okozta a csillag fényességének a csökkenését, a fedésnek többször is meg kell ismétlődnie. Márpedig minél messzebb helyezkedik el egy bolygó a csillagától, annál lassabban kering körülötte. Ezért

2. ábra. 21 Föld-szerű Kepler exobolygó a csillagaik lakhatósági zónájához képest.
(Forrás: NASA Ames / N. Batalha and W. Stenzel)



monitorozta az űrtávcső közel négy éven keresztül ugyanazt az égterületet. Az adatok feldolgozása természetesen most is tart, jelenleg még 2244 Kepler exobolygó jelölt vár a hitelesítésre.

A Kepler azonban nem csak az exobolygó felfedezésekben alkotott maradandót, hanem a csillagászat számos egyéb területén, a változócsillagásztól kezdve a csillagfejlődés vizsgálatán át a szupernóváig. Lehetetlen lenne mindent a cikk terjedelmében felsorolni, így a teljesség igénye nélkül próbálom összefoglalni a végzett kutatásokat és a legfontosabb tudományos eredményeket.

Szupernóva-kutatás

Az eredeti misszió során több mint 400 galaxis esett a távcső látómezőjébe, folyamatos megfigyelésükkel pedig sikerült számos szupernóva felvillanást is detektálni bennük. Mivel a szupernóvák a természetük-nél fogva váratlan események, így szinte mindegyiküket "késve", csak a felfényesedés alatt, vagy már utána, az elhalványulás során vesszük észre. Ez pedig komoly gond, mivel éppen a jelenség kezdete árulkodik leginkább a szupernóvává váló égitestről és környezetéről. Éppen ezért különösen értékesek azok a felvételek, melyeket a Kepler már a felrobbanás pillanatától kezdve készített. Ezek között előfordultak mind magkollapszusos, mind pedig Ia típusú, úgynevezett termonukleáris szupernóvák is. Az Ia osztályba tartozók viselkedését a mai napig nem ismerjük teljesen, a Kepler által megfigyelt két ilyen esemény nagyban segített a természetük jobb megértésében.

A legelfogadottabb elmélet szerint a progenitor (szülőcsillag) egy úgynevezett fehér törpe csillag [4], mely a kísérőjéről (általában egy vörös óriás csillag) anyagot von el. Ennek hatására a tömege növekszik, míg el nem ér egy kritikus (úgynevezett Chandrasekhar-féle) tömeghatárt, minek következtében a csillag összeomlik a saját súlya alatt. Az ekkor beinduló fúziós reakciók elhárapózása gyakorlatilag szétveti az objektumot. A robbanás mindig egy adott tömeg elérésekor következik be, ezért fényességüket közel azonosnak gondolva standard gertyáknak is használjuk őket.

A Kepler minden korábnál részletesebb és jobb időfelbontású fénygörbéket készített az általa detektáltakról, melyek azonban egy másik elméletet, a "double progenitor" rendszert támasztották alá. Ebben a felállásban

a fehér törpe kísérője egy másik fehér törpe, így pedig szó sincs anyagelszívásról, a kritikus tömeg átlépése a két komponens összeolvadása miatt következik be (**3. ábra**). Ebben az esetben a felrobbanó tömeg természetesen változó (az összeolvadó csillagok tömegeinek összege). Az eredeti elmélet keretei között a robbanást követően ledobódó anyaghéj a tágulása során eléri a kísérő csillagot. Az ennek következtében beinduló folyamatok plusz energiát termelnek, ami egy kis felfényesedést okoz a fénygörbében. A Kepler által talált Ia szupernóváknál semmi ilyet nem észleltek, ami kizárja, hogy a kísérők vörös óriások lettek volna.

A kérdés persze ma sem eldöntött, valószínűleg mindkettő eset (fehér törpe-vörös óriás / kettős fehér törpe) előfordulhat a természetben.

A Boyajian-csillag

2015-ben robbant be a köztudatba a KIC 8462852, felfedezője után a Boyajian-csillag, ismertebb nevén Tabby-csillag vagy a WTF („Where is The Flux”, azaz „Hol van a fluxus?”) csillag. A távcső mérései szerint a csillag fényessége rövid idő alatt körülbelül az ötödével csökkent, majd visszafényesedett az eredeti szintre (**4. ábra**). Ekkora méretű exobolygó pedig nem lehetséges, és az elhalványulás karakterisztikája sem emlékezteti a kutatókat egy fedési jelenségre. Így pedig nyitva áll a kérdés, mitől csökkent a csillag fénye, vagy mi takarta el azt a távcső elől?

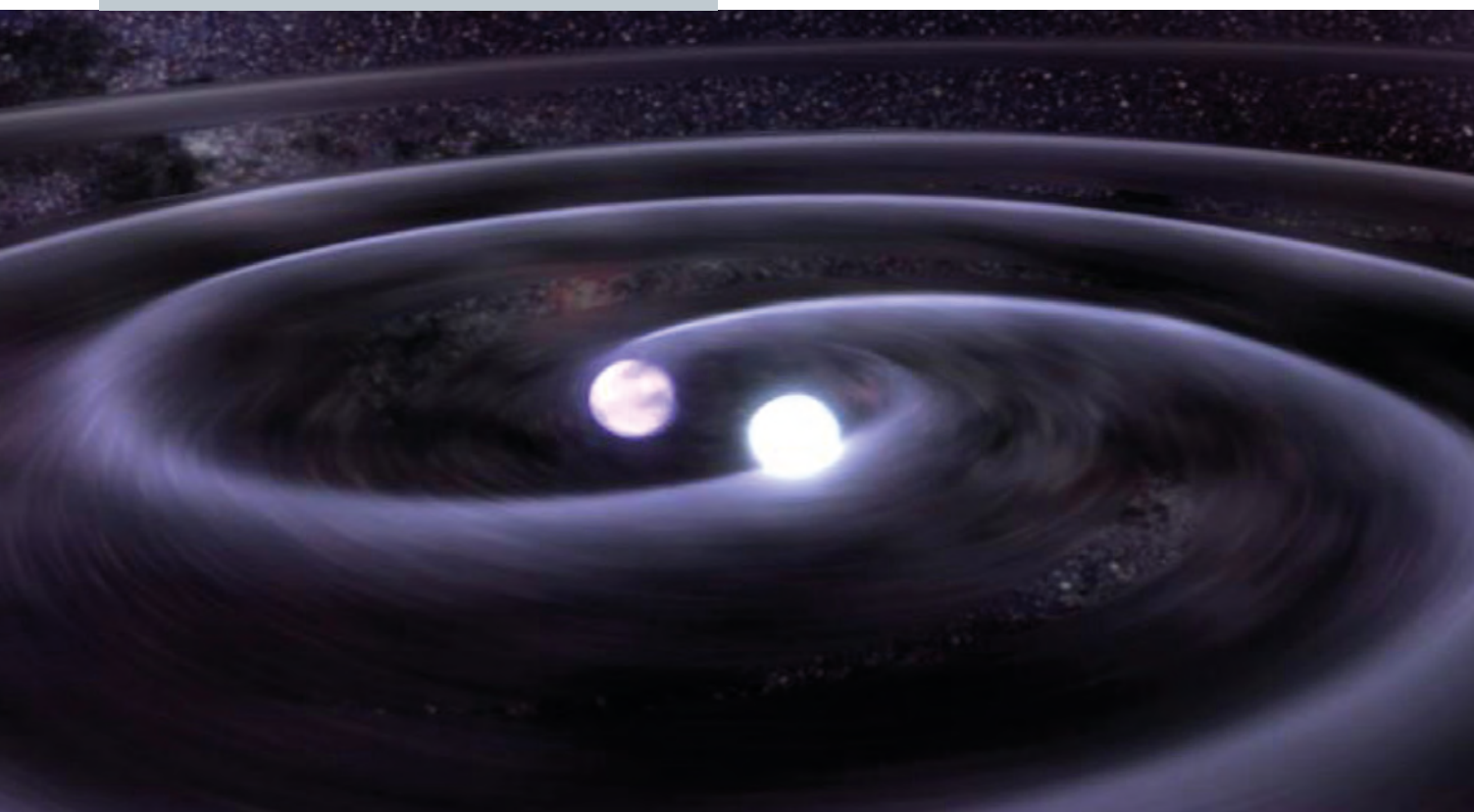
3. ábra. Fantáziarajz egy összeolvadni készülő fehér törpe párosról. (Forrás: NASA)

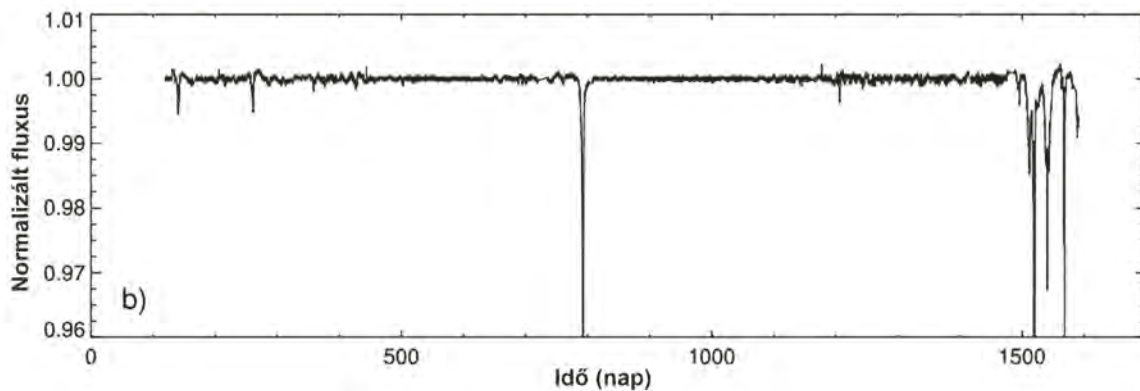
Számos elmélet született a jelenség megmagyarázására, kezdve a csillag külső légkörének kémiai változásától, a különböző óriási por és/vagy üstökös-felhők keringésén át, egészen az idegenek Dyson-szféráinak [6] vizionálásáig. A probléma mindegyik elméletnél az, hogy bizonyos részleteiben igen, de egészében nem tudja megmagyarázni a mérési adatainkat. Például, ha egy hatalmas aszteroida vagy üstökösfelhő kering a csillag körül, akkor miért nem észlelünk infravörös többletsugárzást (és egyáltalán, hogyan jöhetett ilyen létre, miért nem tömörödött össze a bolygókeletkezés során)?

További érdekes körülmény, hogy a csillag fényessége lassan, de biztosan halványodott az utóbbi 100 évben, és az elméletnek ezt is meg kellene magyaráznia. Bármennyire is furcsa ilyet mondani, de jelenleg egy idegen civilizáció által épített kozmikus megastruktúra ötlete szinte semmivel sem légből kapottabb, mint a hatalmas porfelhők létezése a csillag körül (*Az újabb vizsgálatok szerint a hosszabb idejű fényességcsökkenésekért valószínűleg a csillag körül keringő apró porszemcsék lehetnek a felelősek – A szerk.*)

Az exoholdak rejtélye

A legtöbb felfedezett exobolygó jóval nagyobb méretű, mint a Föld, és még ha véletlen a lakhatósági zónán belül is keringene, egy gázóriás esetében elég nehezen képzelhető el rajta bármiféle élet. Azonban egy, az óriásbolygó körül keringő kisebb méretű holdon az életfeltételek már realisabban kialakulhatnak.



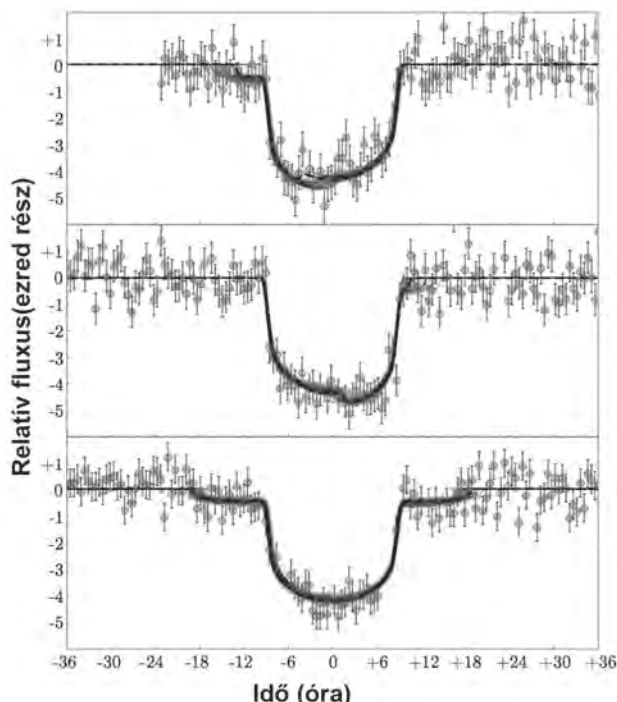


4. ábra. A Boyajian csillag fénygörbéje. A hosszú vonalak az elhalványulás időszaka alatt detektált fluxus-csökkenéseket jelölik, lemennek egészen 0,8 - 0,85%-ig. (Forrás: Boyajian et al. 2016)

Ráadásul ez akár a lakhatósági zónán kívül is előfordulhat (akár az erős árapályfűtésnek kitett Jupiter hold, az Europa óceánjában). A Naprendszerünkben is számtalan hold kering a bolygók körül, így jogos a feltételezés, ha már az exobolygók kifejezetten gyakori jelenségnek számítanak az Univerzumban, miért ne létezhetne számtalan exohold is? Ha pedig léteznek, akkor miért nem észleltük őket eddig?

Mondhatnánk, hogy a mérési pontosságunk elégtelen ehhez, azonban a legkisebb felfedezett exobolygó (a Kepler-37b) 4500 km-es átmérője kisebb, mint néhány nagyobb méretű Naprendszerbeli holdé (például a Titán átmérője 5100 km). Ebből kifolyólag ki-

5. ábra. A Kepler-1625 csillag fényességének változásai. A nagy horpadások a bolygó okozta csillagfedések. A pluszban megjelenő kisebb horpadások lehetnek a hold által okozott extra fedések. (Forrás: Teachey, Kipping & Schmitt, 2017)



jelenthetjük, hogy bár a kicsi és bolygójukhoz közel keringő holdakat nem, de a (bolygóhoz képest) nagy méretű és messzebb keringő holdakat (mint akár a Föld Holdja is) ki kellene tudnunk mutatni a Kepler adataiban.

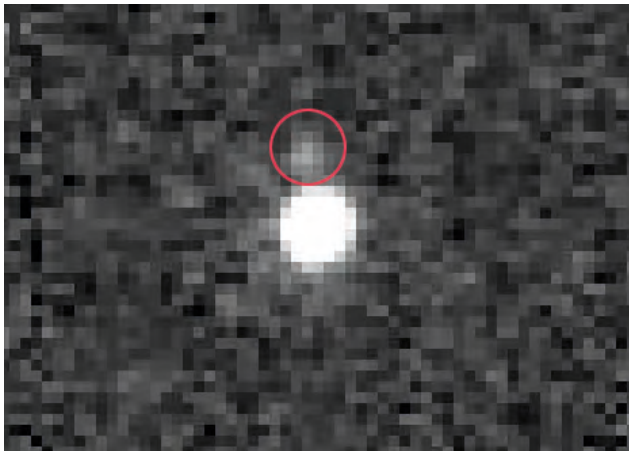
Nem szabad elfelejteni azonban, hogy a legtöbb ismert exobolygó keringési periódusa rövidebb vagy sokkal rövidebb mint 1 év. Valószínű, hogy akárcsak a Naprendszer esetében, a holdak a messzebb keringő (azaz hosszabb keringési periódusú) bolygók jellemzői. Ezeket viszont jóval nehezebb felfedezni, különösen holdakat keresni körülöttük.

Egyetlen egy esetben azonban lehetséges, hogy egy exohold csillagfedését sikerült észlelnünk a Kepler adataiban. A Kepler-1625b jelű (a Jupiternél mintegy 10-szer nagyobb tömegű) bolygónál a távcső három bolygófedést látott, és mindháromnál kis mértékű további halványodást is kimutatott (5. ábra). Egyáltalán nem biztos, hogy ezt egy exohold okozta, de ha igen, akkor nagyjából egy Neptunusz méretű égitestnek kellett lennie (ami egy nagyon szokatlan rendszer lenne).

Naprendszerbeli égitestek vizsgálata

Az eredeti Kepler misszió 2013-as felfüggesztése rendkívüli csapásként érte a tudományos közösséget, ám a K2 küldetés megakadályozta, hogy idő előtt kárba vesszen az űrtávcső. Sőt, az ekliptikára irányítással (a bolygók és aszteroidák pályasíkjá) óriási lehetőséget kaptak a Naprendszerbeli objektumokkal foglalkozó kutatók is, ugyanis a korábbiakhoz képest sokkal hosszabb és jobb minőségű adatsorokhoz juthattak a K2 adataiból, mint arra általában lehetőségük lenne.

Különösen értékesek ezek a megfigyelések a kis égitestek, a főövbeli és a Neptunuszon túli aszteroidák (Trans Neptunian Objects - TNO) esetében, ugyanis ezen objektumokat apró méretük és (főleg az utóbbi csoport esetében) nagy távolságuk miatt csak nagyobb méretű eszközökkel lehet megfigyelni. Az olyan teleszkópok, melyek képesek az ehhez szükséges alacsony határfényességet elérni, "arany árban" mért távcsőidővel rendelkeznek. Azaz, ha jut is idő egy-egy ilyen aszteroida megfigyelésére, az sem egy egész éjszakán át tartó mérés lesz, maximum néhány pillanatfelvétel az objektumról. Az igazán érdekes dolgokat azonban



6. ábra. A 2007 OR10 és holdja.
(Forrás: NASA, STScI,
Wesley Fraser, Gábor Marton)

csak jóval hosszabb mérésekből lehet megállapítani. A fővi aszteroidák rendszerint pár napig, míg a távoli és lassabban keringő TNO-k akár hetekig is a távcső látómezőjében tartózkodnak.

A 2007 OR10 névre keresztelt égitest egyike a megfigyelteknek, melyről a K2 hosszú adatsorainak köszönhetően derült ki, hogy nagyon hosszú, több mint 44 órás a forgási üteme. Ez a meglepő felfedezés vezette oda a kutatókat, hogy kísérőt gyanítsanak az égitest körül, melynek a fékező hatása alakíthatta ki ezt a rendkívül lassú forgási periódust. A feltételezés később igaznak bizonyult, és az apró holdat sikerült archív Hubble felvételeken azonosítani (6. ábra).

Nagy arányban detektálta a kettősséget a Jupiter pályáján keringő (vagyis azzal 1:1-es rezonanciában lévő) Trójai kisbolygók között is. A különböző Naprendszer-fejlődési modellekben kardinális kérdés, hogy az egyes kisbolygó alosztályok (Trójaiak, Hilda-csoport stb.) között milyen arányban fordulnak elő a kettősök, így ezek a mérések felbecsülhetetlen értékűek a Naprendszer dinamikai történetét vizsgáló kutatásokban.

A K2 program keretében megfigyelésre került a Szaturnusz, az Uránusz és a Neptunusz, valamint néhány holdjuk is. Korábbi elméletek szerint az óriásbolygók nem a mai helyükön keletkeztek, és még csak nem is a mai sorrendben. Az elméletek szerint az Uránusz és a Neptunusz helyet cseréltek egymással a Naprendszer fejlődése során. Ezt az elképzelést látszik megerősíteni néhány paraméter a K2 által (is) megfigyelt irreguláris holdak esetében.

Változócsillagászat

A távcső nem csak a bolygófedések által okozott parányi fényességsökkenések detektálására képes. Közel 3000 fedési kettőscsillagot is azonosított, melyekre halvány mivoltuk miatt eddig nem volt lehetőség.

Az asztroszeizmológia, vagyis a csillagok belső pulzációinak tanulmányozása terén is figyelemre méltó haladást értek el a kutatások. A pulzáló változócsillagok közül a Nap-típusú oszcillátorok rezgéseit a csillagok felszínéhez közeli turbulenciák miatti apró gerjesztődések váltják ki. Ezek nagyon kis amplitúdójú méret és alakbeli változásokat okoznak a csillagok felszínén, amiket olyannyira nehéz kimutatni, hogy a Kepler előtt (pár kivételtől eltekintve) szinte csak a Nap esetében ismertünk ilyen változásokat.

A jóval nagyobb amplitúdójú RR Lyrae típusú változók esetében is adódtak új eredmények, amelyek kutatásának Magyarországon Detre László óta majd évszázados hagyománya van. Ezek a változók öreg, radiális pulzációt folytató vörös óriás csillagok, melyek nagyon jó távolságindikátorok. Pulzációütemük és abszolút fényességük között empirikus összefüggés van, így őket is standard gyertyáknak használhatjuk. Harlow Shapley a segítségükkel mérte fel a XX. század elején a Tejútrendszert és határozta meg azon belül a Nap helyzetét. A Kepler mérései számos, korábban ismeretlen, kis amplitúdójú pulzációs effektust mutatnak ki a változóosztályban, illetve az úgynevezett perióduskettőződés jelenségét, amely váltakozó nagyságú maximumok és minimumok formájában jelentkezik a csillagok fénygörbéjében.

A közeljövőben induló űrfotometriai missziók, mint a PLATO vagy a TESS (A TESS űrtávcső felbocsátása idén április 18-án megtörtént – A szerk.) várhatóan további tudományos áttöréseket hoznak majd, azonban addig is bőven van mivel foglalkoznia a kutatóknak. Ki tudja mennyi tudományos ismeret rejtőzik még felfedezésre várva a Kepler adatbázisaiban.

JUHÁSZ ÁRON

INTERJÚ VIZI E. SZILVESZTERREL

A Corvin-lánc Testületről

Vizi E. Szilveszter akadémikus, a TIT tiszteletbeli elnöke, a Magyar Tudományos Akadémia korábbi elnöke vezeti az idei évtől a Corvin-lánc Testület munkáját. Lapunk ezen új feladatról kérdezte szerkesztőbizottságunk elnökét.

Az idei esztendő Mátyás emlékévé, a Corvin-lánc kitüntetésnek s általában a Corvin-lánccal kapcsolatos közös gondolkodásnak van valamilyen különleges jelentősége vagy plusz tartalma ebben az évben? A Corvin-lánc kitüntetést azzal a céllal alapították 1930-ban, hogy a kimagasló magyar művészek, tudósok, közszereplők közül elismerjék azt a néhány legkiemelkedőbb személyiséget, akiknek a szerepe az ország, a nemzet életében különösen fontosnak minősíthető, és személyük, munkásságuk általános elfogadottságot élvez. A Corvin-lánc a második legmagasabb állami kitüntetés a Szent István-rend után. Már az első kitüntetettek között óriási nevek voltak. Így Báró Korányi Sándor, – nevét az az utca viseli, ahol ma is az a klinika áll, melynek ő volt a tanszékvezető professzora –, de ugyanígy említhetném Pásztor János szobrász, vagy akár Herceg Ferenc író nevét. A második világháború után ezt a kitüntetést már nem alkalmazták, és csak 2001-ben vezette be újra a kormány. Az akkori kitüntetettek között ott találjuk például Teller Ede nevét, aki ugyan nem kapott Nobel-díjat, de a szerepe az atombomba, aztán a hidrogénbomba kifejlesztésében, ezáltal a Szovjetunióval szembeni politikai ellensúly megteremtésében a hidegháború időszakában igen jelentősnek bizonyult. A Corvin-lánc a mai alkotók elismerése mellett tisztelgés Magyarország egyik aranykora, Mátyás király reneszánsz uralkodása előtt is. Azon kulturális és tudományos fejlődés előtt, amely a maga korában európai mércével mérve is példaértékű volt. S nemcsak a Corvinlancra gondolok, nemcsak arra, hogy az itáliai kultúra teret nyert Magyarországon, hanem a tudományos és művészeti központok alapítására szerte az országban. Olyan kulturális, szellemi felemelkedés zajlott akkor, Mátyás uralkodása alatt, amely egyedülálló volt egész Európában.



Miként működik a Corvin-lánc Testület – testületként?

A Testület munkáját a Magyar Corvin-lánc Iroda segíti, melynek vezetője Klinghammer István akadémikus. A mostani Corvin-lánccsok személyisége felöleli a magyar kultúra egészét. S a kultúra alatt én – Eötvös Józseffel egyetértve – természetesen a művészetek összessége mellett a tudományt is értem. Sótonyi Pétertől, a TIT alelnökétől, akadémikustól, Melocco Miklós szobrászművészig, a kitüntetettek neve és tevékenységi köre a magyar kultúra egészét lefedi, s fémjelzi annak különlegességét és sajátosságát.

Hogyan történik a következő Corvin-lánccsok kiválasztása, kijelölése?

Tudni kell, hogy a létszám korlátozott. Kezdetben még nem lehetett átlépni a 12 fős létszámot. Ezt a második világháború előtt, Horthy Miklós kormánya idején emelték fel 15-re, ma ez a maximális étszám. Most 13 tagja van a Corvin-lánc testületnek, amely mint testület működik. Egy gyönyörű székházzal is bővülünk a közeljövőben: a zuglói Róheim-villával, amely a magyar kultúra új palotájaként fog működni, könyvtártól a vendégszobákon át az előadótermekig számtalan funkció megtalálható lesz benne.

Marton Éva világhírű szopránunk, aki szintén Corvin-lánc tulajdonos, például rendkívüli lehetőségeket lát arra,

hogy a világ minden pontjáról kiemelkedő művészeket, tudósokat hívjunk meg, akiknek egyedi szerepük van a világban, valami olyan pluszt adnak a globális kultúra fejlődéséhez, amelyet Magyarországon is meg kell ismernünk és ismertetnünk.

GÓZON ÁKOS



A SZKRIPAL-MERÉNYLET MARGÓJÁRA

A Novicsok idegbénítő gáz

Két merénylet, két elkövetési mód, két gyilkos anyag – a kémikus kutató szemével...

A Szkripal-merénylet

2006 novemberében súlyos mérgezési tünetekkel kórházba szállították *Alekszandr Litvinyenko*, Londonban élő orosz disszidentet, az *Orosz Szövetségi Biztonsági Szolgálat* volt alezredesét. 2006. december 5-én mérgezés következtében kialakult teljes szervezeti összeomlás folytán *Litvinyenko* szívinfarktuszban meghalt.

Az eset világszerte nagy feltűnést keltett, a média vezető hírként foglalkozott vele, a mérgezéses halál mögött bonyolult kémhistóriát feltételeztek. Mint ilyen esetekben nem ritkán, elméletek tömkelege született a halál okáról és a mérgezés részleteiről. Az egyik bizonyítottnak tekintett tény szerint *Litvinyenko* szervezetébe gyilkos mérgeként *polónium-210* radionuklidot juttattak, az végzett vele. Annakidején ebben a folyóiratban „*A gyilkos fegyver, Polónium-210*” címmel a fentiekéről cikket közöltünk¹.

Vegyészként érdekelt, milyen szakmai, kémiai ismeret birtokában merülhetett fel valakiben, vagy valakiben, hogy így is lehet gyilkolni. A cikk részletesen foglalkozott a polónium *Marie és Pierre Curie* általi felfedezésével és kémiai tulajdonságainak körvonalazásával. Fentieket csak azért vázoltuk, mert egy közelmúltbeli újabb esemény indokoltá tette.

12 évvel az említett történet után, 2018. március 4-én eszméletvesztett állapotban találtak rá Salisbury angol kisváros bevásárlóközpontja mellett egy parki padon Szergej Szkripalra és lányára, Júliára². Az orosz katonai hírszerzés egykori ezredesét még a 90-es évek végén szervezte be a brit felderítés. Az orosz kémelhárítás azonban 2003-ban leleplezte. Letartóztatták, és 2006 júliusában hazaárulásért 13 évre ítélték. A teljes büntetést azonban nem kellett letöltenie, mert 2010 nyarán Medvegyev orosz elnök kegyelme révén részesévé vált az amerikaiakkal kötött kémcsereinek. A cserét követően az orosz kémiszolgálat egykori ezredese és felesége Nagy-Britanniában telepedett le. Amikor kiderült, hogy a két eszméletét vesztett ember kicsoda, sokakban felrémlt e dolgozat elején leírt londoni eset, amikor *Alekszandr Litvinyenko*, kiugrott orosz titkosszolga 2006-ban megitta azt a teát, amibe gyilkos polónium-210 anyagot csempészett valaki, és a kém a mérgezést követő 23. napon meghalt. Orvosai sokáig nem tudták tisztázni, mi volt a gyilkos szer, rövidre rá azonban, a véletlennek is köszönhetően azonosították *Litvinyenko* szervezetében a polónium-210

radioizotópot. Ez azért nem maradhatott titokban, mert a polónium – radioaktivitása következtében – könnyen azonosítható, és útja onnan, ahonnan küldték, egyszerűen követhető volt.

A Szkripal-merénylet és a Litvinyenko ellen elkövetett gyilkosság között az a különbség, hogy ezúttal nem radioaktív elemet, hanem olyan idegbénító gázt (Novicsok) használtak az elkövetők, amit katonai célokra még a 70-es években kezdtek fejleszteni a Szovjetunióban. Vagyis 8 nap kellett a briteknek ahhoz, hogy azonosítsák a merénylet eszközét, pedig ennek a bináris, kétkomponensű harci gáznak a létezéséről aligha most szereztek tudomást. Megszületésekor, már 1992-ben beszámolt róla az idegméreg egyik kifejlesztője, az orosz vegyész, *Vil Mirzajanov*³. A vegyész részletesen írt arról, hogy Oroszország, noha korábban csatlakozott az ENSZ vegyi fegyverek megsemmisítésére vonatkozó szerződéshez, mégiscsak folytatta a harci gázok fejlesztését a Állami Szerves-kémiai és Technológiai Tudományos Kutató Intézetben, a GoSZT NIIHT-ban. Mint látható, a Litvinyenko és Szkripal-merényletek között sok a hasonlóság, de nagy a különbség is, ugyanis a polónium-210 soha azelőtt gyilkolásra nem alkalmazott kémiai elem, radionuklid volt, míg a Novicsok-típusú idegbénítók elődeit eredetileg rovarirtó vegyületekként állították elő, de később kimondottan gyilkolásra alkalmas fegyverként

kerültek bevetésre. Mirzajanovot az említett cikkért többször letartóztatták, sőt egy alkalommal államtitok-sértési ügyét sikerült bíróság elé vinni, de a perben végül felmentették. Ezek után a moszkvai vegyész 1996-ban az Egyesült Államokba emigrált, ahol 2008-ban kiadott könyvében ismertette a Novicsok-előállítás sztoriját⁴.

Kémiai fegyverek

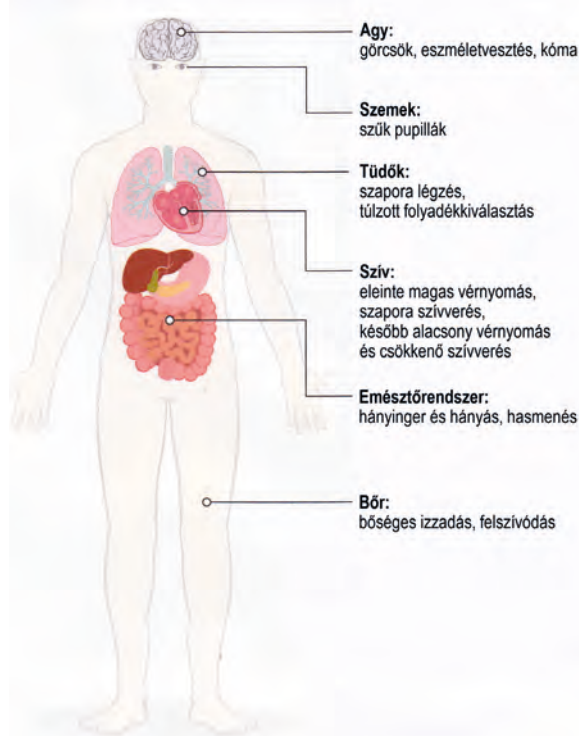
Az eddig leírtak után elsősorban körül kell járjuk az idegbénító gázokat³. Ezeket kémiai fegyvereknek is nevezik. Vegyületeik szobahőmérsékleten folyékonyak és kémiai szempontból szerves foszforvegyületek. Amikor egy normálisan működő motorideget stimulálnak, az az acetilkolin neurotranszmittert bocsátja ki, ami átküldi az impulzust egy izomhoz, vagy szervhez. Amikor az impulzus kiküldésre kerül, az acetilkolineszteráz enzim rögtön feltöri az acetilkolint annak érdekében, hogy pihenésre készítse az izmot vagy a szervet. Idegbénító gázok általában megszakítják az idegrendszer pályáit az acetilkolineszteráz enzim szerepének gátlásával, kovalens kötést képezve annak aktív helyével. Ugyanez a hatás történik a mirigyek és szervek szintjén, ellenőrizhetetlen nyálazást, könnyezést és bőséges orrváladékozást okozva (**1. ábra**), és persze, adagolástól függően, az idegbénító gázok halálos hatásúak is lehetnek.

Ezek után helyénvaló néhány szót szólni a novicsok előtti idegbénító gázok felfedezéséről. Azokat *R. Gosh* és *J. F. Newman* amerikai vegyészek fedezték fel, és 1952 novemberében dietil S-2-dietilaminoetil foszfono-tioátként szabadalmaztatták. Később a kereskedelmi forgalmazását betiltották, amikor 1955-ben felfedezték az emberi szervezetre halálos voltát. Ennek ellenére 1961-ben ezek nagymennyiségű előállítását kezdték meg az egyesült-államokbeli Newport Chemical Depot nevű cégnél. Említett vegyészek a szerves foszfátvegyületeket (szubsztituált aminoetantiolok szerves foszfonát észterei) rovarirtóként vizsgálták.

Huszonnegy nevű gyilkos szer

Mint hangzásából kiderül, a „novicsok” orosz szó. Azzal a különlegességgel rendelkezik, hogy angol nyelvű megfelelőjeként 21 szó is használható. Talán a legmegfelelőbb, jelen szerző szerint a „newcomer”, ami a magyar „újoncnak” felel meg, de angolul használják a „rookie”, a „beginner” stb. szavakat is. A kémiára visszatérve a novicsok idegbénító gázszorozat egyike, amit a Szovjetunióban fejlesztettek ki az

1. ábra. Az idegbénító gázok hatása az emberi szervezetre

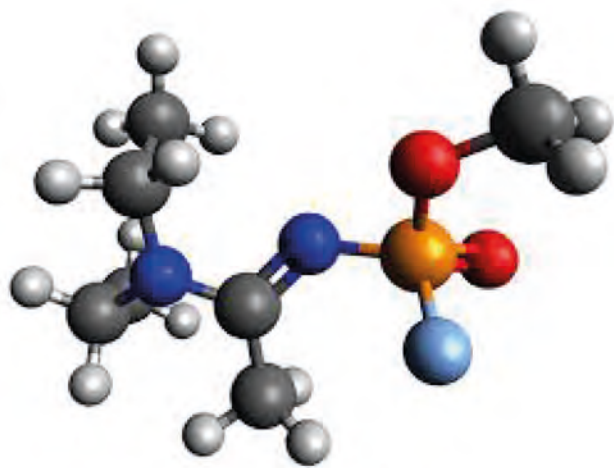


1970-es és 80-as években⁵. Határozottan kiemeljük, hogy ezek a valaha eddig készült, előállított idegbénító gázok leghalásosabbjai, amelyeknek bizonyos változatai lehetségesen 5-10-szer hatásosabbak, mint az elődei, bár ezt eddig soha nem bizonyították.

Ezek a kémiai fegyverek harmadik nemzedékéhez tartoznak. Eredetileg a K-84-ként, de később A-230-ként jelölt *novicsok-család* és analógjai több mint 100 szerkezeti változatát szintetizálták. Katonai szempontból a változatok közül a legtöbbet ígérőnek az A-232-őt (*novicsok-5-öt*) tekintik. A novicsok szerkezeti képlete a **2. ábrán** látható. Ezeknek a gázoknak első leírását *Mirzajanov* publikálta⁴. Ultrafinom porként, gáz halmazállapotban vagy páráként diszpergálva egyedülálló a mérgező hatásuk.

Kétkomponensű idegbénító gázfegyverek

A binér, kétkomponensű kémiai fegyverek⁶ olyan harci eszközök, amikben magának az aktív állapotban lévő nagyon toxikus vegyületnek csak elővegyületei



2. ábra. A novicsok idegbénító gáz szerkezete és képlete⁸ sötétszürke: C., világos szürke: H., kék: N., sárga: P., világoskék: F., $C_7H_{16}N_2O_2P$

vannak jelen. Az elővegyületek úgy vannak megalkotva, hogy külön-külön jelentősen kevésbé mérgezők legyenek, mint az a vegyület, ami akkor képződik, amikor összekeverednek. Ez lehetővé teszi a mérgező anyag biztonságosabb szállítását és tárolását. A *novicsok* is ilyen idegbénító gáz, de elővegyületei

nem ismertek. A biztonság, amit a binér mérgek (fegyverek) lehetővé tesznek, különösen fontos azok számára, akik ezeket szállítják. A kémiai reakció akkor jön létre, amikor a mérget (fegyvert) valamilyen tett helyszínén alkalmazzák. A binér kémiai vegyületek rajta vannak a vegyi fegyverek tiltólistáján, és ennek megfelelően gyártásuk és tárolásuk is tiltott.

A binér kémiai mérgek (fegyverek) másik példája az Egyesült Államok hadseregének M687-ese. Az M687-ben metilfoszfonildifluorid (katonai neve: DF) és egy másik vegyület (elnevezése titkos) van, amelyeket szállításkor külön edényekben tárolnak. A mérgező (fegyver) alkalmazásánál (a helyszínen) összekeverik a vegyületeket, aminek eredménye például halálos hatású idegbénító gáz.

Érdekességként említjük, hogy a binér mérgek (fegyverek) használata nem csak katonai célokat szolgál. Miniatűr binér mérget használtak gyilkolásra *Frederic Forsyth: The devil's alternative*⁷ (Az ördög alternatívája) című fikciós novellájában is. A mérgező két kapszulából állt, az egyik káliumcianidot, a másik sósavat tartalmazott. A két vegyület keveredett amikor a kapszulákat feltörték, ami halálos méregként hidrogén-cianidot hozott létre. Ez a példa ugyan a fikciós irodalomban fordul elő, és szerzetlen gyilkos gázt használ, ami más, mint a szerves foszfátok, amiről a fentiekben említést tettünk, de érdekessége miatt érdemesnek tartottuk megemlíteni. Ugyancsak érdekes, hogy az amerikai „*Dexter*” TV-sorozat 10. és 11. epizódjában is használnak gyilkolásra binér fegyvert – itt a két két komponensből (DF-ből és izopropilalkoholból) a vegyifegyverként ismert szerint állítottak elő.

BRAUN TIBOR

HIVATKOZÁSOK

1. Braun Tibor, Vértes Attila., A gyilkos fegyver, *Polónium-210*, *Természet Világa*, 2007, 138, 131
2. https://en.wikipedia.org/wiki/Poisoning_of_Sergei_and_Julya_Skripal
3. https://en.wikipedia.org/wiki/Vil_Mirzayanov
4. https://books.google.hu/books/about/State_Secrets.html?id=1aJQPgAACAAJ&source=kp_cover&redir_esc=y
5. <http://www.pbc.com/news/world-europe-43377698>
6. https://en.wikipedia.org/wiki/Binary_chemical_weapon
7. https://en.wikipedia.org/wiki/The_Devil%27s_Alternative
8. https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRVj8t1UZLlhW8My_IE4Ns99r-U8Lpf3wtKDE28t-T2oUudMUYMGrQ

EGY HAMIS HÍR NYOMÁBAN

Bolyai János és a relativitás- elmélet

Az utóbbi időszakban többen is megkérdezték tőlem, hogy tudok-e arról a hírről, miszerint Albert Einstein az első világháború előtt Marosvásárhelyen járt és elvitte Bolyai János kéziratát a relativitáselméletről. Mivel még az utóbbi hónapokban is több újságban és internetes hírportálon történik említés erről, időszerűvé vált e „hír” tisztázása.

Bevezetőként szükséges néhány konkrét tény megemlézése. Amikor 1860. január 27-én Bolyai János Marosvásárhelyen meghalt, nyomorúságos kis bérelt szobájában megjelentek a katonai kiküldöttek (János kapitányi ranggal rendelkező tiszt volt), az ott található kéziratokat lefoglalták, egy ládába tették és elvitték a várban székelő katonai parancsnokságra. Ellenőrizni akarták, hogy nem rejtegetnek-e ezek katonai titkokat. Ma már csak elismeréssel gondolhatunk a katonaság akkori önkényes intézkedésére, mivel ez mentette meg a ládába dobott kéziratokat az utókornak. Később a kutatók próbálták rendszerezni és témák szerint osztályozni ezeket, amelyek között Bolyai nagyon sok új gondolatát találták meg, melyekkel évtizedekkel megelőzte korát. Még mindig tart a közel 14 000 oldalnyi kézirati anyag feldolgozása, amelyet némileg nehezítenek az általa használt újfajta jelölések és betűk.

Miután a katonai hatóságok meggyőződtek, hogy a kézirati tömkelegben nincs szó katonai titkokról, a kéziratokat tartalmazó láda az egyik fészereből a másikba hanyódott, míg végül – szerencsére – a marosvásárhelyi református kollégium vette oltalma alá. Az első szakértőnek, Paul Stäckelnek (1862–1919) – aki Németországból Schmidt Ferenc kérésére érkezett a marosvásárhelyi kollégium könyvtárába – rövid idejű tartózkodása alatt sikerült a kéziratok egy részét tanulmányozási célból átnéznie. Bolyai több értékes és eredeti, új eredményét találta meg, s ezeket a korabeli szakfolyóiratokban közölte is. Itt csak annyit jegyeznénk meg, hogy Bolyai Jánosnak az



élete folyamán nyomtatásban csak egyetlen műve jelent meg, az Appendix, mely apja latin nyelven írt 600 oldalas munkájának, a Tentamen első kötetének függelékeként látott napvilágot. Ennyiből állt akkoriban számára a nyomtatási lehetőség. Ez a csupán 29 oldalas remekmű, a világ matematika irodalmának egyik legcsodálatosabb gyöngyszeme emelte Jánost a halhatatlanok sorába.

1948-ban az egyházi iskolák államosításával a kollégiumi könyvtár a teljes múzeumi anyagával együtt a román állam tulajdonába ment át. Majd ezek az anyagok 1954-ben a Teleki Téka épületébe kerültek, és így jött létre a most is létező Teleki-Bolyai könyvtár, valamint a Bolyai Múzeum.

Bolyai János születésének 150-ik évfordulója alkalmából a kolozsvári Bolyai Tudományegyetem gondozásában napvilágot látott a *Bolyai János élete és műve* című könyv, melyet 1953-ban a bukaresti Állami Tudományos Könyvkiadó jelentetett meg. Ebben – többek között – Benkő Samu, Szarvadi Tibor és Tordai Zádor szemelvényeket közöltek Bolyainak legújabb felkutatott hagyatékából. Ezek között szerepel egy különös jelentőséggel bíró kijelentés:

„az nehézkedés törvénye is szoros öszveköttetésben, folytatásban tetszik (mutatkozik) az úr természetével, valójával (alkatával), miljségével, s (gondolom) az »egész természet« (világ) foljása”. Ennek rendkívüli jelentőségére mutatott rá ezután Toró Tibor (1931–2010) fizikus, aki szakértelemmel kijelentette: „Bolyai Jánost joggal tartjuk számon a XX. századi fizika egyik legszebb és legalapvetőbb fizikai eszméje: a fizika geometrizálása gondolatának legelső megfogalmazójaként, a fizika geometrizálása előfutáraként”. Toró még azt is megjegyzi, hogy Bolyai János több mint egy fél évszázaddal előre látta azt a kapcsolatot, amely később a relativitáselmélet egyik fő alapját képezi majd.

Pontosabban miről is van szó? 1916-ban tette közzé Albert Einstein az Általános relativitáselmületről szóló munkáját. Ebben a művében szerepel egy alapösszefüggés, melyben az egyenlőség bal oldalán a tér geometriai szerkezetét leíró mennyiségek, a jobb oldalán pedig a fizikai gravitációs tér tulajdonságát kifejező mennyiségek szerepelnek, vagyis pont az a kapcsolat van konkrét matematikai formulába öntve, amelyet Bolyai már azelőtt említett. De egészen biztos, hogy Einstein nem tudhatott Bolyai ezen megállapításáról, mert ezt csak 1953-ban közölték először.

És most térjünk rá az említett híresztelés problémájára. A *München Hétfő Könyvtár* 1974. évi 3. számának 47-ik oldalán megjelent egy írás Dr. Szakárts Istvánné (USA) tollából. Az ezt követő években több újság és internetes portál újból felkarolta ezt a hírt, melyet több esetben rövid kiegészítő szövegekkel is megtoldanak. Ilyenek például a *Magyar Krónika*, *Világbiztonság Facebook Közösség*, *Magyar Megmaradásért*, *Ósi Gyökerek* stb. Legutóbb itt Erdélyben a *Székely IDŐ* hetilap 2017. évi 16. számában olvashatunk megint e témáról, melyben Einstein személyéről nem valami hízelgő módon nyilatkoznak. Toró Tibor már évtizedekkel ezelőtt cáfolta Dr. Szakárts Istvánné állításait, és nem sokkal ezután Oláh Anna Budapesten élő Bolyai kutató is, akitől érdemes néhány sort idézni: „2012-ben írtam a *Magyar Krónika* szerkesztőségének egy kiigazítási levelet. A levelem megjelent, a kiigazításom nem”, vagy „Ha ezek a folyóiratok és internetes portálok ellenőrizetlenül vesznek át híreket és közlik, akkor olyanok mint a számítógépes vírus, mert álhírekkel fertőznek”.

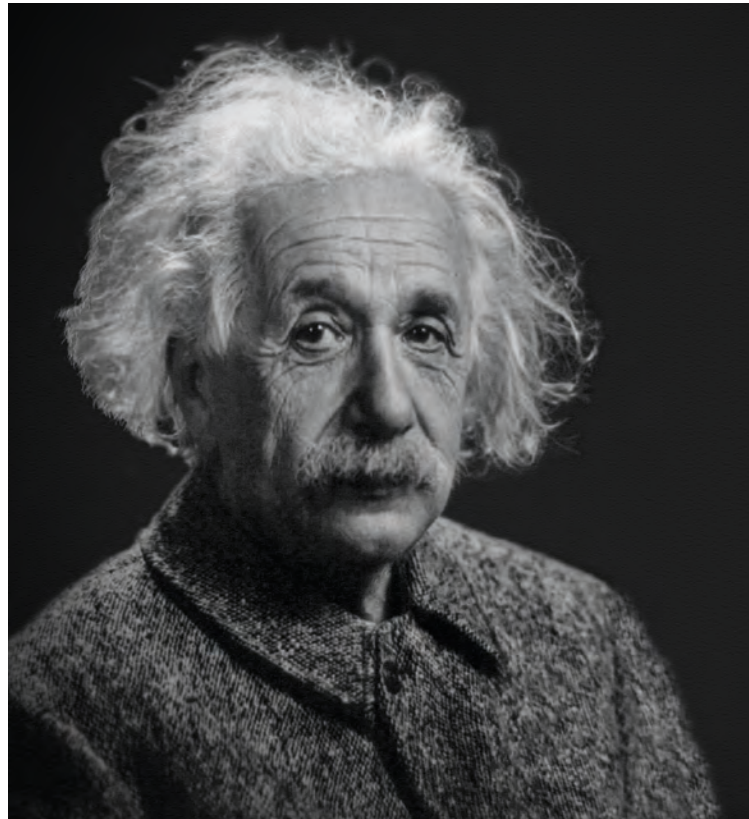
S most idézzünk néhány részletet Dr. Szakárts Istvánné már említett írásából:

„... Ezzel kerülök az Úrnak 1802-ik esztendejében Kolozsvárott napvilágot látott Bolyai Jánoshoz, kinek születését atyja, tudós Bolyai Farkas, ezzel jegyzi Bibliájába: „Én is adtam egy planétát a világnak, melynek azonban sem középpontját, sem pályáját nem tudom kiszámítani”. De lehet-e jövendőjét mondani olyan csillagnak,

aki négy éves korában felkap egy szeletkét a konyhában burgonyát hámozó szolgáló kosarából s azzal fut atyjához „Táte nézzed mit kaptam: pityóka árkusának pityóka szinuszt!”

Alig cseperedik, már viszi tudományszomja külföldre. Nyugatra. Amikor elindul, egyetlen vagyontárgya az erdélyi keményfából ácsolt, veretes diákláda, mely úgy kíséri útjain, mint üstökös Körösi Csoma Sándort, a nagynyedi pagonyban somfából metszett vándorbot.

Göttingában ismerkedik össze a nála idősebb Karl Friedrich Gausszal, a germánok későbbi matematika fejlődésével. Egylőre csak indulnak az egyforma képességek, de nem egyforma esélyek alapján. Így lesz Gauszból a híres göttinga csillagvizsgáló intézet nagy tekintélyű professzora, míg Bolyaiból a vidéki város — Marosvásárhely — kollégiumi tanára.



Bolyai János onnan is öszveköttetésben marad a Nyugattal! Sorra küldi ki munkáit, képleteit Gausznak, akinek becsületességében bízik. Amikor a paralellák teóriájáról szóló megoldása érkezik Gauszhoz, az — hiúságában sértődötten — indulatosan tépi össze a maga — szintén e témakörben 35 esztendő óta kutató — eredményt nem ért dolgozatát. Ezután már — „fejedelemséget” féltve — az előzően zseninek nyilvánított Bolyait — agyonhallgatja.”

A Kanadában 1998-tól megjelenő Magyar Krónika folyóirat Dr. Szakáts Istvánné további állításait ismertetve rövid szövegrészekkel is fűszerezi:

„1860-ban halálát érezte közeledni Bolyai János. Sok utat járt diákládájába rendezni iratait. Pontosan, gondosan, számozottan a több mint tizennégyezernyi írott oldalt kitevő munkáit. Közöttük az egykor már nyomtatásra kész — Gauss irigysége folytán nyomdát nem látott — könyv alakban meg nem jelent művét: a relativitás elméletét. És amikor a Marosvásárhelyt ma is álló ősi cinteremből a kollégium lélekharangjának csengése mellett kísérik a temetőbe — hagyatéka, a diákládájával együtt, megőrzésre a Teleki Thékába kerül.

Ma már bizonyos: egyedül Bolyai János jutott el geometriai vizsgálódásai alapján ahhoz a felismeréshez, amely az általános relativitás fizikai lényegét alkotja. Nevezetesen ahhoz, hogy a gravitációs erőter és a geometriai erőter mögött belső összefüggés van. Ezzel a korszakalkotó felfedezésével évszázaddal megelőzte korát! Nemrég történt, hogy Kanadában tudósokból álló társaság, matematikai témákról és ezzel kapcsolatban a nagy tételek megoldásáról beszélt. Az egyik — különben montreáli francia — arról, miszerint a „a relativitás atyja” több mint száz esztendővel ezelőtt élt magyar. Hozzá is fűzte gall akcentusú angoljával: „Indeed the former great Transylvanian Johannes Bolyai” (Valóban az egykori nagy erdélyi Johannes Bolyai).

Felszólalások, megjegyzések követték egymást, az egyik torontói matematikus bejelentése, miszerint tudomása van arról, hogy Magyarországon a matematikusok — ezek között többen éppen a Műegyetemen — tudnak Bolyai igazáról. Az időközben Bolyai-Gauss levélváltásból nyilvánosságra hozott levelek — Eötvös Loránd feljegyzései — utalnak erre. Döntően a pár esztendővel ezelőtt Amerikában, Princetownban meghalt Einstein hagyatéka: az Einstein halála után felvett pontos közjegyzői leltár, melyben a tudományos világ által hiányolt Bolyai iratok számozottan vannak feltüntetve.

Hogy a korszakot meghatározó munka miként jutott idegen kezekbe, arra régen fényt deríthetett volna a marosvásárhelyi Théka naplójába jegyzett különös szöveg. Ennek története:

1914 tavaszán Marosvásárhelyre érkezett egy idegen, ismeretlen tanár. Olyan kiváló ajánló levelekkel, hogy azok alapján megkapta betekintésre a Bolyai János-ládba zárt hagyatékot. A tanár — akit Einstein Albertnek hívtak — elutazása után került a hiányt jelentő feljegyzés a Théka naplójába. Einstein tudhatott arról, hol őrzik Bolyai János írásait. Érdekelhette a hagyaték. Bizonyos, hogy nem ok és cél nélkül vette útját az eladdig neki ismeretlen erdélyi városba. Jó megérzése vitte a vasveretes iratládáig!”

Ezek után mit mondhatunk? Az eddig közölt részletek után feltétlenül szükségesnek tartok néhány lényeges megjegyzést és cáfolatot. Bolyai Farkas nem a Bibliájába jegyzi János megszületésekor említett sorait, hanem Carl Friedrich Gaussnak, 1803. február 27-én Kolozsváron kelt levelében írja. Szakátsné összekavarja Bolyai Farkas és Bolyai János életpályáinak eseményeit. János sohasem járt Göttingában, sohasem levelezett Gauss-szal, így munkáit sem küldhette neki, az *Appendixet* az apja juttatta el Göttingába, nem volt kollégiumi tanár stb. Érthetetlen az is, hogy Gauss (akinek még a nevét is hibásan írja le) hogyan akadályozhatta János munkáinak nyomtatásban való megjelentetését Göttingából, amikor a Farkassal történő levelezése is az ő részéről 1808-tól 1832-ig megszakadt. Ami pedig a lényegét jelenti, az elmúlt években Marosvásárhelyen újból utána néztünk a legfőbb állítás valóságának és helytállóságának. A megalapozott eredmény az, hogy Einstein sohasem járt Marosvásárhelyen! A Teleki Téka naplójában sem létezik semmiféle „szöveg”, annál is inkább, mert 1914-ben János kéziratái a kollégium könyvtárában voltak. Ha Einstein valamikor is megfordult volna Marosvásárhelyen, ezt már rég telekürtölték volna a szenzációra éhes emberek. Ami pedig az Einstein halála utáni hagyatékban talált Bolyai relativitáselméleti munkáját illeti, alapos kétséget áraszt. Azon kívül, hogy Bolyai nem számozta meg kéziratait, felvetődik a kérdés: miért nem közölte ezt eddig senki? Különösen napjainkban, amikor sokan, főleg az egyetemi katedrákon dolgozók, előbbre haladásuk érdekében alig várják, hogy valami újjal rukkoljanak elő. Az, hogy Einstein hagyatékában esetleg előfordul Bolyai János neve is, az egészen természetes, hiszen maga a relativitáselmélet a nemeuklideszi térszerkezetre épül, amelynek kifejtésében komoly szerepet játszik a tenzorok használata, ami Bolyai idejében még nem volt közismert matematikai eszköz.

Szomorúan kell megjegyeznem, hogy az ilyen, minden konkrét alapot nélkülöző szenzációhajhász valótlan állítások, rendkívül rontják a magyar nép legzseniálisabb matematikusáról alkotott képet. Maga Bolyai is többször leírta, hogy undorodik attól, hogy mások eredményeivel páváskodjon, de rendkívül fájt neki, ha az ő eredményeit mások eltulajdonítják. Sajnos az ő életében többször kellett szembesülnie ezzel a problémával. Elégedjünk meg azzal, és legyünk büszkéek arra, hogy minden idők egyik legnagyobb matematikusa, Bolyai János, aki fél évszázaddal megelőzte korát, az „új, más világ megteremtése” mellett, számos tudományág megjelenését (relativitáselmélet, topológia stb.), már előre megsejtette.

WESZELY TIBOR



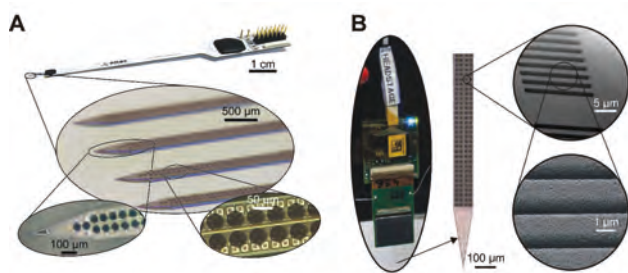
BIONIKAI KUTATÁSOK A NEMZETI AGYKUTATÁSI PROGRAM KERETÉBEN

Elektródfejlesztési irányok

2. RÉSZ A bionika szűkebb értelemben vett fókuszát képezik mindazon törekvések, melyek bizonyos elvesztett testi funkciók, érzékszervi vagy mozgásszervi fogyatékoságok mérnöki kompenzációjára, az eredetihez hasonló működés helyreállítására irányulnak, valamint az ezt célzó technológiák fejlesztése közben megismert összefüggések általános érvényű alkalmazhatóságával foglalkoznak.

Az agyi elektromos tevékenység tudományos vizsgálatának kezdete nagyjából a XX. század első felére tehető. Néhány évtizeddel később a kutatók már rutinszerűen alkalmazták az agyi elektromos jelek mérésére alkalmas érzékelőket, melyekkel akár az egyes idegsejtektől eredő elektromos impulzusokat (szaknyelven akciós potenciálokat) is meg tudták figyelni. Kezdetben ezek a mérőeszközök (elektródok) egy hajszálvékony – körülbelül a milliméter tizedrészének megfelelő átmérőjű – szigetelt fémszálból álltak, melynek a legvégéről eltávolították a szigetelő réteget, majd a fémszál lecsupaszított végét közvetlenül a vizsgálandó agyszövetbe helyezték. Így a mérőelektród, ami tulajdonképpen a feszültség időbeli változását érzékelt az agyszövetben, képes volt a környezetében található néhány közel elhelyezkedő és számos távolabbi idegsejt elektromos impulzusait detektálni.

Mivel egyetlen fémszállal az összetett idegi áramkörökből felépülő agy csupán egyetlen pontján lehetett vizsgálni az elektromos aktivitást, az idegtudósok különböző módszereket alkalmazva több fémszálat egymás mellé rögzítettek annak érdekében, hogy egyszerre több agyi terület kisülési mintázatait is mérni tudják. Ezeknek az úgynevezett elektród-tömböknek a használatával jelentősen növelni tudták az egy időben vizsgálható idegsejtek számát. Az elektrofiziológiai kutatásokban a következő nagy változást a mikro-elektromechanikai rendszerek (micro-electromechanical systems, MEMS) technológia elterjedése hozta az 1990-es években. Ennek a módszernek köszönhetően már lényegesen nagyobb pontossággal tudták meghatározni az agyszövetbe implantált mérőeszközök alakját, valamint a rajta található mérőpontok méretét, nagyságát



1. ábra. A Nemzeti Agykutató Program keretében kifejlesztett, több száz mérőponttal rendelkező, az agyi elektromos tevékenység mérésére alkalmas multielektrodok. (A) Az elektronikus mélység szabályozást megvalósító szilícium-alapú eszköz. Az irídium-oxid mérőpontok (sötét körök a középső és alsó képeken, csak a mérőpontok egy része látható) a multielektrod végét alkotó négy, 8 mm hosszú szilícium tű teljes hosszán található, melyek közül egy időben 32 használható a mérésekhez. (B) Az 1356, titán-nitrid mérőponttal (sötét négyzetek a középső képen, csak a mérőpontok egy része látható) rendelkező szilícium multielektrod és a hozzá tartozó vezérlő elektronika (bal oldali kép). Jobb oldalon pásztázó elektronmikroszkópos felvételek láthatók a mérőpontok felületéről.

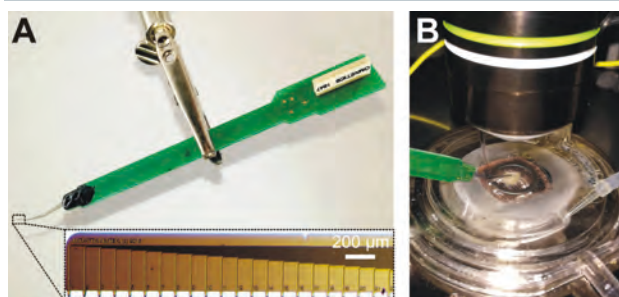
és elrendezését. A korai eszközök még csupán néhány (4-16) mérőponttal rendelkeztek, míg jelenleg általában 32 vagy 64 miniatűr érzékelővel rendelkező multielektrodokat alkalmaznak agykutatói célokra. Ezek a számok azonban még mindig alacsonynak tekinthetők, ha azt nézzük, hogy példának okáért az idegtudományi kutatásokban talán leggyakrabban vizsgált kísérleti állat – a házi egér – agya több mint 70 millió idegsejtet tartalmaz. Kutatócsoportunk hazai és nemzetközi együttműködések keretében, a Nemzeti Agykutató Program támogatásával több olyan modern mérőelektrod kifejlesztését tűzte ki céljává, melyek a közeljövő elektrofiziológiai kutatásainak alapvető vizsgálati eszközeivé válhatnak.

Több európai egyetemmel és kutatóintézzel együttműködésben olyan innovatív eszközöket készítettünk, melyek sokkal nagyobb számú érzékelőt tartalmaznak, mint jelenleg a kutatásban alkalmazott mérőelektrodok. A kifejlesztett eszközök egyike például négy hajszálvékony, szilícium-alapú tűvel rendelkezik, melyek összesen mintegy kétezer apró, kör alakú mérőponttal vannak beborítva, a 8 mm hosszúságú tűk teljes hosszán (1. ábra A; Fiáth et al. 2016). A multielektrodon egy időben maximum 32 darab, a szilícium tűk tetszőleges pontján található érzékelőt lehet bekapcsolni, majd rögzíteni velük az agyi elektromos tevékenységet egy erre a célra kifejlesztett számítógépes program segítségével. Bár ezzel a megoldással az egy időben használt

mérőpontok száma nem nőtt a jelenleg a kutatásban használt eszközökön található mérőpontok számához képest, az új koncepció (elektronikus mélység szabályozás) lehetővé teszi, hogy a mérőelektrod teljes, agyszövetbe szúrt részén vizsgálhassuk az agyi elektromos aktivitást, és a szoftver segítségével kiválaszthatjuk a kísérlet szempontjából lényeges agyi területeket. Ennél is nagyobb mérnöki teljesítmény volt egy olyan, a világon egyedülálló, 1356 darab négyzet alakú (0.02 mm oldalhosszúságú), miniatűr mérőponttal rendelkező eszköz elkészítése (1. ábra B), melynek akár egy időben minden egyes mérőpontjával rögzíthetjük az agyi elektromos tevékenységet, ezáltal több száz idegsejt elektromos mintázatait követve nyomon egyszere (Raducanu et al. 2017).

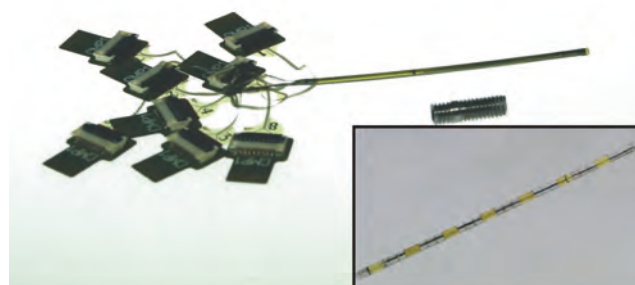
A hagyományos mérőelektrodokon az egyes érzékelők egymástól általában viszonylag távol helyezkednek el (0.1-0.2 mm), így az érzékelők közötti területeken zajló idegi tevékenységről csak viszonylag kevés információt rögzítünk, vagyis jelentős mennyiségű hasznos információ elvesz. Az újonnan fejlesztett eszközökön a mérőpontok gyakorlatilag közvetlenül egymás mellett találhatóak (1. ábra B), ezáltal tulajdonképpen az agy egy behatárolt területén kialakuló elektromos tevékenység egyfajta kétdimenziós lenyomatát rögzítik, hasonlóan ahhoz, ahogy a kamerákban található szenzorok a háromdimenziós kép kétdimenziós lenyomatát készítik el a fény elektromos jellé való átalakításával. A sűrűbben elhelyezkedő mérőpontoknak köszönhetően jelentős mértékben javul a mért jelek térbeli felbontása, lehetővé téve olyan agyi jelenségek kísérleti állatokban történő vizsgálatát melyekre nem

2. ábra. Agyszövetekben zajló elektromos tevékenység mérésére kifejlesztett tüskés ("spiky") multielektrod. (A) A 32 darab, tűske alakú érzékelővel rendelkező eszközön a mérőpontok fésű-szerűen helyezkednek el (alsó kép lenti része, 22 érzékelő látható a 32-ből), melyek finoman az agyszövetbe képesek hatolni. (B) Az eszköz (balra) a hajlított nyakának köszönhetően elfér a mintatartó lemezek pereme (középen) és a két-foton mikroszkóp objektívja (fent) között, így a két mérési módszer kombinálásával hasznos mérési adatokra tehetünk szert.



volt lehetőségünk (például az akciós potenciálok terjedését; Fiáth et al. 2018). További pozitív hozadéka lehet a kifejlesztett eszközöknek, hogy nagyobb információtartalmú, részletgazdagabb neurális jelek rögzítésével csökkenhet az egyes kísérletsorozatokhoz szükséges kísérleti állatok száma az elektrofiziológiai alap kutatásban.

A Nemzeti Agykutatási Program keretein belül kifejlesztésre került még kétféle, egyenként 256 darab érzékelővel rendelkező elektród, melyeken az érzékelők



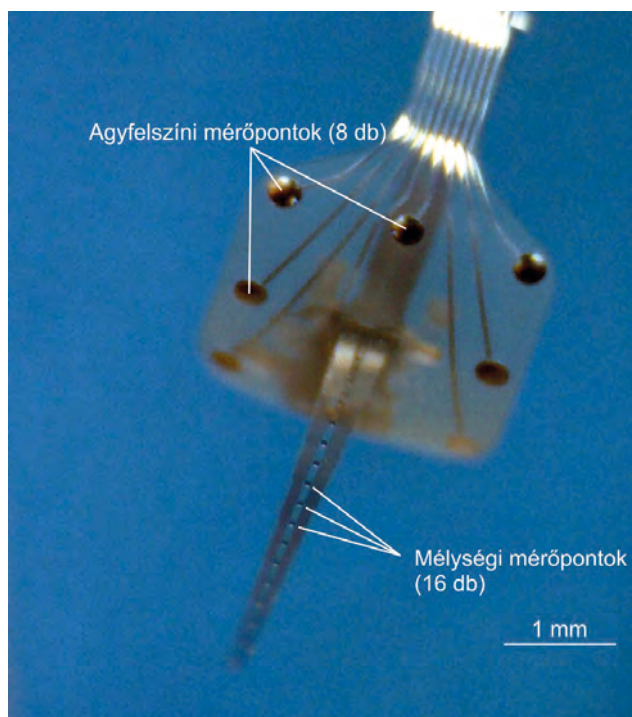
3. ábra. Henger alakú, polimer alapú multielektód 128 mérőponttal. Az eszköz alapos vizsgálatok és tesztelés után alapja lehet egy, az emberi agyba beültethető implantátum prototípusának, mellyel a jelenleginél jelentősen nagyobb térbeli felbontással vizsgálhatnánk agyunk elektromos tevékenységét.

mérete a negyede a fent bemutatott eszközön található érzékelők méretéhez képest (0.005 mm). A tovább növelt térbeli felbontásnak köszönhetően a kutatók az agyi elektromos tevékenység további finom részleteit vizsgálhatják majd a közeljövőben. Fejlesztettünk még továbbá egy speciális, tüskés ("spiky") elektródot, mely kétfoton mikroszkóppal megfigyelt agyseletekben zajló elektromos aktivitás mérésére alkalmas (2. ábra). A 32 darab érzékelővel rendelkező eszköz hatyúnyak-szerű alakja lehetővé teszi, hogy a mintatartó lemezek pereme és a mikroszkóp objektív közötti kis helyen is elférjen. A mérőfej apró tüskéinek végén helyezkednek el a mérőpontok, melyek finoman a szövet felszíne alá képesek hatolni anélkül, hogy túlzottan károsítanák azt. Ezzel a típusú eszközzel lehetőségünk nyílik az idegsejtek alakja és elektromos impulzusai közötti kapcsolat részletes vizsgálatára.

Bár az állatmodelleken végzett vizsgálatok nagyon sok hasznos eredményt szolgáltattak agyunk működésére vonatkozóan, az emberi agy több szempontból is jelentősen különbözik az agykutatásban állatmodellként alkalmazott patkány és egér agyától. A szigorú szabályozások miatt azonban az emberi agyban zajló elektromos tevékenység közvetlen, sejtszintű

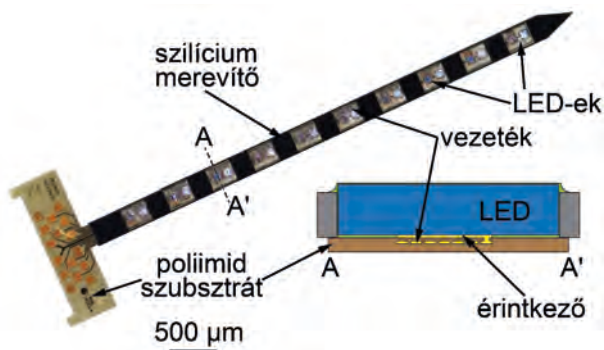
vizsgálatára csak nagyon ritkán nyílik lehetősége a kutatóknak. Esetenként gyógyszeres kezelésre nem reagáló, epilepsziás betegek agyába tudunk betekinteni, ahol a vizsgált agyterületet, mely az epilepsziás roham indításáért felelős, műtétileg eltávolítják. A rohamindító epilepsziás gócpont behatárolására elektródokat helyeznek az agyfelszínre, valamint sok esetben közvetlenül az agyszövetbe is. Ezek a klinikai eszközök azonban általában csupán kisszámú, nagyméretű, egymástól viszonylag távol elhelyezkedő mérőponttal rendelkeznek, így alkalmatlanok az egyes idegsejtek aktivitás-mintázatainak vizsgálatára, vagyis a humán idegi áramkörök működésének mélyebb megértésére.

A kutatásaink egyik célja egy olyan, nagyobb számú és kisebb méretű érzékelővel rendelkező, henger alakú és polimer alapú eszköz fejlesztése volt (3. ábra), mely a későbbiekben alkalmas lehet az emberi agyba való beültetésre és így nagyszámú



4. ábra. Agyfelszíni és mélyeségi mérőpontokat egyaránt tartalmazó multielektrod. Az eszközt vékony, hajlékony, biokompatibilis polimer rétegekből alakítottuk ki, mérőpontjait és azok kivezetéseit platinaréteg alkotja.

idegsejt elektromos tevékenységének közvetlen vizsgálatára (Pothof et al. 2016). Ezek segítségével lehetőség nyílna a különféle állatmodelleken történt felfedezések igazolására emberben is. Ide kapcsolódik még egy, az MTA EK MFA-val kollaborációban készült hazai fejlesztésű műanyag alapú multielektrod, melyet egy



5. ábra. Apró, fénykibocsátó diódákat (LED) tartalmazó eszköz optogenetikai kísérletekhez, mellyel genetikai módosítás hatására fényérzékeny fehérjéket termelő idegsejtek elektromos tevékenységét szabályozhatjuk. Az agyszövetbe szúrható eszközön található 10 darab LED kék színű fény kibocsátására alkalmas. A kibocsátott fényinger erőssége, hossza, valamint a LED-ek világítási sorrendje a kutató által szabályozható.

korábbi, emberbe is beültethető fém alapú mérőeszköz ötlete alapján fejlesztettünk. Az új implantátum rugalmasabb, mint a korábbi szilícium vagy fém alapú eszközök (Márton et al. 2015). A flexibilisebb felépítésnek köszönhetően ezek az implantátumok jobban illeszkednek az idegszövet lágyságához. Vékony polimer rétegek segítségével egy speciális, rajzszög-szerű eszközt valósítottunk meg, mellyel egyszerre lehetséges az agyfelszínen és az agyszövet mélyebb régióiban mérni az agyi jeleket (4. ábra).

A legújabb technológiai áttöréseknek köszönhetően, genetikai módszereket alkalmazva az idegsejtekkel olyan speciális fehérjéket tudunk gyártani, melyek a sejtmembránba kerülnek, majd megfelelő hullámhosszúságú fényel megvilágítva ezeket a módosított idegsejteket serkenteni, illetve gátolni tudjuk azok elektromos aktivitását. Vagyis fényingerek alkalmazásával precízen szabályozhatjuk, hogy milyen gyakran hozzanak létre elektromos impulzusokat. Szelektíven csak bizonyos típusú sejteket fényérzékennyé téve pedig be-, illetve kikapcsolhatunk különböző neurális hálózatokat, ezáltal vizsgálhatjuk azok lehetséges szerepét az egyes agyi funkciókban.

A kutatók általában egy fényvezető (optikai) szál segítségével juttatják el az ingerléshez szükséges fényt a módosított idegsejtekhez. Ezzel a módszerrel azonban csak korlátozottan lehet szabályozni, hogy mely idegsejtek aktiválódnak, és inkább egy nagyobb idegsejt-populáció aktivitásának módosítására alkalmas. A pontosabb, térben behatároltabb szabályozás érdekében MEMS technológia segítségével olyan eszközöket fejlesztettünk (Ayub et al. 2017), melyek tíz

darab, kisméretű, egymás alatt elhelyezkedő fénykibocsátó diódát (light-emitting diode, LED) tartalmaznak (5. ábra). A LED-tömböket további hardverelemekkel és egy számítógépes szoftverrel kiegészítve pontosan szabályozható az egyes miniatűr LED-ek fényereje, illetve, hogy milyen hosszan és sorrendben világítsanak azok. Az eszköz működőképességét genetikailag módosított egerekben vizsgáltuk egyidejűleg monitorozva az idegsejtek elektromos mintázatainak változásait.

Az elmúlt öt év során kifejlesztett nagy téri felbontású elektródok és LED-tömbök újabb hasznos eszközöket adnak az agykutatók kezébe az agy titkainak felfedezésére. Természetesen attól még mindig messze vagyunk, hogy egyszerre az összes idegsejt elektromos tevékenységét nyomon követhessük, azonban az itt bemutatott új eszközök előreláthatólag alkalmasak lesznek arra, hogy közelebb kerüljünk olyan agyi rendellenességek megértéséhez, mint az epilepszia vagy az Alzheimer-kór.

FIÁTH RICHÁRD – MÁRTON GERGELY-
NÁNÁSI TIBOR – ULBERT ISTVÁN

IRODALOMJEGYZÉK

- Ayub S, Gentet LJ, Fiáth R, Schwaerzle M, Borel M, David F, Barthó P, Ulbert I, Paul O, Ruther P. Hybrid intracerebral probe with integrated bare LED chips for optogenetic studies. *Biomedical Microdevices*, 2017, 19(3): 49.
- Fiáth R, Beregszászi P, Horváth D, Wittner L, Aarts A, Ruther P, Neves HP, Bokor H, Acsády L, Ulbert I. Large-scale recording of thalamocortical circuits: in vivo electrophysiology with the two-dimensional electronic depth control silicon probe. *Journal of Neurophysiology*, 2016, 116(5): 2312-30.
- Fiáth R, Raducanu BC, Musa S, Andrei A, Lopez CM, van Hoof C, Ruther P, Aarts A, Horváth D, Ulbert I. A silicon-based neural probe with densely-packed low-impedance titanium nitride microelectrodes for ultrahigh-resolution in vivo recordings. *Biosensors and Bioelectronics*, 2018, 106: 86-92.
- Márton G, Orbán G, Kiss M, Fiáth R, Pongrácz A, Ulbert I. A multimodal, SU-8 - platinum - polyimide microelectrode array for chronic in vivo neurophysiology. *PLoS One*, 2015, 10(12): e0145307.
- Pothof F, Bonini L, Lanzilotto M, Livi A, Fogassi L, Orban GA, Paul O, Ruther P. Chronic neural probe for simultaneous recording of single-unit, multi-unit, and local field potential activity from multiple brain sites. *Journal of Neural Engineering*, 2016, 13(4): 046006.
- Raducanu BC, Yazicioglu RF, Lopez CM, Ballini M, Putzeys J, Wang SW, Andrei A, Rochus V, Welkenhuysen M, Helleputte NV, Musa S, Puers R, Kloosterman F, Hoof CV, Fiáth R, Ulbert I, Mitra S. Time multiplexed active neural probe with 1356 parallel recording sites. *Sensors*, 2017, 17(10): e2388.



A 120 ÉVESEKÉ (LESZ) A VILÁG?

Meddig élhetünk?

Hol húzódik az emberi életkor felső határa? Milyen tényezők játszhatnak szerepet a hosszú élettartamban? És ezek a tényezők pontosan milyen szerepet játszanak a születéskor várható élettartam növelésében?

A 2017-es esztendőben sok minden borzolta az emberek idegeit, voltak földrengések, áradások, földcsuszamlások, járványok, mérényletek és még valami, ami kevesek figyelmét keltette fel, pedig mindenki számára figyelemre méltó lett volna: meghalt tudomásunk szerint a jelen kor legidősebb embere (asszonya), az olasz Emma Moreno, aki 1900-ban született, így 117 éves volt. Nem ő volt a valaha élt legidősebb ember, iratokkal bizonyítottan a francia Jeanne-Louise Calment 1875-1997-ig, tehát 122 évig élt. Az ő életkoruk, bár igen hosszúnak tűnik, azonban meg sem közelíti Noé nagyapját, Matuzselemét, aki a Biblia szerint 969 évet élt, csak ezt semmi sem bizonyítja. Ugyanakkor ezek a bizonyíthatóan hosszú életkorok arra serkentettek egyes

kutatókat, hogy az emberi életkor határát 120 év felett határozzák meg, sőt, egyesek azt feltételezik, határhoz nem is köthető (1. ábra).

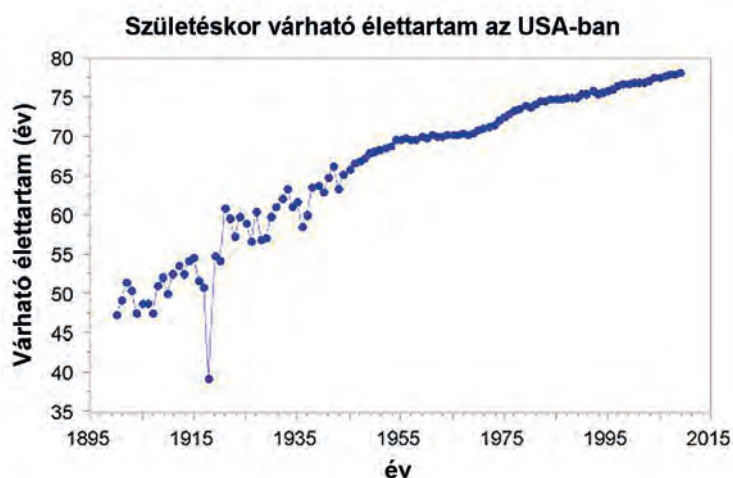
Az ember élettartama

Az emberi élettartam a születéstől a halálig tart és egy átlagértéknek felel meg, amely változó attól függően, hogy milyen életkorban adjuk a becslést. Az átlagos születéstől halálig tartó élettartam akkor a legrövidebb, ha valóban a születéskor számoljuk és minél később történik meg a számolás annál hosszabb. A születés maga is jelentős kockázattal járt régebben és nem veszélytelen ma sem, amihez hozzájárul a csecsemőhalandóság

és a gyermekkori fertőző betegségek, az ezek általi halandóság tehát az átlagos várható élettartamot csökkenti. A járványok is elsősorban a fiatalabb korosztályokat sújtják, mert az immunitás a kórokozókra még nem alakult ki, vagy nem teljes. Ha tehát valakinek az élettartamát születéskor 50 évre becsüljük, és valóban megéri az 50. évét, akkor a további becsült élettartama lehet akár plusz 30 év, tehát összesen 80, mert az élettartamra legveszélyesebb korszakokat már „megúsztá”. Ezért például a csecsemőhalandóság csökkentése jelentősen növeli az átlagos élettartamot. Ugyanezért az átlagos élettartam ugrásszerű növekedése elsősorban a gazdaságilag fejlett országokban csúszka: nem azt jelzi, hogy mennyivel erősebb, ellenállóbb a mai ember szervezete, mint a korábbi évszázadoké volt, hanem az orvostudomány és technika fejlettségét bizonyítja, amely le tudja küzdeni a csecsemőhalandóságot, gyermek-halálozást stb. okozó problémákat. Ez nem mond ellent annak, hogy a mai ember hosszabb élettartamra számíthat, mint a korábbi századokéi.

Egészen a XIX. századig a fejlett európai országokban a születéskor várható élettartam 30 és 40 év között mozgott. Ugyanezekben az országokban (például Nagy-Britanniában) vagy Japánban jelenleg a születéskor várható élettartam 80 év körül van (2. ábra). De a gazdaságilag korábban kevésbé fejlett országokban – mint például Indiában vagy Dél-Koreában –, egy évszázada a születéskor várható élettartam 23 év volt jelenleg viszont már meghaladja Angliáét. Ezekben az országokban megháromszorozódott, megnégyszereződött a születéskor várható élettartam (3. ábra).

2. ábra. Az Egyesült Államok polgárainak élettartama 1895 és 1995 között és a várható élettartam 2015-ben. A spanyol nátha és az I. világháború hatása jól érzékelhető.



Az átlagos élettartam igen lényeges, azonban nem határozza meg a maximálisan várható élettartamot, tehát azt, hogy egyáltalán meddig élhetünk, mert tartalmaz olyan elemeket, melyek nem csak biológiailag meghatározottak (például csecsemőhalandóság, járványok, balesetek stb). A maximálisan várható élettartamot elsősorban biológiai tényezők határozzák meg, és ebben két rendkívül fontos összetevő a genetikai és epigenetikai meghatározottság, amire további külső tényezők hatása rárakódik. Már az eddigiekből is kiderült azonban hogy a tudomány és technika haladása jelentős részt vállal az emberi élettartam alakulásában, mert segít a gének által biztosított lehetőségek realizálásában.

Egy kis genetika

A gének a sejtmagban (vagy a mitokondriumokban) lévő dezoxiribonukleinsav (DNS) kódoló régiói, tehát azok a területek, amelyek a fehérje (enzim) szintézisen keresztül meghatároznak egy-egy bélyeget, tulajdonságot, funkciót, amelyek szervezetünk felépítéséhez és működéséhez szükségesek. A gének összessége a genom, ez biztosítja a lehetőségeket, amire az adott szervezet (egyén) egyáltalán képes lehet. A gének megnyilvánulását (expresszióját) szabályozza az epigenom (az epi görög előrag, jelentése fölött) ami meghatározza, hogy a génekből mi nyilvánuljon meg, mikor és hogyan. E két alapvető genetikai tényező határozhatja meg az élettartamot, tehát azt, ami az öröklött gének birtokában elérhető, és ehhez hozzáadni nem lehet, de különböző külső tényezők el tudnak venni belőle. Amikor tehát élettartam növelőkkel beavatkozunk, ezeket a külső tényezőket hárítjuk el, és tesszük lehetővé a genom és az epigenom által nyújtott lehetőségek teljes megnyilvánulását. Az epigenom, illetve a benne foglalt enzimek, a gének (vagy a velük kapcsolt hiszton fehérjék) metilációjával tudják befolyásolni a gén-expressziót, a metilált gén ugyanis nem nyilvánul meg. A kor előrehaladtával a metiláció növekszik. Ugyanakkor a centenarian (százévesek) és szupercentenarian (legalább 110 évesek) emberekben a metiláció mértéke csekélyebb és ez utódaikban is megmutatkozik.

A gének a 46 (2x23) kromoszómában helyezkednek el, és a teljes genom – bár epigenetikailag szabályozottan –, de minden sejtünkben jelen van, a különböző sejtekben az azonos háztartási génektől (melyek az alapvető sejtfunkciókat befolyásolják) eltekintve különbözően nyilvánulnak meg. Vannak gének, amelyek az emésztő



enzimek termeléséhez adnak utasítást, mások a látást teszik lehetővé, és ezek csak a megfelelő sejtekben fejlődnek ki. Az élettartamot viszont minden gén állapota befolyásolhatja, azaz csökkentheti, ha működése szabálytalan vagy leáll. Ha ez utóbbi esemény már a méhen belüli fejlődés alatt bekövetkezik egy vagy több életfontos génben, ez a rövid élettartam elsőrendű kiváltója lehet.

A gének a kromoszóma középső részében helyezkednek el, míg a kromoszóma végei, a telomérák minden sejtosztódás alkalmával rövidülnek, és bizonyos rövidülés után a sejtosztódás megszűnik. Ezért azt hitték, hogy az élettartamot a telomérák szabályozzák, azonban ez nem így van, a telomérák hossza csak jelzi a várható élettartamot, bár állatkísérleti eredmények szerint a fajra jellemző kötőszöveti sejtosztódások száma (emberben 50, miközben folyamatosan rövidülnek ennek megfelelően a telomérák) arányos az adott faj maximális élettartamával. Ugyanakkor nincs olyan gén amelyik közvetlenül az élettartamot befolyásolná, tehát amely egymagában felelős volna az élethosszért, csak olyan gének vannak, amelyek inkább beleszólnak az élettartam hosszába, mint mások. Ilyen gének azok, amelyek befolyásolják a lipid anyagcserét (ApoE, CETP, PON1, FOX gének), a gyulladási folyamatokat (IL1, IL6, IL10, TNF alfa, TGF beta, PPAR gamma, stb) az inzulin hatást (IGF1), és ezáltal a 2. típusú diabetest, valamint a sirtuin gén-család (1-4), de ezen géneknek sem elsődleges feladata az adott kóros folyamatok szabályozása, csak kimutatható volt fokozott vagy éppen csökkent működésük a százévesek (centenarians) szervezetében. Ez azt jelenti, hogy komplex genetikai hatásokról van szó legalább 100 gén részvételével, melyek megléte vagy hiánya alapvetően befolyásolhatja az idősödő

szervezet életfolyamatait, ezáltal ellenálló képességét a kórokozókkal, és stresszorokkal szemben, mely utóbbiak a normális életfolyamatokat le is állíthatják, kiváltva a szervezet (az egyén) halálát (4. ábra). A száz éves korban és száz vagy százötven évvel később (szupercentenarians) elhunytak boncolásakor igen sok olyan kóros elváltozást találtak, melyek hamarabb is elvihették volna az időseket, mégis megérték a hosszabb életkort, így ismerték fel azokat a már említett géneket, melyek az ellenálló-képességgel kapcsolatba hozhatók. Jelenlegi ismereteink szerint tehát nincs „élettartam gén”, de

vannak gének, melyek jelenléte és talán idős korban is fokozott működése lehetővé teszi a génekben megengedett élettartam minél teljesebb kihasználását. Ugyanakkor lehetnek gének, melyek jelenléte gyengíti a szervezet ellenállását (pl. D18S51, 1-17), így hiányuk vezet hosszabb élettartamhoz. Egyes becslések szerint a gének mintegy 25%-ban járulnak hozzá az élettartam befolyásolásához, a többi az orvostudománynak, a szociális gondozásnak és még inkább a külső-belső környezeti körülményeknek köszönhető, így az utóbbi évtizedekben bekövetkezett élettartam növekedés túlnyomórészt nem a genomban vagy epigenomban történt változásoknak tulajdonítható.

Egy kis kémia

A szabad gyökök olyan atomok, amelyek szabad elektronokkal rendelkeznek, és keletkezésük a mitokondriumokban történik meg. Ezek nagy affinitással bírnak más atomok elektronjai iránt, így molekulákat hoznak létre. A megtámadott atom ezáltal ugyancsak szabad elektronnal fog rendelkezni (szabad gyökké válik), és a sejtben egy láncreakció jön létre. A sejtben belül az elsődleges célpont a mitokondriális DNS, tehát a mitokondrium által indított szabadgyök-akció elsősorban a mitokondriumot semmisíti meg, de károsítja a sejt-hártyákat is. A folyamat végeredménye a sejt pusztulása. Ez egy élettani folyamat, ha azonban túl sok sejtben zajlik le, a szervezetben az öregedés jelei mutatkoznak, majd meghal. Ez a megfigyelés alakította ki az öregedés szabad gyök teóriáját (5). Mivel a szabad gyökök termelődése és az általuk kiváltott oxidációs sejtpusztulás élettani folyamat, a szervezetben antioxidánsok termelődnek, melyek semlegesítik az oxidáló gyököket.

Az antioxidánsok jelentős része enzim, mint például a szuperoxid-dizmutáz, mely semlegesíti a rendkívül agresszív szabad gyök szuperoxidot, hidrogén-peroxidá alakítva azt, és a kataláz, mely a hidrogén-peroxidot bontja le, de többségük táplálékkal kerül be a szervezetbe, mint bizonyos vitaminok (A, C és E). Indirekt antioxidáns hatása van a D vitaminnak is – a szuperoxid-dizmutáz serkentése által – és az étkezés megszorításának is, mert az éhező szervezet mitokondriumai kevesebb szabad gyököt termelnek. Ugyanakkor ez utóbbi csak bizonyos határokon belül lehetséges, mert a szervezetnek szüksége van arra az energiára, ami a mitokondriumokban termelődik az elektrontranszportlánc segítségével, és amelynek végeredménye az agresszív szabad gyök. A problémát normális körülmények között megoldja a szervezeten belüli (endogén) antioxidánsok termelődése, azonban külső tényezők fokozzák a szabad gyök termelődését (különösen korunkban a rengeteg kémiai ártalom által), és ilyenkor szükség van a kívülről bevitt, már említett antioxidánsokra. Míg a szabad gyökök felszaporodása elősegíti az öregedést és a korai halált, addig az antioxidánsok ennek ellene hatnak. A külső antioxidánsok azonban nem növelik meg a maximális élettartamot, de segítenek abban, hogy a gének által biztosított élettartam kihasználható legyen, azaz hogy az egyed elérje annak határait. „Ennek érdekében” az E-vitamin például mint antioxidáns védi a DNS-t az oxidációtól, ugyanakkor csökkenti az LDL (a rossz lipoprotein) szintjét, javítja a glukóz-transzportot és az inzulinérzékenységet, segíti az immunsejtek osztódását, tehát nem kizárólag antioxidáns, hanem sokoldalú élettartam növelő tevékenységet folytat. Gyakorlatilag ugyanez mondható el a rezveratrolról is, amely a kék szőlő héjában és a vörösborban található, és amelynek mértékletes fogyasztásával magyarázzák egyes embercsoportok hosszabb élettartamát.

4. ábra. A szemmel látható életkori változás: kislány, érett nő és idős nő keze



A nemi különbségek

Az ember neme kromoszómáisan meghatározott, azaz, ha a megtermékenyített petesejt XX kromoszómát tartalmaz lány születik, ha XY-t, akkor fiú. Számos vizsgálat utal arra, hogy a megtermékenyítés időpontjában az XY kromoszómás embrióból több van, és még születéskor is 100 lányra 105 fiú jut. Ugyanakkor az XY-osok esendősége már születés előtt megmutatkozik, és a későbbiekben fokozódik, majd a reprodukciós korban már biztos női többség figyelhető meg. Ez akkor is így van, ha akár 50 éves korban mérik fel az arányokat, még a 110 éves korcsoportban is a női többség (mintegy 90 százalék) figyelhető meg (6). Feltételezik, hogy ez a kromoszómális kiegyensúlyozottság (nőkben, XX) vagy kiegyensúlyozatlanság (férfiakban, XY) következtében történik, azaz nőkben az egyik X kromoszóma génjeinek hibáját a másik kompenzálni tudja, míg férfiakban az Y kromoszóma erre nem képes, így a férfiak kevésbé ellenállóak és hamarabb halnak meg. Az elhalálozási arányt a világ 178 országában vizsgálták és ebből 176-ban a női élettartam volt hosszabb. Ugyanakkor a nők gyakrabban betegek, ez tehát a mortalitás/morbiditás paradoxon. Más feltételezések szerint a hormonális különbségek felelősek az arányokért: a tesztoszteron lenne az, amely a férfiak szervezetét károsítja és halálba viszi, erre mutat például a korai életkorban kasztráltak (eunuchok) akár 15-20 évvel hosszabb élettartama. Mindamelllett az ösztrogén hormonok ellene hatnak az életveszélyes szívbetegségeknek. A tények világosak, azonban az okok nem és ez annak is köszönhető, hogy az állatvilágban az ember az egyetlen, akinek esetében a nemi arány ilyen következetes különbsége biztosan kimutatható.

Miközben az Egyesült Államokban a XX. század végén a férfiak átlagos várható élettartama 73.4 év volt, addig a nőké 80.1. A különbség tehát 6,7 év, ami igen jelentős. Ez azonban országonként változó, mert ugyanekkor Nagy-Britanniában csak 5.3 év, míg Magyarországon 8.3 év, Oroszországban több mint 12 év, viszont Indiában 0.6 év, és a vele szomszédos Bangladesben szintén mindössze 0.1 év. Ez világosan mutatja, hogy a környezeti körülmények is jelentősen beleszólnak a születéskor várható élettartamba. Elméletileg egyaránt elképzelhető az is, hogy a férfiak élnek rövidebb ideig, mint ahogy a biológikum engedné, valamint az is, hogy a nők élnek a biológiailag adottig vagy annál tovább. Ez utóbbi nem valószínű, míg előbbi igen: számos olyan környezeti faktor van, ami a férfiak életét rövidíti (például alkohol, dohányzás, munkahelyi terhelések), ugyanakkor az, hogy a férfinem sérülékenysége már

a kezdetektől nagyobb, mint a nőké, genetikai tényezőkre utal. Természetesen a nők életét is rövidítheti a terhességek száma, a gyermeknevelés nehézségei, és számos országban jelentős hátrányok érheték őket. Ez utóbbi azonban mostanában megoldódni látszik, miközben a női életmód a férfiakéhoz hasonlóvá kezd válni. Az elmondottak világosan mutatják, hogy nem igazán tudjuk, mi okozza a nemi különbséget, egy valami azonban feltűnő: nincs különbség a nemek között abban, hogy a százévesek anyja is hosszabb életű, mint az átlag (7).

A társadalmilag hasznosítható élettartam

Az utolsó 30 évben nem találtak változást a 100 évesek halálozási arányában, ugyanakkor nőtt azok aránya, akik a 100. évet megérték (8). Ez arra utal, hogy a 100. év előtti élethossz-csökkenő faktorok alacsonyabb száma játszik szerepet ebben a szaporulatban. Feltételezik, hogy 2070-re a maximális élettartam reálisan 125 év lesz, és sokan is lesznek ebben a korcsoportban.

Az ember az állatvilág tagja, aki különleges képességeivel tett szert arra, hogy külön kategóriaként lehessen kezelni. Ezek közül a legfontosabbak az intelligenciája és a társadalmisága, tehát nemcsak biológiai lény az emlősökhöz hasonló alapvető tulajdonságokkal,

hanem társadalmi lény is, amiben ilyen formában egyedülálló az állatvilágban. Mint biológiai lény rövid élettartamra és korai reprodukcióra van programozva, miközben eltér akár a magasabb rendű emlősöktől is azzal, hogy öreg korában is tevékeny lehet, sőt hosszú életében szerzett tapasztalatai segítségével speciális feladatokra képes (5. ábra). Az emlősök esetében természetes körülmények között az öregkor rendszerint nem jelent problémát, mert az állatok még öreg koruk előtt elpusztulnak, és sokáig ez volt jellemző az emberre is. Az ember azonban eljutott arra a fokra, ami lehetővé teszi a megöregedést és a biológiailag öreg ember hasznos tevékenységét, melyhez a feltételeket az emberi társadalom biztosítja. Ha biológiailag lehetséges az öregség, azaz rendelkezésre áll elegendő energia a tevékenységhez, és elegendő tehetség annak eredményességéhez, akkor semmi akadálya sincs annak, hogy ez realizálódjék is.

Sok nagyon idős, tehetséges emberről van tudomásunk, akik az idő múlását nem figyelve folyamatosan alkottak, akár egészen halálukig. Tiziano 80 éves kora fölött alkotta meg Actaeon halála és Pieta című mesterműveit, Michelangelo Rondanini Pietája 90 évesen készült el. Goya 90 évesen még festett és Tolsztoj 82 évesen még írta egyik legnagyobb regényét a Feltámadást. De mi, magyarok is fel tudunk mutatni példákat: Jókai Mór még 79 éves korában is hajnaltól délelőtt 10 óráig írta alkotásait, Zeisel Éva világhírű formatervező és kerámikus, aki 106 évig élt, még 90-es éveiben is aktívan dolgozott, Lossonczy Tamás Kossuth díjas festőművész 100 és 105 éves kora között még alkotott, és friss műveit kiállította Sőt, a világban voltak olyanok is, akiknek tehetsége csak kései öreg korukban bontakozott ki: Anna Mary Robertson (Grandma Moses), amerikai naiv festő 76 éves korában kezdett alkotni és első festményét 78 évesen fejezte be, majd 101 éves koráig 1600 képet festett, és ezek között volt olyan, amely 100 000 dollár fölött kelt el.

Az öregkor tehát nem akadályozza az alkotást, de éppúgy teremt lehetőséget a hétköznapi tevékenység rutinszerű végzésére is. Ugyanakkor alig lehet találni adatokat a százévesek és 110 évesek kiemelkedő (művészeti, irodalmi) tevékenységéről, ami nem jelenti azt, hogy nem lehetséges, csak nem tartják számon. Valószínűnek tűnik, hogy a maximálisan elérhető életkor növekedésével és gyakoribbá válásával több példa is bizonyítja majd, hogy az életkor önmagában nem akadály a képességek kifejeződésének, és ez utóbbi növelheti is az élettartamot. Ezt annál is inkább fontos tudni, mert a százévesek száma

5. ábra. A tehetség minden életkorban realizálódhat





6. ábra. Az öreg ember is lehet jókedvű: az optimizmus és a vidámság megnyújtja az élettartamot

rohamosan növekszik, 1950 óta minden évtizedben megduplázódik. 2050-ben feltételezhetőleg 3.2 millió „centenarian” fog élni a Földön.

Öregség, betegség

Bárki bármikor megbetegedhet, de a betegségek gyakoribbak a 65. évtől számított öregkorban, és vannak olyan betegségek, amelyek kifejezetten az idős korra jellemzőek, mint például az Alzheimer kór. Nagy statisztikák jelzik, hogy 65 év fölött az emberek 80 százaléka legalább egy és 68 százaléka legalább két krónikus betegségben szenved. Ehhez azonban tudni kell, hogy a kórosság mennyisége aszerint is változó, hogy mit minősítünk annak: a múlt században a normális emberi vérnyomás-érték 120/80 volt, amit a század vége felé 140/90-re változtattak, de mostanság megint leminősítették, amitől ugrásszerűen megnőtt az idős kori magas vérnyomásúak száma. Ez azonban nem változtat azon, hogy az öregkort valóban betegségek teszik nyűgössé, és abból a 150 000 emberből, akik naponta meghalnak világszerte, mintegy kétharmaduk a korral kapcsolatba hozható betegségben teszi ezt (iparosodott államokban eléri a 90%-ot is). Bár ezt egyesek vitatják, maga az öregség nem betegség, azonban kétségtelenül csökken az ellenálló képesség, és ezzel együtt nő a betegségek mennyisége éppúgy, mint annak következményei. Mindez arra utal, hogy az orvostudomány és gyógyszeripar fejlettsége, ezzel párhuzamosan pedig a személyes jövedelem (mert a gyógyszer,

tápszer és egészséges táplálkozás drága) alapvetően fontos az egész élet folyamán, de kiemelkedően a betegség-terhelt öregkorban. Minden olyan új gyógyszer vagy gyógymód, amely gyógyítja vagy enyhíti az idős ember betegségeit, erősíti az immun- ideg- és endokrin rendszert, a csont- és keringési rendszert, vagy kezelni tudja a rosszindulatú daganatokat, hozzájárul az élettartam növeléséhez, de a fiatal korban alkalmazott gyógyszerek is annak lehetőségét teremtik meg, hogy az emberek megérjék az öregkort. A gén által biztosított életkor-lehetőség nem változik, a környezeti károsító tényezők inkább szaporodnak, mint fogynak, tehát az orvostudomány (ezen belül a gyógyszerkutatás) eredményei azok, amelyek a magasabb életkor elérésének kedveznek. Ehhez járul a szociális gondozás, ami lehetővé teszi, hogy a gyógyszerek (tápszerek) eljussanak az öreg emberekhez, valamint igyekeznek a túléléshez megfelelő feltételeket biztosítani. Az egyre növekvő átlagéletkorban éppúgy benne van az említett tényezők szerepe, mint a százon felüliekében és ahogy fejlődik és egyre hatékonyabbá válik az orvostudomány, úgy működik közre egyre inkább az élettartam növelésében és egészséges kihasználtságában. Mindez tehát hozzásegít ahhoz, hogy az emberek alkotóan éljék végig a hosszabb élettartamot. Az Egyesült Államokban 25 évvel ezelőtt csak az emberek 9 százaléka tervezte, hogy 70 éves kora után is dolgozni fog, ma ez az érték 26 százalék. Ehhez a jelentős változáshoz az volt szükséges, hogy húszas éveikben úgy gondolják, hogy legalább 80 évig fognak élni. És magától értetődően, egészségesen. Ez az optimizmus önmagában is elősegíti a hosszú élettartamot (6. ábra).

CSABA GYÖRGY

IRODALOM.

1. Chung WH. et al. The role of genetic variants in human longevity. *Ageing Res Rev* 2010, 5:67-78
2. Capri M. et al. The genetics of human longevity. *Life expectancy and maximum lifespan. Ann N.Y. Acad Sci* 2006, 1067, 252-263
3. Hall JA et al. The sirtuin family's role in aging and age-associated pathologies. *J Clin Invest* 2013, 123, 973-979
4. Hubbard BP, Sinclair DA. Small molecule SIRT1 activators for the treatment of aging and age-related diseases. *Trends Pharmacol Sci* 2014, 35, 146-154
5. Barja G. The mitochondrial free radical theory of aging. *Prog Mol Biol Transl Sci* 2014, 127, 1-27
6. Regan JC, Partridge L. Gender and longevity: why do men die earlier than women? *Comparative and experimental evidence. Best Pract Res Clin Endocrinol Metab* 2013, 27, 467-479



METAKÖZÖSSÉG-ÖKOLÓGIA KISVIZEKBEN

Szigetek a szárazföld tengerében

Szigetekről hallva, leginkább trópusi klíma, tengerpart és pálmafák rajzolódnak ki lelki szemünk előtt, így a szigetek ökológiájának kutatása könnyen hangozhat egzotikusnak. Ökológiai értelemben vett szigetek vagy szigetszerű élőhelyek azonban mindenhol megtalálhatóak, ahol a Földön élet van. Gyakorlatilag bármilyen élőhelyet szigetnek tekinthetünk, amennyiben az ott előforduló élőlények számára kihívást jelent eljutni a következő hasonló élőhelyre.

„*No man is an island*” — senki sem sziget, tartja a popkultúrában is gyakran felbukkanó, eredetileg XVII. századi angol mondás. Azonban ökológiai szempontból nem is állhatnánk messzebb a valóságtól: ha a testünkben élő mikrobákra gondolunk, számukra az emberi test egy darabka kényelmes sziget az amúgy lakhatatlan nagyvilágban (ez utóbbit az ökológiában mátrixnak nevezzük), így tehát végső soron gyakorlatilag mindannyian szigetek vagyunk. Ezek között a szigetek között azonban adott esetben (például egy tüsszentéssel) összeköttetés alakulhat ki, és a mikrobaközösségek egyes tagjai új szigetre kerülhetnek. Ez a folyamat a diszperzió, az így összeköttetésbe kerülő, különböző szigetekeken élő közösségeket pedig együtt egy metaközösségnek nevezzük.

Hidak a szigetek között

A természetben található állóvizek szintén tekinthetők szigetszerű élőhelyeknek. Folytatva a fenti gondolati párhuzamot, itt a vízi élőlények azok, amelyek számára az állóvizek elszeparált foltok (szigetek) a számukra lakhatatlan szárazföldi mátrixban. Ezt egyes fajok számára igencsak nagy kihívás áthidalni, nehéz átjutni két víztest között (extrém példaként gondoljunk csak két olyan tó halaira, amelyeket semmilyen patak vagy csatorna sem köt össze).

Ma már tudjuk, hogy a legtöbb szigeten (legyen az klasszikus sziget, tó, vagy bármilyen más szigetszerű élőhely) kialakuló élőlény-közösség összetételét

jelentősen befolyásolja, hogy mennyi és milyen jellegű hasonló élőhely található a közelben. Azonban ennek fontosságára csak az utóbbi 50 évben folytatott kutatások világítottak rá. Bár már Darwin is jól értette és munkáiban hangsúlyozta is a diszperzió szerepét, a klasszikus ökológia később mégis inkább egyenként, individuumként tekintett ezekre az élőhelyekre, és az őket benépesítő élőlény-közösségeket kizárólag a helyi környezeti tényezőkkel próbálta leírni. Hatalmas átöröslést jelentett az 1960-as években annak felismerése, hogy a tengeri szigetekeken található élőlények számát nem csak a szigetek mérete befolyásolja, de azok távolsága is a legközelebbi nagyobb szárazföldtől. *Robert H. MacArthur* és *Edward O. Wilson* egy nagyon egyszerű modellel mutatták be, hogy a fajszám a szárazföldtől legtávolabbi, legkisebb szigetekeken lesz a legalacsonyabb, míg a legmagasabb fajszámok a szárazföldhöz közeli, legnagyobb szigetekeken várhatóak. Ez az ún. egyensúlyi fajszám elmélet, amely az ökológia egyik legtöbbet idézett, legalapvetőbb és máig helytálló modellje.

A csótányirtás tanulsága

A 60-as években nem csak MacArthurt és Wilsont foglalkoztatta a diszperzió és az élőhelyek térbeli elhelyezkedése és kapcsolata: a szigetbiográfiai modellel szinte egy időben született meg a metapopulációs elmélet is, a két éve elhunyt *Richard Levins*-nek köszönhetően. Ez gyakorlatilag tökéletes analógiája a később erre épülő, ezt kiterjesztő metaközösség-elméletnek, csak itt a

diszperzió által összeköttetésben álló helyi populációk (és nem teljes közösségek) interakcióiról van szó. Levins a metapopulációkat szó szerint a populációk populációinak nevezte, és munkáiban elsősorban demográfiai kérdésekkel foglalkozott. Hogy ez hogyan lehet a gyakorlatban is fontos? Levins elsőként mutatott rá, hogy amennyiben egy nagyobb területen belül egy adott kártevő több izolált foltban (szigeten) is előfordul, egyetlen foltban alkalmazva a kártevőirtás sosem lesz igazán hatékony, hiszen a szomszédos populációk ezután újra benépesítik majd a kihalt foltot. Egyszerű példaként elég arra gondolni, ha egy nagyobb társasházban egy lakó elmulasztja a közös csótányirtás időpontját, a szomszédok „legnagyobb öröme” innen már másnap meg is indulhat a diszperzió a megürült foltok, azaz a tiszta lakások felé.

De hogy ne csak a nátha és a kártevők elrettentő példáival illusztráljuk a metapopulációk és metaközösségek megértésének alapvető fontosságát: ezek az elméletek a modern természetvédelmi biológiában is kiemelkedően fontosak. Ma már a természetvédelmi biológián belül külön irányvonalat képvisel a „*connectivity conservation*”, a diszperzió általi összeköttetések megőrzésének tudománya és ennek alkalmazása. Az 1960-as évek óta számtalan példa mutatja, hogy egy önmagában, elszigetelten álló élőhely szinte mindig fajszegényebb, mint egy hasonló, de más élőhelyekkel kapcsolatban álló. A jelenséget, amikor egy élőhely „elszakad” a többitől, és köztük a diszperzió megszűnik vagy ritkává válik, diszperzió-limitációnak nevezzük.

Janus-arcú diszperzió

Azonban a diszperzió általi „közösség-csere” nem minden esetben előnyös, sőt, a túl nagy mennyiségben érkező egyedek akár teljesen át is formálhatják az őket befogadó élőhelyek közösségeit – ilyenkor „*mass effect*”-ről, tömeghatásról beszélünk. Ez utóbbi sokkal ritkább, mint a diszperzió-limitáció, és inkább csak nagyon közeli, viszonylag kis méretű élőhelyeken fordul elő.

Diszperzió-limitáció ezzel szemben számos természetes metapopulációban és metaközösségben megfigyelhető bizonyos mértékben, és a természetes módon izolált élőhelyek (például magashegységi tavak) esetén korántsem feltétlenül káros. Alaposan meg kell tehát fontolni, és mindig az adott problémához igazítani, hogy szükséges és valóban előnyös-e egy olyan természetvédelmi beavatkozás, ami megváltoztatja a diszperzió gyakoriságát egy metaközösségben vagy metapopulációban. Két, emberi beavatkozás miatt elszigetelődött bambuszerdőben élő pandapopuláció között például létfontosságú lehet létrehozni egy új összeköttetést (például egy újabb darabka bambuszerdő ültetésével) a beltenyésztettség elkerülésére. Ugyanakkor az alföldi szikes tavaink között természetes módon sem csatornák, sem patakok, sem egyéb vízi összeköttetések nincsenek, így ilyeneket létrehozni a vízi közösségeik számára semmiképp sem előnyös. Erre láthatunk egy szomorú példát például a Fertő tó keleti oldalán, ahol az egyik ilyen természetes szikes tavat csatornával összeköttetésbe hozták a Fertővel. A szikes tavak mellett, hogy természetes módon fizikailag izoláltak, rendszeresen kiszáradnak, és mivel emiatt halak tartósan nem élnek bennük, így gazdag zooplankton-közösségeknek biztosítanak élőhelyet, amelyek később számos védett vízimadarat táplálnak. Ez a becsatornázás azonban amellelt, hogy lényegesen megváltoztatta a kis tó vízháztartását, szabad utat engedett a Fertő halainak is, tönkretéve az eredeti életközösséget. A természetes módon fennálló diszperzió-limitáció megszüntetésével járó változások másik példája az íjhal (*Balistes capriscus*) és más, eredetileg a Vörös-tengerben őshonos halak megjelenése a Földközi-tengerben: a Szuézi-csatorna megépítésével ma már diszperzió zajlik a Vörös-tenger és a Földközi-tenger halközösségei között, és az így bejutott, itt eredetileg nem őshonos halak jelentősen átformálják a földközi-tengeri közösségeket is.

1. ábra. Szárazföldi sziget a vízen és vízi sziget a szárazföldön.



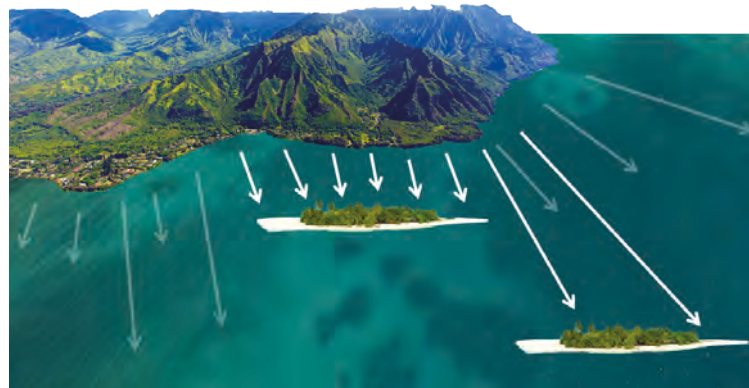
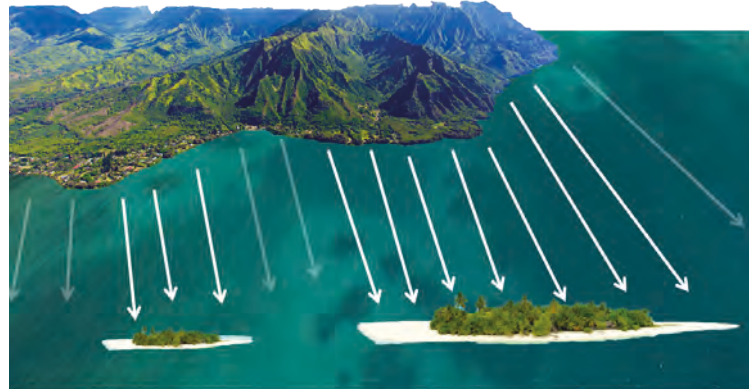
Ahogy ezek a példák mutatják, a diszperzió és hatásai nem értelmezhetők feketén-fehéren. A metaközösségek formálásáért ráadásul a térbeli hatások (diszperzió) csak részben felelősek, a leggyakrabban mind az adott élőhely környezeti tényezői, mind a szomszédos élőhelyekkel való összeköttetés fontos. Ilyenkor gyakran folt-dinamikáról (az angol irodalomban „*patch dynamics*”) beszélünk: az egyes élőhelyfoltok (szigetek) sok különféle környezetet kínálnak, és ha egy bizonyos faj kihal egy foltból (pl. a környezet időszakos megváltozása miatt), diszperzió révén egy másikból újra megjelenhet, amikor a környezet újra előnyössé válik. Hosszú távon ez biztosítja a metaközösségek fennmaradását a terület egészén, még ha időről időre nem is találunk meg bizonyos fajokat minden foltban. Ehhez azonban elengedhetetlen a diszperzió általi összeköttetés, hiszen a teljesen izolált, diszperzió-limitált élőhelyek elveszítik ezt a hosszú távú „ökológiai biztosítást”.

Tócsák, pocsoltyák, dagonyák

A fentiekben már számos példát láttunk vízi metaközösségekre, ami nem véletlen, hiszen a metaközösség-ökológiai vizsgálatokban is egyre több munka foglalkozik velük. Ezen belül is talán a leggyakrabban használt objektumok a tavak és kisvizek, amelyek a valódi szigetek legjobb analógjai, gyakorlatilag inverz megfelelői: míg a földrajzi értelemben vett szigetek szárazföldi foltok, amiket víz vesz körül, az állóvizek vizes foltok szárazfölddel körülvéve. A magyar szakirodalom számos altípusát különbözteti meg a kis állóvizeknek, ezeket az angol általában egységesen a „*pond*” (esetleg „*pool*”) kategóriába sorolja. Ezek párhuzamos, hasonlóképpen egyszerű megfelelője sajnos hiányzik a magyar nyelvből. A magyar limnológiában ehhez legközelebb talán az alighanem mesterségesen létrehozott „kistó” vagy „kisvíz” kifejezés áll. Ezek alá a gyűjtőnevek alá a legkülönbébb apró állóvizek tartoznak, mint a tócsák, pocsoltyák, tavacsok, de egyes források megkülönböztetnek kopolyákat, dagonyákat, tömpölyöket, fertőket, tocsogókat is. Ugyan ez a nyelvi gazdagság elsőre izgalmasan hangzik (sőt, további tájnyelvi változatokat hozzáadva szinte a végtelenségig fokozható), a tudomány számára a kevesebb sokszor több, és így ezek használata a tudományos világban inkább kerülendő, mint támogatandó, nem csak azért, mert ezek között a fogalmak között gyakorlatilag lehetetlen egyértelmű határvonalakat húzni, de emellett nehezen vagy egyáltalán nem feleltethetők meg a tudomány nemzetközi nyelvének, az angolnak.

Az egyszerűség kedvéért nevezzük kisvizeknek ezeket az apró állóvizeket. Ha egy utcai járókelőnek nekiszegzenék a kérdést, mit gondol, globálisan vajon a nagy tavak

vagy a náluk sokkal kisebb állóvizek játszanak-e fontosabb szerepet a biodiverzitás fenntartásában és az anyagforgalmi folyamatokban, szinte biztosan a tavakat kapnánk válaszként. Ez volt a tudomány



2. ábra. Robert H. MacArthur és Edward O. Wilson szigetbiogeográfiai elmélete alapján nem csak a szigetek mérete (fent) alakítja ki a szigetek fajszámát, hanem azok távolsága is a szárazföldtől (lent): a szárazföldhöz közeli szigetekre több faj jut el, mint a távoliakra (így a távoliak diszperzió-limitáltabbak).

álláspontja is úgy nagyjából a 2000-es évekig. Azonban az utóbbi két évtizedben folytatott kutatások rávilágítottak, hogy ez koránt sincs így. Hogyan lehetséges ez? Elsősorban a kisvizek hatalmas számának köszönhetően — Nagy-Britanniában, Dániában és Svájcban készült felmérések alapján ezen országok állóvizeinek több mint 97%-át kisvizek adják! Ennek révén tudnak jelentősen hozzájárulni a biodiverzitáshoz, élőhelyet biztosítva nem csak a kizárólag kisvizekben előforduló élőlényeknek, de azoknak is, amelyek a nagyobb tavakban vagy folyókban is megtalálhatók. Egy tanulmány azt is kimutatta, hogy a kisvizekben világszerte tárolt szén biomaszája messze meghaladja a világoceánban találhatóét, ezáltal a globális folyamatokban is igen je-

A nagyobb béka nagyobbat ugrik

Több vizsgálat is rámutatott már arra, hogy a kisvizek a természetben élőhelyek hálózataként működnek. Egyik fontos szerepük, hogy úgynevezett lépőkövek („stepping stones”), azaz megteremthetik a nagyobb élőhelyek között az összeköttetést. Például ha két egymástól távol található mocsár közé mesterséges kisvizet létesítenek, az elősegíti a kétéltűek diszperzióját a két terület között. De nem csak összekötő kapocsként lehetnek fontosak, hanem saját hálózatokat alkotva is. Bár egyetlen kisvíz gyakran kis fajszámmal rendelkezik és egy nagy kiterjedésű tónál sokkal kevésbé értékes élőhelynek tűnhet, táji (regionális) léptékben a kisvizekben összesen megtalálható fajok száma gyakran meghaladja a nagyobb tavakban találhatóét. Ez fontos üzenet a gyakorlati természetvédelem számára is, amely gyakran inkább csak egyes kitüntetett vizes élőhelyek védelmét részesíti előnyben. Ez a természetvédelmi gyakorlat ráadásul a kisvizek esetében sajnos fokozottan érvényesül.

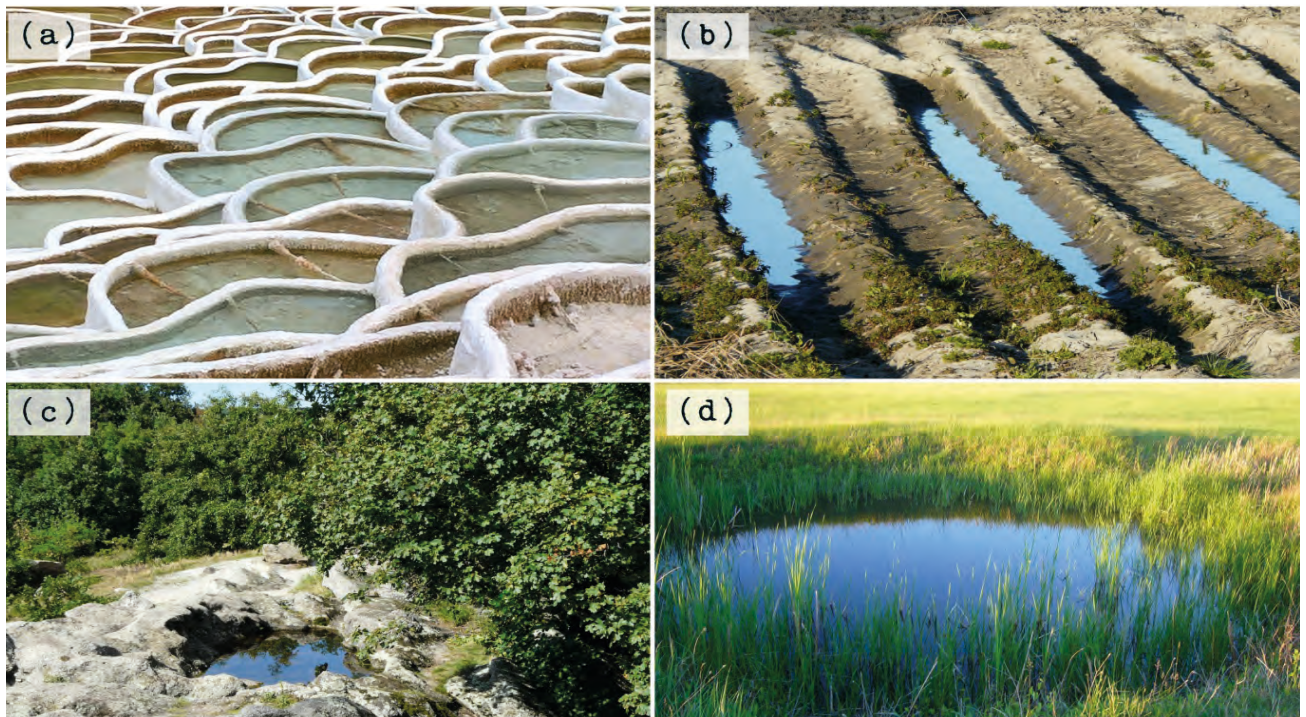
Az élőlények diszperziós tulajdonságai alapvetően befolyásolják egy adott metaközösség működését. Alapvetően két fő csoportba sorolhatjuk őket, lehetnek aktívan és passzívan terjedők. Előbbiek saját mozgásszerveiknek, lábaiknak, szárnyaiknak, uszonyaiknak köszönhetően képesek eljutni az egyik élőhelyről a másikra. Ez egyben azt is jelenti, hogy elméletileg sokkal könnyebben megtalálják a számukra megfelelő élőhelyeket, hiszen képesek azok között „válogatni”. Ennek ellenére számos vizsgálat bizonyítja, hogy az aktívan terjedő állatok diszperzióját is jelentősen hátráltatja, ha az élőhelyek ritkásan, egymástól távol helyezkednek el, vagy a körülöttük található mátrix nehezen átjárható (pl. autópályák szelik keresztül-kasul). Mi is ezt találtuk a dél-magyarországi kisvizek kétéltű-metaközösségének vizsgálatakor. Alacsonyabb éves csapadék esetén az időszakos kisvizek száma is alacsonyabb volt. Ezek között a szárazabb körülmények között az állatok diszperzió-limitáltabbak voltak, és ezért kevésbé alkalmas élőhelyekkel is „kiegyeztek”. Ennek oka, hogy hiába képesek aktívan új élőhelyet keresni, a legtöbb kétéltű nem vándorol egy kilométernél messzebb a szülőhelyétől, ezért számukra alapvető fontosságú a kisvizek sűrű elhelyezkedése és sokfélesége. Ugyanazok a körülmények ráadásul az egyes fajokra is másként hatnak, és ez a hatás függ az adott faj diszperziós képességétől, ami arányos a testmérettel. Egyszerűsítve: a nagyobb béka nagyobbat ugrik. Pontosabban ez látható az állatok térbeli mintázataiban, diszperzió-limitáltságának fokában is: minél nagyobb testű egy adott faj, annál jobb diszperziós készségekkel rendelkezik, és annál könnyebben képes megtalálni a neki ideális élőhelyeket, akár

azok ritkasága ellenére is. Ennek fordítottja is igaz — ha nem találunk diszperzió-limitációt egy nagyobb testű kétéltű (pl. barna varangy) esetében, ez még nem jelenti azt, hogy ugyanabban a tájban a kisméretű unkáik terjedése sem akadályozott.

Ha rövid a lábad ...

A passzívan terjedő élőlények esetén még nehezebb, esetlegesebb eljutni egyik lakható élőhelyfoltból a másikba. Az ő esetükben ugyanis szükség van egy, a terjedésüket elősegítő külső tényezőre, úgynevezett diszperziós vektorra. Talán legismertebb példák a növények, melyek magvai a szél szárnyán, állatok bundájába akadva vagy a víz hátán sodródva jutnak egyre messzebb az anyanövénytől, hogy egy alkalmas élőhelyre jutva kicsírázzanak. Ez azonban azt jelenti, hogy az így „stoppoló” élőlényeknek semmilyen beleszólásuk nincs abba, hová jutnak végül, és nagyrészt a szerencsén és a nagy számok törvényén múlik, hogy elérnek-e egy nekik megfelelő élőhelyfoltot. A vízi élőlények közül a planktonikus élőlények (rákok, kerekcsigák, egysejtűek, algák) a szárazföldi növényekhez hasonlóan passzívan terjednek. Ezt a hasonlóságot növeli, hogy kitartóképleteik (pl. vastag falú tartóspeték) a növények magbankjához hasonlóan petebankot képeznek, és az iszapba eltemetve aprócska időgépekként akár évszázadokig is életképesek (csíráképesek) maradhatnak. Ezek a kitartóképletek emellett terjesztőképletekként is funkcionálnak. Ebben segíti őket sokszor extrém tűrőképességük (az *Artemia* sórákok tartóspetéi például akár a folyékony nitrogénba mártást is túlélnek), illetve számos csoport esetén a növények magvaihoz hasonló kampókat, horgokat, felületi mintázatokat is találunk, amik segítik az állatok bőrén, bundáján való megkapaszkodást. A planktonikus rákok egy csoportjában, a vízibolhák közt számos olyan fajt ismerünk, amelyek tartóspetéi már-már papírsárkányokra hasonlítanak — nem véletlenül, hiszen a nagy, lapos felületbe könnyebben belekap a szél, és a vizek partjára sodródott rákpetéket így könnyebben szállítja akár nagy távolságokra is.

Mivel a passzív élőlények ilyen erősen függenek terjesztőiktől, így aztán az ő metaközösségeik mintázatait nagyban befolyásolják az elérhető diszperziós vektorok, sőt, néha meglepő, esetenként globálisan is megfigyelhető mintázatokat okozhatnak. Egyes vizsgálatok kimutatták, hogy a terepi mintavételt végző kutatók is jelentős mennyiségben szállítják a kitartóképleteket gumicsizmájukon vagy a mintavételi eszközeikhez ragadva, így saját maguk szolgáltatnak összeköttetést az egyes, térben izolált élőhelyfoltok között. Az Észak-Amerikába behurcolt, idegenhonos tüskés vízibolha



3. ábra. Magyarországon található kisvizek példái: gipszmedencék Egerszalókon (a), szántóföldi tócsák az Alföldön (b), „madáritató” a szentbékállai kötengerben (c) és egy bombatólcsér Apaj mellett (d).

(*Bytotrephes longimanus*) esetében azt is megfigyelték, hogy a turisták által gyakrabban látogatott tavakban nagyobb eséllyel található meg. A szél általi diszperzióra jó példa a fertőzugi szikes tavak esete, ahol a zooplankton közösségek összetételében a régióban uralkodó északnyugati szélirány jelentősen nagyobb lenyomatot hagy, mint az adott élőhelyek helyi környezete (pl. sóssága). Az összeköttetések fontosságát mutatják a Kiskunságban található bombatólcsérekben kialakult kisvizek is. Ezek egy sűrű foltban, gyakorlatilag „szigetcsoporthként” helyezkednek el. A középén, centrálisan elhelyezkedő élőhelyek zooplankton közösségei hasonlóbbak egymáshoz, mint a periférián, ezáltal a többiekétől izoláltabban elhelyezkedő élőhelyek közösségeihez, annak ellenére, hogy a helyi élőhelyi tulajdonságok hasonlóak.

Az amőbától az elefántig

Ahogy arról már korábban is szó esett, a diszperzió fontosságát a nagytestű gerincesek, növények és néhány népszerű gerinctelen-csoport (pl. lepkék) esetén már néhány évtizede kimutatták és a természetvédelmi biológia a gyakorlatban is figyelembe veszi. A mikroszkopikus világban (elsősorban a baktériumok és egysejtűek esetében) azonban sokáig az a feltételezés számított alapvetőnek, hogy rendkívül gyors szaporodásuknak és hatalmas populációméreteiknek köszönhetően ezen apró élőlények

diszperziós képessége korlátlan és megjelenésüknek csak a környezet szab határt (*„Everything is everywhere but the environment selects”* – minden élőlény előfordul mindenütt, csak a környezet szelektál, szól *Baas-Becking elve*, amely a mikrobiális ökológia egyik alapvető gondolata). Elég csak egy a laborasztalon vagy kertben hagyott, vízzel töltött befőttesüvegre gondolni, amely pár héten belül átlátszóból élénkzöld színűre vált a megjelenő algáknak köszönhetően. Természetesen ezek a mikroszkopikus élőlények valóban hatalmas diszperziós potenciállal rendelkeznek, és sokan közülük igazi kozmopolitának tekinthetőek. Ugyanakkor egyre több vizsgálat világít rá arra, hogy közösségeik összetétele szempontjából a helyi tényezők mellett számos esetben az élőhelyek térbeli elhelyezkedése is kulcsfontosságú, azaz metaközösségnek tekinthetjük őket (és így az említett befőttesüvegben sem fogunk antarktisi egysejtűeket találni). Ez egyben azt jelenti, hogy a mikroszkopikustól a makroszkopikusig, tehát a legapróbb amőbától az elefántig az élőlények hasonló szerveződési elvek szerint működnek. Ez persze más-más földrajzi skálán értendő és nagyban függ az adott taxonok diszperziós tulajdonságaitól is, de mégis egységes szemléletet és vizsgálati módszereket tesz lehetővé a metaközösség-ökológia számára, amelyhez a kisvizek kiváló vizsgálati objektumként szolgálnak.

HORVÁTH ZSÓFIA – VAD CSABA FERENC

Emlékezés Gábos Zoltán fizikusra

2018. április 9-én, életének 94. évében elhunyt szerkesztőbizottságunk tagja, Gábos Zoltán elméleti fizikus, a Magyar Tudományos Akadémia külső tagja, az egykori Bolyai Egyetem és jelenlegi Babeş–Bolyai Tudományegyetem professzora, majd professor emeritusa.

41 éven keresztül – 1948 és 1990 között – határozta meg a Kolozsváron tanuló fizikus- és kémikushallgatók élményeit és tanárideálját. 1990-től a BBTE professor emeritusaként egészen mostanáig végezte fizikusi kutatómunkáját.

Élete során számos elismeréssel honorálták munkásságát. 1991-ben az Eötvös Loránd Fizikai Társulat tiszteleti tagjává, 1995-ben a Magyar Tudományos Akadémia külső tagjává választották. 2005-ben a Magyar Tudományos Akadémia Arany János-életműdíjjal tüntette ki, míg 2010-ben a Magyar Köztársasági



sági Érdemrend középkeresztjével is megjutalmazták. 2011-ben Simonyi Károly-díjat vehetett át.

Egyaránt tisztelték román és magyar kollégák. Több könyve jelent meg, melyek jelenleg is alapjai a mai, magyar nyelvű fizikaoktatásnak. Ilyen az 1982-ben kiadott „Az elméleti fizika alapjai” vagy az 1996-os „Termodinamika”. E témákban - 1959 és 1981 között - román nyelven is közölt alapmunkákat.

Odaadással, szenvedéllyel és mérhetetlen szaktudással tartotta óráit. Életének és szakmai munkásságának találó összefoglalása az, amit ő maga, a legnagyobb tudományos eredményeként tart számon: számos tanítványát indította el a tudományos elismertség felé vezető úton, akik ma hazai és külföldi egyetemek neves kutatói és oktatói.

MTA NYOMÁN ÖSSZEÁLLÍTOTTA: ZSIGA DALMA

E SZÁMUNK SZERZŐI

BRAUN TIBOR, ELTE, Kémiai Intézet MTA Könyvtár és Informatikai Központ; **CSABA GYÖRGY**, Professor Emeritus, az MTA doktora, Budapest; **DR. HORVÁTH ANDRÁS**, Országos Klinikai Idegtudományi Intézet **FIÁTH RICHÁRD** tudományos munkatárs, MTA Természettudományi Kutatóintézet, Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézet, Pázmány Péter Katolikus Egyetem, Információs Technológiai és Bionikai Kar, Budapest; **HORVÁTH ZSÓFIA**, PhD, ökológus, WasserCluster Lunz, Ausztria; **JUHÁSZ ÁRON**, csillagász, MTA CSFK Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet, Budapest; **DR. KAMONDI ANITA** MTA Doktora - Országos Klinikai Idegtudományi Intézet, Budapest; **KORDOS LÁSZLÓ**, egyetemi tanár, Tudományos Újságírók Klubja, Budapest; **MÁRTON GERGELY** PhD, tudományos munkatárs, MTA Természettudományi

Kutatóintézet, Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézet, Pázmány Péter Katolikus Egyetem, Információs Technológiai és Bionikai Kar, Budapest; **MÉSZÁROS ILDIKÓ** tanár, fotográfus, Tudományos Újságírók Klubja, Budapest; **MÓSER ZOLTÁN**, fotóművész, a Magyar Művészeti Akadémia tagja, Budapest; **NÁNÁSI TIBOR** MTA Természettudományi Kutatóintézet, Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézet, Budapest; **TÓTH IMRE**, PhD, tudományos tanácsadó, MTA CSFK Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet, Budapest; **ULBERT ISTVÁN** PhD, DSc, tudományos tanácsadó, MTA Természettudományi Kutatóintézet, Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézet, Pázmány Péter Katolikus Egyetem, Információs Technológiai és Bionikai Kar, Budapest; **VAD CSABA FERENC**, PhD, ökológus, WasserCluster Lunz, Ausztria; **WESZELY TIBOR** matematikus, tudománytörténész, Marosvásárhely, Románia.

A KISBOLYGÓK VILÁGNAPJÁRA

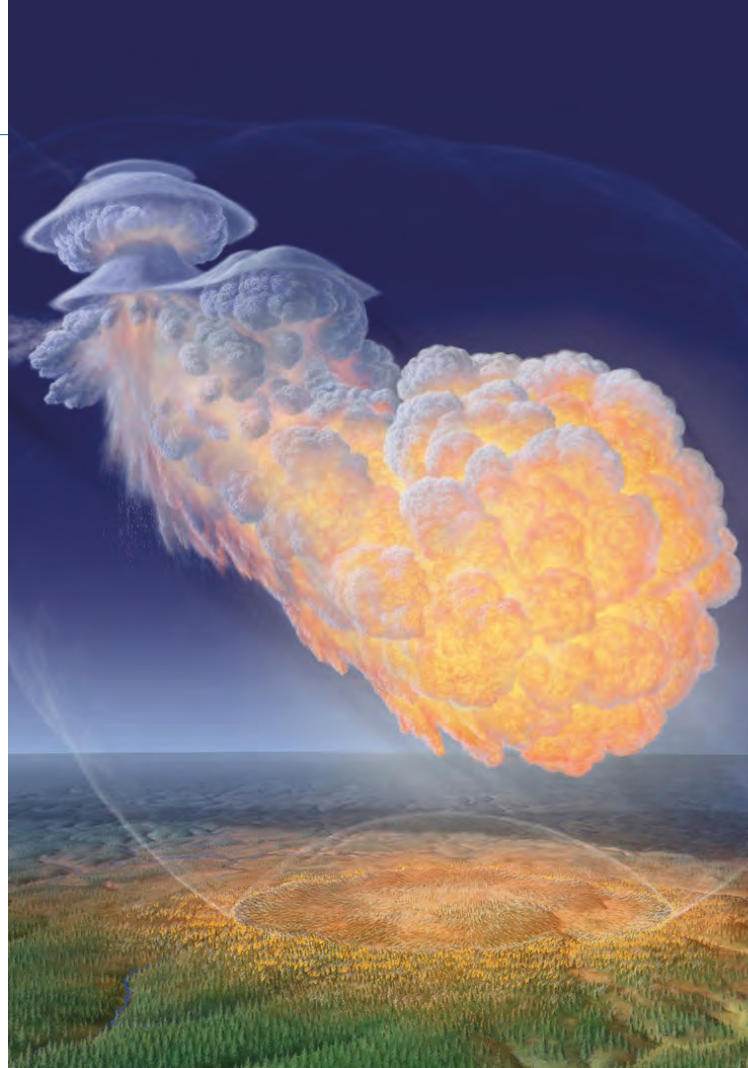
Kis égitestek földközelenben

1. RÉSZ A 2018-as év bővelkedik a földközeli természetes kis égitestekkel kapcsolatos évfordulókban, illetőleg a kutatással, közelebbi megismerésükkel kapcsolatos eseményekben. Ezek a nevezetes és emlékeztető események az első földközeli kisbolygó, az Eros felfedezésének 120. évfordulója, az 1908. június 30-i Tunguz-esemény 110. évfordulója.

Az ENSZ június 30-át a Kisbolygók Világnapjává (Asteroid Day) nyilvánította, ami egyben a Tunguz-jelenségre emlékeztet, és minden évben a kisbolygókról szerzett tudásunk és lehetséges hatásaik ismertetésére ad lehetőséget. Tehát ez a nap nem csupán az 1908-as Tunguz-meteor emléknapja, hanem sokkal inkább figyelemfelkeltés kozmikus fenyegetettségünkre, illetve a kisbolygókkal kapcsolatban eddig szerzett tudományos ismeretek minél szélesebb körben történő terjesztésére a nagyközönség számára egészen a hivatalos döntéshozókig, kormányokig. Tudjuk, hogy a Csillagászat Nemzetközi Éve (2009) hivatalos ENSZ-évvé nyilvánítása már 2002-ben felmerült, és hosszas szervezőmunka előzte meg a minősítést. A Fény Éve esetében gyorsabban zajlottak a folyamatok, a Kisbolygók Napja esetében pedig úgy tűnik, egészen gyorsan, hiszen meglehetősen új kezdeményezésről van szó. Első ízben 2015. június 30-án tartották meg a jeles napot, a Tunguz-meteor 1908-as pusztítására emlékezve.

A Kisbolygók Világnapja gondolatát először Grigorij Richters filmproducer, egy elképzelt veszélyes kisbolygó várható becsapódásáról szóló „Az 51. északi szélesség” című film rendezője, Russel (Rusty) Schweickart amerikai űrhajós és Brian May asztrofizikus, a Queen együttes gitárosa, vetették fel, majd egy deklarációt fogalmaztak meg, amelyhez több mint 200 neves személyiség, többek között James (Jim) Lovell, Michael Collins, Alexej Leonov, William (Bill) Anders, Chris Hatfield űrhajósok, valamint Kip Thorne fizikus, Lord Martin Rees kozmológus, asztrofizikus csatlakoztak (1. ábra).

May és Richters úgy gondolták, erre a fenyegetettségre egy nemzetközi nappal is felhívják a figyelmet. Felhívásukhoz 2014 őszén az űrhajósokon és



asztrofizikusokon kívül egy sor híresség csatlakozott, mint például Peter Gabriel vagy Bill Nye. Eddig három alkalommal tartották meg a Kisbolygók Napját, a projekt honlapja szerint 78 országban több mint 600 helyszínen szerveztek programokat, bemutatókat. Ahhoz, hogy az ENSZ valamilyen napot nemzetközivé nyilvánítson, valakinek el is kell indítania a folyamatot. Dumitru Prunariu román űrhajós és az Association of Space Explorers (az űrhajósok nemzetközi egyesülete) kezdeményezte a nemzetközi nappá nyilvánítást 2016 februárjában, az ENSZ Világúrbizottságához eljuttatott beadványban. A javaslatot az ENSZ közgyűlése december 7-én elfogadta. 2017. június 30-án első ízben emlékeztünk meg a Kisbolygók Nemzetközi Napjáról.

Az utóbbi három évtizedben a tudományos vizsgálatok és a nagyközönség érdeklődésének közepontjába kerültek a Föld közelében elhaladó előrejelzett vagy teljesen váratlanul feltűnő természetes kis égitestek, a földközeli objektumok: kisbolygók, aktív vagy kihunyt, kigázosodási aktivitást már nem mutató üstökösök. A földközeli kis égitestek széles méretskálán fordulnak elő. A jelenleg érvényes osztályozás szerint a 30 mikrométer és 1 méter közé eső testeket meteoroidnak, a kisebb szemcséket bolygóközi



1. ábra. A Kisbolygók Világnapja alapötletének megálmodói balról jobbra: Lord Martin Rees, Királyi Csillagász (Egyesült Királyság), Grigorij Richters filmrendező és producer (Egyesült Királyság), Brian May PhD asztronfizikus, a Queen együttes gitárosa (Forrás: International Business Time, 2014. december 4.).

(vagy kozmikus) pornak, míg a nagyobbakat anyagi összetételük alapján kisbolygónak, vagy üstökösmag-nak nevezzük.

A légkörben elég meteoroid testekből és a kozmikus porból folyamatosan naponta mintegy 100 tonna anyag érkezik a Föld légkörébe („kozmosz porszitalás”). Ezek közül a nagyobbak éjszaka látványos meteor (hullócsillag, tűzgömb vagy bolida) jelenséget produkálnak.

A kis égitestek mozgásának égi mechanikáját, valamint fizikai és kémiai tulajdonságaikat is meg kell ismerni, hiszen akár a földi evolúcióra is közvetlen hatást tudnak kifejteni. Az ütközési, becsapódási kozmikus katasztrófáknak nagy a jelentőségük a Naprendszer égitestjeinek életében, mind a kisebb égitestek, mind a nagybolygók és holdjaik fejlődéstörténetében.

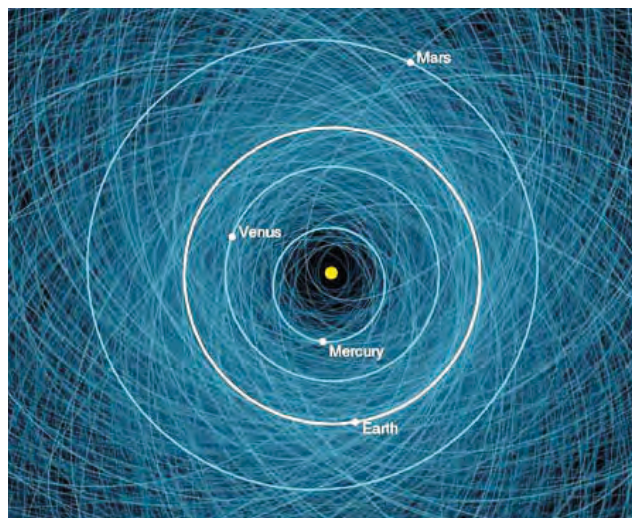
Mit is tudunk tehát a földközeli természetes égitestekről: honnan jönnek, milyen fizikai tulajdonságaik vannak, mi az összetételük és jelenthetnek-e veszélyt a Földre nézve?

Definíció szerint földközeli objektum (Near-Earth Object, NEO) vagy földközeli kisbolygó (Near-Earth Asteroid, NEA) esetleg földközeli üstökös (Near-Earth Comet, NEC) az, amely pályájának napközeli pontja (perihéliuma) $1,3 \text{ CsE}^1$ távolságnál kisebb. A Földdel való ütközés lehetőségét tekintve potenciálisan veszélyes objektumnak (Potentially Hazardous Object, PHO) vagy kisbolygónak (Potentially Hazardous Asteroid, PHA)

1 Csillagászati Egység – csillagászati távolság mértékegység, ami a Nap-Föld közepes távolságának, a Föld ellipszis pályája fél-nagyengelye hosszának felel meg és közelítőleg 149,6 millió km (kerekítve 150 millió km). Elsősorban a Naprendszeren belüli távolságok kifejezését könnyíti meg, de alkalmazható más csillagok körüli bolygórendszerekben, törlemékkorongokban a távolságok mérésére is.

tekintünk egy olyan kis természetes égitestet, aminek a pályája és a Föld pályája $0,05 \text{ CsE}$, azaz 7,5 millió kilométernél ($19,5 \text{ Föld-Hold}$ közepes távolságnál) közelebb van egymáshoz (2. ábra) és a test 140 méternél nagyobb, vagyis egy lehetséges ütközés legalább egy regionális kiterjedésű és mértékű katasztrófát okozna bolygónkon (megkülönböztetünk lokális, regionális, kontinensre kiterjedő, illetve globális kozmikus becsapódási katasztrófális eseményt). Ezeken az égitesteken különösen „rajta kell tartani szemünket”, azaz időben fel kell fedezni ezeket és pályájukat folyamatosan nyomon kell követni, fizikai tulajdonságaikat, összetételüket meg kell ismerni.

A földközeli kisbolygók felfedezésének története 120 évvel ezelőtt, 1898. augusztus 13-án vette kezdetét, amikor Carl Gustav Witt (1866–1946) német csillagász a berlini Uránia Csillagvizsgálóban felfedezte a később (433) Eros nevet kapott kisbolygót. Witt megfigyelésétől függetlenül ugyanazon az éjszakán Auguste Honoré Charlois (1864–1910) a Nizzai Observatóriumban lefotózta a kisbolygót, de csak később ismerte fel, hogy egy új



2. ábra. A Földre nézve potenciálisan veszélyes (PHA) aszteroidák pályái a földpálya (ekliptika) síkjába vetítve: 2014. január 1-jén már 1400 ilyen objektum ismert, 2018 elején pedig már 1800-nál is többet ismertünk (Forrás: NASA/PL Caltech, 2014. január 1.).

kisbolygó van a felvételen. Így végül is Witt lett a felfedező, mert ő jóval korábban bejelentette a felfedezését (3. ábra). Az Eros kisbolygó közepes naptávolsága $1,46 \text{ CsE}$, $1,13 \text{ CsE}$ -re közelíti meg a Napot, naptávolságban $1,78 \text{ CsE}$ -re kerül tőle és mintegy 1,76 év (643 nap) alatt tesz meg egy keringést. Az ellipszis pályája excentricitása²

2 e: numerikus excentricitás – az ellipszis elnyújtottságának mértéke: a középpont és az egyik fókuszpont távolsága (c lineáris excentricitás) és az ellipszis fél-nagyengelye hosszának (a) aránya: $e=c/a < 1$ (speciális esetben, azaz a kör esetén $c=0$, $a=r$ rádiusz, így $e=0$).



3. ábra. Az elsőnek felfedezett földközeli kisbolygó, a (433) Eros felfedezője Carl Gustav Witt (1866-1946), és aki ugyanazon az éjszakán készített felvételén később megtalálta, August Honoré Charlois (1864-1910). Középen a NASA NEAR-Shoemaker űrszondája által az Eros kisbolygó felszínétől mintegy 200 km magasságból készített, hat felvételtől összeállított színes kompozit kép. Az Eros alakja egy "banánra" vagy "nyereg" emlékeztet, hossza mintegy 34 km, szélessége két irányban egyaránt 11 km
(Forrás: NASA/JPL Photojournal PIA02923).

0,223, a pálya síkja 10,8 fokos szöget zár be az ekliptika³ síkjával. Az Eros egyébként a földközeli kisbolygók Amor pályatípusának névadója, az elsőnek felfedezett olyan aszteroida, ami a Mars pályájánál közelebb kerül a Naphoz (Erosz görög mitológiai isten, akinek latin megfelelője Amor).

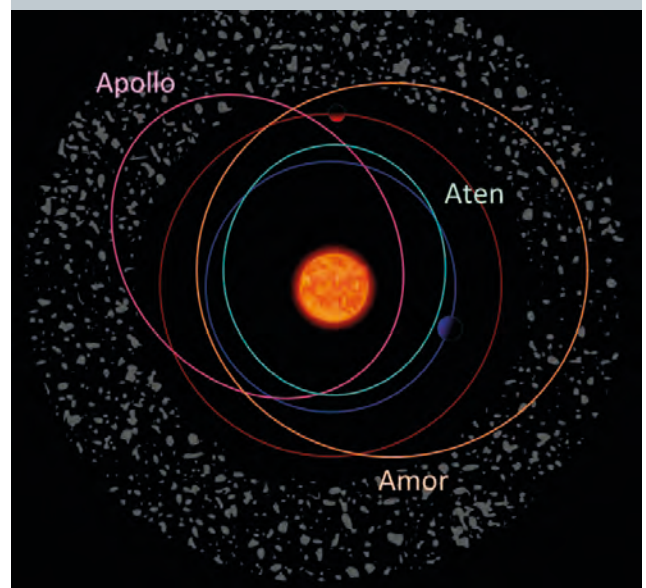
A földközeli objektumokat az alapján is lehet osztályozni, hogy a Föld pályájához képest hogyan helyezkedik el a pályájuk a perihélium (napközeli) és aphélium (naptávoli) távolságuk figyelembevételével, azaz metszik-e vagy sem a Föld pályáját. Ezek alapján az Amor pályatípusú kisbolygók pályája nem metszi a Föld pályáját, mindig kívül marad a Föld pályáján. Az Apollo-típusú kisbolygók közepes naptávolsága a Földénél nagyobb, de a perihéliumuk a Föld pályáján belül van. Az Aten-típusú kisbolygók pályájának legnagyobb része a földpályán belül van, de az aphéliumuk közelében metszik a földpályát (4. ábra). 1998 óta több olyan kisbolygót is felfedeztek, amelyek pályája teljes egészében a földpályán belül van. Ezek az Inner-Earth Objects (IEO) aszteroidák. 2017 végéig 18 IEO-t fedeztek már fel. A Naprendszer belső térségeiben mozgó kis objektumok, úgy a NEO-k és az IEO-k nagy része kaotikusan mozog, jó részük idővel a Napba zuhan vagy a földtípusú bolygókkal esetleg azok holdjaival ütközik. Érdekesség, hogy a Földével közel azonos középmozgással (közepes pályabeli szögsebességgel) a Nap körül több természetes objektum (nem űreszköz vagy annak darabja) is kering,

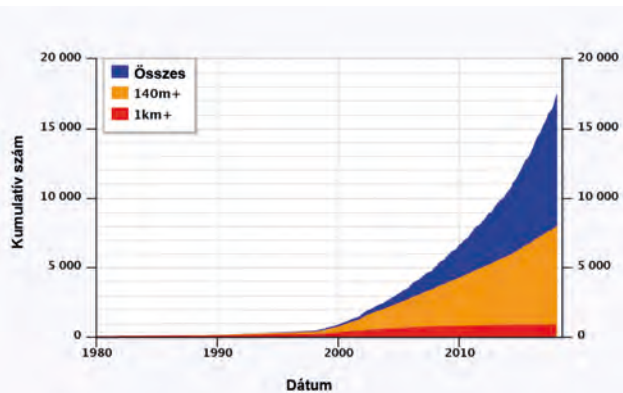
3 A Nap évi látszólagos útja az égbolton, másképp fogalmazva a Föld keringési síkja és az éggömb (pl. egységnyi sugarú gömb) metszészvonala. Általában a földpályát is jelenti, az ekliptika síkja pedig a Nap körül keringő Föld pályájának síkja (az első közelítésben ellipszisnek vehető pálya síkja).

amelyek bolygónkkal koorbitális pályán, illetve mozgásban vannak, vagyis a Földnek a földpályán mozgó időleges koorbitális holdjai vagy kvázi-holdjai ezek. A koorbitális mozgás egy speciális esete az 1:1 rezonancia, illetve annak Lagrange-féle megoldásai. Eddig a Nap-Föld-kisbolygó égi mechanikai háromtest-probléma L4 stabil Lagrange-pontja közelében ismerünk egy Föld-trójai konfigurációban lévő kisbolygót, aminek ideiglenes neve 2010 TK7. A koorbitális pályán levő objektumok nem ütköznek a bolygónkkal.

Különösen fontosak az Apollo és Amor aszteroidák. Az Apollo-típusú kisbolygópálya azt jelenti, hogy a pályájuk metszi a Föld pályáját, lényegében tehát térben nagyon közel van a Föld és a kisbolygó útvonala, az Amor pályák nagyobbik íve pedig teljesen a földpályán belül van és az Amor kisbolygók a naptávoli pontjuk környékén keresztezik a földpályát. Megjegyezzük, hogy a 2013. február 15-én az oroszországi Cseljabinszk városa felett felrobbant meteoroid a pályája alapján szintén egy Apollo-típusú kis égitest volt, tehát az ilyen kis égitestekre különösen oda kell figyelni, meg kell találni őket és a pályájukat figyelemmel kell kísérni. A már több mint kilencezer ismert Apollo aszteroida közül mintegy ezer lehet potenciálisan veszélyes a Földre. Fontos megjegyezni, hogy jelen sorok írásakor nem ismerünk olyan természetes égitestet, amelyről biztosan tudnánk, hogy ütközni fog bolygónkkal, de természetesen a jövőben előfordulhat ilyen esemény, mint ahogyan az a múltban többször már megtörtént.

4. ábra. A földközeli kisbolygók a pályájuk alapján három fő típusba sorolhatók: Aten, Apollo, Amor. A Mars és Jupiter pályái között a kisbolygók fővívét szürke szín jelöli
(Forrás: ESA)





5. ábra. A felfedezett földközeli kisbolygók kumulatív számának növekedése 2017 elejéig. A 140 méteresnél nagyobbakat narancs szín, az 1 km-nél nagyobbakat pedig vörös szín jelöli, míg az összes darabszámot sötét kék mutatja. 2017 elejéig összesen több mint 15 000 földközeli kisbolygót fedeztek fel, 2018 elejéig számuk meghaladta a 18 000-et

(Forrás: NASA/JPL NEO, Alan B. Chamberlin).

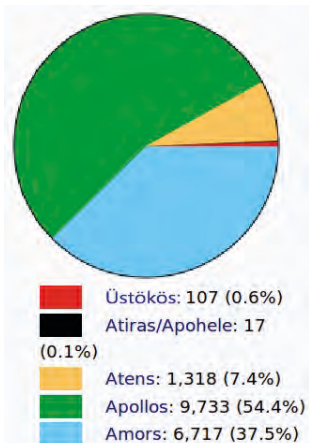
Az ENSZ 2014-ben hozta létre az International Asteroid Warning Network-öt (IAWN), amely riasztást ad ki, ha a jövőben a Földet veszélyesen megközelítő égitestet találnak. Feladatuk a távcsöves megfigyelések koordinálása, a pályák meghatározása és a becsapódás kockázatának elemzése. Az eredetileg egyéni szakemberekből álló nemzetközi szervezethez mostanra főként obszervatóriumok, szervezetek (pl. az ESA) csatlakoztak, de természetesen a megfigyelések jelentős részét továbbra is a munkát támogató egyének végzik. Ennek köszönhetően tavaly a hálózathoz 47 országból (és a világról) mintegy 22 millió észlelés futott be, amelyek közül körülbelül 201 ezer vonatkozott földközeli objektumokra (NEO). Az ismert földközeli égitestek számának gyarapodását a 5. ábrán mutatjuk be. A NASA JPL CNEOS (Center for Near Earth Object Studies) földközeli kisbolygókkal foglalkozó központja 2018. március 1-i adatai szerint összesen 17 982 földközeli objektumot fedeztek már fel, amiből 107 földközeli üstökös van és a többség pedig 17 785 földközeli aszteroida. Ezek között 1886 a Földre nézve potenciális veszélyes ismert kisbolygó van. A becslések szerint összesen mintegy 13 ezer 140 méternél nagyobb földközeli aszteroida lehet, de azok nem mindegyike veszélyes a Földre. A földközeli kis égitesteket a pályájuk szerint csoportosítva ebben a mintában 9773 (54,4%) Apollo pályatípusú kisbolygó van, 6717 (37,5%) Amor, 1318 (7,4%) Aten, 17 Atiras/Apohele (IEO) van, illetve a már említett 107 földközeli üstökös a minta 0,6%-át teszi ki (6. ábra). A földközeli kisbolygók felfedezéséhez több földi obszervatórium (elsősorban amerikai, illetve európai), továbbá néhány űrtávcső is hozzájárult.

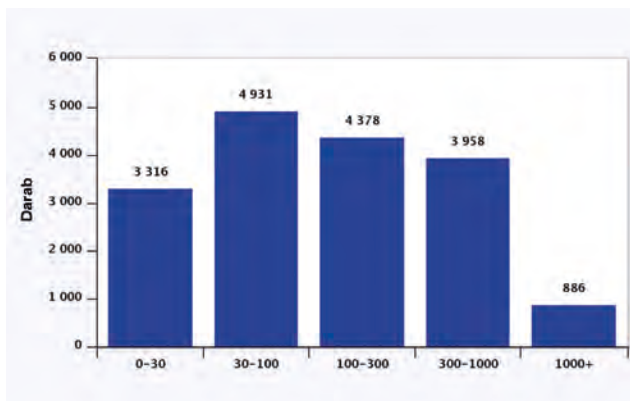
Egyébként magyar csillagászok is kivették, illetve vesznek részüket a földközeli objektumok felfedezéséből, megfigyeléséből: az IRAS infravörös űrtávcsővel felfedezett gyorsan mozgó, földközeli aszteroidák és üstökösök (fast moving objects) követésében az (akkori nevén) MTA Csillagászati Kutatóintézet pizskéstetői 60/90/180 centiméteres Schmidt-teleszkópjával fotografikus módszerrel (Lovas Miklós és e sorok írója), illetve később erre a teleszkópra szerelt különböző CCD kamerákkal (Sárnecky Krisztián és munkatársai). A NASA Kepler űrtávcső K2 elnevezésű programja során is sikerült földközeli kisbolygót felfedezni. (Lásd Juhász Áron cikkét – a Szerk.) Ennek a projektnek a vezetője Szabó Róbert.

A 40 méternél nagyobb földközeli kis égitestek becsült száma 840 ezer, ezeknek eddig mintegy 1,5%-át fedezték fel. A 3,5 méteresnél (tehát egy személygépkocsi méreténél) nagyobbak összesen 400±100 millióan lehetnek. Ezeknek csak csupán körülbelül 0,003%-át ismerjük. Az eddigi legkisebb földközeli égitest egy 1 méteres meteoroid, a 2008 TS26. A legnagyobb NEA pedig a nagyjából 36 kilométer méretű (1036) Ganymed, ami egy Amor-típusú és egyben a Mars pályáját metsző kisbolygó, ez azonban nem veszélyes a Földre. A NASA becslése szerint az 1 km-nél nagyobb földközeli aszteroidák száma 500 – 2000 között lehet (7. ábra). A Földre veszélyes első négy legnagyobb kisbolygó az (53319) 1999 JM9 (~7 km), (4183) Cuno (5,6 km) és (3200) Phaethon (5,1 km) és (3122) Florence (4,5 km). A Földbe tehát a legvalószínűbben a meteoroid méretű kis égitestek csapódhatnak be és nem a náluk jóval kevesebb számban levő kilométeresnél nagyobb földközeli objektumok.

A földközeli objektumok földi optikai és radarcsillagászati megfigyelése, valamint néhány NEA és földközeli üstökös űrszondákkal történt közvetlen közeli vizsgálata megmutatta ezek változatos méretét és alakját. A NASA NEAR-Shoemaker (Near-Earth Asteroid

6. ábra. A 2018. március 1-ig felfedezett földközeli kisbolygók száma a pályájuk típusa szerint elkülönítve: földközeli üstökösökből 107 van (0,6%) a földpályán belüli IEO (Atiras/Apohele) 17 van, 1318 (7,4%) Aten, 9733 (54,4%) Apollo és 6717 (37,5%) Amor van (Forrás: NASA/JPL NEO).





7. ábra. A földközeli objektumok (NEO) méret szerinti eloszlása hisztogramja a következő bin-intervallumokban: 30 méternél kisebbek, 30-100 m, 100-300 m, 300-1000 m (1 km), 1000 méternél (1 km-nél) nagyobbak száma (NASA/JPL CNEOS, Alan B. Chamberlin, 2017).

Rendezvous) űrszondája a (433) Eros kisbolygót tanulmányozta, majd a küldetés befejezéseként a szonda simán leszállt az aszteroida felszínére, bár a szondát nem erre tervezték. A JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) Hayabusa-1 („Sólyom”) űrszondája felszíni talajmintát vett és juttatott el a Földre a (25143) Itokawa Apollo-típusú kisbolygóról. A kínai Chang’e-2 („Holdistenő”) holdszonda bolygóközi térbe történő átirányítása után elrepült a (4179) Toutatis földközeli

8. ábra. Néhány jellegzetes földközeli objektum (földközeli kisbolygó és a Föld közelébe kerülő üstökös) a közletről meglátogató űrszondák felvételein, illetve földi radarcsillagászati megfigyelésből: felső sor balról jobbra: (433) Eros (NASA NEAR-Shoemaker), (4179) Toutatis (Kína Chang’e-2 űrszondája), (25143) Itokawa (Japán JAXA/ISAS Hayabusa-1). Az alsó sorban balról jobbra: 103P/Hartley 2-üstökös magja (NASA Deep Impact Extended mission DIXI/EPOXI), 67P/Churyumov-Gerasimenko-üstökös magja (ESA Rosetta/OSIRIS felvétele)



kisbolygó közelében és felvételeket készített róla. A pályájuk következtében a Föld közelébe kerülő üstökösök is változatos alakot mutatnak és esetenként a földközeli aszteroidákhoz is hasonlóak, mint például az ESA Rosetta űrszondája által részletesen vizsgált 67P/Churyumov-Gerasimenko-üstökös magja és a radarcsillagászati eszközökkel megfigyelt 2014 JO25 földközeli kisbolygó két összetevőből álló testének megjelenése. A NASA DIXI/EPOXI (Deep Impact Extended Investigation (DIXI) and Extrasolar Planet Observation and Characterization (EPOCH)) a Deep Impact űrszonda kiterjesztett programja során a 103P/Hartley 2 földközeli üstökös közelében végzett vizsgálatokat, amely során a közeli képfelvételek egy igen aktív és elnyújtott alakú, „kuglibábura” emlékeztető üstökösököt mutattak (8. ábra).

Nemcsak a Naprendszerünk kisbolygói, üstökösei kerülhetnek a Föld közelébe, hanem a csillagközi térből is kis égitestek léphetnek be a Naprendszerbe és egy kozmikus időskálán rövid idejű látogatás után el is hagyhatják a Nap családját. Csillagászat-történelmi jelentőségű felfedezés történt 2017. október 18/19-ra virradó éjszaka az amerikai Pan-STARRS (Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System, azaz Panoráma-felmérő távcső és gyors reagálású rendszer, PS1 teleszkópja) égboltfelmérő program során: felfedezték az első, csillagközi térből érkezett kis égitestet, amelynek végleges elnevezése 1I/Oumuamua (A/2017 U1) lett. (lásd Sódor Ádám cikkét áprilisi számunkban – a szerk.). A csillagközi térből érkezett kis égitesteknek van a legkisebb ütközési valószínűségük a Földdel, a Naprendszerhez tartozó földközeli objektumok sokkal nagyobb valószínűséggel közül kerülhetnek ki a potenciálisan veszélyes testek.

Az eddigi becslések szerint a Naprendszerben a Neptunusz pályáján belül mintegy tízezer 100 méteres méretű csillagközi eredetű kis égitest lehet és ebben a térségben ezek mintegy 10 évig tartózkodnak, majd elhagyják a Naprendszert. A Földhöz közel kerülő és esetleg potenciálisan veszélyes objektumok leltára a csillagközi térből érkező kis égitestekkel bővült, de ezek bolygónkba ütközésének igen kicsi az esélye a Naprendszerhez tartozó földközeli objektumok által jelentett veszélyhez képest.

TÓTH IMRE

Vége az I. résznek

 Következik júliusi számunkban: Kozmikus fenyegetések

nature ecology & evolution

HIÁNYZÓ LÁNCSZEM A PÓKOK EVOLÚCIÓJÁBAN

Egy új pókszabású fajt fedeztek fel és írtak le a miánmari (korábbi nevén burmai) 100 millió éves (középső-kréta) borostyánkővekben. A rendkívüli leletet egy nemzetközi (amerikai, kínai, német, brit) kutatócsoport dolgozta fel. Már korábban is sok borostyánkövet találtak Mianmar északi részén. Az érdeklődés tíz évvel ezelőtt vált nagyon intenzívvé, amikor kiderült, hogy a borostyánkő középső-kréta korú, vagyis a benne talált rovarok jóval idősebbek, mint először gondolták. A kereskedők sok példányt adtak el a kínai kutatóintézeteknek. A most vizsgált példány is tavaly került a Nankingi Egyetem Földtani és Őslénytani Intézetébe.

Az új állatfaj számos tulajdonságában a pókokhoz hasonlít, még a pókselyem előállítására alkalmas fonószemölcsök is voltak a hátsó részén. Volt azonban egy hosszú farka is, ami a ma élő pókoknál hiányzik, habár az ostorfarkúakhoz sorolt néhány rokonuknak van egy anális ostoruk. Négy nagyon kisméretű, körülbelül 2,5 milliméteres példányt találtak az új fajból, amihez hozzáadódik a majdnem 3 mm hosszú farkok. Az ostorszerű nyúlvány olyan, mint egy tapintószerv, és arra szolgál, hogy érzékelje a környezetet.

Az izgalmas új lelet megerősíti a korábbi eredményeket, amit részben ugyanezek a kutatók értek el pár évvel ezelőtt, amikor leírtak egy hasonló, farkkal rendelkező pókszabásút, aminek viszont hiányzott a fonószemölcs. Ezek az állatok a jóval idősebb devon időszak (kb. 380 millió éves) és perm időszak (kb. 290 millió éves) kőzetekből származnak, és ezekre alapozva állítottak fel egy új pókszabású rendet (Uraraneida), amik a modern pókok előfutárai lehettek. Az új faj képviselői azon túl, hogy jóval fiatalabbak, azért is különösen érdekesek, mert egy átmeneti formát alkotnak a még fonószemölcsrel nem rendelkező idősebb formák és a farkukat elvesztő modern fajok között. Egy igazi hiányzó láncszemet képviselnek a pókszabásúak evolúciójában.

A kréta időszaki új faj a *Chimerarachne yingi* nevet kapta a görög mitológiai kiméra után, ami egy félvér forma, több állat részeiből összerakott hibrid volt. A kutatók sajnos csak keveset tudtak megállapítani a kicsi pókok mindennapi viselkedéséről és életéről. Mivel borostyánkőben estek csapdába, az feltételezhető,

hogy a fatörzseken, vagy azok körül éltek. A borostyánkő fosszilizálódott gyanta, így ahhoz, hogy belekerüljenek a gyantába, a pókoknak a fakéreg alatt, vagy a fa lábánál lévő mohában kellett élnie.

Bár a kréta időszaki pók képes volt fonalat készíteni a fonószemölcssei segítségével, az nem valószínű, hogy sok modern utódjához hasonlóan hálót készített volna a rovarok csapdába ejtése érdekében. A fonószemölcsöket biztos, hogy fonál készítésére használta, de ennek sok különböző célja lehetett. Így például a peték betakarása vagy elrejtése, odú készítése, alvó függőágy készítése, vagy egyszerűen csak nyomot akartak hagyni maguk után. Ha egy odúban vagy



földalatti járatban éltek, akkor annak elhagyásakor egy szálát húzhattak maguk után, így könnyebben visszataláltak. Ezek a felhasználási módok már az előtt kifejlődtek, hogy a pókok elkezdtek volna a levegőben kifeszíteni a szálakat, hogy rovarcsapdákat készítsenek. A pókok tulajdonképpen csak követték a rovarok evolúcióját, amikor azok a talajról részlegesen felköltöztek a levegőbe. Mivel táplálkozásukban a rovarok alapvető szerepet játszottak, tartaniuk kellett a lépést, és válaszul kezdték el kifeszíteni hálójukat a levegőbe.

A számtalan leletnek köszönhetően egyre többet lehet tudni a mai Burma területén élt kréta időszaki élővilágról és környezetéről. Akkor is egy trópusi esőerdő területén éltek számos pókszabásúval, amelyek nagyon hasonlítottak a napjainkban előforduló DK-ázsiai fajokhoz. Elképzelhető, hogy a most leírt forma késői leszármazottai is megtalálhatók a túlélők között. Eddig ugyan még nem találták meg őket, de ezeknek az erdőknek jó része alig ismert, és egy nagyon kicsi, rejtőzködő állatról lehet szó.

(*Nature Ecology & Evolution*, 2018. február)

KUTYAGÉNEK A FARKASÁLLOMÁNYBAN

A vadállatok, amelyek házi leszármazottaikkal egyidejűleg élnek, nem ritkán hibridizálódnak, ezzel a vadállatok génállománya, vagyis a faj jellegzetességei sérülnek. Egy átfogó nemzetközi kutatásban azt vizsgálták, mennyire elterjedt és milyen arányú a farkasokban a kutyagének előfordulása.

A kutatók 252 szürkefarkas, 17 feltételezett kutya-farkas hibrid, és 125 fajtatizta, valamint 2 keverék kutya genetikai adatait elemezték Eurázsia területéről, illetve Amerikából 35 prérifarkast vontak be a vizsgálatba. Euráziában a farkasállomány 62%-ában kimutathatóak a kutyagének, az észak-ameri-



kai prérifarkasoknál viszont csak elvétve fordulnak elő. A keveredés számos helyszínen zajlott, sok alkalommal, néhányszor a közeli múltban is, de inkább korábbi időpontokra utaltak a jelek. A meglepő az volt, hogy számos olyan farkasnál is nagy arányban voltak jelen kutyagének, amelyeket tisztavérűnek hittek, s külső jegyeikben semmi nyoma nem volt a kutyával való keveredésnek; holott második-harmadik generációs hibridek voltak. Mindemellett két olyan olasz farkasnál, amelyek szokatlan, fekete bundája a kutya eredetre utalt, a színt hordozó kutyagéneken kívül más hibrid-gént nem találtak. A genetikai vizsgálat arra mutatott rá, hogy csupán a külső jegyek nem elegendőek ahhoz, hogy megállapítsák, a farkas tisztavérű-e, így az állományok felmérésében és a faj tisztaságának megőrzésére szolgáló hibrid-kilövésekben ez komoly gondot is okozhat. További probléma, hogy az olcsó és gyors genetikai tesztek fals eredményt adnak a hibridizáció kapcsán, a precíz vizsgálatok viszont drágák és körülményesebbek is.

(Evolutionary Applications, március 8.)

100 ÉVALATT TIZEDÉVEL NÓTTA SZAHARA KITERJEDÉSE

Az amerikai National Science Foundation (NSF, Nemzeti Kutatási Alap) támogatásával készült átfogó tanulmány Afrika éghajlatának 20. századi változásáról, amelyben a kontinens csapadékmennyiségének és hőmérsékletének alakulását mérték fel évszakos lebontásban.

Számos egyéb adat mellett a Szahara kiterjedésének növekedésére is fény derült: a sivatag mind az Egyenlítő irányába, mind észak felé nagyobb területet foglal el ma, mint 1920-ban.

Az évszakos változások alapján a növekedés legnagyobb részben nyáron következett be, s inkább déli irányú terjedést tapasztaltak, a téli időszakban pedig észak felé növekedett a sivatag területe. A kutatók szerint valószínűleg a bolygónk többi sivataga esetében is hasonló arányú növekedést lehetne mérni.

A Szahara növekedése részint a természetes változékonyságnak (2/3 rész), részint emberi behatásnak (1/3 rész) is köszönhető, s az egyre nagyobb területet elfoglaló légköri Hadley-cella is északabbra tolja a száraz övet.

Miután az afrikai felméréssel végeztek, egy gyors összehasonlítást készítettek Észak-Amerikával is. Az amerikai nyár hőmérséklete nem változott, viszont melegebbek lettek a telek, míg Afrikában pont fordított a helyzet, itt a telek maradtak hasonló hőmérsékletűek, és a nyár melegebb - a forróbb nyarak jelentik a kontinens élővilága, lakossága illetve mezőgazdasága számára a nagyobb stresszt.

A korábbi vizsgálatok egyike sem készült ekkora időtartamról, az éves-évtizedes változékonyság könnyen elfedte a hosszabb távú trendeket. Érdekes módon a kontinens déli felén található Kalahári- és Namíb-sivatag kis mértékben visszahúzódott ugyan ezen 100 év során, a téli-tavaszi hónapok ideje alatt.

(Journal of Climate, március 28.)

JÚLIUSI SZÁMUNKBÓL

PAPP ZOLTÁN:

Megemlékezés a nagy elődről – Semmelweis 200

Interjú SÓTONYI PÉTERREL

BOGNÁR ZSÓFIA: Pulzáló törpecsillagok anatómiája

PAULOVKIN ANDRÁS – CSORBA GÁBOR:

A gázosítástól a ködképző turbináig

VARGA ZOLTÁN – BERECKI JUDIT

– PECSENYE KATALIN – TÓTH JÁNOS PÁL

Honnan jöttek, hová mentek? –

Kárpát-medencei lepke-népeségek és génjeik

BELSŐ BORÍTÓNKRÓL

LEFELÉ FOLYIK A VISZTULA, VAGYIS ÉSZAKRA

A lengyel függetlenség századik évfordulóját tavaly a lengyelek a nemzeti folyójukról a Visztula évének nevezték el. Erre az alkalomra egy lengyel-magyar nyelvű kis album is készült, irodalmi szövegekkel és képekkel.

Az album összeállítója és szerkesztője az a *Jerzy Snopce* volt, aki ma Lengyelország budapesti nagykövete, kiváló magyar fordító. Bevezetőjében a Visztulát rendkívüli folyónak mondja, hisz' mindenütt jelen van: a lengyel emlékezetben és képzeletben, az irodalomban és a képzőművészetben, a néphagyományban és a popkultúrában. Mint más nemzetek, országok nagy folyói: a Jordán, a Nílus, az Eufrátesz, a Mississippi, a Volga, a Rajna, a Tiberisz, a Loire, a Szajna, a Temze, a Duna, a Dnyeper, a Don és megannyi más folyó, a Visztula évszázadokon át a lengyelek éltető folyója volt, de legendák, mondák, jelképek tárháza is egyben a nemzet képzelőerejét magába sűrítő egyfajta kulturális szimbólum. A régebbi évszázadokban a krónikák lapjain, költőink strófáiban a Visztula többnyire mint jótevő, jótékony folyó jelent meg, melynek köszönhetően az ország déli részéből az áru eljutott a gdański kikötőbe.

A Visztula képe a lengyel költészetben a függetlenség elvesztése után kezdett megváltozni. Ezeknek a változásoknak az előhírnöke a felvilágosodás költőjének, Franciszek Karpińskinek (1741-1825) az *Egy szarmata gyász dala Zsigmond Ágoston sírjánál* c. verse lett, melyet közvetlenül az ország harmadik felosztása után írt, s amely a megbéklyózott nemzet katasztrófális vízióját jeleníti meg. A költő a Visztula megszólításával: „*Oh, Visztula! Nem lengyel issza vized*”, több mint száz évre összeköti a lengyel folyók királynőjét a lengyel szabadság ügyével. Ugyancsak ebben a szerepben jelenik meg a Visztula a lengyel himnusz soraiban, majd pedig a XIX. században és a XX. század elején keletkezett több versben.

A lengyelek képzeletében a folyó képe a függetlenség visszaszerzésébe vetett remény szimbólumává vált. A Lengyelországról szóló nosztalgikus képekben, amelyekben megjelentek a haza nagyszerű múltjának reminiscenciái, a „*jótékony folyó*” motívuma is vissza-visszatért.

Különösen őszinte hangon fejezték ki a folyó szépsége iránti elragadtatásukat, vonzalmukat, a Visztula men-

ti tájhoz való kötődésüket azok a költők, akik a Visztula mellett töltötték gyermek- vagy ifjúkorukat, akik számára a Visztula „*otthoni, házi folyó*” volt.

A költők verseiben a Visztula még itt is elsősorban a függetlenségétől megfosztott haza motívumaként illetve a felszabadulásban bízó lengyelség jelképeként jelenik meg. A korszak lezárását *Stefan Żeromski* 1917-ben, Lengyelország függetlensége kivívásának küszöbén, prózában írt elbeszélő költeménye jelenti. Ez a prózavers a Visztula-motívumok sajátos szintézisét képezi, amelyben Żeromski visszatér a jótékony, jótevő hajózási útvonalat képező Visztula motívumához. A hazai folyó romantikus képein túl elének tárja a természeti fenoménként is létező, esztétikai élményt nyújtó, emlékképek, érzések és érzelmek forrásául is szolgáló folyó személyes felfogásmódját. Most tőle idézzük azt a részt, amelyik nekünk is fejtörést okozott: megtalálni – nem könnyű! – és lefényképezni, amikor a végén a tengerbe ömlik.

Stefan Żeromski A *Visztula* című próza-költeményében így ír erről: „Gniew és Tczew között háromfelé ágazik az egységes víztömeg. Az egyik ág, a Nogat valaha önálló folyó volt Żuławyban, a tizenhatodik századtól kezdve pedig ez a nagy folyó első számú ága – Malborg baljós árnya és a távoli, hideg tenger felé indul. A két másik folyóág a lengyel szántóföldektől elkülönülő, termékeny iszaphordalékkal feltöltött területen vág át. A Merész-Visztula a tizenkilencedik század közepén vágta át a homokdűnék nagy torlaszát, most több torkolattal ömlik a Balti-tenger legmélyebb öblébe, ahol édes lengyel vizet kever a sós áramlatba, az óceánból érkező tenger-mélybe. A zöldes tengervíz messzesége, a végtelen égbolttal egybeolvadó kéklő láthatár tartanak az aranylós Visztula-ágak. Oda tart a Visztula, ahonnan eredt, vissza az égbe. De mielőtt még a tenger kifürkészhetetlen titkai közé vész, irányt ad a lengyel sóhajnak, célt mutat a vágyakozó pillantásnak, felidéz egy eltűnt, elfeledett, lenézett útvonal emlékét.”

SZÖVEG ÉS BELSŐ BORÍTÓKÉPEK: MÓSER ZOLTÁN

XXVII. TERMÉSZET–TUDOMÁNY DIÁKPÁLYÁZAT

A Hold meghódítása

Egy holdbázis elkészítése 3D nyomtatás segítségével

„2017-van, mostanra már kellene, hogy legyen egy holdbázisunk. Mi történik?”
(Elon Musk)

Az űrbeli terjeszkedés az emberiség nagy kihívása, melynek megvalósítása az örökös kíváncsiság kielégítése, valamint a növekvő populáció, és a fogyó nyersanyagok problémájának megoldása. Ez azt jelenti, hogy az emberiség lassacskán kezdi kinőni szülőbolygóját, a Földet. A kék bolygó megőrzésén kívül szükséges lenne új égitestek, új lakható vagy nyersanyagot biztosító területek keresése és meghódítása. A legelső, legkönnyebben felhasználható terület a Hold lehetne, ugyanis ez a Földhöz legközelebb levő égitest, melyen már járt ember. Az évszázadok tanulmányozásának



eredményeként a Holdat ismerjük a legbehatóbban. A távolabbi, nagyobb cél a Mars, melynek meghódításához elengedhetetlenek a Holdon végzett kutatások, kísérletek, első emberi telepek.

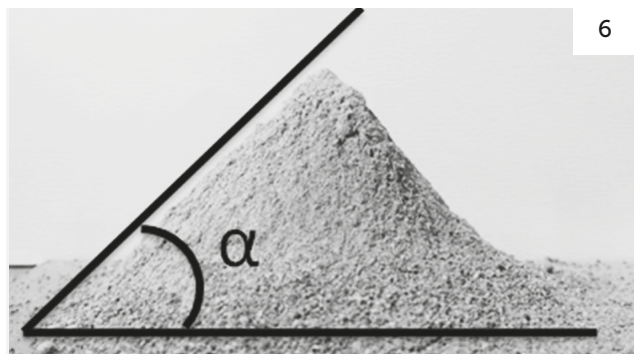
Egy állandó életfeltételeket biztosító állomás létesítése lehetne az első lépés a későbbi kolóniák megvalósításához. Léteznek elképzelések felszín alatti, barlangok, hasadékok tereit kihasználó lakótelepek létrehozásáról, vagy teljesen működőképes építmények odaszállításáról. Az egyik leggazdaságosabb módszer egy helyben felépített bázis lehetne, amely a felszínen található holdporból (regolítból) készülne, így minimalizálhatnánk a Földről szállított anyagok mennyiségét. Ebben nagy segítséget nyújtana az újszerű 3D nyomtatás technológiája, melyet a Holdon, in-situ lehetne alkalmazni struktúrák kialakítására. A 3D nyomtatás korunk egyik legintenzívebben fejlődő

műszaki területe, alkalmazható az orvoslásban, gyors prototípus-készítéshez, modellek elkészítésére, de akár épületek kialakítására is. A technológia kulcsa a test szeletekként, rétegről-rétegre való felépítése valamilyen anyag felhasználásával.

A holdbázis terve az Európai Űrügynökség (ESA) ötletein alapul [1]. A Földről odaszállított modul magába foglalna egy automatikusan felfúvódó dómszerkezetet, mely tartalmazná az életfenntartó rendszereket, valamint a 3D nyomtatóval felszerelt rovereket. A távvezérlésű mobilnyomtatók a dómot körbeépítenék a holdporral, megszilárdítva azt, így megfelelő biztonságot nyújthatna a bázis. A dóm egy hermetikusan lezárt struktúra lenne, megfelelő nyomást biztosítva az emberi élet fenntartásához (1. ábra) [7].

Kutatásom célja a 3D nyomtatással előállított bázis kivitelezhetőségének, az ötlet gyakorlatba ültetésének, valamint a követelményeknek (védelem, biztonság, gazdaságosság) való megfelelésnek a vizsgálata. A legváltozatosabb környezeti tényezőknek kell ellenállnia, ezek: a felszínbe csapódó mikrometeoritok, a nagy hőmérséklet-ingadozás (300 °C), valamint a kozmikus sugárzás; ez utóbbi főként az emberi szervezetre ártalmas gamma-sugárzásból áll. Számításba véve a Földön való kísérletezés módjait, valamint saját lehetőségeimet, kiválasztottam a megfelelő módszert. Ez az ötlet a Hold felszínén található holdport, más néven regolítot hasznosítaná, amelyből egy cementszerű képződményt lehetne létrehozni egy





magnézium-oxidot is adni, a bazaltpor önmagában nem tartalmaz megfelelő mennyiséget, és az is kötött, ásványi formában található, amely nehezen reagál. A továbbiakban ezekkel a mintákkal végeztem különböző méréseket.

A mérések alkalmával a bázis fal-anyagának a környezeti terhelésekkel szembeni tulajdonságait vizsgáltam. Így végeztem szilárdságtani, hőtani valamint sugárzás csillapítással kapcsolatos méréseket. Egy hasonló kutatás [5] eredményeivel hasonlítottam össze az általam kapott adatokat, ezt az *Acta Astronautica* nevű folyóiratban találtam az interneten.

A cement sűrűségét egyszerű módszerrel határoztam meg. Egy pontos gyógyszerészeti mérleg segítségével tömeget, valamint a szabályos formának köszönhetően pontos térfogatot mértem. A két adat segítségével sikerült megállapítani a minta sűrűségét ($\rho=2040 \text{ kg/m}^3$), mely szinte megegyezik a mintául vett kutatási eredménnyel ($\rho'=1855.33 \text{ kg/m}^3$).

Ha egy rövid, zömök rudat bizonyos erővel összenyomunk, akkor hosszmérete csökken, keresztmetszete pedig nő. A nyomóerővel szemben egyensúlyt létesítő erők lépnek fel. A nyomóerő és a keresztmetszet hányadosát *nyomófeszültségnek*, a rövidülés és az eredeti hosszúság hányadosát *fajlagos rövidülésnek*, illetve *nyomószilárdságnak* a feszültségnek azt a határértékét nevezik, amelynél összeroppan, összenyomódik a test. A jelenséget a Hooke-törvény írja le.

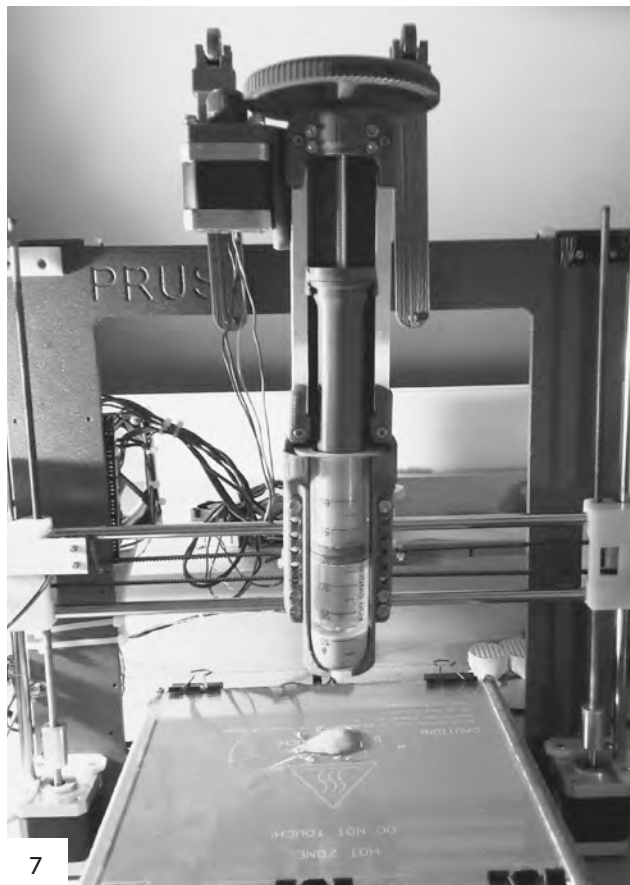
$$\text{Hooke-törvénye: } \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{1}{E} \cdot \frac{F}{S}$$

$$\text{Nyomófeszültség: } \sigma = \frac{F}{S}$$

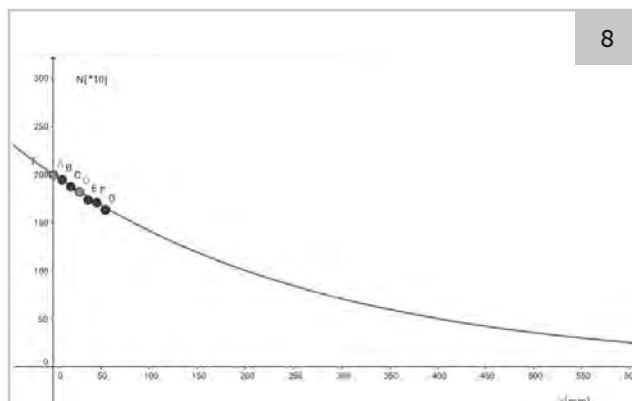
E: Young-modulus

A szilárdságtani mérések közül a nyomószilárdság, valamint a Young-modulus mérését egy hidraulikus nyomó-szakító gép (prés) segítségével végeztem. A mérés során a szerkezet számlapját és a terhelt mintát együttesen filmeztem. A videóban látható, összeroppanáskor leolvasható nyomásértékből és a minta felületéből, valamint az előre megadott dugattyú felületekből sikerült meghatározni a nyomószilárdságot. A terhelt

minta mellé egy pontos (elektronikus) tolmércét szereltem, így le lehetett olvasni a hosszváltozásokat. Hooke-törvénye segítségével a Young-modulust is sikerült meghatározni. Különböző felületű, alakú és eltérő magnézium-oxid-tartalmú mintákkal végeztem a méréseket. Következtetésképpen a 30% MgO-ot tartalmazó minták bizonyultak a legellenállóbbaknak.



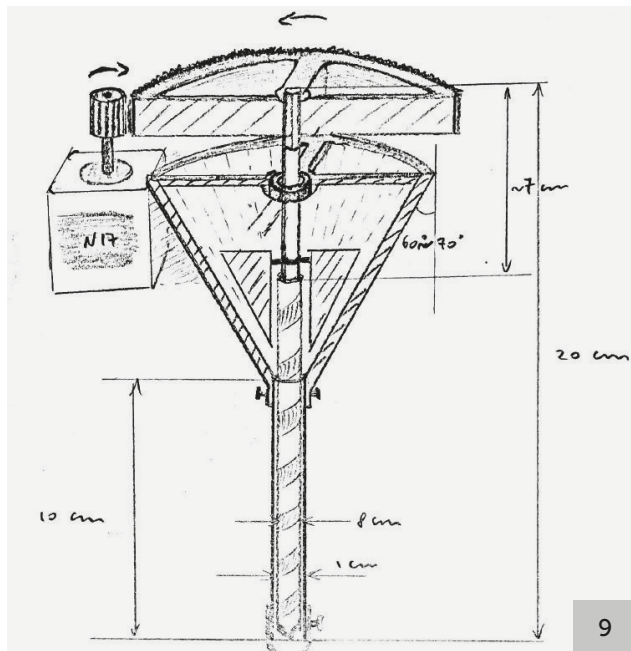
Az egyik végén befogott, a másik végén terhelt rúd az erő hatására meghajlik. A *lehajlás* mértéke függ a rúd keresztmetszetének alakjától, ezt jellemzi az ún. *másodrendű nyomaték*. A mindkét végén alátámasztott rúd közepén való terhelésnél *behajlik*. A *hajlítószilárdság* a rúdban keletkező feszültség azon határértéke, melynél a rúd még nem törik el a terhelés alatt.



$$\text{Behajlás: } s = \frac{1}{3E} \cdot \frac{l^3}{l} \quad s = \frac{Fl^3}{4ab^3E}$$

$$\text{Másodrendű nyomaték (téglalap): } I = \frac{ab^3}{12}$$

Az anyag hajlító igénybevételénél egy hosszú, téglalap keresztmetszetű, rúd alakú mintát készítettem, melyet középen, a súly fokozatos növelésével terheltem. Az elektronikus tolómérce egy állványon rögzítve mérte a behajlás értékét. A mért adatokból meg tudtam határozni az anyag hajlítószilárdságát, valamint újabb értéket kaptam a Young-modulusra, mely nagyjából megegyezett a másik mérés eredményével.



A hőtani mérések alkalmával sikerült az anyag legfontosabb tulajdonságait mérni vagy kimutatni. Kalorimetriás méréssel megállapítottam az anyag fajhőjét. Először a mintát 100 °C-os vízbe helyeztem, majd a kaloriméterbe tettem, amelyben bizonyos hőmérsékletű és tömegű víz volt. A termodinamikai rendszer hőmérséklet-változásából és egyéb állandók ismeretéből sikerült meghatározni az anyag fajhőjét.

A cement hőtágulását sajnos nem sikerült megmérni, ugyanis nagyon kis mértékű változáson ment keresztül, de sikerült felvételek alapján kimutatni (5. ábra).

Ha S keresztmetszetű, l vastagságú fal egyik oldalán a hőmérséklet t_1 , másik oldalán t_2 és $t_2 > t_1$, akkor beindul a hó áramlása, melynek egyik jellemző fizikai mennyisége a hővezetési tényező. Ezt az ún. Fitch-módszerrel határoztam meg, melynek lényege, hogy az ismert fajhőjű, jeges vízben levő rézrúdra helyezett minta, és a másik oldalán levő szobahőmérsékletű réztömb közötti hőmérséklet-különbség miatt beindul a hőáramlás. A két rézdarab hőmérsékletét egy Arduino alaplaphoz kötött termisztorral mértem, számítógép segítségével.

További ismert adatok alapján meg lehetett határozni a minta hővezetési tényezőjét.

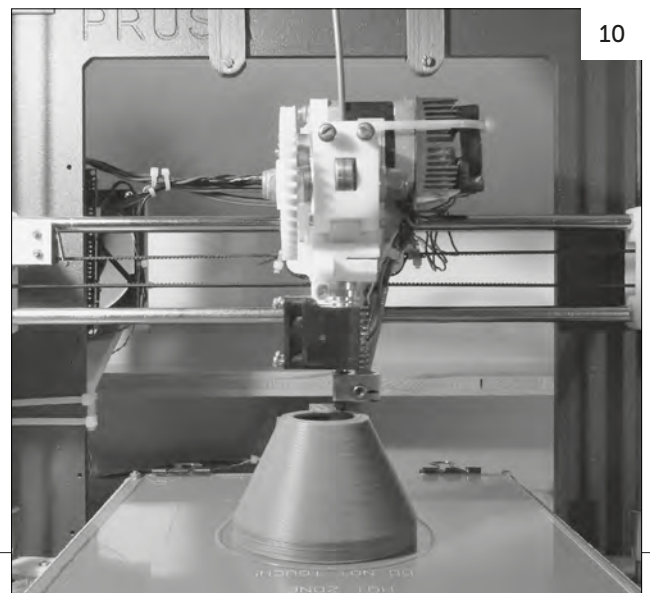
A dóm falának szögbeállítására miatt érdemes volt megvizsgálni a holdpor-szimuláció szemcséi közötti belső surlódási erő együtthatóját. Ezt a legkönnyebben a rézsűszög, vagyis a szabadon hagyott por-kúp hajlás-szöge mérésével lehetett meghatározni. Az eredmény szerint a szemcsék a **vízszintessel 40°-ot** bezáró szögnél még stabilan állnak. Ezt fontos figyelembe venni a bázis falának meredekségénél (6. ábra). Újabb eredmények alapján ez a rézsűszög nem gravitációfüggő (marsi homokdűnék megfigyelése alapján), tehát az itt kapott érték valószínűleg a Holdon is ugyanekkora lenne, de ez a hipotézis még további kutatást igényel.

Végül a minták sugárvédelmét kellett megvizsgálni, ugyanis a Holdon, légkör hiányában nagy dózissal van kitéve az ember. Kutatásomban a gamma-fotonok csillapítását vizsgáltam, ez a Naptól érkező részecskék és a holdpor által keltett gamma-sugárzást szimulálja. A Babeş-Bolyai Tudományegyetem segítségével újabb méréseket végeztem. Meghatároztam a minták lineáris sugárcsillapítási tényezőjét. A gamma-foton forrás kobalt (${}_{60}\text{Co}$) volt, és a mérést egy gamma számlálóval végeztem, tanári felügyelet mellett. A csillapítási tényező megmérése fontos szerepet játszik a fal vastagságának meghatározásánál (7. ábra).

$$\text{Fotonszám: } N = N_0 e^{-\mu x}$$

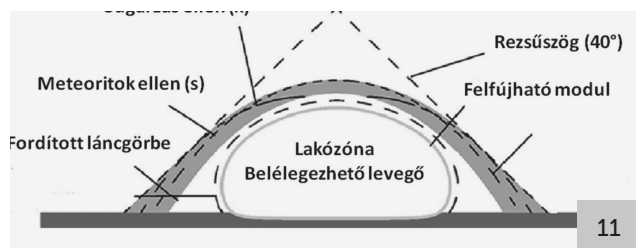
$$\text{Lineáris csillapítási tényező: } \mu = 3.45 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^{-1}$$

A kutatás harmadik fázisában ki kellett fejlesztem a megfelelő háromdimenziós nyomtatót. Már évek óta foglalkozom 3D nyomtatással, rendelkezem egy saját építésű nyomtatóval. A szerkezetet alkatrészekenként rendeltem meg, és pontos tervrajzok hiányában, internetes kutatás, valamint a saját logikám, intuícióm alapján szereltem össze. Ez a RepRap nyílt forráskódú, Prusa i3 nyomtatója, mely Arduino vezérelésű, szabadon programozható. A gépet az évek során



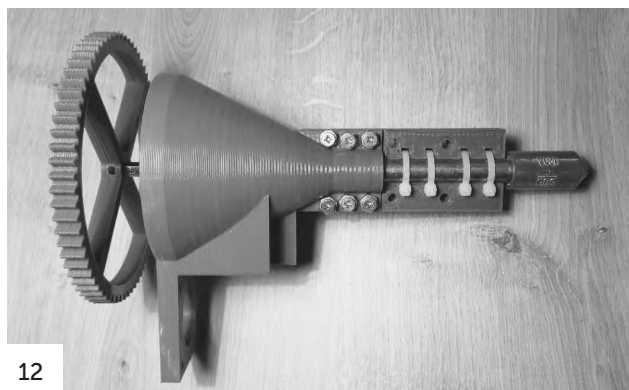
saját elgondolásaim, ötleteim, tapasztalataim alapján átépítettem, kibővítettem, új alkatrészeket nyomtattam. Ez a nyomtató főleg műanyagokkal dolgozik (ABS, PLA, nylon), de mára megjelentek fa-, fém- és gumitánczatok is. A saját nyomtatómmal újabb nyomtatók alkatrészeit készítettem el, megvalósítva az önreplikációt. A fenti tapasztalataim alapján ez a technológia lehet a legalkalmasabb a holdi gyarmatosításhoz.

A 3D nyomtatómat át kellett alakítanom a holdbeton nyomtatásához. Ez nehéz feladatnak bizonyult. Első próbálkozásom alkalmával egy injekciószerű nyomtatófejet készítettem, viszont ez nem biztosított elég nyomást a beton kis nyíláson való átpréseléséhez (8. ábra). Így saját ötletem alapján, egy új elgondolású, a 3D nyomtatás területén innovációnak bizonyuló nyomtatófejet kellett megterveznem. Ez a fej a gravitációt is részben



kihasználja, ugyanis felső részén egy tölcser található, melyből az összekevert anyagot egy fúróhegy továbbítja egy csövön lefele. A fúróhegy menetei vezetik a folyékony betont, ezt az eredeti léptetőmotor forgatja. Végül az anyag kiáramlik a cső végén, így a nyomtató dolgozhat vele, mintha hagyományos műanyag lenne (9. ábra). Számítógépes CAD-program segítségével, a kezdeti rajzból digitális modellt terveztem. Ezt a még műanyaggal dolgozó géppel készítettem el, kétszeres hasznot húzva a nyomtatóból (10. ábra). Ez is alátámasztja a technológia nagyszerűségét, sokrétű felhasználhatóságát. Ezzel a módszerrel a saját, statikus nyomtatómmal sikerült eredményeket elérni. Ez a technológia természetesen átdolgozásra kerülne valódi körülmények között, mert a földi gravitációhoz és légnyomáshoz alkalmazkodott, valamint a szerkezet nem képes a helyváltoztatásra, amely a távvezérlést lehetetlenné teszi. A Holdon egy más rendszerre, kerékkel felszerelt mobilnyomtatóra lenne szükség.

A kutatás végső fázisa a Holdbázis konkrét tervének elkészítése volt, amelyben felhasználtam az eddigi mérési eredményeket, mintegy összefoglalva a kutatást. A fent említett elgondolás alapján az építmény egy felfúvódó dombból állna, melynek fala a holdporból készített beton. Mivel víz szükséges a beton megkötéséhez, és jég csak a sarkvidékeken található, ezért logikus odahelyezni a képzeletbeli bázist. A másik érv a holdi éjszakák és nappalok váltakozása. A Hold szinodikus forgási periódusideje kb. 29,5 nap, ez azt jelenti, hogy egy egyenlítői térséget két hétig süt a Nap, két hétig pedig nem. A bázis energiaellátása szempontjából ez nagy hátrány lenne, így a sarkok környékén, ahol szinte mindig süt a Nap,



12

állandó jelleggel lehetne működtetni a napelemeket. A sarkvidék valamilyen magaslatán, például egy kráter peremén lenne érdemes elhelyezni a bázist.

A fenti elgondolás következményeként a Holdbázis falát vízszintesen érintenék a napsugarak, így közelítőleg a gamma-sugárzás is. Tehát a csillapítást is csak vízszintes metszetre kell kiszámolni. A mikrometeoritok azonban bármilyen irányból érkehetnek, ezek átlagos tulajdonságait kutatások [6] alapján becsültem meg. Így a falvastagság ezen szempontból minden irányban egységes kell legyen, és a szigetelés úgyszintén. A holdpor hővezetési tényezője elég kicsi, tehát jó hőszigetelő az anyag, hasonló az értéke a vályogéhoz, melyet régi házak falánál használtak fel. A sugárzás és meteoritok kivédéséhez szükséges falvastagság jóval meghaladja a megfelelő hőszigeteléshez szükséges vastagságot. A szerkezet egyéb strukturális tényezője a tartás. A legalkalmasabb a fal belső görbületének a fordított láncgörbe (hiperbolikus koszinusz). Ez az építészeten is előforduló boltív azzal a tulajdonsággal rendelkezik, hogy képes a saját tömegét megtartani, így nincs szükség semmilyen más tartószerkezetre. A másik fontos szempont a fal kémiaiilag kötött anyagának redukálása. Érdemes lenne sejtyszerűen kialakítani a falat, csak bizonyos részeket megkötni. Így a külső ívet meghatározza még a rezsűszög is, amely a meg nem kötött anyag stabil állásához szükséges.

13





14

Az említett szempontok összesítésével megkapható a végleges bázis alakja (11. ábra). Ezt megterveztem CAD-program segítségével, és sikerült is kinyomtatni az általam tervezett nyomtatófejjel (12. ábra). Végül a kezdeti elgondolás alakot öltött (13. ábra).

Szükségesnek találtam egy vákuumkamrás kísérlet elvégzését, ugyanis a Hold nagyon ritka légkörrel rendelkezik, szinte légüres térnek tekinthető. A kísérlet során rájöttem, hogy vákuumban a vizes sóoldat felfő, elpárolog. Egy következő kísérletben 24 órát hagytam száradni vákuum alatt a betonmintákat. A hagyományos, teljesen összekevert minta buborékokkal lett telítve, ugyanis az oldat hamarabb elpárolgott, mint hogy a cement megkőssön. Így egy másik módszerhez kell folyamodni, az oldatot egy bizonyos porréteg alá kell fecskendezni (14. ábra). Így a cseppek felületi feszültségéből származó, valamint a kapilláris hatások miatt keletkező nyomáson nem párolog el az oldat, képes megkötni. A cseppek átmérőjének pár mikrométeresnek kell lennie, mindenképp nagyobbak, mint a porszemcsék közötti üreg. Ezzel az eljárással különböző típusú fecskendőfejes nyomtatók dolgozhatnak, amelyet további kutatások során lehetne kifejleszteni. Az én elsődleges célom viszont a bázis anyagának vizsgálata volt, amelyhez elegendő volt az általam fejlesztett nyomtató.



15

A szimulációk jól közelítették a valóságot, így kivitelezhető lenne a Holdbázis terve. Gazdasági szempontból az odaszállítandó kellékeket csökkenthetjük a felfújható modulra, a hozzá tartozó életfenntartó berendezésekre valamint a cement megkötéséhez szükséges magnézium-kloridra, mely az anyag legkisebb hányadát teszi ki. Az általam elkészített 3D nyomtató csak földi körülmények között működőképes, de a vákuumkamrás kísérletek alapján egy fecskendőfejes mobilnyomtató képes lenne a cél teljesítésére.

Megfelelő szimulációval sikerült megtervezni egy olyan bázist (15. ábra), amely ellenáll meteoritoknak, sugárzásoknak, hőingadozásnak. Ezután következne a bázis létfenntartó rendszereinek és a távvezérlésű 3D nyomtató-rovereknek a kifejlesztése. Az általam végzett kutatás csak egy kezdeti, vázlatos vizsgálódás a tényleges megvalósítás irányába.

Újabbban nemcsak Európa, hanem Oroszország, Kína, de legfrissebben Amerika is csatlakozott a Holdkolonizációt tervezők körébe, egy globális összefogás látszik körvonalazódni. Hogy közös erővel jutnak-e el a Holdra, vagy egy újabb űrverseny során, ez a jövő kérdése. A legbátrabb kijelentést viszont Elon Musk, a SpaceX magán űrvállalat vezetője mondta ki. Ő szeretne embereket eljuttatni a Marsra 2024-re. Jogosan feltevődhet a kérdés: miért szükséges mindez, miért nem a Földdel törődünk? Azt gondolom, hogy a földi élővilág megvédése mellett szükséges az emberiség legnagyobb hajtóerejét, a felfedezések mozgó rugóját újraélesztenünk. Ez pedig az örökös kíváncsiság és a kalandvágy.

PUSKÁS DÁVID

Ez a cikkünk a XVII. Természet–Tudomány Diák-pályázat Önálló kutatások, elméleti összefoglalók kategória első díját nyerte.

IRODALOM

- [1] http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering_Technology/Building_a_lunar_base_with_3D_printing
- [2] Bányászati, kohászati és földtani konferencia – EMT 2016; Harangi és társai, 2013
- [3] Sorel Cement Reactions and their Kinetics, Terry A. Ring and Eric Ping, Chemical Engineering, University of Utah
- [4] https://en.wikipedia.org/wiki/Lunar_water#cite_note-space-1
- [5] Building components for an outpost on the Lunar soil by means of a novel 3D printing technology, GiovanniCesaretti, EnricoDini, XavierDeKestelie, ValentinaColla, LaurentPambagui-an, 2014
- [6] Micrometeoroid impacts on the Lunar surface. V. Vanzani, F. Marzari, and E. Dotto, Dipartimento di Fisica “G. Galilei” and Centro Interdipartimentale Studi e Attività Spaziali “G. Colombo”, Università, 35131 Padova, Italy
- [7] http://www.esa.int/Highlights/Lunar_3D_printing

A XXVIII. TERMÉSZET–TUDOMÁNY DIÁKPÁLYÁZAT FELHÍVÁSA ÉS VERSENYSZABÁLYZATA

A Tudományos Ismeretterjesztő Társulat által meghirdetett, a Természet Világa tudományos ismeretterjesztő folyóirat által lebonyolított diák-cikkpályázaton indulhat bármely középfokú iskolában a 2018/2019-es tanévben tanuló vagy végző diák, határainkon belülről és túlról.

A pályázat terjedelme **8000–20 000 betűhely** (karakterszám, szóközökkel együtt), tetszőleges számú illusztrációval. A kéziratot három kinyomtatott példányban kérjük. A nyomtatott változattal együtt a pályázatot **CD-n** (vagy DVD-n) is kérjük megküldeni, a szöveget Word formátumban, a képeket, ábrákat külön fájlban (JPG vagy TIFF).

A pályázat tartalmazza készítője nevét, lakcímét, e-mail-címét, telefonszámát, iskolája pontos címét irányítószámmal együtt, valamint felkészítő tanára nevét és elérhetőségét. A helyi (iskolai) fordulón továbbjutó dolgozatok benyújtásának (postai feladásának) határideje mindegyik kategóriában **2018. december 7.** A pályázat beadható személyesen (1088 Budapest, Bródy Sándor utca 16.), vagy postán (1444 Budapest, 8. Pf. 256.).

Alapvető követelmény, hogy a cikkek olvasmányos, stilisztikai és helyesírási szempontból kifogástalanok legyenek. Kérjük a felkészítő tanárokat, szíveskedjenek e tekintetben is útmutatást adni tanítványaiknak. Ne feledjék, hogy a diákpályázat cikkírói pályázat is, ezért a dolgozatokat úgy kell megírni, hogy annak tartalmát a természettudományok iránt érdeklődő, de a témában nem járatos olvasók is megértsék. A pályamunkák végén kérjük a felhasznált irodalmat és forrásmunkákat megjelölni. A szó szerinti idézetek forrásának fel nem tüntetése etikai vétség, és a dolgozatnak az értékelésből való kizárásával jár.

PÁLYÁZATI KATEGÓRIÁK:

Természettudományos múltunk felkutatása és a kultúra egysége

- ▶ Az iskolájához vagy lakóhelyéhez, környezetéhez kapcsolódó jelentős múltbeli tudós személyiségek – például tanárok, az iskola volt növendékei,

akikből neves természettudósok lettek – életútjának, munkásságának bemutatása (eredeti dokumentumok felkutatásával és felhasználásával). Vagy:

- ▶ A dolgozat írójának tágabb környezetéhez kapcsolódó tudományos vagy műszaki intézmények története, tudóstársaságok története, eredeti dokumentumok bemutatásával. Vagy:
- ▶ A természet- és műszaki tudományok valamelyik ágában tárgyi emlékek bemutatása (laboratóriumi kísérleti eszközök, régi tudományos könyvek, régi tankönyvek, kéziratban maradt leírások, muzeális ritkaságok, ipari műemlékek – hidak, malmok, bányák –, vízügyi emlékek, botanikus kertek, csillagvizsgálók stb.).
- ▶ A kultúra egysége altéma *Simonyi Károly* (1916–2001) akadémikus emlékére a humán és a természettudományos kultúra összefonódását hivatott elősegíteni. Olyan pályamunkákat várunk elsősorban, amelyek egy természettudományos eredmény és valamilyen művészi alkotás vagy humán tudományos eszme közti kapcsolatokat tárják fel. Megmutatkozhatnak ezek akár egy alkotó életében, akár egy gondolat kialakulásában.

Önálló kutatások, elméleti összegzések

Önálló kutatáson a természeti értékek, jelenségek megismerése érdekében a diák által végzett kutatások bemutatását értjük. Előnyben részesülnek az egyéni, fiatalos, önálló gondolatokat, innovatív megközelítéseket tartalmazó, élvezetes és szakszerű beszámolók.

Az elméleti összegzéseknek is önálló kutatásokon kell alapulniuk. Azoknak javasoljuk, akik örömmel mélyednek el a rendelkezésükre álló megbízható és naprakész adatok végeláthatatlan tárházában, és képesek onnan elővarázsolni, bemutatni a Természet Világa olvasóinak a tudomány újdonságait.

A sikeres pályázat feltétele, hogy a pályázók a könyvtárakban, a világháló révén, a laboratóriumi-gyakorlati látogatások alkalmával és más módon szerzett értesüléseiket a származás pontos megjelölésével

forrásként használják fel, és ott kerüljék el a saját alkotás látszatát. Kérjük, hogy a diákok és a felkészítő tanárok a Természet Világát tekintsék a dolgozat első nyilvános megmérettetési lehetőségének.

Ebben a kategóriában *biofizikai-biokibernetikai* témájú dolgozatok különdíjban részesülhetnek, ezzel *Varjú Dezső* (1932–2013), a magyar származású biofizikus, a Tübingeni Egyetem egykori biokibernetika tanszékének (emeritus) professzora, folyóiratunk segítője emlékét ápoljuk.

Matematika és informatika

A középiskolások pályázhatnak bármilyen, matematikával és informatikával kapcsolatos önálló vizsgálódással. Itt nem valamilyen új tudományos eredményt várunk, hanem olyan egyéni módon kigondolt és felépített ismeretterjesztő dolgozatot, amelyben a pályázó elemző áttekintést ad az általa szabadon választott témakörből.

Néhány javasolt téma:

- ▶ Egy ismert vagy újonnan kitalált játék matematikai háttere.
- ▶ Önálló kérdésfelvetés, sejtések megfogalmazása és ezek „jogosságának indoklása”.
- ▶ Egy matematikai módszer vizsgálata és alkalmazása egymástól távol eső területeken.
- ▶ Váratlan és érdekes összefüggések, és ezek magyarázata.
- ▶ A matematika valamely kevésbé ismert problémájának a története.
- ▶ Variációk egy témára: egy feladat vagy tétel kapcsán a kisebb-nagyobb változtatásokkal adódó problémacsalád vizsgálata.
- ▶ Legnagyobb, legérdekesebb matematikai élményem, történetem (órán, versenyen, olvasmányaimban, előadáson stb.).
- ▶ Számítógép és számítógépes szimuláció. Ebben az altémában azon pályázók pályamunkáit várjuk, akik számítógépes alkalmazásokat mutatnak be, számítógépes szimulációt használnak. Ez az altéma *Nicholas Metropolis* (1915–1999), görög származású amerikai elméleti fizikus és matematikus, folyóiratunk segítőjének emlékét őrzi.

A leírtak csak mintául szolgálnak, a pályázók teljesen szabadon választhatják meg a feldolgozás keretét és módszerét, a pályamű tartalmát és formáját

egyaránt. A bírálóbizottság örömmel vesz minden egyéni ötletet és kezdeményezést. Fontos, hogy a dolgozat stílusa színes, olvasmányos legyen, és megértése ne igényeljen mélyebb matematikai ismereteket. A matematika kategória *Martin Gardner* (1914–2010) amerikai szakíró, a matematika kiváló népszerűsítőjének emlékét őrzi.

Egészségtudomány

Az egészségtudomány témakörében pályázhatnak a középiskolák tanulói önálló, másutt még nem publikált tanulmányokkal, amelyeknek az orvostudomány múltját és jelenét, nagyjainak életét és életművét, az orvostudománynak az egyéb tudományokhoz való viszonyát, eszközeinek fejlődését vagy bármely más idevágó, az orvosi tevékenység művészeti megjelenítését (szépirodalom, festészet, film, tévéfilm és sorozatok) és annak elemzését mutatják be, vagy egyéb szabadon választott témakört dolgoznak fel, akár hazai, akár külföldi vonatkozásban.

A díj odaítélésénél előnyben részesülnek az egyéni megközelítésű, elmélyült búvárkodásra utaló, olvasmányosan megírt, az orvostudományi és egészségtudományi etikai szabályokat teljes egészében tiszteletben tartó pályaművek.

A cikk feldolgozásának módját és formáját a pályázók szabadon választhatják meg.

Díjazás

Minden kategóriában I. díj, II. díj, III. díj, valamint a zsűri döntésével több, arra érdemes írásnak különdíj is kiadható. A zsűri a díjazott diákok felkészítő tanárainak a munkáját is értékes jutalmakkal ismeri el. A konkrét díjazásról a zsűri a bírálati folyamat során dönt.

(Tájékoztatásul közöljük az előző évi díjkategóriákat: 2017/2018-ban a kategóriák győztes pályázó diákjai pályaművenként 60.000 - Ft, a II. díjasok 40.000 – Ft, a III. díjasok 25.000 – Ft pénzzutalmat kaptak. A kiemelt különdíjasunk 35.000 – Ft, a többi különdíjasunk pedig 25-25 ezer Ft díjazásban részesült. A felkészítő tanároknak – diáukjuk helyezése függvényében – értékes tárgyjutalommal, például tablettel, könyvcsomaggal köszöntük meg a munkájukat.)

A pályaművek elbírálására előre láthatóan 2019. március 1-ig kerül sor, a díjakat diákkonferencia keretében adjuk át 2019 tavaszán.

A Természet–Tudomány Diákpályázat pályázati kiírását a Természet Világa számaiban közöljük, illetve olvasható a folyóirat honlapján is.



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

