Természet Világa

TERMÉSZETTUDOMÁNYI KÖZLÖNY • 149. évf. 1. sz. • 2018. JANUÁR ÁRA: 780 Ft
Előfizetőknek: 670 Ft

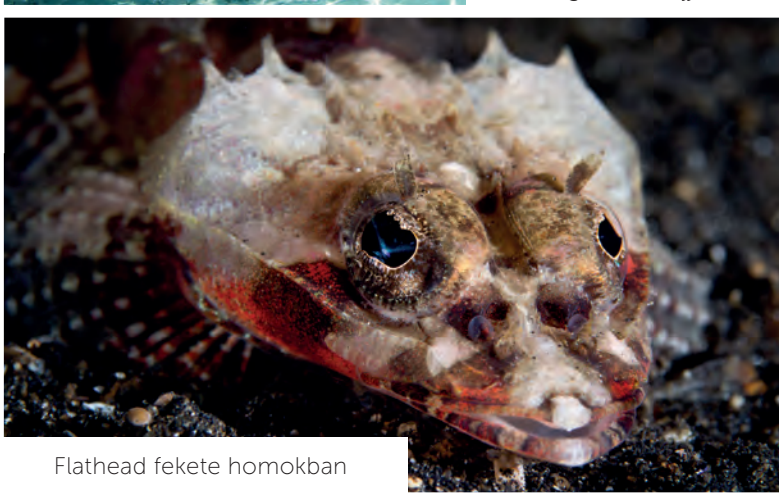
A MAGYAR ZENE HÁZA
AKTÍV CSILLAGOK
BARÁZDÁK A FÖLD ARCULATÁN
KÉMIAI NOBEL-DÍJ – 2017
ÉLVONALBAN A MAGYAR ÖKOLÓGIA

Muréna glóriával

Tűzhal

Lagúna halrajjal

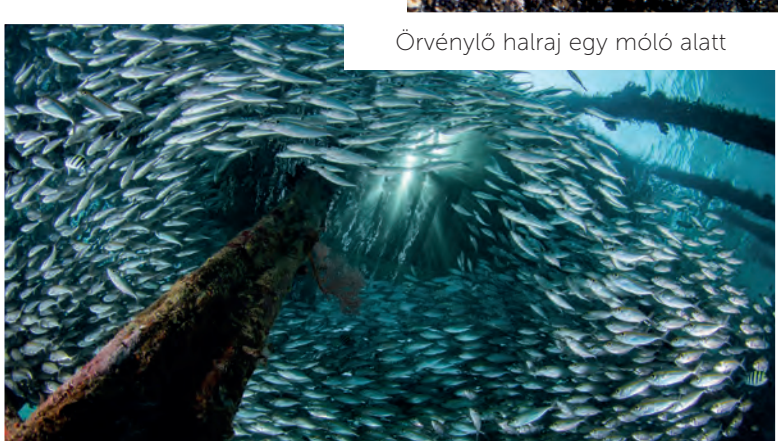
Válogatás Pohl András búvárfotóiból



Flathead fekete homokban

Korallharcsák

Örvénylő halraj egy móló alatt



Természet Világa

A TUDOMÁNYOS ISMERETTERJESZTŐ TÁRSULAT FOLYÓIRATA

Megindította 1869-ben
SZILY KÁLMÁN
KIRÁLYI Magyar
TERMÉSZETTUDOMÁNYI TÁRSULAT

A TERMÉSZETTUDOMÁNYI KÖZLÖNY
149. ÉVFOLYAMA

2018. 1. sz. JANUÁR
Magyar Örökség-díjas és
Millenniumi Díjas folyóirat

Megjelenik a Nemzeti Kulturális Alap, az Emberi Erőforrások Minisztériuma, az Emberi Erőforrás Támogatáskezelő, a Magyar Tudományos Akadémia, a Nemzeti Tehetség Program és a Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatala 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:
PAUKER 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: hirlapelofizetes@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

TARTALOM

Závodszky Péter
Kémiai Nobel-díj a kiro-elektronmikroszkópia kidolgozásáért 2

Batta András
A Magyar Zene Háza 8

„Nemzetközi szinten is élvonalbeli a magyar ökológia”
Báldi Andrással, az MTA Ökológiai Kutatóközpont vezetőjével beszélget **Jordán Ferenc** 16

E számunk szerzői 18

Németh Károly
Vulkánok között Kolumbiában 18

Vida Krisztián
Aktív csillagok távcsővégen 25

Vojnits András
Barázdák a Föld arculatán - kanyonok 28

Hát ez meg mi? **Pohl András** búvárfotóssal beszélget **Tószegi Zsuzsanna** 36

Telbisz Tamás
Töbör, pénz, komment 40

FOLYÓIRATSZEMLE 46

HÍREK, ESEMÉNYEK, ÉRDEKESSÉGEK 48

Címképünk: Protuberancia a Nap felszínén a NASA Solar Dynamics Observatory (SDO) felvételén (2012. augusztus 31.)

Borítólapunk második oldalán: Válogatás **Pohl András** búvárfotóiból

Borítólapunk harmadik oldalán: Töbör-variációk

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

Elnök: VIZI E. SZILVESZTER

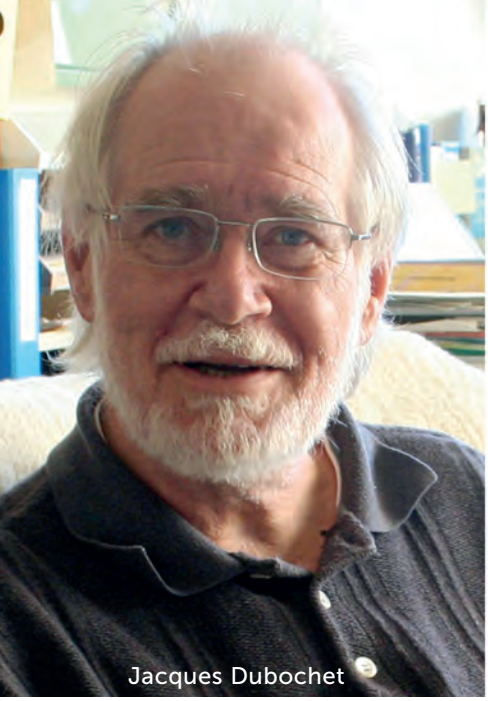
Tagok: ABONYI IVÁN, BACSÁRDI LÁSZLÓ,
BAUER GYŐZŐ, BENCZE GYULA, BOTH ELŐD, CZELNAI RUDOLF,
CSABA GYÖRGY, CSÁSZÁR ÁKOS, GÁBOS ZOLTÁN,
HORVÁTH GÁBOR, KECSKEMÉTI TIBOR, KORDOS LÁSZLÓ,
LOVÁSZ LÁSZLÓ, NYIKOS LAJOS, PAP LÁSZLÓ,
PATKÓS ANDRÁS, RESZLER ÁKOS,
SCHILLER RÓBERT, CHARLES SIMONYI, SÓTONYI PÉTER,
SZATHMÁRY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

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

Szerkesztők:
KAPITÁNY KATALIN (yka@titnet.hu; 06–1–327–8962)
NÉMETH GÉZA (n.geza@titnet.hu; 06–1–327–8961)
LŐRINCZ HENRIK (lorinczhenrik@telc.hu; 06–1–327–8961)
NYERGES GYULA (nyergesgyula@telc.hu; 06–1–327–8960)

Tördelés: LÉVÁRT TAMÁS

Szerkesztőségi irodavezető:
CZUCZKA ÉVA (titlap@telc.hu; 06–1–327–8950)


Jacques Dubochet

Joachim Frank

Richard Henderson

KÉMIAI NOBEL-DÍJ A KRIO-ELEKTRONMIKROSZKÓPIA KIDOLGOZÁSÁÉRT

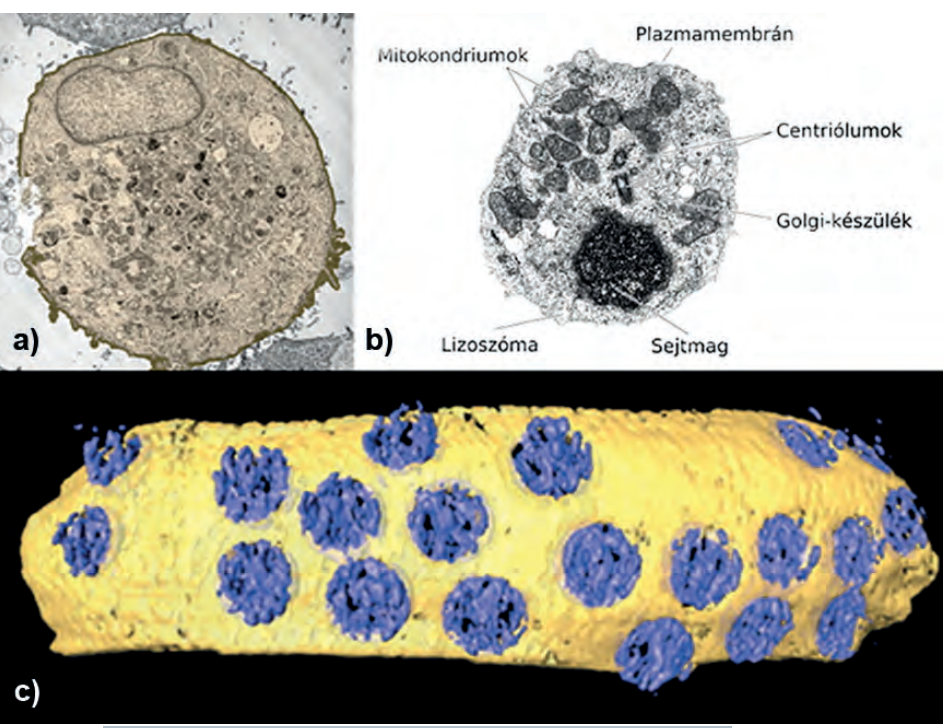
Bepillantás a molekulák szerkezetébe

A Svéd Királyi Tudományos Akadémia döntése nyomán Jacques Dubochet, Joachim Frank és Richard Henderson kapta megosztva a 2017-es kémiai Nobel-díjat. A kutatóknak a krio-elektronmikroszkópia kifejlesztéséért ítélték oda az elismerést. A technika segítségével vált lehetővé az oldott állapotú biomolekulák szerkezetének atomi felbontású meghatározása.

Már a régi görögök is sejtették, hogy az érzékszerveinkkel közvetlenül megtapasztalható anyagi világ mögött létezik egy rejtelmes mikrovilág. Régi a törekvés, hogy ebbe a mikrovilágba bepillanthassunk mind az élő, mind az élettelen anyag vonatkozásában. Ez először a XVII. században sikerült, amikor lelkes mikroszkópépítők, köztük *Robert Hooke*, majd *Anton van Leeuwenhoek* optikai mikroszkóppal sejteket figyeltek meg és írtak le. Ezután eltelt még vagy 150 év, amikor is 1838-ban *Matthias Schleiden* botanikus és *Theodor Schwann* zoológus — mikroszkópos megfigyelésekre alapozva — megalkották „elméletüket", miszerint az élő szervezetek sejtekből állnak. Ez volt a modern biológia kezdete, jelentős mérföldkő a tudománynak az élővilág megértésével kapcsolatos törekvései során. Azért érdemes erre emlékezni, mert most a krio-elektronmikroszkóp birtokbavételével — minden bizonnyal — megint új fejezet nyílik az élettudományban. A képfeldolgozás fejlődésével lehetővé válik a krio-elektrontomográfia alkalmazásával 3-dimenziós képen megjeleníteni akár a legkisebb sejtalkotórészeket atomi szintű felbontással. Talán túlzás nélkül hasonlíthatjuk ezt az állomást a közönséges fénymikroszkóp megjelenéséhez. Érdemes az **1. ábrán** összehasonlítani a fejlődést a képalkotásban és a képfelbontásban a fénymikroszkóptól a krio-elektrontomográfiáig.

A kép kulcsfontosságú a tudományos megértésben. A nagy áttörések gyakran alapulnak az emberi szem számára láthatatlan dolgok láthatóvá tételén. A *fénymikroszkóp* XVII. századi megjelenésétől a most Nobel-díjjal elismert krio-elektronmikroszkóp kifejlesztéséig hosszú út vezetett. A fénymikroszkóp tipikusan 10—2000-szeres nagyításra képes, és láthatóvá teszi a sejteket, ha kell, működésük közben, pl. fáziskontraszt-technikával, és segítségével a sejtek organellumait is megfigyelhetjük. Nagy lépés volt a képalkotásban az *elektronmikroszkóp* megjelenése. Ennek elvi alapjául *Louis de Broglie* 1924-beli posztulátuma szolgált, miszerint minden mozgó részecskéhez hullámhossz rendel-

hető. Az elektronnyalábok hullámhossza pikométeres nagyságrendű, ami százezerszer rövidebb, mint a fény néhány száz nanométeres hullámhossza. Az elektronnyaláb hullámtermészetének *J. J. Thomson* adta kísérleti bizonyítékát elektrondiffrakciós kísérleteivel 1927-ben. A következő elem az elektronnyaláb fókuszálásához szükséges elektromágneses lencse megalkotása volt 1926-ban *Hans Busch* által. Ezen a ponton vetette fel *Szilárd Leó* az elektronmikroszkóp megépítésének lehetőségét, az ötletet *Ernst Ruska* realizálta 1931-ben. Ezt, a továbbfejlesztéssel kapcsolatos eredményekkel együtt 1986-ban ismerték el Nobel-díjjal. Az első elektronmikroszkóp is jó példája annak, hogy egymástól független tudományos felismerések és technikai fejlesztések szerencsés kombinációjából nagy alkotások jönnek létre. A harmincas évek óta az elektronmikroszkópos technika látványos fejlődésen ment keresztül. Transzmissziós készülékkel 0,2 nm felbontás is elérhető. Pásztázó elektronmikroszkóppal a felszínről kaphatunk 10 nm felbontású, jó mélységélességű képet.

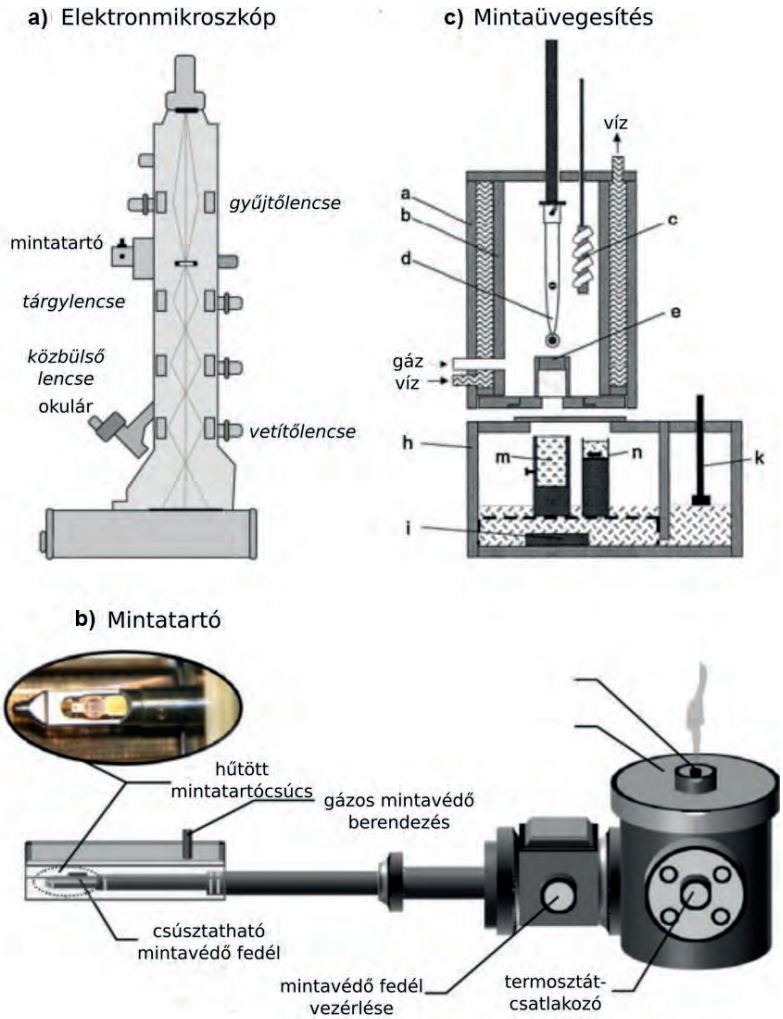


1. ábra. A mikroszkópia fejlődése a fénymikroszkóptól az elektronmikroszkópon keresztül a krio-elektrontomográfiáig. (a) Egy sejt fénymikroszkópos képe. (b) Egy sejt elektronmikroszkópos képe. (c) Egy sejtmag krio-elektrontomográfiával készített képe. Jól látszanak a sejtmag pórusai (az ábrán kékkel színezve)
(FORRÁS:WHITE TA ET AL. PLOS PATHOG. 6:E1001249 (2010))

A *transzmissziós elektronmikroszkóp* működési elve nagyon hasonló a fénymikroszkópéhoz. Felgyorsított elektronok nagy intenzitású nyalábját fókuszálják a speciálisan előkészített mintára. A képalkotás üveglencsék helyett elektromágnesekkel történik. Az elektronmikroszkóppal 100 000-szeres nagyítás is elérhető, felbontásának határa 0,2 nm. Ez a felbontásbeli javulás lehetővé teszi a sejtorganellumok szerkezetének megfigyelését. A jobb felbontásért azonban nagy árat kellett fizetni. Az elektronmikroszkópban a fényt helyettesítő elektronnyalábot vákuumban kell vezetni, s a jó felbontás nagy intenzitású elektronsugár alkalmazását kívánja meg. Ez a nyaláb roncsolja az érzékeny biológiai mintát, a vákuumban pedig a víz — az élő rendszerek esszenciális közege — elpárolog. E tényezők speciális és nagyon durva mintakészítési eljárást követelnek. Az élő szövetet fixálják pl. glutáraldehiddel, ozmium-tetroxiddal, majd mossák. Ezt követően etanolban vízmentesítik, majd műanyagba ágyazzák és keményre égetik, ezután kb. 100 nm vastag szeletekre vágják. A szeletet rézrácsra helyezve uranil-acetáttal és ólom-citráttal festik. Nyilvánvaló, hogy az így készített biológiai mintának nem sok köze van a természetes, élő állapothoz. Egy elektronmikroszkópos képen általában csak a sejtalkotók és nagy molekulák lenyomatát figyelhetjük meg.

A *krio-elektronmikroszkópia* kifejlesztése az utóbbi évtized legjelentősebb technikai eredménye a tudományban, megjelenése óhajtott, de sokáig nem remélt eszközt ad, elsősorban az élettudomány kezébe. Különlegessége abban rejlik, hogy a mintákat fixálás vagy bármiféle festés nélkül saját, természetes, vizes környezetükben teszi megfigyelhetővé elektronmikroszkópos úton, s nagy felbontású, 3-dimenziós szerkezeti képet eredményez.

A most Nobel-díjjal értékelt fejlesztés két területen épül forradalmi újításra. Egyrészt megoldotta a hidratált, a natív állapotú szerkezetet megőrző mintakészítés problémáját a gyorsfagyasztás technikájának kidolgozásával. Másrészt a számítógépes képalkotás fejlesztésével lehetővé tette az alkalmazott elektronnyaláb intenzitásának, ezáltal szerkezetroncsoló hatásának jelentős csökkentését a képminőség és -felbontás megőrzése, sőt javítása mellett (**2. ábra**).



2. ábra. A krio-elektronmikroszkóp felépítése. (a) A transzmissziós elektronmikroszkóp sematikus felépítése. (b) A beépített ráccsal rendelkező mintatartó csúcsa. (c) Mintafagyasztó berendezés: *(a)* és *(b)*: a fagyasztókamra dupla akrilüvegfala, *(c)* tartó a minta kiegyensúlyozásához, *(d)* csipesz, *(e)* fölösleges folyadék fölitatására szolgáló szűrőpapír, *(h)* folyékonynitrogén-tartó edény, *(i)* a nitrogéngáz finom keringetésére szolgáló ellenállás, *(k)* nitrogénszintmérő, *(m)* fagyasztó és *(n)* mintatároló edény
(FORRÁS: KUNTSCHE J, HORST JC, BUNJES H. (2011) INT J PHARM 417, 120–137)

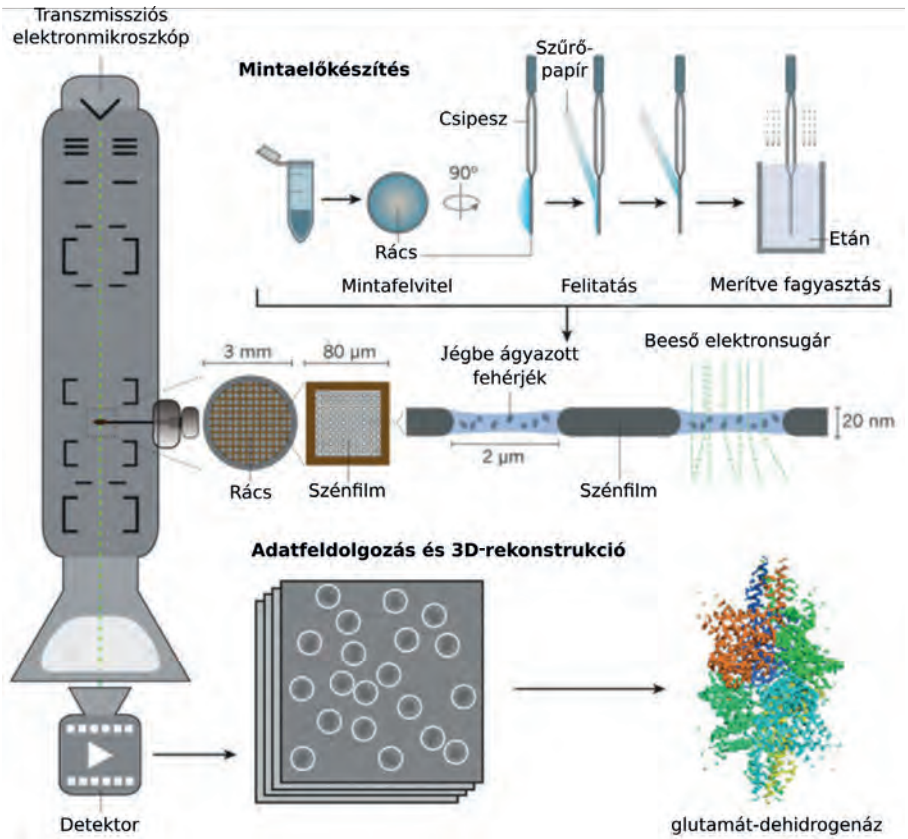
A Nobel-díjhoz hosszú út vezetett. Az élettudományokban régen megjelent az igény a nagyfelbontású szerkezeti képalkotásra. A technikai fejlődés az 50-es években lehetővé tette a röntgendiffrakciós technika alkalmazásával a biológiai makromolekulák szerkezetének meghatározását atomi szintű felbontással. Ezzel a módszerrel számos kristályosítható fehérje szerkezetéről nyertünk statikus képet. A 80-as években jutott el a magmágneses rezonancia (NMR) a fejlődésnek arra a fokára, hogy segítségével fehérje méretű makromolekulákról nyerhettünk dinamikus képet. Ez jelentős lépés volt abba az irányba, hogy a szerkezet és a funkció közvetlen kapcsolata megérthető legyen a maga dinamikus voltában.

Vannak azonban olyan biológiai szerkezetek, amelyek nem kristályosíthatóak, s méretük vagy oldhatatlanságuk folytán NMR-rel sem vizsgálhatóak (pl. membránfehérjék, csatornák, sejtorganellumok, nagyméretű komplex szerkezetek). Itt merült fel az elektronmikroszkóp bevetésének igénye. Ezt a már említett technikai problémák gátolták. Szerencsénkre voltak céltudatos és kitartó kutatók, akik megfogalmazták a célt, és évtizedeken át állhatatosan dolgoztak a sokak által reménytelennek ítélt problémán.

A most beérett munka a hetvenes években kezdődött, és három helyen, három szálon futott mindaddig, amíg végül a krio-elektronmikroszkópia technikájában egyesült a 2010-es években.

A mai krio-elektronmikroszkóp létrejöttének első lépése a remény felkeltése volt 1990-ben, amikor Cambridge-ben az MRC Molekuláris Biológiai Laboratóriumában *Richard Henderson* és munkatársai egy membránba ágyazott, bonyolult fehérje, a bakteriorodopszin szerkezetét határozták meg nagy felbontással, elektronmikroszkóppal. Ez megmutatta, hogy az eddig reménytelennek ítélt út járható, ami a képfeldolgozás és az elektronmikroszkópos technika csiszolásának volt az eredménye. De ez nagyon speciális eset: a fehérjét membránkörnyezetével együtt lehet izolálni, s e membrándarabkákban az egyes fehérjék azonos orientációt vesznek fel. Ezért ez a megközelítés a legtöbb biológiai objektumra és más fehérjékre nem volt alkalmazható.

Ezzel párhuzamosan, de ettől függetlenül, a heidelbergi Európai Molekuláris Biológiai Laboratóriumban (EMBL) egy Svájcból érkezett fiatalember, *Jacques Dubochet* már 1978 óta dolgozott nagy elszántsággal azon, hogy elektronmikroszkópos vizsgálatra alkalmas biológiai mintakészítési eljárást fejlesszen ki. Az általa kidolgozott gyorsfagyasztási eljárás lehetővé teszi, hogy vizes közegben lévő biológiai mintákat készíthessünk. Egy fémkereten kialakított szénrácson sikerült — rutinszerűen — mikrométer vastagságú réteget képezni a vizes mintából, amelyet ezután -190 °C hőmérsékletű etánfürdőbe belőve, nagy sebességgel megfagyasztottak. A gyors fagyasztás egyrészt nem engedi meg apró — az elektronsugárzást károsan szóró, képminőséget rontó — jégkristályok kialakulását, mivel a víz



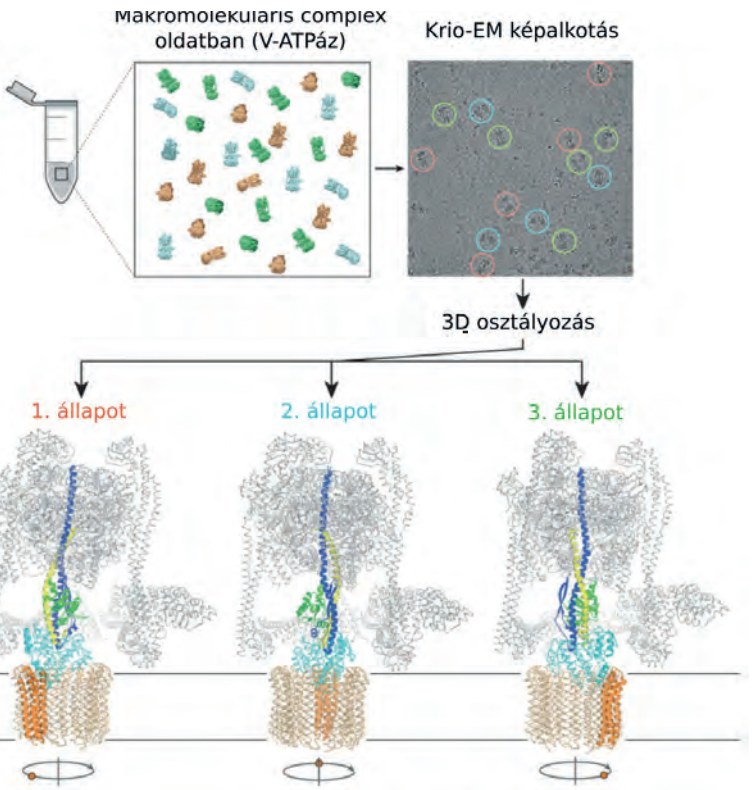
3. ábra. Minta előkészítése krio-elektronmikroszkópiai méréshez. A vizsgálandó fehérje mindössze néhány mikroliternyi oldatát egy fémrácsra viszi föl, amely egy perforált szénfilmet tartalmaz. A minta fölvitele után a rácsot cseppfolyós etánba mártják, aminek hatására pillanatszerűen megfagy, és a vizsgálandó részecskéket üvegszerű jégbe zárja. A mintáról különböző orientációjú, 2-dimenziós képeket készítenek a szénfilm pórusain keresztül. A 2-dimenziós adatok további feldolgozásával 3-dimenziós kép nyerhető. Példaként a glutamát-dehidrogenáz enzim krio-elektronmikroszkóp segítségével megoldott szerkezete látható
(FORRÁS: RAFAEL FERNANDEZ-LEIRO & SJORS H. W. SCHERES. NATURE 537, 339–346 (2016))

strukturálatlan, amorf formában szilárdul meg, vitrifikálódik, másrészt a vitrifikált víz a vákuumban nem párolog. Az így készített mintában a biológiai objektum (vírus, membráncsatorna, fehérjekomplex, bakteriofág, DNS) megőrzi hidratált, natív szerkezetét, mintegy befagyasztható működésének egy bizonyos időpontjában a maga természetes állapotában. Ez a minta egy olyan oldatfilm, amely elég vékony ahhoz, hogy gyorsan hűthető legyen, másrészt elég vastag ahhoz, hogy befogadjon egy molekuláris réteget a vizsgálandó, véletlenszerűen orientált molekulákból vagy komplexekből. A **3. ábra** a mintakészítés sematikus vázlatát mutatja.

A mintakészítés problémája így megoldódott, azonban a minta natív állapotának megőrzése érdekében az elektronsugár intenzitásának csökkentésére is szükség volt, mégpedig úgy, hogy a képélesség ne csökkenjen. Az általában használt nagyenergiájú (80—300 keV) elektronok energiája elegendő a biológiai szerkezeteket stabilizáló gyenge másodlagos kötések megbontására, de hatására a kovalens kötések is felhasadhatnak. Az elkerülhetetlen energiacsökkentés és a képfeldolgozási módszer között szoros az összefüggés. Az alacsony energia alkalmazása miatt a romló képélességet kompenzálhatja, ha matematikai eljárással az azonos, befagyasztott molekulák szórási képének válogatása, rendezése, átlagolása útján állítunk elő nagy felbontású képet.

E probléma megoldása mentén kapcsolódik be a harmadik — most szintén díjazott — szál. Ez New Yorkban, a Columbia Egyetemen ered, ahol *Joachim Frank* Németországban tanult biofizikus dolgozott a 70-es évektől a nem-kristályos, aszimmetrikus, véletlenszerűen orientált oldott molekulák (ilyenek a fagyasztott biológiai szerkezetek) „elmosódott" szórási képeinek számítógépes, matematikai analízisén és „feljavításán" — sikerrel. Nagyszámú szórási kép automatikus kiválogatásának, értékelésének és analízisének problémáját oldották meg, és összegezték a mások által is egyszerűen használható SPIDER programcsomagban. E módszer segítségével nagyszámú kis felbontású képből nagyfelbontású 3-dimenziós képet kaphatunk (**4. ábra**). Ez az eljárás nemcsak a felbontást javítja, hanem a különböző orientációjú szerkezetekről kapott képek válogatásával és rendezésével a 2-dimenziós elemekből 3-dimenziós kép számítását is lehetővé teszi.

Miközben ezek a próbálkozások folytak, a technika is fejlődött, jelentősen javult az elektrondetektorok érzékenysége, és fejlődtek a számítógépes képelemző eljárások is. Fontos tényező volt a mintáról szórt elektronok közvetlen detektálására képes komplementer fém-oxid félvezető (CMOS) kamerák tökéletesítése. Ezek az egyedi elektronok nagy térbeli felbontású, gyors detektálásra képesek, ami lehetővé teszi akár másodpercenként 400 szórási kép felvételét. Így az adatgyűjtés alatt



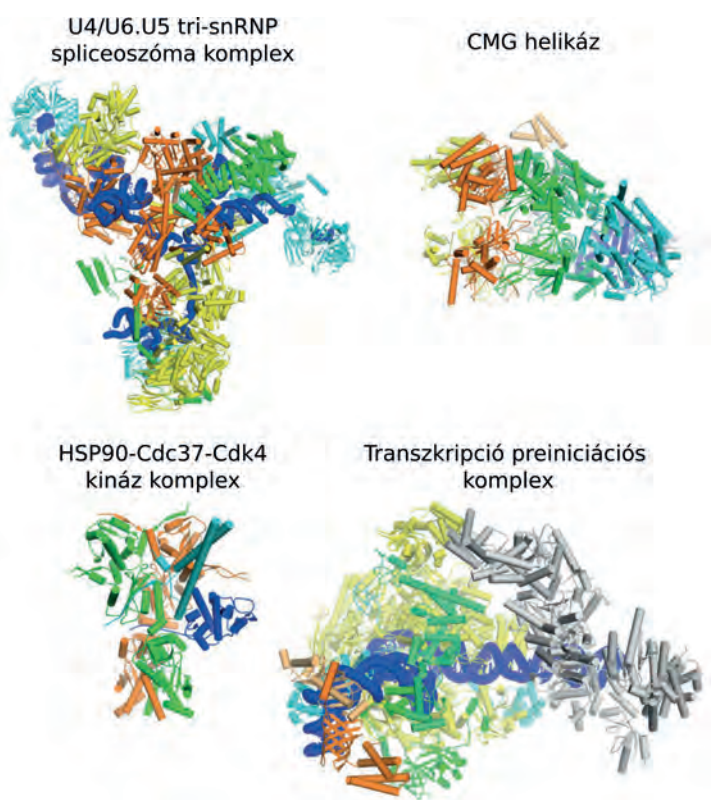
4. ábra. A képfeldolgozási folyamat során a krio-elektronmikroszkóp által 2-dimenziós képek feldolgozása során nyert 3-dimenziós képek osztályozásával a fehérjék konformációs dinamikájára vonatkozó információ is kinyerhető. Egy V típusú ATPáz szerkezetének megoldása során három különböző konformációs állapotot találtak (FORRÁS: RAFAEL FERNANDEZ-LEIRO & SJORS H. W. SCHERES NATURE 537, 339–346 (2016))

a vizsgált fehérjemolekuláknak az elektronnyaláb hatására történő elmozdulása a hordozó rácson precízen nyomon követhető és korrigálható, ami jelentős jel/zaj aránynövekedéshez vezetett.

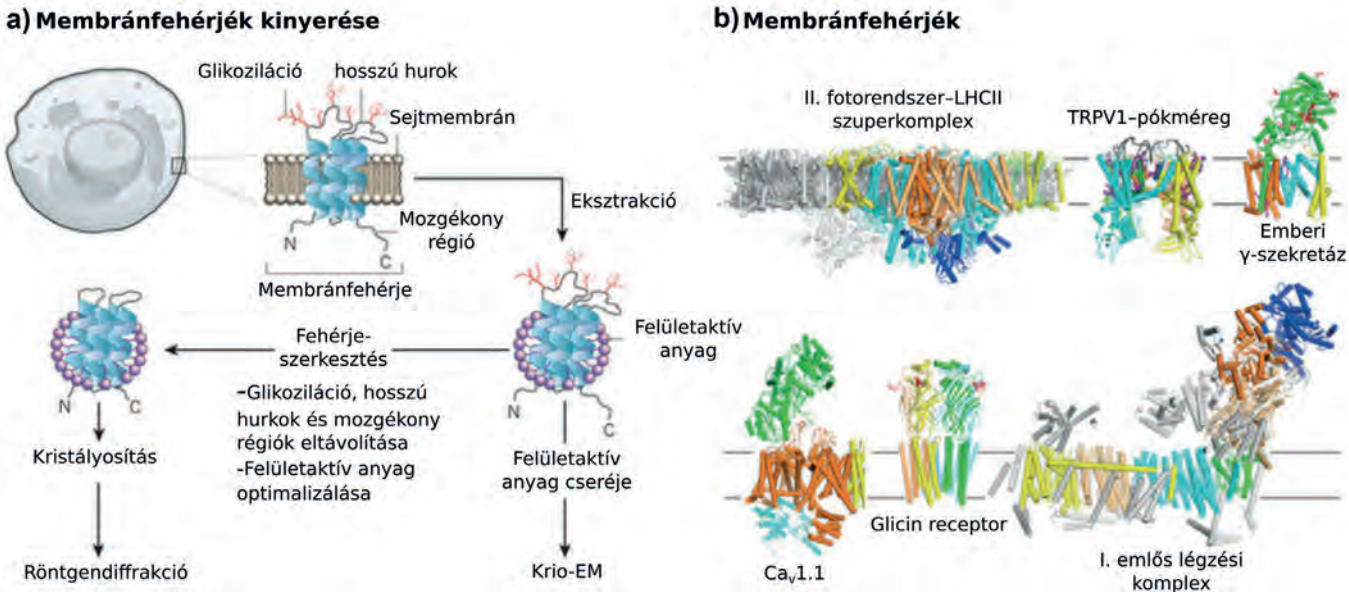
A nemrégiben kifejlesztett alacsony hőmérsékletű elektronemissziós ágyúk alkalmazása, amelyek erősen koherens, kis intenzitású elektronnyaláb előállítását teszik lehetővé, megoldja a mintakárosító elektronnyaláb intenzitásának további csökkentését.

Az elmúlt években sokat fejlődött az automatizált mintapreparálás, -behelyezés és automatikus adatgyűjtés is. Ma már 2—3 nap alatt, minimális emberi beavatkozással összegyűjthető több százezer szerkezeti kép, ami a jórészt ugyancsak automatizált szerkezetanalízis révén lehetővé teszi a szerkezet atomi szintű, 0,2 nanométer körüli felbontású meghatározását.

A krio-elektronmikroszkópia jelentőségét az adja, hogy segítségével a biológiai minták szerkezetét mindenféle festés, fixálás, egyéb durva beavatkozás nélkül, természetes vizes közegüknek megfelelő állapotban határozhatjuk meg atomi szintű felbontással. Mindezt úgy, hogy működésük közben, különböző fázisokban az állapotot — a szó szoros értelmében — befagyasztjuk. Így a pillanatfelvételek sorozatából a működés szerkezeti dinamikájáról is pontos képet kaphatunk. A sejtek működésének szabályozásában alapvető jelentősége van a fehérjék közötti nagyon specifikus kölcsönhatásoknak. A kölcsönhatások első fázisa a szelektív felismerés. Ez a fehérjék egyedi felszíni, komplementer topológiáján, vagyis a szerkezeten alapul. Az élővilágban előfordulnak nagy makromolekuláris „gépezetek", amelyek pl. a fehérjeszintézis komplex, jól irányított folyamatát hajtják végre. Ezen nagyméretű fehérjekomplexek szerkezetének és működésük mechanizmusának megfigyelésére ad lehetőséget a nagyfelbontású szerkezeti sorozatfelvételek készítése olyan esetekben is, amikor a komplexek mérete miatt a röntgenkrisztallográfia vagy NMR-módszer nem jön számításba. Ilyen példa a spliceoszómakomplex szerkezetének meghatározása. Ez az óriás komplex végzi az eukarióta



5. ábra. Nagy méretű fehérjekomplexek krio-elektronmikroszkóppal feltárt szerkezetei (FORRÁS: RAFAEL FERNANDEZ-LEIRO & SJORS H. W. SCHERES NATURE 537, 339–346 (2016)



6. ábra. Krio-elektronmikrószkóp segítségével lehetővé vált membránfehérjék – más módszerekkel hozzáférhetetlen – szerkezetének feltárása. (a) Membránfehérjék kinyerése röntgendiffrakciós és krio-elektronmikroszkópos szerkezetmeghatározáshoz. Krio-elektronmikroszkópos szerkezetmeghatározás esetén, szemben a röntgendiffrakcióval, a glikozilációra, ill. a hosszú hurkok és a mozgékony régiók szerkezetére vonatkozó információ nem vész el. (b) Krio-elektronmikroszkóp segítségével megoldott membránfehérje-szerkezetek
(FORRÁS: RAFAEL FERNANDEZ-LEIRO & SJORS H. W. SCHERES NATURE 537, 339–346 (2016)

sejtekben az örökítő anyag „szerkesztését", kivágva az irreleváns részeket, hasonlóan a filmvágáshoz. Az **5. ábrán** néhány nagy méretű fehérjekomplex krio-elektronmikroszkóppal meghatározott szerkezete látható. A CMG helikázkomplex a két DNS-szál szétválasztását végzi a DNS megkettőződése során. A HSP90 dajkafehérjének (chaperone-nak) és Cdc37 nevű cochaperone-jának a Cdk nevű kinázzal alkotott komplexe. A dajkafehérjék az újonnan szintetizált vagy rosszul felgombolyodott fehérjéknek segítenek a megfelelő szerkezet kialakításában. A transzkripciós preiniciációs komplex a génátíródás során az RNS-polimeráz II enzimet irányítja az átíródás kezdőpontjába, valamint denaturálja, és a polimeráz aktív helyéhez irányítja a DNS-t. A szerkezetről alkotott nagyfelbontású pillanatképek alapján érthető meg ezen bonyolult „molekuláris gépezetek" működésének mechanizmusa.

Nagy jelentősége van a krio-elektronmikroszkópiának a membráncsatornák és -fehérjék szerkezetének felderítésében. Ezeket a fehérjéket rendkívül nehéz tisztítani. Ugyanis kiemelve őket hidrofób foszfolipid környezetükből, szerkezetük többnyire összeomlik, a detergensekkel való stabilizálás pedig megnehezíti a kristályosítást. Így a biológiai és gyógyszertervezési szempontból legérdekesebb membránfehérjékről nagyon korlátozottak a direkt szerkezeti ismereteink. A jelenleg ismert kis molekulasúlyú hatóanyagok felének membránfehérje vagy csatorna a támadáspontja. Ezen célpontok szerkezetének ismerete lehetővé teszi új hatóanyagok tervezését. E téren talán a legjelentősebb az áttörés. Néhány krio-elektronmikroszkóp segítségével meghatározott szerkezetet mutat a **6. ábra**.

Sok kiváló és elkötelezett kutató több évtizedes munkájából összeállt egy korábban nem remélt, nagyszerű technikai eszköz, a krio-elektronmikroszkóp, amely új lehetőséget nyit a szerkezeti biológia előtt. Lehetővé teszi, hogy a komplex makromolekuláris rendszereket működésük egy pillanatában, natív állapotban befagyasszuk, és atomi szinten meghatározzuk a szerkezetüket, topográfiájukat, kölcsönhatásaikat.

Egy új méréstechnika megjelenése mindig felszínre hoz olyan kérdéseket, amelyeket — ennek hiányában — fel sem tettek. Így volt ez korábban, amikor a röntgenkrisztallográfia, majd a magmágneses rezonancia (NMR) módszerének fejlődése lehetővé tette ezek alkalmazását komplex biológiai objektumok szerkezetének meghatározására. Azt gondolom, a krio-elektronmikroszkópia elterjedése is új korszakot nyit a molekula-szerkezeti alapon nyugvó funkcionális biológiában.

ZÁVODSZKY PÉTER

A MAGYAR ZENE HÁZA

X-dimenzió

Régóta vallják sokan, hogy a zene a lélek titokzatos nyelve. A budapesti Városligetben a következő néhány évben olyan ház épül, amely a zene dimenziójának ad otthont a háromdimenziós térben. Ez lesz a Magyar Zene Háza.

Mit látunk majd? A Városliget fái között átlátszó üvegépületet, amelynek vékony oszlopain zenei hullámot imitáló tető lebeg. A tetőn kisebb-nagyobb kráterek lesznek, amelyeken át beáramlik a fény, és kidugja koronás fejét egy-egy magasra nőtt fa. A földszinten üvegfalú termekben muzsikusok játszanak gyerekeknek, szülőknek, nagyszülőknek. Mindenkinek, aki arra jár. Távolról mindez úgy tűnik majd, mint egy barátságos agora: előadók és hallgatók egymást inspiráló párbeszéde.

Így képzelte el a nemzetközi építész szakma egyik fontos embere, *Sou Fujimoto* Budapest új zenei épületét. Fujimoto épületeiben a nyitott tér, az átláthatóság, a környezettel való harmónia a legfontosabb. Épületeiben a „bent" együtt él a „kint"-tel. Valószínűleg ezért is esett a választás 2013-ban épp rá, hogy abban évben az ő tervei alapján épüljön meg Londonban a Serpentine Gallery időszaki pavilonja. Ezzel a megbízással minden évben egy-egy olyan kiválóságnak adnak lehetőséget, aki az építészet nyelvén újat tud mondani az ember és a környezet viszonyáról. A Városligetre tervezett zenepavilon is ebben a szellemben fogant.

„Legyen a zene mindenkié!" — *Kodály Zoltán* szavai visszhangoznak a Zeneház építészeti koncepciójában. Budapest csodás zenepalotái (Pesti Vigadó, Operaház, Zeneakadémia, Művészetek Palotája) mellett — mintha a Városligetben a mitológiai Árkádia éledne újra — egy zenepavilon nő ki a talajból, új idők új nimfáival és pásztoraival, és mindenekelőtt Orfeuszaival! Talán túlzottan költőinek tűnik ez a kép. Valójában azonban a Zeneház lényege a zene varázsának megismertetése. Ez a vágy hozta létre az építészeti koncepciót, s az építészet tovább ihleti a belső, zenei tartalmat.

Harmóniában a természettel: a Zene Háza bejárata

Miről is van szó? A Zeneház háromrétegű, zenei nyelven mondhatjuk azt is: három fő szólam helyezkedik el egymáson. A földszint a *vonzás* tere. Az előtér és a két kis hangversenyterem a benne zajló zenei történésekkel teszi kíváncsivá azokat is, akik nem céltudatosan jönnek zenét hallgatni. Hangverseny helyett inkább úgy fogalmazhatunk, hogy ezekben a terekben közösségi élmény jön létre, a zene beszél — hangokkal és a szavak segítségével egyaránt. A muzsikusok megszólítják a közönséget, amely maga is gyakran aktív szerepet kap a zenélés folyamatában.

Kik zenélnek majd itt és kinek? Túlságosan általános lenne rávágni, hogy mindenki mindenkinek, noha tulajdonképpen erről van szó, korra, földrajzi helyre, neveltetésre való megszorítás nélkül. Maguk a zenészek sem mindig a hagyományos hangversenyezés felkentjei. Zenéljenek gyerekek is, mutassák meg tehetségüket, csináljanak kedvet a zene tanulásához, és szerepeljenek amatőr zenészek is, akiknek elkötelezettsége, lelkesedése átragad azokra, akik egyelőre még csak passzívan vesznek részt a zene misztériumában! A Magyar Zene Háza a zenei mozgalmak útkereszteződése szeretne lenni: a Magyarországon oly fontos kórus és népzenei kultúra, s nem utolsó sorban a széles körű zeneoktatás vívmányai, amelyeket évről évre a Virtuózok tehetségkutató tévéműsor is elénk tár — mind jelenjenek meg ebben az új kulturális központban!

A Zeneház a zene sokszínűségéről, működésének, befogadásának miként jéről szól. A szó szoros értelmében a világ zenéjének adunk otthont: távoli és közeli országokét, nemzetekét, klasszikusokat és felfedezésre méltó kuriózumokat kínálunk, nagy kultúrák tradicionális zenéjét, és ma is élő népzenéket mutatunk be, népszerű pop műfajokat, és merész kísérleteket, avantgárdot és kitaposott ösvényen járókat egyaránt műsorra tűzünk. A Zeneház fedélzetének legénysége elfogulatlan lesz, mert a lényeg nem a sztárokon és az együttesek nagyságán van, hanem azon a hatalmas élményen, ami az Ember zenéjéből fakad. Olyan, nehezen megfogható kérdésekre is választ keresünk, hogy mi jellemezi a különböző kultúrákban élő emberek zenei tudatát, s nem utolsó sorban: létezik-e magyar zenei tehetség és habitus? Mit tud ez a kis ország hozzáadni a népek nagy kórusához? A történelem — különösen az utóbbi 100—150 évé azt mutatja, hogy sokat: Magyarország zenei hangja erős. Tehát a Magyar Zene Házának is erősnek kell lennie.

A Zeneház missziója az, hogy élményként tegye érzékelhetővé a zene és a zenélés jelentőségét Magyarországon, és az élményt minél szélesebb körben juttassa el mindazokhoz, akik a zene élvezetével is szebb, tartalmasabb életre törekszenek. Kiemelt figyelemmel fordulunk a Zeneház koncepciójában a fiatalok felé; edukációs programjainkkal az iskolás fiatalok zenei „táplálékát" kívánjuk változatossá tenni, bemutatva — a műfajt és stílust tekintve elfogulatlanul — a minőségi zene értékeit. A Zeneház a közoktatásban folyó zenetanítás szellemi reformját szeretné előkészíteni, mintát adni tanároknak és diákoknak egyaránt az élvezetes, sőt szórakoztató tanításhoz-tanuláshoz. Iskolások csoportjait várja a Zeneház legfelső rétegében a *világosodás* tere, ahol a tanárokat és a diákokat a rendhagyó zenei élményekre készítjük fel, amelyeket aztán az épület más szintjein élhetnek át.

A zenei ismeretterjesztés új fejezete készülődik a Zeneházban, ami épp Magyarországon mély hagyományban gyökerezik — legalábbis, ami a tartalmat illeti. Ami megújulásra szorul, az az ismeretterjesztés nyelve, kommunikációja. Ehhez ad teret Fujimoto épületének föld alatti rétege, a *varázstér*, ahol a modern kiállítástechnika eszközeivel — merjük állítani — a világon egyedülálló zenei élményvilág tárul fel. A továbbiakban ezzel foglalkozunk.

A Zeneház kiállítótere három részből áll. Középső része egyfajta zenei *csodák palotája*, ami a zenét befogadó és a zenét előidéző emberről, azaz mindenkori önmagunkról szól, másrészt arról a folyamatról, ami a zene — elsősorban az európai zene — történetét mutatja be különböző korokban. Tehát az állandó kiállításon a zene elemeivel való játékra és egy kiadós interaktív zenetörténeti sétára hívjuk a látogatót. Lesz a „varázstérben" *időszaki kiállításoknak* is helye. Ezeket olykor a Zene Háza hozza létre, mintegy felnagyítva a zene átfogó bemutatásának egyes részleteit, illetve helyet ad a manapság divatos és csodált nagy utazó kiállításoknak. Míg az állandó kiállítás tematikája elsősorban az európai klasszikus zenét, a magyar zenét és a népzenét hangsúlyozza, az időszaki kiállítások inkább a könnyűzene területeit részesítik előnyben. Első tervezett időszaki kiállításunk témájaként a magyar popzene történetét választottuk az 1957 és 1993 közötti izgalmas korszakban. A felkészülés a Cseh Tamás Program együttműködésével történik.

A föld alatti szint harmadik élményforrása különös képződmény, egy *hangdóm* lesz. Az ötlet az 1970-es osakai világkiállítás egyik szenzációjából, az avantgárd zeneszerző, *Karlheinz Stockhausen* gömb formájú auditóriumából indul ki, ahol a gömb közepén helyet foglaló közönséget hangszórók csoportjai vették körül, és az emberek gyakorlatilag benne ültek a zenében. A gömb akusztikai és technikai feltételeire több zeneszerző komponált műveket, amelyeket a világkiállítás hat hónapja alatt több mint egymillió látogató hallgatott meg. A mi hangdómunk szerényebb méretű lesz, de működési elve a Stockhausen-féle koncepcióval rokon. A látogatók a kupola középpontjában foglalnak helyet, és a bőven mért hangszórók, valamint a kupola belső héjára való vetítés jóvoltából a hangzó világ közvetlen vonzáskörébe kerülnek, például fedezhetik a különböző tájak természethangjait, nagy zenei együttesek hangzását, filmzenék összetevőit, és így tovább.

Az alapgesztus: nyitottság – a „kint" és a „bent" egysége

A továbbiakban az állandó kiállítás koncepcióján keresztül kíséreljük megéreztetni a Zene Háza új élményvilágát. A történelem térré válik, a zene időbeli-

sége és a látvány pillanatnyi impulzusai között különös, már-már drámai feszültség keletkezik. Próbáljuk meg elképzelni az időutazást!

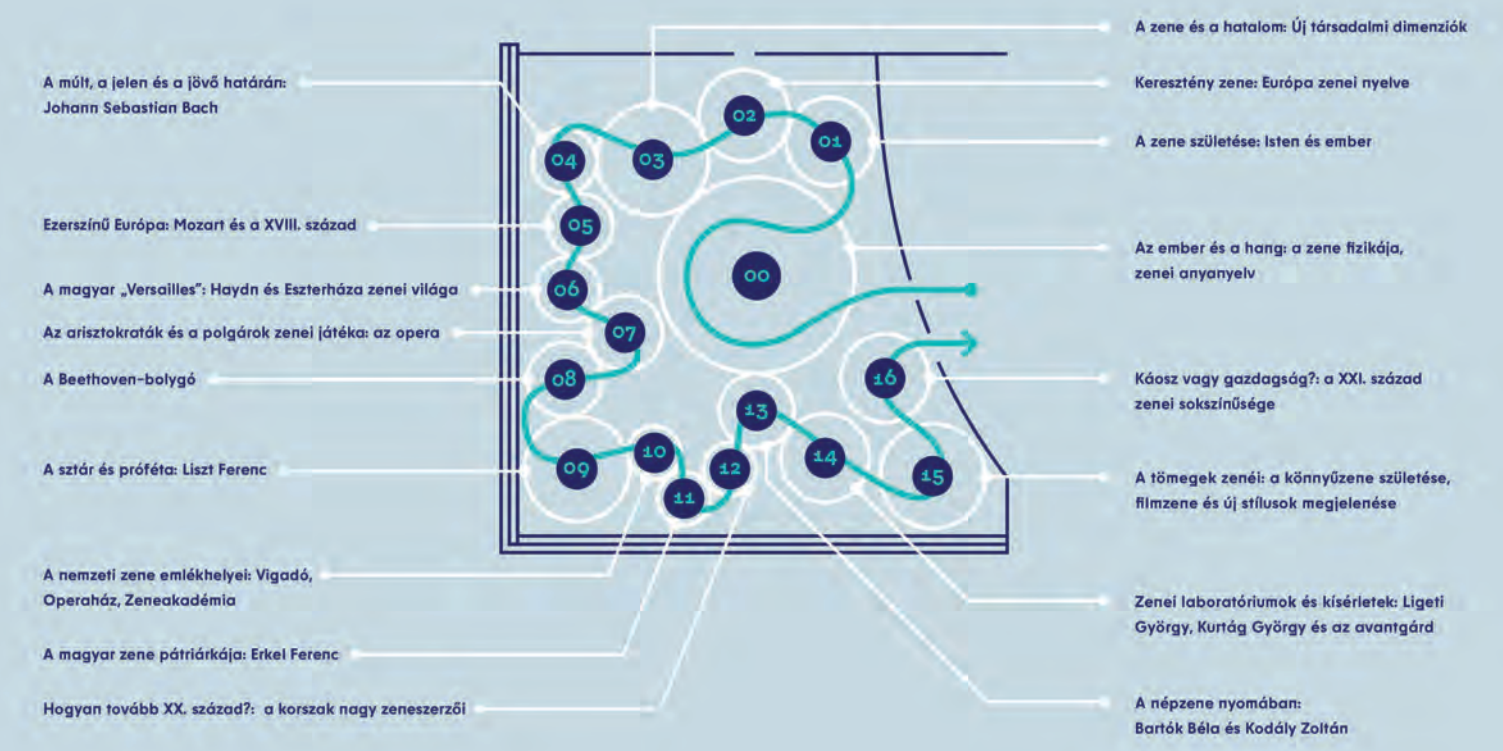
Mint *Dante* az „emberélet útjának felén", mi is egy „nagy, sötétlő erdőbe" vezetjük a kiállítás kezdetén a látogatót. Azt akarjuk ugyanis megéreztetni, hogy a zene születése misztikus körülmények között történt. A természetre hosszú évezredek folyamán egyre inkább rácsodálkozó embert a hegyek, a tenger, az őserdő, a sivatag félelmetes távlatai és ijesztő hangjai vették körül. Ezt az élményt akarjuk a látogató felé közvetíteni. Azaz, fényekkel és árnyakkal, hangfestéssel, akusztikai trükkökkel érzékeltetjük az ősállapot kiszolgáltatottságát és az ebből fakadó vágyat, hogy a biztonságot kereső ember kapcsolatot teremtsen a transzcendens erőkkel. Természeti neszek, zörejek (vízesés, csobogás, égzengés, vulkánkitörés, szélzúgás) váltakoznak ősi zenei gesztusokkal. Olyan érzésünk lesz, mintha egy hangeffektusokból szőtt szőnyegen járnánk. Egyes hangzásokat mi magunk idézhetünk elő. Ebben a káoszban kereste az ember félelme ellenszerét, a zenét. Emberi zenéről akkor beszélhetünk, amikor az ember a hangok nyelvén fordult a természetfeletti világ felé, és megidézett valamit, aminek a létrehozása megnyugtatta és bizakodóvá tette. Sámánokat is segítségül hívunk, természeti népek körében végzett gyűjtések kép- és hangdokumentumai alapján, felszakítva ősi népzenék, köztük a magyar népzene archaikus rétegeit. A vallás és a zene születése egy tőről fakad.

A kiállításon mindez drámai fordulatként élhető át: a látogató az ősi, kaotikus természetből, az olykor pokoli, olykor paradicsomi víziók felkavaró hangulatából egy szimbolikus szentélytérbe lép be, ahol különböző világvallások zenéjéből jellegzetes hangzó effektusok, dallamtöredékek keverednek áhítatot árasztó művek alig felismerhető, inkább valahol a hangzás mélyén érzékelhető részleteivel. A meditatív élményt vallások vizuális jelképei kísérik. Még mindig az idő felett lebegünk, átvéve az isteni szféra rezgéseit.

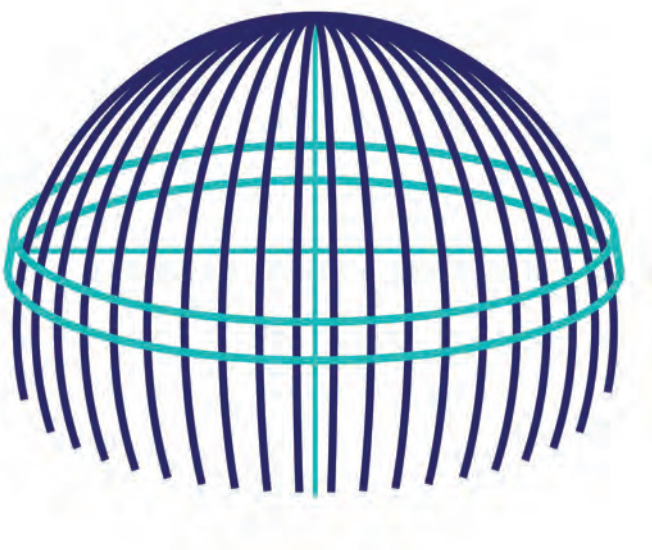
Kilépve a szentélyből, a gregorián ének kódexkapuja magasodik előttünk. A kapu üzenete: a „szentélyhangulat" (vallás, hit) lefordítása a művészetekre (a kódex a képzőművészetet és a zenét egyaránt magába foglalja), a mérhető időben (tudjuk, mikor keletkezett) és a konkrét térben (általában azt is tudjuk, hol keletkezett). Megjelenik a zene (gregorián) mint az egyházi (állam)szervezet hivatalos liturgiájának kanonizált eszköze. Ezzel egyben a földrajzi térbe is belépünk: Európa térképén felsejlik Szent István Magyarországa. A dokumentált magyar zenetörténet időszámítása is ide vezethető vissza.

A gregorián kapuja olyan gótikus katedrálisra emlékeztető térbe vezet, ahol újabb drámai élmény éri a látogatót: az egyszólamú gregorián dallamhoz

Az állandó zenetörténeti kiállítás koncepciójának vázlata



más szólamok társulnak. Megjelenik az európai zene egyik legnagyobb vívmánya: a polifónia. A hangok szabályozott együtt hangzása a zene egyre pontosabb lejegyzését igényli. A kotta a zene kódja — legalább ezer éve. Nélküle nem tudnánk elmesélni az európai zene történetét. A középkor történései, változásai nagyon lassúak voltak. A kottaírás és a többszólamúság hozzávetőleg a gregorián első 700—800 éve után jelent meg. Ahogyan a keresztény egyház, a zenei is



Hangdóm: a hangok planetáriuma

örökkévaló. A XII. századtól a korábbi évszázadokhoz képest felgyorsul a zenetörténet ritmusa, de még mindig óvatos változások, alakváltások jellemzik. A zene többé nem népzenei burjánzással tölti ki Európa kertjét; megjelennek az első zseniális „kertészek", akiknek már ismerjük a nevét, akik formát, stílust és technikát kölcsönöznek a zeneműnek: a XIV. századtól a zene sorsát zeneszerzők veszik kezükbe. A látogató közvetlenül éli át mindezt, haladva a többszólamúság oszlopcsarnokában, egyre dúsabb, bonyolultabb zenét hall, egyre több szerzetes jelenik meg körülötte a virtuális térben, a zene egyre csiszoltabban és gyönyörteljesebben szólítja meg és dicsőíti a Teremtőt.

A katolikus egyház zenéjének hosszú, fontolva haladó története után a „katedrális" meghasad. Nemcsak azért hasad meg, mert a keresztény egyházon belül szakadás történik (reformáció, majd ellenreformáció), hanem azért is, mert jött egy generáció, amely a zenében az ember individuális (ám kollektív szinten is meglévő) szenvedését, örömét, egyszóval a halandók érzéseit akarta kifejezni. Ennek érdekében újra felfedezték a görög mitológiát, és a XVI. század végének „modern" művésze a nagyon is emberi mitológiai hősök maszkja mögé bújt. Orfeusz alakja volt az egyik legkedveltebb: a dalnok lantosé, aki kétszer veszítette el fiatal feleségét, és még a poklot is megjárta miatta, ahová csodálatos művészete erejével nyert bebocsátást. A zene a korábbihoz képest jóval szertelenebbé vált, a szertelenségből kialakuló rendszer új szabályokat szült, s közben új korszaka kezdődött: a barokk, amely ekkor, a XVI—XVII. század fordulóján, Itáliában, mindenekelőtt a hangszerkíséretes, többnyire egyszólamú ének műfajaiban öltött testet. Itt ringott az opera bölcsője is, amely az európai zenetörténet hasonlóan korszakalkotó, drámai élménye, mint a többszólamúság megjelenése a XII. században.

Mi is történt ekkor? A többszólamú zene elit kultúrája a reneszánsz többszólamúság csúcsára, *Giovanni Pierluigi da Palestrina* zenéjéhez vezet. Palestrina olyan zseni volt, akinek a tökéletes, „isteni" művészetét a politika (ellenreformáció, Tridenti zsinat) arra használta, hogy ezzel a szinte bűnös szépségű zenével visszacsalogassa a nyáj eltévelyedett tagjait (a protestánsokat), illetve megakadályozza, hogy még többen lépjenek át a renegátok táborába. Ennél tökéletesebb, csiszoltabb és bonyolultabb zenét már nem lehetett írni. Palestrinánál nincs szenvedés, de még a szomorúság is gyönyörű, artisztikus játékban válik érezhetővé. Ilyen előzmények után lép színre Orfeusz. A görög dráma, a görög mitológia és azon belül az önmagát zenéjén keresztül kifejező, magányos, zenész alakja. Rajta keresztül válik elsődlegesen fontossá a lélek rezdüléseinek és az élet drámai pillanatainak zenei ábrázolása.

Az ellentétet vizuális értelemben, ismét Dante nagy látomását segítségül hívva, a „paradiso" (Palestrina „isteni" művészete) és az „inferno" (Monteverdi szívbe markoló zenéje) kontrasztjában ábrázoljuk. Az eddig leírtakból is látszik, hogy a zenetörténeti séta célja nem a teljes zenetörténet mindenre kiterjedő bemutatása, hanem azoknak a drámai pillanatoknak az érzékeltetése installációval, vetítéssel, kiterjesztett valósággal, amelyek olyan fordulatot hoztak az európai és a magyar zenébe, ami bevéső dik a témával csak most ismerkedő látogatóban is, aki úgy érzi majd magát, mintha maga is egy dráma szereplője lenne, miközben zenetörténeti vándorlásai során csodás élményekbe keveredik. E koncepció szellemében osztjuk élménykörökre a zenetörténet

bemutatását. Persze azokra is gondolunk, akik mélyebb ismeretekre vágynak. A kiállításba tervezünk olyan elmélyedésre alkalmas sarkokat, ahol interaktív módon lehet előhívni a tudást, egyes témák részletezésével, elsősorban a magyar zenetörténetre vonatkozó asszociációkkal — kinek mennyit enged ideje és érdeklődése.

A következő fontos állomás *Johann Sebastian Bach*, sőt: B.A.C.H., így, betűkre bontva, mert e név minden betűje egyben zenei hang is. Bachnál az a fantasztikus és egyedülálló, hogy ő mindazt integrálta, ami a gregoriántól a maga koráig, a XVIII. századig történt. Átfogó az életműve földrajzi értelemben is, mert bár szűkebb pátriájából, Szászországból nemigen mozdult ki, mégis komponált olasz és francia modorban egyaránt, sőt mindezt egyesítette a saját német protestáns hagyományaival. Élete folyamán többféle egyházi és néhány évig világi szolgálatban volt, így hát — az opera kivételével, mert arra nem nyílt módja — kora valamennyi műfajában alkotott orgonistaként, kántorként, udvari muzsikusként. Meghatározó volt számára a lutheránus (evangélikus) zenei és szellemi tradíció, amely a Bibliához vezette vissza a híveket. Bach egyházi zenéje az Írás döbbenetes erejű zenei megjelenítéseként is felfogható.

Bach tehát megkerülhetetlen, és a kiállításon fizikai értelemben sem lehet majd megkerülni, mert egy meglehetősen termetes, orgonajellegű installáció zárja el a látogató elől az utat. Bachnál el kell időzni. Az orgona csak látszólag az, valójában megannyi lehetőség azoknak a műfajoknak és stílusoknak a megismerésére, meghallgatására, amelyek Bach több mint ezer kompozíciójában öltenek testet. Billentyűk, pedálok, regiszterek érintésével hívjuk elő Bach zenei gondolatait. Bach géniusza kimeríthetetlen és felfoghatatlan. A látogatónak azt kell éreznie, mintha az égő csipkebokorban rejtőző istennel találkozna. Annál nagyobb a kontraszt, amikor a Bach-orgonából kilépve beülünk egy postakocsiba…

…egy postakocsiba, amellyel nekivágunk Európának, ahogyan *Mozart* tette gyerekkorában. Ő kisebb-nagyobb megszakításokkal tíz évig utazott, azaz rövid életének egyharmadát töltötte úton, postakocsin zötyögve Európa úttalan útjain. Utazásain keresztül mi is felfedezzük a XVIII. századi zene legfontosabb központjait, Londont, Párizst, Berlint, Nápolyt, Velencét, kisebb városokat és persze Bécset, ami Mozart második otthonává vált élete utolsó tíz évében. Ennek az élménykörnek az „Ezerszínű Európa" címet adtuk, azt érzékeltetve, hogy hihetetlenül színes és sokféle lett akkoriban a zenei élet, amelyet általános zenei nyelv uralt, mégis szinte minden városnak és főúri rezidenciának megvolt a sajátos zenei mikroklímája, ami egyedivé tette a hálózatba rendeződő helyi központokat.

Európa zenei terepasztalán utazgatva Eszterházára is eljutunk (Mozarttal ellentétben, aki sohasem járt ott), és modern kiállítástechnikai eszközeink jóvoltából megismerhetjük a kastélyt, amely oly nagy szerepet játszott a magyarországi és — *Haydn* mester révén — az egyetemes zenetörténetben egyaránt. Játékok várnak bennünket ebben a kulturális kéjlakban: leülhetünk például vonósnégyest játszani rögtönzött partnereinkkel, és még egy sor más, gáláns, udvari élmény vár ránk.

Az önmagában gyönyörködő, kifinomult, a születési előjogok révén kiváltságos társadalmi rétegek szórakoztatásában virágzó XVIII. századi zenei világ után a drámai élmény a társadalom fölé emelkedő magányos, titokzatos, el- és felérhetetlen, betegségében (süketség) megerősödött, újkori „sámán", *Beethoven* megjelenése. Beethovennek tetszett Kant híres mondása: „Felettem a csillagos ég, bennem az erkölcsi világrend" — fel is jegyezte magának. A kastélyok után tehát a Beethoven-bolygó következik. Beethoven „fejébe" lépünk be képzeletben, és megpróbáljuk azokat a zenéket hallani belülről, amit ő hallhatott, korban előre haladva egyre inkább kizárva a külvilág zaját. A látogatónak meg kell éreznie, hogy Beethovennel új időszámítás kezdődött a zenében. Itt kevés vizuális ingert tervezünk: körülöttünk zene, zene, zene. Beethoven küzdés-zenéi, zenei forradalmának erős gesztusai, emberiséget átfogó ódái és azok a kozmikus — a romantikus zeneesztéta-generáció által találóan „csillag-zenének" nevezett — késői hangvíziói, amelyeknél különösebb, eredetibb és megejtőbb zenét senki sem írt.

Merre vezet utunk tovább? Beethoven központi alakja lett a XIX. századnak: valamennyi jelentős zeneszerző belőle indult ki, valamennyien az ő újításait, üzeneteit járták körül, mintha egy képzeletbeli spirál vonalán haladtak volna tovább, előre, vagy tán felfelé is, de a spirál központjában mindig ott volt Beethoven zenéje. Egyike a legnagyobb Beethoven-hívőknek *Liszt Ferenc*, aki már gyerekkorában Beethoven arcmását nézegette zongorája fölött, s bár a híres jelenet, miszerint Beethoven Bécsben egy koncert után homlokon csókolta a csodagyerek zongoristát, nem nyert bizonyítást, a jelkép mégis igaz: Liszt egy életen át Beethoven szellemi örökségét szolgálta és vitte tovább — talán a legnagyobb odaadással valamennyi jelentős kortársa közül.

Liszt — Beethovenhez hasonlóan — ugyancsak középpontban állt, elsősorban csodálatos, „orfeuszi" előadóművészi képessége és hatása miatt. Ő volt az első szupersztár, akit zongorázásával ismert meg egész Európa. De nála a virtuóz fogalma kibővül, mert nemcsak előadói készségével káprázta el a közönséget, hanem hangszerén keresztül prófétaként fordult felé. Zenéjével és zenélésével arra törekedett, hogy a koncertteremből szentélyt varázsoljon. Zongoráján megszólaltatta korábbi generációk zenéjét, kortársai jelentős, népszerű vagy éppen felfedezésre méltó alkotásait és — merész újításai révén — a jövő zenéjét egyaránt. Ő ismertette meg a nagyközönséget zongoraátirataiban Beethoven szimfóniáival, *Schubert* dalaival, kortárs operákkal, népszerűsítette *Berlioz* modern szimfonikus műveit, *Wagner* zenedrámáinak élharcosa lett, felfedezte a XIX. század rendkívül eredeti orosz zeneszerzői iskoláját, és egy sor nemzeti zenét szólaltatott meg zongoráján — mindenekelőtt hazájáét, a *magyarét*!

A zongorázó Liszt Ferencet a kiállításon egy, az utazást jelképező panoráma-koncerttérben hallgatjuk, miközben látjuk azokat a kapcsolatokat, amelyek Lisztet kortársaihoz kötötték. Azaz Liszt zongorája felidézi számunkra a XIX. század zenetörténetét. Az élmény tehát ez esetben kifelé hat: mintha Liszt ablakokat nyitna a zenei világra a nagy romantikus zeneszerző egyéniségek izgalmas korszakában. A hazai látogató meg büszkén dőlhet hátra a zsöllyében, mert egy magát állhatatosan magyarnak valló, hatalmas muzsikus lépett a kiállításnak ezen a pontján az európai zene színpadára — főszereplőként.

Erősödik a nemzeti érzés… Sétánk következő élménykörén a magyar zene pátriárkájánál, *Erkel Ferenc*nél teszünk tisztelgő látogatást. Azt kell itt átélnünk, aminek a szellemében ez a magányos, zárkózott, itthon maradt géniusz a teljes életművét és tevékenységét állította: „Hazám, hazám, te mindenem…" Ennek a résznek olyan megható és meghitt hangulatúnak kell lennie, mint a Himnusznak. Erkel vállalta a magyar zenei „ugar" feltörését, hogy legyen közösségi énekünk, legyenek nemzeti operáink, operaházunk, önálló szimfonikus nagyzenekarunk, középszintű és felsőoktatási zenei képzésünk. Egy magyar zenei szentről van tehát szó, aki alapított, építkezett, szolgált. A kiállításnak ezt a részét egyfajta Erkel-emlékhelyként képzeljük el, idealizált, romantikus módon, a kor szellemében. Éreztetni kívánjuk a magyar zenének azokat a megnyilvánulásait is, amelyek Erkelt körülvették és inspirálták (népszínmű, magyar nóta, cigányzene, verbunkos, csárdás), és teszünk egy képzeletbeli sétát is a korabeli Pest-Budán, majd Budapesten, ahol zenei intézményeink csodálatos épületei, épp az ő hatására, ezekben az évtizedekben nőttek ki a poros pesti földből (Pesti Vigadó, Régi Zeneakadémia, Operaház).

Az Erkel-szentélyből kilépve, a sokarcú XX. század küszöbén útelágazáshoz érünk. Ezen a ponton ugyanis meghasad a kép: a XX. században önmagában annyi minden történt, mint szinte az egész addigi zenetörténetben. Ez részben azért volt így, mert valamennyi zeneszerzőt hatalmába kerítette a zene megújításának szándéka, tehát felerősödött a zeneszerzők avantgárd attitűdje. Másrészt a XX. század a tömegek százada: mélyről jövő, széles társadalmi rétegek kerültek a felszínre, váltak zenefogyasztóvá és zene által manipulálhatóvá. A hanghordozók technikai fejlődése, a táncdivatok felgyorsult váltakozása, a jazz, a filmzene, később a pop és a rockzene megjelenése a korábbi évszázadokéhoz képest hihetetlen mértékben szélesítette ki a zenében aktívan és passzívan résztvevők körét. A tömegek mozgására a század szégyenletes politikai mozgalmai (fasizmus, kommunizmus) is felfigyeltek: a tömegek szájába harsány indulókat, tömegdalokat adtak, amelyekkel arctalan masszává akarták gyúrni a színes emberi kavalkádot. E „lebutított" énekek kiheverhetetlen katasztrófák félelmetesen groteszk kísérőzenéjévé váltak. Berlin és Moszkva… A másik oldalon: Liverpool (Beatles) és Woodstock (1968). Tömegek itt is, ott is — de micsoda különbség!

És mi lett a „komoly" zenével? Az avantgárd magára maradt? A válasz részben az, hogy igen, a klasszikus fogantatású zene (amit egyszerűsítve komolyzenének nevezünk) a tömegek zenéjéhez képest a kevesek zenéje lett, és mind a mai napig az is maradt. De az érték felismerése, megértése és megőrzése rendkívüli fontosságú, különösen nekünk, magyaroknak, ugyanis épp a XX. századi avantgárd áramlatában bontotta ki hajójának vitorláját *Bartók Béla* és *Kodály Zoltán*.

Bartók és Kodály — természetesen — nagy hangsúlyt kap a Magyar Zene Házában a kiállítás térkoncepciója szempontjából is, ugyanis ők ketten nem a zenetörténet ellipszis alakú pályáján találhatók majd, hanem a kiállítás magját képező epicentrumban. Erről a középső részről már esett szó vázlatos áttekintésünk elején: ez az, amit zenei csodák palotájának neveztünk. Egy olyan zárt teret képzelünk el, amely a zene elemeiről (a hang magasságáról, színéről, időtartamáról, azaz ritmusáról), hallásunkról, zenei tehetségünkről, az éneklés és a hangszeres muzsikálás médiumairól, egyszóval az emberről és zenéjéről szól. Ebbe

a zenei anyanyelv is beletartozik, ezért a zene alapelemei között a népzene is hangsúlyos helyet foglal el. Egyébként a népzenei asszociációk az egész kiállítást végigkísérik, mert Kodály szellemében a népzenét egyben zenetörténeti dokumentumként kezeljük.

Bartók és Kodály bemutatása tehát jó helyen van a zene forrásai és ősi elemeinek szomszédságában, mivel ők a népzenével egy olyan érintetlen kultúrát fedeztek fel, amely magyarságunknak zenei identitást és öntudatot kölcsönzött. Bartók az egyetemes zenetörténetben játszott súlyosabb szerepet, Kodály a zene pozitív társadalmi hatásainak és megfelelő oktatásának létrehozásában. Kodály individuális művészetével is zenei, pedagógiai mozgalmak jelentős vezére volt, Bartók a belső hangra figyelve hozott létre a paraszti közösség és a természet népi élményeiből csak rá jellemző, egyéni, a legnagyobbakhoz mérhető művészetet. Kodálynál őrtüzek gyúlnak, Bartóknál messzire fénylő világító torony magasodik. Ezt a képet kívánjuk felidézni abban az élménykörben, amely Bartókhoz és Kodályhoz viszi közelebb a kiállítás látogatóit. Megfoghatóvá tesszük, miként alakul át a népzenei élmény zeneszerzői nyelvvé, és a műveket olyan megvilágításba helyezzük, ami rádöbbent mindenkit két páratlan életút karizmatikus üzenetére.

Kodály és különösen Bartók a XX. századi avantgárd zenének is jelentős mesterei, műveik az új zenei törekvések legfontosabb dokumentumai közé tartoznak. Modernségük nem független azoktól a századfordulós zeneszerzőktől, akiket a XX. század másik útján látogatunk meg. *Debussy*t és *Ravel*t a franciák közül, *Schönberg*et, *Berg*et és *Webern*t — az új bécsi iskola nagy alakjait, *Stravinsky*t az orosz gyökereken nyugvó nemzetközi világa miatt. Megannyi érdekes, remekművekben megtestesülő kísérlet a zene új fejezetének megteremtésére. A XX. század folyamán a zene fejlesztése többeknél filozófiai kérdéssé vált. Olyan kompozíciók születtek, amelyek laborokban, elektronikus zenei stúdiókban készültek (*Karlheinz Stockhausen*, *Ligeti György*), vagy visszatértek az ember és a természet találkozásának ősi élményéhez (*John Cage*), vagy éppen a hangok új rendje isten megszólítása érdekében jött létre (*Olivier Messiaen*). Ezt a fajta kutató szellemű zenét egy, a kiállítás felett lebegő zeppelinben tanulmányozhatjuk, érzékeltetve a dolog sci-fi jellegét. Egyébként az avantgárd is folyamatosan megújult: zeppelinünk orra már inkább űrhajóra fogja emlékeztetni a látogatókat…

Az európai zenetörténet vívmánya:
a vokális többszólamú zene élménye

A század különböző, sőt ellentétes zenei útjai egy olyan nyílt térre vezetnek, amely mai zenefogyasztásunkat jelképezi. Egy zenei „Time Square"-re érünk, ahol monitorok és fejhallgatók erdejében minden megtalálható: Mozart, Bach, Madonna, David Bowie, Morricone, jazz, gregorián — tehát mindaz, amit kiállításunk sebes sodrású folyója fölvetett és magával hordott. S ami nincs a földön, az fönt van a „felhőben" — a terveink szerint minden letölthető, kiválasztható, bármikor meghallgatható, hazavihető… Sőt, előre gyártott zenei panelekkel akár komponálni is lehet. De mit? Egy új káosz kellős közepére érünk zenetörténeti sétánk végén, olyan zenei sokszínűségbe, amelyet — kényelmi szempontjainkat követve — mi magunk hoztunk létre. Elveszünk benne, vagy úrrá leszünk rajta? Erre keresünk, és reményeink szerint adunk is választ a kiállítással és a Magyar Zene Háza tartalmának koncepciójával.

BATTA ANDRÁS

ELŐSZÓ SOROZATUNKHOZ

Haeckel nyomán, 150 éve használjuk az ökológia kifejezést annak a tudománynak a megnevezésére, amely az élőlények együttélésével és környezetükhöz fűződő viszonyukkal foglalkozik. Sok idő telt el azóta, hogy a derék viktoriánus természetbúvárok bejárták a Föld minden zegét-zugát, és ami csak mozgott, azt feltűzték, lepréselték, alkoholba vagy ketrecbe tették. A növények és az állatok tanulmányozásától, valamint a szárazföldi, tengeri és édesvízi élőhelyek szisztematikus áttekintésétől mára eljutottunk a bioinformatika széleskörű alkalmazásáig, a matematikai modellek rutinszerű használatáig és a legkülönbözőbb interdiszciplináris kutatások erősödéséig. Az ökológust ma már komolyan veszi a mérnök, a fizikus és talán még a matematikus is. A politikus persze még hezitál.

Most induló cikksorozatunk áttekinti az ökológia tudományának diverz, más tudományterületekkel összefonódó tematikáját. A peremterületeken barangolva körbejárjuk a témát, ezúttal a leginkább klasszikusnak tekinthető területek mellőzésével. A legjobb hazai szakértők közül elsősorban azok kaptak felkérést cikkírásra, akik az ökológia hagyományosabb területeinek kiváló művelése mellett jelentősen hozzájárulnak a diszciplináris határok feszegetéséhez is. A szerzők közül nem egy külföldi intézetben kutat, de ezt lassan talán megszokjuk. Ez nem pusztán a kelet-európai agyelszívás eredménye: az ökológiai kutatás egyre gyakrabban ível át országokon, egyre kevésbé lokális, egyre nagyobb mértékben folyik változatos összetételű műhelyekben. Az ökológia integratív és egyre inkább befogadó tudomány, így sorozatunk naprakész és tudományos értelemben is rendkívül modern ismeretanyagot adhat át az olvasónak. Izgalmas lesz persze az írásokat újraolvasni majd 100 év múlva, és látni, mely területek váltak akkorra a tankönyvi ismeretanyag részévé és melyek számítanak majd még mindig „zsákutcának". Az Olvasónak kellemes szórakozást kívánunk, és reméljük, kellemesen összezavarjuk gondolatait a hagyományosan berögzült tudományterületekkel és kategóriákkal kapcsolatban.

J. F.

„Nemzetközi szinten is élvonalbeli a magyar ökológia"

BESZÉLGETÉS BÁLDI ANDRÁSSAL, AZ MTA ÖKOLÓGIAI KUTATÓKÖZPONT VEZETŐJÉVEL

— Manapság igen nehéz vezetőt találni néhány kutatóintézet élére. Vajon miért? Te miért vállaltad az Ökológiai Kutatóközpont irányítását? Nehéz döntés volt? Nem bántad meg?

— A kutatóintézmények vezetéséhez kutatók szükségesek. A kutatók pedig alapvetően a saját kutatási témájuk „ölelésében" érzik jól magukat. Persze ez az elefántcsonttorony-kutatás már eléggé idejét múlt, egy kutatónak a nemzetközi előadótermekben, a projektirodákban és a döntéshozók között is otthonosan kell mozognia. És, ha kutatásainak még hatása lenne a tudományon túl a való világban is, az lenne az igazán jó. Ehhez a minisztériumokban, hivatalokban, az Európai Uniós és nemzetközi szakpolitikai porondon is jelen kell lennie. Ez a kutatásra alapozó, de attól sokfelé divergáló aktivitás nem idegen tőlem, aminek eléggé extrém kimenete lett az MTA ÖK főigazgatói pozíciója. Minden nap ötször megbánom, hogy elvállaltam a feladatot, de végül is csak egy kiugróan izgalmas és kihívást jelentő feladatról van szó, amely során a szélesebb szakterületemet nemzeti és nemzetközi szinten is menedzselni, támogatni tudom.

— Mi a véleményed arról, hogy az MTA kutatóhálózatában alig vannak külföldi kutatók? Ennek mi az oka? Szerinted érdemes lenne több külföldit idecsábítani?

— Nagyon nagy hiányosság ez, ami a nemzetközi szinten való otthonos mozgást is akadályozza. Nyilván másként beszélnek angolul ott, ahol ez a napi munkanyelv, mint ahol nem. Másrészt a belterjesség ellen dolgozna, növelné a versenyt, új ötletek, elképzelések jelennének meg. Fő akadálya,

hogy a magyar fizetésekre nem jön ide szinte senki. Többször voltam egy bécsi akadémiai intézetben, ahol a fele stáb nem osztrák volt. Idehaza ez még várat magára.

— Az ökológia hagyományosan „puha" tudománynak tűnik, pedig sok területen egyre „keményedik". Statisztika, matematikai modellek és számítógépes szimulációk segítik a kutatást. Nálunk hogyan áll a helyzet?

— A hazai ökológiai kutatás szerencsére túllépett már a hagyományos értelemben vett megközelítésen. Nagyon jók vagyunk a viselkedésökológiában, a statisztikai elemzésekben, a modellezésben, a kísérletes munkákban, és egyre több a nagyobb léptékű terepi kísérletezés is az erdőkezelés vagy klímaváltozás-kutatás területén stb. Egyre nő az ún. „Nature-indexes" vagy egyéb vezető lapokban (Science, Nature, Nature Communications, Ecology Letters stb.) megjelent magyar szerzős cikkek száma. Nem csak szellemileg és kísérleti téren „keményedett", lett nemzetközi szinten is élvonalbeli a magyar ökológia, hanem ennek szakpolitikába, természetvédelmi alkalmazásában is.

Szeretnénk az ökológia, az ökoszisztéma kifejezést eredeti értelmében megtartani

— Milyen a hazai ökológia kapcsolata a döntéshozókkal, az ipari szereplőkkel, a civil szervezetekkel? Miben kellene javítani, és mire lehetünk büszkék?

— A kapcsolatokat itthon a személyes ismeretségek dominálják. Kis ország vagyunk, nem sok szereplő érintett az ökológiában. Ugyanakkor az MTA Ökológiai Kutatóközpont, mint három intézetet is egyesítő nagy intézmény, óhatatlanul felkerül a nem tudományos szereplők térképére is. Amire büszke vagyok, az legalább két olyan kapcsolat, vagy inkább irány elindítása, melyekben személyesen is érintett vagyok. Az egyik a döntéshozatalt elvileg támogató elemzések elindítása, például annak felmérése, hogy melyek a legfontosabb természetvédelemhez kapcsolódó kutatási kérdések, de említhetném a most folyó környezeti jövőkutatás projektünket is a Corvinus Egyetemmel történő együttműködésben. Ezekkel a programokkal olyan stabil támpontot tudunk nyújtani a döntéshozóknak, amelyekre számos döntést alapozni lehet. A másik, a magyar kutatói részvétel az Európai Uniós és globális szakpolitikában, amiben nemcsak ökológusok, hanem a környezettel foglalkozó ökológus, geográfus, közgazdász, szociológus stb. kutatók is részt vesznek. A Millennium Ecosystem Assessment-ben, a Föld környezeti állapotát felmérő 2005-ben megjelent nagy felmérésben egy magyar sem vett részt, a most folyó munkákban azonban, az IPBES (Biodiverzitás és Ökoszisztéma-szolgáltatás Kormányközi Platform) égisze alatt viszont népes magyar csapatot üdvözölhetünk.

— Emlékszel még az internet előtti időszakra? Mi az, ami esetleg akkor volt jobb?

— Megfontoltabb, kevésbé kapkodós időszak volt a net és általában a számítógépek előtti élet. Most összevissza csapkodom az iPad-et a repülőn, majd otthon elolvasom, helyesírás ellenőrzővel javítom, amit megfogalmaztam. Régen tudni kellett, mit akarok leírni, átgondolni a mondatokat, és pontosan bepötyögni azt az írógépbe. Itt egy elütés is „végzetes" lehetett, igaz, szerencsére ezekbe a történelmi problémákba csak egyszer, a TDK-dolgozatomnál futottam bele. Az emberi kapcsolatokra is rányomja a bélyegét a sebesség — amíg postán mentek a levelek, lassabb volt a világ. Jobb vagy rosszabb? Inkább csak más. De, hogy az ökológiára térjek, mindaz a számítási, elemzési és oktatási lehetőség, ami lehetővé vált, mindenképpen hasznára van a tudomány haladásának.

— Mit mondanál egy gimnazistának, aki pályaválasztás előtt áll. Menjen ökológusnak?

— Megkérdezném tőle, hogy szereti-e az élővilágot? Szeret-e terepre menni? Meg akarja-e ismerni, érteni mindazt, amit lát a természetben? Ha ezekre igennel válaszol, azt mondanám: irány az ökológia! Ismerd meg az élővilágot, tarts otthon állatokat, járj ki szemlélődni a természetbe, olvass az élővilágról szóló munkákat — azaz merülj el az élővilág szépségeinek mérhetetlen tengerében!

— A hazai ökológiai kutatás felívelőben van. Mire lehetünk a legbüszkébbek és hol van még a legtöbb teendő?

— Büszkék arra lehetünk, hogy a magas szintű nemzetközi lapokban való publikálás a mindennapi rutin része lett. Amiben még le vagyunk maradva az, hogy ezekben a cikkekben még nem mindig mi vagyunk meghatározó szerzők, és hogy a nemzetközi nagy pályázatokban a partneri szerepből még nem teljesen nőttünk ki.

— Manapság igen sok helyen használják az ökológia kifejezést, sokszor igen furcsa összefüggésekben is. Kell, hogy ez zavarja az ökológusokat?

— Valóban, például az ökológia, az ökoszisztéma, a populáció kifejezések olyan környezetben is használatba kerültek, amelyek még csak köszönő viszonyban sincsenek a természettel, az élővilággal. A „corporate ecosystem" kifejezésre a kereső 37 millió találatot adott. Mi ökológusok persze szeretnénk a kifejezést eredeti értelemében megtartani.

— Most papírokat írsz alá egész nap. Ez beosztásodnál fogva érthető is. Azért, gondolom, néha még szívesen kimennél a terepre, nem?

— Talán a legfájóbb veszteség, hogy a csoportommal, a fiatalokkal a napi munkakapcsolat megszakadt. Nem jó ez senkinek. Terepre szinte sosem jutok ki. Az viszont igaz, hogy a limitált kutatásra szánt idő miatt csak a vezető lapokban követem a tudomány alakulását, így, ha kényszerből is, de nagyobb ívű a rálátásom, mint a részletekkel valóban foglalkozóknak.

— Mindannyian mellőznénk a bürokráciát, de senki sem tudja még csak érdemben *sem csökkenteni. Látsz reményt bármire ezen a téren?*

— Alapvető félreértés azt hinni, hogy ez a döntés az Ökológiai Kutatóközponton, vagy akár az Akadémián múlna. Szabályok és rendeletek felmérhetetlen serege zúdul ránk, nem mérlegelhető vagy eldönthető, hogy mit akarok és mit nem. Mindnek meg kell felelni. Ezek zöme ráadásul szokásos hivatalnokintézményre van szabva, így eleve nehéz a kutatói szabadság alkotmányban is rögzített jogával összhangba hozni.

AZ INTERJÚT KÉSZÍTETTE: JORDÁN FERENC

E SZÁMUNK SZERZŐI

DR. BATTA ANDRÁS zenetörténész, Liszt Ferenc Zeneművészeti Egyetem, Budapest; **DR. JORDÁN FERENC** ökológus, MTA ÖK Duna-kutató Intézet, Budapest; **DR. TELBISZ TAMÁS** egyetemi docens, ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézet, Budapest; **DR. NÉMETH KÁROLY** PhD vulkanológus, Massey Egyetem, Palmerston North, Új-Zéland; **DR. TÓSZEGI ZSUZSANNA** PhD c. egyetemi docens, ELTE BTK Könyvtár- és Információtudományi Intézet, Budapest; **VIDA KRISZTIÁN** csillagász, MTA CSFK Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet, Budapest; **DR. VOJNITS ANDRÁS** biológus, Budapest; **DR. ZÁVODSZKY PÉTER** fizikus, az MTA rendes tagja, MTA Természettudományi Kutatóközpont, Budapest;

Kolumbiában számos aktív vulkán emelkedik, bár azok általában kevessé ismertek a világ előtt. Ennek oka részben az, hogy kitöréseok kevéssé voltak drámai, mint más, Andok-beli vulkánokéi kitörése, vagy csak éppen az elmúlt évtizedek zavaros eseményei zárták el azokat a világ szeme elől. Kolumbia vulkánjai mind a Középső-Kordillerák hegyláncában húzódnak meg, legtöbbjük jóval 3000 méter feletti magassággal. A legnagyobbak és legmagasabbak vulkánok hóval fedettek, és a Föld leginkább laharokat produkálni képes vulkánjai, igen komoly vulkáni katasztrófaforrásként szolgálva.

Kolumbia geológiáját meghatározza a terület különleges lemeztektonikai helyzete. Területének jelentős része a tágabb értelemben vett Dél-amerikai-lemezen helyezkedik el, mely az ország keleti, dzsungellel fedett amazóniai területét adja. A Csendes-óceánhoz közeli régiók már a Nazca-lemezen, a karibi térség pedig a Karibi-lemezen található. E hármas lemezhatár mentén komplex lemezhatárzóna alakult ki aktív lemezmozgásokkal, földrengésekkel, gyors hegység-kiemelkedéssel és az azokhoz kapcsolódó trópusi lepusztulással, valamint aktiv vulkanizmussal. A három lemez közé szorítva keskeny geológiai zónákat lehet elkülöníteni (legalább húszat!), melyek története nagyban különbözik a három nagy lemez történetétől és egymástól is, jelezvén, hogy azok az évszázmilliók alatti komplex lemezmozgások hatására innen-onnan leszakadó, vagy éppen hozzáadódó lemeztöredékekből származnak.

Kolumbia legidősebb kőzetei keleten, a Dél-amerikai-lemez területén találhatóak, közvetlenül Amazónia vidékén, mely terület alapját paleoproterozoikumi

AZ ANDOK VÉGÉNÉL

Vulkánok között Kolumbiában

Kolumbia Dél-Amerika északnyugati csücskében, az Andok kontinenst átszelő hegyláncának végződésénél terül el, és igazi geológiai különlegesség. Bár az Andokról legtöbbünkben hatalmas vulkánok elevenednek meg, azokat jobbára Perutól délre helyezzük el. Kolumbia vulkánjai még az ecuadoriak mellett is kevéssé ismertek. Ez abból a szempontból érdekes, hogy a XX. század második legtöbb áldozatot követelő vulkáni katasztrófája éppen itt volt 1985 novemberében, mely egy teljes várost törölt el a Föld színéről.

(2500—1600 millió éve) kristályos kőzetek alkotják, tipikus ősi pajzsterületekre jellemző lapos, lepusztult, de sűrű trópusi esőerdővel fedve. Ez a terület alkotta az egykori Pangea nyugati partvidékét a paleozoikum (541—252,17 millió éve) idején, mely mentén keleti irányú szubdukció zajlott, az első ún. andesi szubdukciós ciklus. E folyamat során a mai Andok modern vulkánjaihoz hasonló rétegvulkánok sora jött létre, vulkáni ívet alkotva, illetve az alábukó óceáni kőzetlemezen szállított tengeri üledékek folyamatosan nyírodtak le a lemezről, lassan „hizlalva" az egykori pajzs területét. A mezozoikum hajnalán, a triász időszakban (252,17—201,3 millió éve) a kelet felé, a Pangea alá bukó óceáni lemez intenzív széthúzó erőt gyakorolt Pangea peremére, melynek kontinentális lemeze lassan kivékonyodott, széles kontinentális árkot létrehozva, melyet idővel elöntött a tenger.

A kainozoikumban (66 millió évtől) a mai Kolumbia területe eleinte lassú, majd gyorsuló kiemelkedésbe kezdett; az egykori szubdukciós fronttal párhuzamos, hosszanti tengermedencéket elsekélyesítve, majd azokat szárazulatta alkotva alakult ki a ma is látható, igen jellegzetes észak-déli lefutású geomorfológiai kép. A kiemelkedést nagyban elősegítette a növekvő kontinentális kéregbe benyomuló szilíciumgazdag olvadék, mely lassan kristályosodva, jellegzetes gránitbatolitokat hozott létre. A terület mai képe úgy 12 millió évtől kezdve, a miocén korszak derekán kezdett kialakulni. A Nyugati- és a Központi-Kordillerák alapvetően kristályos kőzetekből álló hosszanti hegylánc, mely kőzetek változatos metamorfózison is átestek, így a gránitok mellett gyakoriak a csillámpala és gneisz kőzetek is. A Keleti-Kordillerák magját idős kristályos kőzetek alkotjak, melyek szinte teljesen összegyűrt és átalakult kőzetekbe vannak gyűrve, jelezven, hogy ez a hegylánc „látta" a legtöbbet a geológiai erők harcából.

Az Andok területe és annak kiemelkedése a Nazca-lemez és a Dél-amerikai-lemez összeütközésére vezethető vissza. Az ütközés során a Dél-amerikai-lemez

Florencia kisváros az El Escondido vulkán kb. 33 ezer éves lejtőjén a krátertől alig 1 km-re települ. A város, a vulkán blokk- és hamuár-üledékein épült

az északi Karib-lemez alá lett „szorítva". E folyamat komplex vulkáni ívet hozott létre, illetve felelős Panama szárazulattá válásáért.

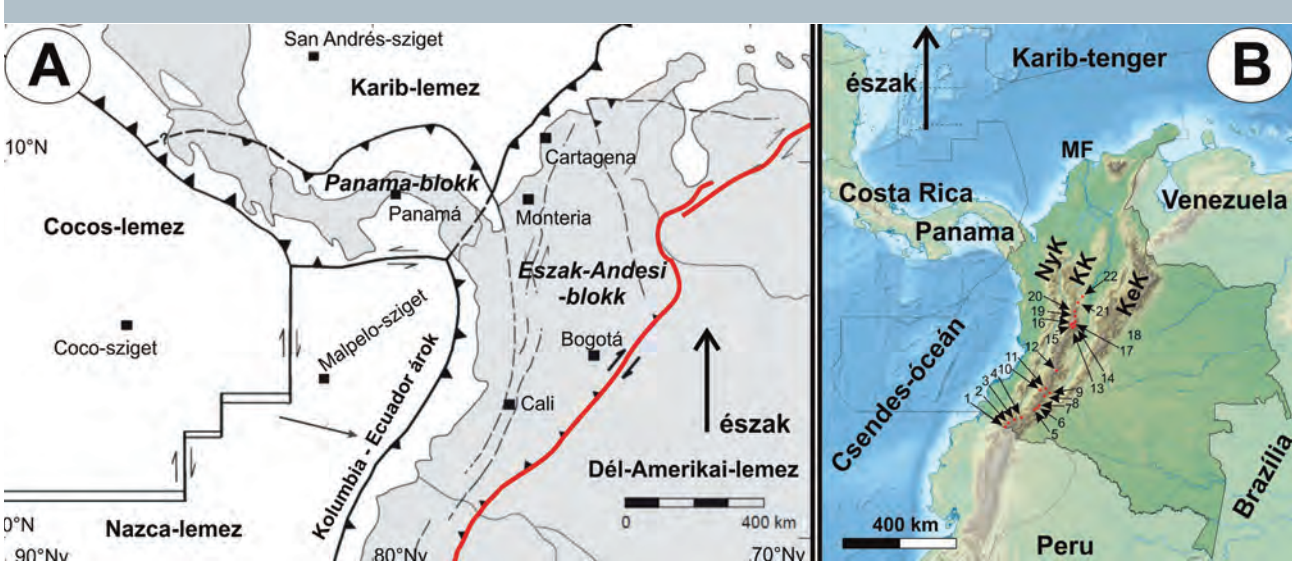
Ecuadortól északra az Andok három észak-déli csapású hegyláncra bomlik. E hegysor keleti része a Keleti-Kordillerák, mely a legfiatalabb kiemelkedés, mai hegylánc formáját a harmadidőszaktól (~65—33 millió éve) számítva kapta. A prekambriumi és paleozoikumi kristályos idős kőzeteit horizontális településű nyíltvizi üledékes kőzetek fedik, melyek a terület kiemelkedése előtt itt húzódó tengeri medencékben rakódtak le. Ez a geológiai kép határozza meg a hegylánc táblahegy jellegű morfológiáját.

A Központi-Kordillerák ezzel szemben egy sokkal aktívabb gyűrt hegység képét mutatják. A paleozoikumi magmás benyomulások, azok metamorfózisa és az intenzív tektonikai erők hatására igen változatos, igazi magashegységi képet alkotó zóna. A komplex felszínforma az alapja Kolumbia modern, ma is aktív vulkánjainak, melyek szinte mindegyike 3000 méter feletti területre települ.

Új aktív vulkánokat találtunk...

A dél-amerikai kontinens nyugati peremén húzódik az Andok, melyben számos hatalmas rétegvulkán, illetve kaldera van. Érdekes módon a vulkanizmus a szubdukciós lemezhatár mentén nem folytonos, hanem három jól elkülöníthető vulkáni zóna mentén koncentrálódik. A déli zóna Chile déli részét alkotja, ahol kb. 100 kilométerenként van egy jelentős, 4000 méter fölé emelkedő aktív rétegvulkán. A középső zóna Észak-Chile, Peru és Bolívia hármashatár-zónájában, az Altiplano területére esik, ahol a 4000 méter fölé emelkedő rétegvulkánok hatalmas ignimbrit-fennsíkokon ülnek, melyek valószínűleg óriási kalderákból, vagy hosszanti hasadékokból származnak. Az északi zóna Ecuador és Kolum-

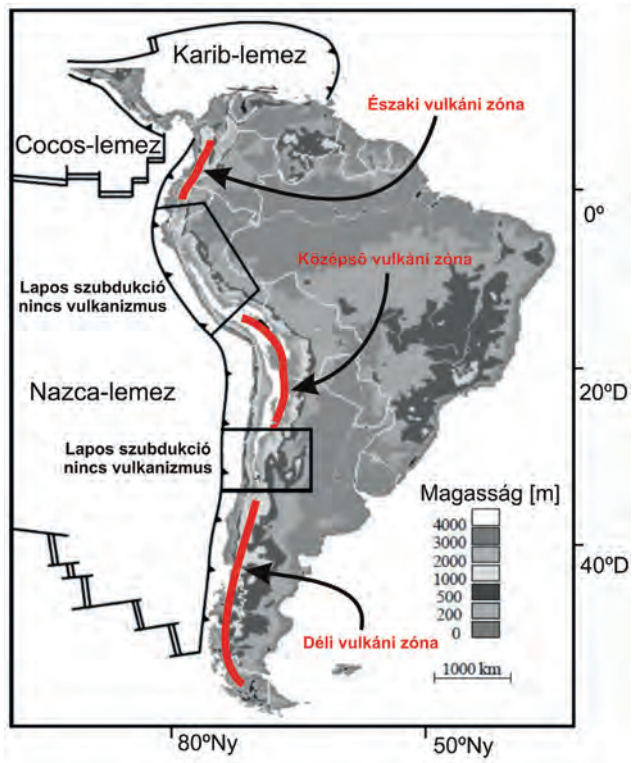
1. ábra. A) Kolumbia geotektonikai helyzete. A piros szerkezeti vonal jelöli a stabil dél-amerikai és az összetett észak-andesi blokk litoszféradarabok határát. B) Kolumbia aktív vulkánjai *(forrás: [http://volcano.si.edu/region.cfm?rn=15]):* Chiles- Cerro Negro, Cumbal, Azufral, Galeras, Dona Juana, Animas, Petacas, Cutanga, San Augustín-Isnos (vulkáni mező), Sotara, PuraceHuila, Cerro Machin, Nevado del Tolima, Quindio, Santa Rosa, Santa Isabel, Nevado del Ruiz, Cerro Bravo, Romeral, El Escondido, San Diego, MF – Magdalena-folyó; KeK – Keleti-Kordillerák, KK – Középső-Kordillerák, NyK – Nyugati-Kordillerák



bia területére esik. Míg az ecuadori vulkánok, mint a Cotopaxi, jól ismertek, Kolumbia 22 jelenleg számon tartott aktív vulkánjai közül leginkább a *Nevado del Ruiz* jut az eszünkbe, mely a XX. század második legtöbb emberáldozatot szedő 1985. novemberi katasztrófájával került be a történelembe. A többi kolumbiai vulkán viszonylag kevessé ismert. Mi több, két vulkán csak napjainkban lett aktívnak „ítélve". Az *El Escondido* és a *San Diego* vulkánok a Középső-Kordillerák sűrű dzsungellel fedett északi részén húzódnak meg, és bár korábban is ismert volt vulkáni eredetük, egészen az elmúlt évekig nem tekintették őket aktívnak. A Kolumbiai Geológiai Szolgálat szakemberei, *Maria Luisa Monsalve* vezetésével sikeresen mérték meg a korát az ezen vulkánokhoz köthető vulkáni üledékeknek, és azokat 20—35 ezer évesnek találták. További kutatások

Kráterközeli blokk- és hamuár-üledékek hatalmas dácitblokkokkal jelzik az El Escondido egykori működésének veszélyességét

soran az is kiderült (a szerző közreműködésével is), hogy ezek a vulkánok sokkal aktívabban, és jóval veszélyesebb vulkáni folyamatok során születtek, mint azt korábban gondolták, és mind az El Escondido, mind a San Diego vulkánokat „hivatalosan" is Kolumbia aktív és megfigyelésre ajánlott vulkánjai közé emelték. E vulkánok további érdekességgel is szolgálnak. Míg az El Escondido alapvetően lávadómokból épült fel, a San Diego leginkább egy hatalmas maarkráternek jellemezhető, melyben kisebb láva dóm(ok) is születtek. Mindkét vulkán esetében alapvetően savanyú, szilíciumban gazdag magma tört a felszínre, és heves ún. freatomagmás robbanásokkal kísért kitöréseket hozott létre, melyek a magma és a felszín alatti vizek robbanásos kölcsönhatásából táplálkoztak. Az El Escondido kráterének peremét vastagon fedi egy blokk-és -hamuár üledéksorozat, melyen az alig 300 éves Florencia városa is települ. Az üledékben, a kráterperem közelében több méteres hatalmas lávadarabok találhatók,



2. ábra. Vulkáni zónák a dél-amerikai kontinens nyugati peremén

melyek finomszemcsés hamumátrixban „úsznak", jelezvén a kitörés energiáját és pusztító jellegét. A Kolumbiai Geológiai Szolgálat igen nehéz helyzetben van, hiszen ezeket a geológiai tényeket Florencia lakóival közölni kell. A lakosok nagy része nem is gondolja, hogy városuk egy aktív vulkán lejtőjén, a kráterperem közvetlen közelében települt. Arról nem is beszélve, hogy a geológiai kutatások azt javasolják, hogy El Escondido, bár több kitörési fázisban épült fel, az mégsem hozott létre egy jellegzetes, több ezer éven át épülő rétegvulkáni felépítményt. A vulkán fejlődése három, jól elkülöníthető, katasztrofális robbanásos kitöréssel jellemezhető.

A San Diego vulkán esetében kicsit tisztább a helyzet. A helyi lakosok nagyjából tudják és értik, hogy egy vulkán oldalában élnek, mi több, a kráterét kitöltő tavat is mint vulkáni tavat említik. A legújabb koradatok viszont *Hugo Murcia* és *Carlos Borrero* munkája alapjan, hasonlóan Maria Luisa Monsalve kutatásaihoz, azt mutatták, hogy ez a vulkán is meglehetősen fiatal, kora az El Escondidoshoz hasonlóan a néhányszor tízezer éves skálán mozog. A San Diego esetében azonban felmerült, hogy alapvetően olyan vulkán, mely igazából csak egyszer működött (monogenetikus), mialatt a teljes vulkáni felépítményt létrehozta — viszonylag gyorsan (hónapok, évek alatt). A legújabb kutatások a szerző bevonásával is azt mutatják, hogy a vulkán sokkal bonyolul-

tabb szerkezetű, és valószínüleg az El Escondido-hoz hasonlóan nem túl sok, de biztosan egynél több jól lehatárolható, és gyors kitörések során épült fel. Ez az elmélet adta az alapját annak, hogy a Kolumbiai Geológiai Szolgálat az elmúlt években ezt a vulkánt is megfigyelésre ajánlotta és felvette az aktív vulkánok közé. Jelen kutatások azt is vizsgáljak, hogyan lehet e trópusi paradicsomot a geoturizmus szolgálatába állítani. Mivel a San Diego vulkán melletti San Diego városa Kolumbia történetének egyik legszomorúbb fejezeteit is megélt települése (belső politikai harcok, kabítószer-kereskedelmi központ stb.), az utóbbi években elért megbékélési folyamat újra felkeltette az érdeklődést a régió iránt. Mi több, újabb kutatások éppen azt vizsgálják, hogy a geoturizmus milyen szerepet vállalhat a regió megbékélési folyamataiban.

A geopark-koncepció kitűnően illeszkedik a kolumbiai megbékélési folyamathoz. Az 1960-as évek elejétől folyamatos fegyveres konfliktusokkal „színesített" kolumbiai történelem békés irányba történő megváltozásának igéretét hozta a 2016 november 29—30-án aláírt békeszerződés a fegyveres konfliktusok felszámolására. E majd 60 éve folyamatosan dúló háborút az éppen aktuális kolumbiai kormány, több kisebb fegyveres mozgalom, drogkereskedők és a baloldali, kommunista miliciák, mint a Kolumbiai Forradalmi Fegyveres Erők (FARC — Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia) vagy a Nemzeti Felszabadítási Hadsereg (ELN — Ejército de Liberación Nacional) vívták. A háborús konfliktusok jobbára a Középső-Kordillerák északi részére, Medellin városának közelébe estek. Ez annak következménye volt, hogy a klíma miatt ezen a területen lehetett a legjobb minőségű kábitószereket „termelni", itt volt a kávéültetvények jelentős része, illetve erre a területre esett Kolumbia ásványkincseinek jelentős része (arany, smaragd). Ezek mind olyan értékek voltak, amikhez ha bármely csoport hozzáfért, komoly bevételekre tehetett szert, ezzel is finanszírozva a háborúskodás költségeit. A terület a magashegyi környezetével, mély völgyeivel és trópusi esőerdővel borított hegyoldalaival kitűnő búvóhelyként is szolgált, szinte láthatatlan önálló mini államközösségek létrejöttét elősegítve. A terület ugyancsak az eldugottsága és megközelíthetettlensége miatt rengeteg igen szegény ember otthona is volt, akik így vagy úgy rákényszerültek, hogy valamelyik gerillacsoport védelmét „élvezve" annak dolgozzonak. Egész falvak süllyedtek mind mélyebbre a konfliktusokban, melyből a legtöbb embernek esélye sem volt kilépni. Egy-egy súlyos összetüzés alkalmával egész falvak lakosságát kínozták halálra a rivalizáló fegyveres csoportok. A konfliktus az elmúlt 60 évben szinte teljesen átláthatatlanná vált. Csak 1958 és 2013 között legalább 220 ezer áldozatról tudunk. A konfliktusok legnagyobb része a kezdeti kommunista, baloldali filozófiát hátrahagyva mindinkább a drogkereskedelem eszköze lett. A konfliktus alapvetően az 1948-as, Jorge Eliécer Gaitán populista politikus elleni merényletre vezethető vissza, mely pillanatok alatt megosztotta Kolumbiát. Az USA egyértelműen antikommunista, antibaloldali irányba akarta terelni Kolumbiát, mely folyamat válaszaként született a FARC. Nyílt fegyveres harcot szervezett az USA által támogatott kolumbiai kormány ellen. Kezdetben valószínűleg még viszonylag egyértelmű volt, ki ki ellen és miért is harcol. Az évek haladtával azonban a háború folytatáshoz egyre inkább szükséges lett a drogkereskedelemből származó bevételekre. Így a kezdeti baloldali ideológia által vezérelt háború egyre bonyolultabb, véresebb, és átláthatatlanabb káoszt hozott az ország középső részére. Ez igen szerencsétlen helyzetet teremtett, mert éppen ezen a területen találhatók Kolumbia legszebb, gazdaságilag is fontos területei. A cikkben is említett vulkánok jelentős része is itt talalható. Egészen 2016-ig többek között szinte lehetetlen volt eljutni a San Diego maarhoz, mely a fegyveres konfliktusok egyik gócpontja volt. Reménykeltő látni, ahogy a terület feléled a konfliktus okozta káoszból, és a természeti értekeinek azonosításával probálkozik az életet békés mederbe terelni. E folyamat fontos része a területen kialakítandó geoparkok hálozata.

A San Diego maar kráterpereme változatos alapi torlóár üledékek es freatomagmás hullott tefrarétegek sokaságából áll

A kb. 20 ezer éves San Diego maar egy komplex vulkán, melynek peremén egy lávadóm is felépült (balra)

Kolumbia óriásai

Kolumbia legismertebb vulkánja a *Nevado del Ruiz*, mely 1985 novemberében hatalmas laharjával pusztította el *Armero* városát, s annak 29 ezer lakosából 20 ezret. A Nevado del Ruiz 5311 méteres magasságával a hóhatár fölé emelkedik, és komplex lávadómokkal részben kitöltött kráterére jéggel és hóval fedett. Úgyan a geológiai története e vulkánnak viszonylag egyszerű, kisebb robbanásos kitörések és blokk- és hamuárak a leggyakoribb kitörési típusai. A nagy magasság és a rengeteg külső víz jelenléte miatt katasztrofális méretű laharokat is indíthatnak e kitörések a völgyek felé. Egy viszonylag kis térfogatú kitörés meleg hamuja gyorsan megolvaszthatja a havat és jeget, majd mint megfékezhetetlen iszapár zúdulhat a meredek és szűk kanyonokon át a Kordillerák hegyláncait észak-dél irányban elválasztó völgyek felé, mint amilyen a Magdalena-folyó völgye. Amint a kanyonokból kilép az iszap- és törmelékár, hatalmas alluviális legyezőket rak le. Armero is egy ilyen alluviális legyezőn települt, ahol a lakosok nagy része nem is sejtette, milyen veszélyes helyen élnek. Mivel Armero is csak alig néhany száz éves múltra tekint vissza, az emberek kollektív emlékezete sem figyelmeztetett, hogy természeti katasztrófák a földtörténeti múltban tucatjával történtek ezen a területen. Így 1985-ben, hiába volt néhány kezdeti információ e veszélyről, mind a hatóságok, mind a lakosok figyelmen kívül hagyták a geológiai tényeket. A Nevado del Ruiz viszonylag kis kitörése katasztrofális méretű lahart indított el, mely Armero nagy részet elpusztítva egy huszadik századi Pompejit hagyott maga után.

A Nevado del Ruiz 1985-os katasztrófája hirtelen rávilágított a vulkáni árak (blokk- és hamuár, lahar, vulkáni törmeléklavina stb.) emberi ésszel alig felfogható erejére és tájképformáló erejükre. A Nevado del Ruiz laharja után több kutatás is folyt Kolumbia óriásvulkánjain, s mind megdöbbentő kövétkeztetésre jutott. A Nevado del Ruiz mellett a *Nevado del Tolima* (5215 m), melynek az utolsó kitörése 1943-ban volt, is azt mutatta, hogy hatalmas lahar üledékekből felépített alluviális legyezőket épített fel az elmúlt néhány tízezer év alatt. Mi több, a Nevado del Tolima lahar üledékei a vulkántól több száz kilométerre is követhetők. Az elmúlt néhány tízezer évben olyan kitörések is voltak, melyek laharjai szinte órák alatt a Magdalena-folyó völgyének jelentős részét kitölthették, minden elpusztítva, betakarva. A Nevado del Ruiz és a Nevado del Tolima, együttesen legalább 500 000 ezer ember életre jelent veszélyt napjainkban.

A Nevado del Ruiz és Nevado del Tolima mellett azonban vannak olyan vulkánok is Kolumbia középső részén, melyek nemcsak a laharok miatt veszélyesek; kitöréseik elsősorban forró blokk-és hamuárakat és vagy horzsakőben gazdag ignimbriteket produkáltak. A Cerro Machín vulkán a maga 2650 méteres magasságával viszonylag alacsony vulkán, nincs hóval, jéggel fedve. Viszonylag kicsi a Nevado del Ruizhoz vagy Tolimához képest, és vulkáni szerkezete nem sokkal bonyolultabb, mint az újonnan felfedezett El Escondido vulkáné. E vulkán katasztrofális kitöréseiben azonban más játszik szerepet. A vulkán gyakran hatalmas robbanásos kitöréseket produkált blokk- és hamuárakkal, melyek az igen mély (akár 1000 méter), szűk és meredek falu kanyonokban gyorsan nagy távolságra jutottak, mindent felperzselve maguk előtt. A lerakódó üledékek rengeteg elszenesedett fatörzset tartalmaznak. Legújabb kutatások alapján, mely *Hugo Murcia* és a szerző együttműködésének eredménye, az is világos, hogy a vulkán maga többször freatomagmás robbanásos kitöréseket is produkált, bár nem igazán egyértelmű, hogy azok egy-egy nagyobb kitörés kezdetét vagy azok végét jelentették-e. Az viszont biztos, hogy a trópusi esőzések és a freatomagmatizmus jelenlete rengeteg nedves üledéket produkálhatott szinte minden jelentős kitörés után, megadva a kezdeti kondíciót, hogy később hatalmas laharok indulhassanak meg a völgyekben, szinte mindent maguk alá temetve. A Cerro Machín egyik legfiatalabb, igen komplex és nagy térfogatú kitörése alig 4000 éve történt. A vulkánból blokk- és hamuárak indultak meg, szinte teljesen kitöltve a Coello-folyó völgyét. A blokk- és hamuárak, ignimbritek olyan energiával zúdultak alá, hogy azok néhol hegynek fel is képesek voltak több tíz kilométeren haladni az Anaime és a Bermellon folyók völgyében. A folyamat eredménye az lett, hogy a völgyek jelentős vastagságú üledékkel lettek kitöltve. Ezek az üledekek a kitörés után nem sokkal hatalmas laharokat tápláltak, melyek a Coello-folyó völgyén keresztül egészen a Magdalena völgyéig képesek voltak lejutni. A folyamatos folyóvízi erózió nyomán, az elmúlt 4000 év alatt meredek falú kanyonok vágódtak be e fiatal vulkáni üledékekbe. E völgykitöltések viszont jó

A Combeima völgye a Nevado del Tolima vulkánból kiinduló ignimbritek es laharok „gyűjtőhelye”
(A SZERZŐ FELVÉTELEI)

talajt és megtelepedési pontokat biztosítva fantasztikus városok alapjait biztosította. A Coello-folyó völgyében található Cajamarca városa szinte felfoghatatlan földrajzi pozícióban, várszerűen megmaradt piroklasztit kitöltésen települ, bizarr látképet nyújtva. Kolumbia központi részének vulkáni területei amúgy is igen érdekes és különleges fekvésű városok sorának adnak otthont, mint Salento, a Középső-Kordillerák kulturális központja, Pereira, a kávé fővárosa, vagy éppen Ibague, mely egy hatalmas laharlegyezőn települ a Coello- és Combeima-folyók völgyében. Ezek a Cerro Machín és a Nevado del Tolima vulkánjainak lepusztuló vulkáni törmelékeit szállítják a Magdalena-folyó völgyében, időnként laharok, máskor csendes folyóvízi szállítás útján.

Az ismeretlen dél ...

Délen, az ecuadori határhoz közel található a híres *Galeras* vulkán, mely hírnevét egy tragédiának köszönheti. 1993 januárjában 6 vulkanológus és 3 turista vesztette életét a vulkán váratlan kitörése miatt. A tragédia iróniája, hogy éppen egy ENSZ által szervezett vulkanológiai konferencia volt a Galeras melletti Pasto városában ekkor. *Dr. Stanley Williams*, aki maga is e konferencián mint szekcióvezető vett részt, egy *ad-hoc* gázmintagyűjtő expedíciót szervezett a vulkánra, mely váratlanul kitört, és a kráterből kiröpített ballisztikus bombák találták el az expedició tagjait. E kutatás és a konferencia is alapvetően pont a Nevado del Ruiz tragédiáját követő sürgés-forgás eredménye volt, hiszen a Galeras a maga 4276 m magasságával és hófedte természetével potenciális „laharkeltő” vulkánként merült fel. Ez azért is volt sürgős, mert a régió központja, Pasto városa, és a majd félmillió lakos, akit a vulkán esetleges kitörése és laharja veszélyeztetni tudna, fontos volt a kolumbiai katasztrófavédelem számára.

Ugyancsak az ecuadori határhoz közel számos kevéssé ismert vulkán található, mint pl. az Azufral vagy Donna Juana. Ezek is jelentős méretű rétegvulkánok, de szinte minimális információval rendelkezünk azok kitöréstörténetéről. Most készül a Donna Juana vulkanológiai térképe Natalia Pardo vezetésével, mely talán az első modern térkép lesz egy az Etnánál is nagyobb igen komplex vulkánról. Hasonló a helyzet az Azufral vagy Purace vulkánok esetében is. A helyzetet e déli részeken bonyolítja, hogy a megbékélési folyamatok ellenére is több helyre egyelőre még nemigen ajánlatos utazni, mert szinte kideríthetetlen, kinek a birtokában is van a terület.

Összességében Kolumbia vulkanológiai paradicsom. Hihetetlen természeti szépségével, geológiai kuriózumaival, kulturális hagyatékaival a következő évtizedek fontos helyszíne lehet a vulkanológusok számára. Feltéve, ha a megbékélési folyamat nem akad el...

NÉMETH KÁROLY

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozom Maria Luisa Monsalve (Kolumbiai Geologiai Szolgalat, Bogota), Hugo Murcia és Carlos Borrero (Caldas Egyetem, Manizales) vulkanológusoknak, akik lehetővé tették az elmúlt két évben látogatásaimat Kolumbiában.

IRODALOM

Audemard FA (2014) Active block tectonics in and aroiund the Caribien: a review. In: Schmitz M, Audemard F, Urbani F (eds) El Límite Noreste de la Placa Suramericana - Estructuras Litosféricas de la Superficie al Manto (The Northeastern Limit of the South American Plate - Lithospheric Structures from Surface to the Mantle). Editorial Innovación Tecnológica, Facultad de Ingeniería-Universidad Central de Venezuela/FUNVISIS, Caracas, Venezuela, pp 25-74

Baxter PJ, Gresham A (1997) Deaths and injuries in the eruption of Galeras Volcano, Colombia, 14 January 1993. Journal of Volcanology and Geothermal Research 77(1-4):325-338

Egbue O, Kellogg J (2010) Pleistocene to Present North Andean „escape”. Tectonophysics 489(1-4):248-257

Egbue O, Kellogg J, Aguirre H, Torres C (2014) Evolution of the stress and strain fields in the Eastern Cordillera, Colombia. Journal of Structural Geology 58:8-21

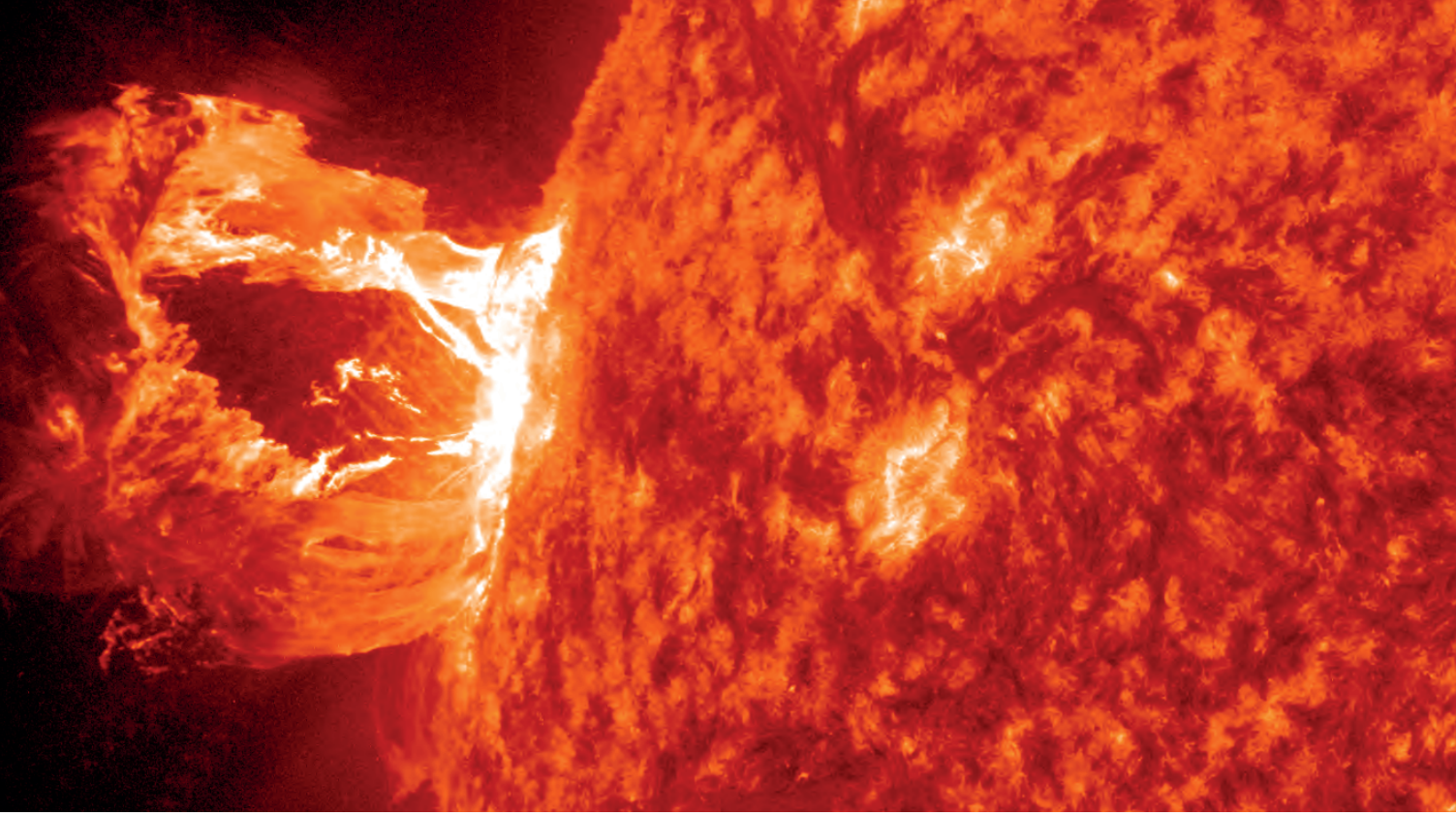
Giunta G, Orioli S (2011) The Caribbean Plate Evolution: Trying to Resolve a Very Complicated Tectonic Puzzle. In: Sharkov EV (ed) New Frontiers in Tectonic Research - General Problems, Sedimentary Basins and Island Arcs. InTech, Rijeka, p Ch. 10

Gregory-Wodzicki KM (2000) Uplift history of the Central and Northern Andes: A review. Geological Society of America Bulletin 112(7):1091-1105

Hermelin M (2016) Landscapes and Landforms of Colombia. In: Migon P (ed) World Geomorphological Landscapes. Springer, Heidelberg, Germany, p 219

Németh K (2006) Ha tűz és jég találkozik - A Déli-Andok lahart adó vulkánjain. Természet Világa [Budapest] 137(12 [december]):554-556

Velandia F, Acosta J, Terraza R, Villegas H (2005) The current tectonic motion of the Northern Andes along the Algeciras Fault System in SW Colombia. Tectonophysics 399(1-4):313-329



KITÖRÉSEK A NAPON ÉS MÁS CSILLAGOKON

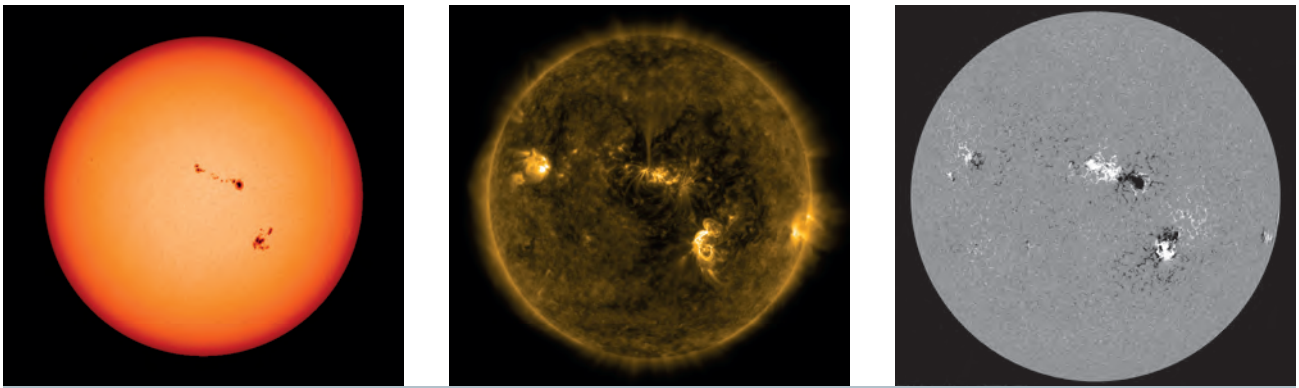
Aktív csillagok távcsővégen

A Nap felszínén megfigyelt aktív, nagy energiájú jelenségek vajon mennyire jellemzőek a távoli csillagokra? Roppant távolságuk egyáltalán lehetővé teszi-e a felszínükön zajló folyamatok megfigyelését? A csillagok aktivitásának kutatása nem pusztán asztrofizikai, de asztrobiológiai kérdésekre is válaszokat kínál.

Napunk aktivitása egy kb. 11 éves ciklus szerint változik. Az aktivitás maximumakor több mágneses eredetű napfoltot és napkitörést (flert) figyelhetünk meg. Ennek az aktivitási ciklusnak jelenleg a minimuma felé tartunk: a leggyengébb aktivitást 2019—2020 környékén várják a kutatók. Ez persze nem jelenti azt, hogy ilyenkor teljesen homogén lenne a Nap felszíne — erre jó példa a szeptember elején megjelent hatalmas „szabad szemes" (távcső nélkül, de természetesen megfelelő védőszemüveggel felszerelve is jól látható) napfoltcsoport **(1. ábra)**.

Ilyen aktív régiókhoz kötődnek egyes esetekben napkitörések is. Ezeket a legnagyobb mért fluxus alapján A—B—C—M—X osztályokba sorolják (az egyes osztályok között a fluxusbeli eltérés egy nagyságrend), az egyes osztályokat további 1—9 alosztályora bontják. Tehát ha például egy X2-es kitörésről olvasunk a hírekben, akkor egy igazán erős eseményről van szó. A flereket egyes esetekben a napkoronából való anyagkidobódás (későbbiekben koronakidobódás, *Coronal Mass Ejection* — CME) is kísérheti, amelyek nemcsak látványos műholdfelvételeket és sarki fényt hozhatnak létre, de kárt okozhatnak a műholdakban is, egészségügyi kockázatoknak tehetik ki az űrhajósokat vagy a pilótákat, és akár a földi elektromos hálózatban is zavart okozhatnak. Ez történt pl. 1989. márciusában, amikor egy napkitörés kilenc órás áramszünetet okozott Kanadában, a kitöréssel járó sarki fényt pedig az Egyesült Államok déli részein is megfigyelték.

Az általánosan elfogadott elmélet szerint ezeket a napkitöréseket egy mágneses átkötődésnek (rekonnexiónak) nevezett jelenség okozza **(2. ábra)**, amelynek során a mágneses tér szerkezetének átrendeződésével energia szabadul fel. Ez az energia fedezi a koronakidobódáskor távozó töltött részecskék mozgási energiáját, melyek sebessége jellemzően néhány tíz és pár ezer km/s között van a Nap esetében. A Napunkon viszonylag gyakran sikerül megfigyelni koronakidobódásokat: átlagosan 0,5—8-at naponta az aktivitás mértékétől függően.

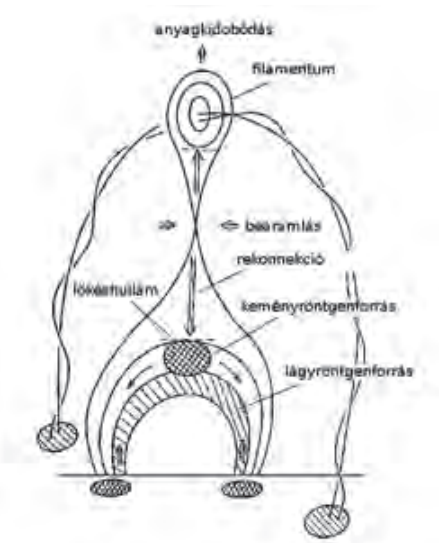


1. ábra. A Nap 2017. szeptember 5-én a NASA Solar Dynamics Observatory (SDO) képein, látható tartományban (fotoszféra), AIA 171Å szűrőn át (a napkorona alsó része) és a mágneses polaritásokat mutató magnetogramon.

Más csillagokon a flerek és koronakidobódások megfigyelése már jóval nehezebb, hiszen távolabb vannak és így sokkal halványabbnak látszanak, illetve a felszínüket sem tudjuk (egy-két esetet leszámítva) felbontani. Így a csillagászok kénytelenek közvetett információkra hagyatkozni. Az egyik lehetőség az adott csillag fotometriai monitorozása — ilyenkor a csillag fényességének változását figyelik meg — ez esetben a flereket egy igen jellegzetes fénygörbemintázat segít kimutatni: hirtelen felfényesedés, majd lassú elhalványodás. A fotometriai megfigyelés előnye, hogy viszonylag egyszerű műszerezettséget igényel, és gond nélkül mérhető a segítségével egyszerre több célpont is, így a kutatók könnyedén juthatnak hozzá hosszabb, éves vagy akár évtizedes idősorokhoz is. A fotometriai úton gyűjtött adatokon statisztikai vizsgálatok is elvégezhetők. Ezen okok miatt az űrobszervatóriumokra (pl. CoRoT, Kepler) is inkább a fotometriai adatgyűjtés jellemző.

A csillagokon a mágneses aktivitás erőssége, így a flerek gyakorisága is elsősorban a rotáció mértékétől függ, gyorsan forgó csillagokon gyakoribbak és erősebbek a kitörések. Azonban a Kepler-űrtávcső mérései alapján kimutatták, hogy még egy Nap-típusú, lassan forgó csillagon is 800—5000 évente várható egy szuperfler (ezek a Napon megfigyelt legnagyobb kitöréseknél mintegy 10 000-szer erősebbek) [3][4].

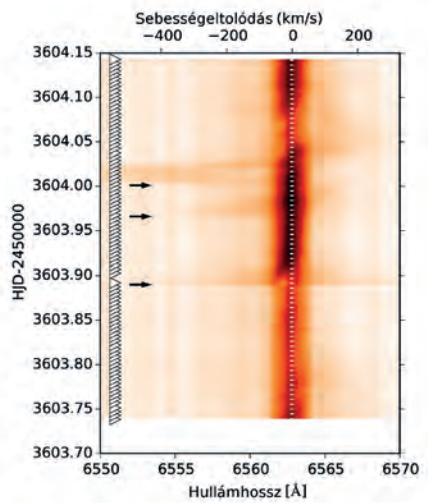
Koronakidobódásokat azonban csak spektroszkópiai úton lehet kimutatni, hiszen csak így szerezhetünk bizonyítékot arra, hogy a csillagból az energiafelszabadulás mellett anyag is távozik. Ez esetben leggyakrabban a hidrogén 6563Å hullámhosszon található, ún. Hα vonalát figyelik meg, amely a kromoszféra (a csillag felszíne és a korona közötti réteg) aktivásának egyik legfontosabb indikátora. A Hα vonal emissziójának megerősödése vagy egy emissziós mag megjelenése flerre utalhat. Egy anyagkidobódás pedig — a Doppler-eltolódás miatt — általában a vonal kék szárnyának megerősödéseként (hiszen a megfigyelő felé közeledő anyagról van szó), vagy egy kis emissziós csúcsként jelenik meg. Ezt figyelhetjük meg a **3. ábrán**, egy törpecsillagon lezajló koronakidobódás közben. A színkódolás a spektrum intenzitását jelzi: a sötétebb árnyalatok nagyobb vonalintenzitást jelentenek. A 6563Å-nél látható jelenség a csillag emisszióban levő Hα vonala. Nyilak jelzik a kidobódás eredményeként megjelenő Doppler-eltolódott emissziós csúcsot. Látható, hogy az anyagkidobódással együtt a Hα vonal is megerősödik. A két kezdeti gyengébb kitörést egy harmadik, erősebb követi, amely már biztosan átlépi a szökési sebességet (csak a sebesség látóirányú vetületét tudjuk mérni)[5].



2. ábra. A flerek kialakulásának klasszikus modellje [1].

Ha a távolodó anyagot még a csillagkorong előtt sikerül megfigyelni, a jel abszorpcióként látható. A megfigyelhető eltolódás nagysága mindig a kidobódó anyag sebességének látóirányú vetületével arányos, azaz akkor a legnagyobb, ha a kidobódott plazma éppen a megfigyelő felé halad, egyéb irányokban gyengébb lesz. A megfigyelt sebességek jellemzően néhány száz és néhány ezer km/s között változnak.

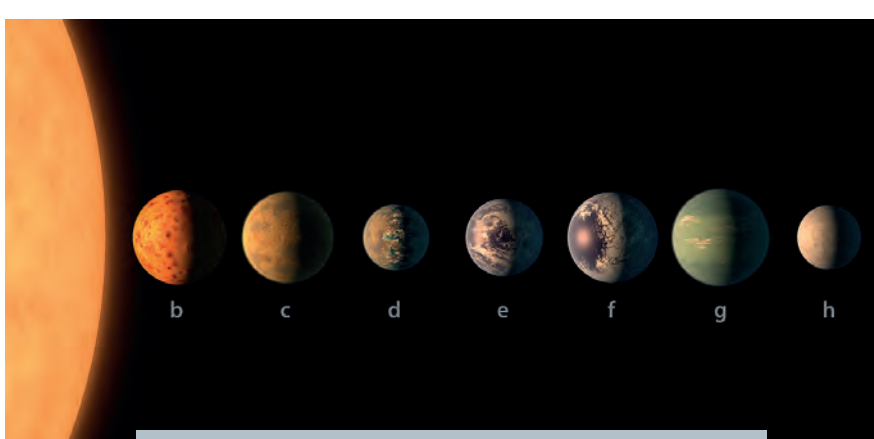
Jelenleg a Napon kívül mindössze néhány koronakidobódást sikerült megfigyelni. Ennek az egyik oka



3. ábra. Koronakidobódás egy gyorsan forgó M típusú törpecsillagon. A vízszintes tengely a hullámhosszat, a függőleges az időt mutatja napokban.

magának a megfigyelésnek a nehézsége: folyamatos, jó minőségű spektroszkópiai mérések szükségesek, ráadásul jó időfelbontással, hiszen a kitörések időskálája mindösszesze néhányszor tíz perc. A mérendő objektumok azonban legtöbbször halványak, így ezek a megfigyelések már nagy távcsöveket igényelnek. A kitörések maguk sporadikusak, nem tudjuk előre jelezni őket, így előfordulhat, hogy az e célra elnyert egy-két éjszakányi műszeridővel nem sikerül egy eseményt sem mérnünk. Emellett, mivel a kitöréseknek csupán a vetületét tudjuk mérni, leginkább a látórányú kidobódásokról tudunk információt gyűjteni. A jelenlegi ismereteink arra utalnak, hogy még így is jóval kevesebb koronakidobódást látunk más aktív csillagokon, mint amennyit a Nap aktivitása alapján, az aktívabb csillagokra átskálázva várnánk. Érdekes, hogy valamennyi eddig ismert koronakidobódást — a Napon kívül — M színképtípusú (a Nap kb. 6000 K-es felszíni hőmérsékletéhez képest hideg, kb. 2—3000 K fokos felszíni hőmérsékletű) csillagokon mérték, és valamennyi mérés emisszióban volt látható. Lehetséges, hogy azért nem látjuk ezeket az eseményeket, mert valóban kevesebb volna belőlük? Egy elmélet szerint lehetséges, hogy épp az erős mágneses tér, amely magát az aktivitási jelenségeket is létrehozza, gátolja meg a koronakidobódásokat. A kidobódó anyag ugyanis forró plazma, amely a magnetohidrodinamika törvényei — az ún. befagyási tétel — alapján (ideális esetben) csak a mágneses erővonalak mentén mozoghat. Így előfordulhat, hogy a csillag légkörét is átszövő erős mágneses tér meggátolja az anyag távozását a felszínről, hasonlóan a Nap sikertelen erupcióihoz. E modell szerint ezeken a csillagokon valóban csak a legerősebb kitörésekhez kapcsolódhatnak koronakidobódások[8]. A jelenlegi mérési adatok azonban még hiányosak ennek a kérdésnek az eldöntéséhez.

A távoli csillagokon megfigyelt kitörések több szempontból is érdekesek a kutatók számára. Egyrészt a jelenség működésének alaposabb megismerése fontos lehet a Napon történő események előrejelzése szempontjából, amelynek igen fontos gazdasági és társadalmi hatásai lehetnek. Másrészt azonban a csillagaktivitás egy kulcsfontosságú tényező lehet a más bolygórendszerekben jelen lévő élet keresése szempontjából. A késői hűvös, vörös törpecsillagok ugyanis kiemelt célponjai az ilyen jellegű kutatásoknak. Ennek az az oka, hogy az ún. lakható zónában található bolygót (azaz ahol folyékony víz tartósan jelen lehet a felszínen) technikai okok miatt jelenleg az ilyen típusú csillagok körül a legkönnyebb megtalálni. Az exobolygók a hideg csillagok mellett nem csak erősebb jelet mutatnak például egy fedéskor (egy Föld-szerű bolygó egy nagyobb méretű, fényesebb csillag előtt elhaladva sokkal kisebb relatív elhalványodást okoz), de a csillag kis méretéből adódóan a rövidebb keringési idő miatt is könyebb kimutatni, hiszen így kevesebb műszeridő szükséges a detektáláshoz és az azt követő megerősítő mérésekhez. Egy Nap—Föld-szerű rendszer esetében egy ismételt detektáláshoz értelemszerűen egy évet kellene várni, míg egy M-törpecsillag (amelyeknek az átmérője 0,1—0,6 napátmérő, a tömege 0,1—0,6 naptömeg között van) körüli exobolygó jellemző keringési ideje néhány nap. Azonban e csillagoknak egy jelentős része mutat mágneses aktivitást, amely sokkal komolyabb veszélyeket rejthet annál, mint amit a Nap aktivitása jelent a földi életre: egyrészt



4. ábra. A NASA által 2017 elején közzétett TRAPPIST-1 exobolygórendszer fantáziarajza. A központi csillag egy Jupiter méretű ultrahideg vörös törpe, távolsága 40 fényév. A hét kőzetbolygó közül 3 a lakható zónában kering, így felszínükön tartósan megmaradhat a folyékony víz.

maguk az események is nagyobb energiával bírnak, másrészt pedig a bolygók is közelebb vannak a központi csillaghoz, így jóval nagyobb lesz az őket érő káros sugárzás és részecskeáram. Mindezek a körülmények a közvetlen sugárzás mellett hosszú távon akár a bolygók légkörének erodálásához is vezethetnek, lakhatatlanná téve így azokat. Ezekre a lehetséges kölcsönhatásokra egy remek példa a TRAPPIST-1 rendszer **(4. ábra)**, amely körül nemrégiben több Föld-szerű bolygót is kimutattak a lakható zónában[6]. A Kepler űrtávcső K2 programjában mért fénygörbe azonban számos flerre utalt. Bár lehetséges, hogy a bolygók légköre elnyeli a káros ultraibolya sugárzást, és annak csak kis része éri el a felszínt, a kitörések ereje arra enged következtetni, hogy a TRAPPIST-1 bolygóinak légköre folyamatos változásban lehet. Számítások szerint azok több tízezer év alatt nyernék csak vissza a nyugalmi állapotukat, azonban az erős flerek ennél gyakoribbak, ez pedig az élet kialakulása illetve fennmaradása szempontjából nem előnyös. Az sem valószínű, hogy a bolygókat hatékonyan megvédhetné a mágneses terük ekkora flerektől, hiszen ahhoz a földinél több nagyságrenddel erősebb térre lenne szükség. Persze ezek az események önmagukban nem zárják ki az élet lehetőségét, hiszen egyrészt a Földön is ismerünk számos élőlényt, amely képes elviselni extrém körülményeket, másrészt elképzelhető, hogy az élőlények valamilyen módon védekezni tudnak a káros hatások ellen, azonban ezek a körülmények nehezebbé teszik majd a biomarkerek kimutatását az exobolygókon[7].

VIDA KRISZTIÁN

IRODALOM

[1] Shibata, K. és mtsai. „Hot-Plasma Ejections Associated with Compact-Loop Solar Flares", 1995, Astrophysical Journal, 451, L83

[2] Robbrecht, E., Berghmans, D., & Van der Linden, R. A. M. „Automated LASCO CME Catalog for Solar Cycle 23: Are CMEs Scale Invariant?" 2009, Astrophysical Journal, 691, 1222

[3] Maehara, H. és mtsai „Superflares on solar-type stars". 2012 Nature, 485, 478

[4] Shibayama, T. és mtsai „Superflares on solar-type stars observed with Kepler I. Statistical properties of superflares." 2013 Astrophysical Journal Supplement Series. 209, 5

[5] Vida, K., Kriskovics, L., Oláh, K. és mtsai. „Investigating magnetic activity in very stable stellar magnetic fields." 2016, Astronomy & Astrophysics, 590, A11

[6] Gillon, M., és mtsai. „Seven temperate terrestrial planets around the nearby ultracool dwarf star TRAPPIST-1" 2017, Nature, 542, 456

[7] Vida, K., Kővári, Zs., Pál, A., és mtsai. „Frequent Flaring in the TRAPPIST-1 System—Unsuited for Life?" 2017, Astrophysical Journal, 841, 124

[8] Drake, J. J., és mtsai. „Stellar flares and the dark energy of CMEs" 2016, Solar and Stellar Flares and their Effects on Planets, 320, 196

PÁRHUZAMOS TÖRTÉNETEK

Barázdák a Föld arculatán – kanyonok

Sziklafalak között húzódó mély völgy, melyet gyakran folyó vájt ki korábbi földtörténeti korszakokban, és általában recens vízfolyás van a fenekén — nagyjából ez a kanyon. Spanyol eredetű elnevezés, mely nem sokat változott a különböző nyelveken: nem kell nyelvzseninek lennünk, hogy a cañón szóból származtassuk a kanyon vagy canyon kifejezést. A keményebb, illetve a puhább kőzetek eltérő eróziója lépcsős partfalakat, sajátos sziklaalakzatokat eredményez. Megtörténhet, de nem feltétele a kanyon kialakulásának, hogy a felszín — általában fennsík — mindeközben kiemelkedik, ami befolyásolja a folyó munkálkodását. Száraz időjárású vidékeken gyakoribbak, jobban megmaradnak a kipreparált sziklák, különös formák. Külön történet a föld alatti kanyonoké. A folyamat első felvonása valójában jól ismert a barlangok kialakulásából: mészkőhegységekben a felszín alatti víz járatokat hoz létre. Ha ezek nincsenek túl mélyen, mennyezetük előbb-utóbb beomlik, és meredek falú árokrendszer tárul a szemünk elé.

A mély kanyonok valóságos geológiai feltárások. Millió, százmillió, sőt milliárd évek kőzetrétegei regélnek a földtörténeti múltról, legalábbis a geológusoknak. A múlt megfejtése azért nem olyan könnyű, mert a rétegek kimozdulnak eredeti helyzetükből. A paleontológusoknak is van mit keresniük, régmúlt idők élőlényeinek megkövesedett és eltemetett maradványai, fosszíliái szabadulnak ki börtönükből. Nem maradnak kenyér nélkül a régészek sem; az egykor a kanyonokban, illetve környékükön élő népek sziklalakásai a valamikori tárgyi és szellemi kultúráról mesélnek.

És hogy melyik a legnagyobb kanyon? Nehéz megmondani. Másmilyenek a fennsíkot átszelők — egyébként ezek a leglátványosabbak, és az alábbiakban ennek a típusnak két képviselőjét fogom bemutatni —, mint az eleve magas hegyek között kanyargók. Vannak olyanok, pl. a Himalájában, amelyeket a nehéz és mozaikos

terep miatt eddig még nem is nagyon tudtak felmérni. Mindenesetre érdekes, hogy a Wikipedia szerzői a legnagyobbak közé többségében ázsiai kanyonokat soroltak, és véletlenül sem a „mieinket". Első helyre a tibeti Jarlung Cangpo folyó hasonnevű kanyonja került, ezt követi a nepáli Kali Gandaki, a tibeti Polung Cangpo, a perui Cotahuasi és az etiópiai Tekezé kanyon. De ha a számszerűsíthető jellemzők mellett a látvány, a szemlélőre gyakorolt hatás és a „hírnév" is számít, minden bizonnyal nem a fentiek, hanem a Grand Canyon és a Fish River Canyon (nyitóképünkön) lesznek a nem csak geometriai értelemben vett legnagyobbak. No és persze ezt a kettőt jártam be. Mi tagadás, fontos szempont.

A Grand Canyon történetének megismerése az észak-amerikai kontinens fejlődéstörténetéről lebbenti fel a fátylat

A kanyonok etalonja

Ha Észak-Amerika, akkor a lányom. Mármint ő az útitársam, vagy inkább én az övé, hiszen ilyenkor az autó anyósülésén van a helyem. Houstontól — ahonnét indulunk — északra, északnyugatra a síkság lassan emelkedik, a felszín enyhe hullámokat vet, dombok, sziklák törik meg az egyhangúságot, majd megint síkság következik, de már nagyobb tengerszint feletti magasságon. Ez a táj a préri, a „végtelen síkság". Óriási farmok, megyényi szarvasmarhatartó gazdaságok, gyapotföldek, szélkerekek. Sweetwater körzetében van a világ legnagyobb szélerőmű-telepe, Don Quijote beleőrülne a látványba. Mindenütt olajkutak bólogatnak, az olaj szagát az autóban is érezni. Fantasztikus kinézetű vadnyugati városkák és piszkosszürke raktárvárosok váltogatják egymást. A műút két oldalán 2x2 sínpár, a tehervonatok olyan sűrűséggel járnak, mint a budapesti nagykörúton a villamosok. Az egyik szerelvény — megszámoltam — 136 vagonból áll, 6 mozdony húzza és tolja. A kimondhatatlan nevű Albuquerque városig jutunk: ezen a napon 1450 kilométert teszünk meg. Amerikai méretek és viszonyok. Másnap „csak" 700 mérföldet, aztán rájövök, ez sem sokkal kevesebb, állandóan ide-oda konvertálom a kilométert és a mérföldet. A fogyasztás kiszámítása még kacifántosabb. Nemcsak mert gallonban mérik a benzint és többféle gallon létezik, hanem mert az Államokban azt szokás megadni, hogy egy gallonnal hány mérföldet fut a kocsi. Eközben a táj változik is meg nem is. A síkságot homokkőalakzatok, félsivatag, majd megint síkság követi. Fenyvesek kerülnek elő látszólag a semmiből, hogy aztán el is tűnjenek — majd csak a kanyonnál találkozunk ismét velük. A tehervonatok egyre hosszabbak, mellettük vezetékek — áram, olaj, gáz, víz és ki tudja, mi még — sok száz kilométeres szövevénye, erőművek és megint csak szélkerekek. Az út mentén indián shopok, valódi és ál-emlékek, vigvamnak álcázott üzemanyag-állomások és totemoszlopok: errefelé a valamikori őslakos törzsek nevét mindenütt feltüntetik. Elhúzunk a Meteor-kráter Park mellett, ami önmagában is megér egy misét. A távolban havas hegyek sziluettje, a Grand Canyon az előtt van, bár még nem látszik.

Hideg reggelre ébredünk, -13 fok, a houstoni szubtrópus után megrázó élmény. A parkbelépő olcsó, autónként 25 dollár, függetlenül az utasok számától, és egy hétig érvényes, korlátlan ki- és behajtással. A shuttle járatok ingyenesek; ezek a szép és tiszta buszok sűrűn ingáznak, és sok helyen megállnak. Tulajdonképpen saját kocsi nélkül is végig lehet járni a kanyon peremét. Néha mi is buszozunk, mert van, ahová magán gépkocsit be sem engednek. Télen az Északi-perem lezárva, csak a Déli-perem járható. A turistaszekció központja a Grand Canyon Visitor Center, ettől keletre indul a hosszabb Desert View kilátó út — úgy 40 km lehet —, ellenkező irányba a Hermit Road. Vannak jól kiépített gyalogutak, meg sziklafalba vájt mászó ösvények, ezek egyikén előttünk gurul le egy srác a következő peremig. Nyomban el is határozzuk, kerülni fogjuk az alpesi technikát igénylő szakaszokat. A legjobb, leglátványosabb helyeken korláttal biztosított ki-

Ahogy előtünk „lépcsőről lépcsőre" kitárul a táj, tekintettünk évmilliók eróziós munkálkodásának páratlan alkotásán pihen meg

látópontok vannak. Japán lakóinak fele itt nyüzsög (nyáron meg még annál is több), úgyhogy átlépem a korlátot, hogy szabad kilátásom legyen. Addig hátrálok, tekintetemet a kanyon varázslatos falára függesztvén, mígnem rám szólnak, hogy ideje lenne megállnom. És valóban, még pár lépés, és szabadeséssel landolnék a kanyon fenekén. Ahová amúgy „normális" módon sem könnyű a lejutás. A kanyonfenék bejárása maga a veszedelem, szélmentes időszakban a hőség elviselhetetlen, és mivel a folyó vize nem iható, a túrázónak magával kell cipelnie az ivóvizet. Mégpedig nem is keveset, ha életben akar maradni. Máskor meg éppen hogy sok a víz, váratlan zivatarok után a kanyonban végigsöprő áradás elevent és holtat magával ragad.

A csodák földje — így nevezi Juhász Árpád a Cascade-hegységtől nyugatra fekvő fennsíkok és medencék döbbenetes geológiai panoptikumát. Valamikor egyveretű volt a táj, és meglehet, évmilliók múltán megint az lesz, de most messze nem az. Az Arches Nemzeti Park területén mintegy 1500 sziklatorony és sziklakapu található, a Canyonlands és a Bryce Canyon Nemzeti Park neve magáért beszél, és folytathatnám a sort. De mind között a Colorado Grand Canyonja — a Niagara mellett — a legismertebb természeti érték az Egyesült Államokban. A 2400 km hosszú folyó 4000 méter körüli magasságban, a Sziklás-hegység kontinentális vízválasztója közelében, a La Poudre-hágónál ered, hogy aztán a Kaliforniai-öbölbe ömöljön. Közben átverekszi magát a Mojave- és a Sonora-sivatagokon, és nem vész el bennük, mert a magas hegységek olvadó hómezői elegendő vízutánpótlást adnak. Nem tűnik nagy folyónak, átlagos szélessége középső folyásánál sem több 90 méternél, viszont sok helyen 30—35 méter mély. Története során többször is akadályba ütközött, így például 2 millió évvel ezelőtt egy vulkánkitörés bazaltláva és vulkáni hamu tömege állta útját. A lávafolyam 700 méter magas természetes gátat épített, és jó 300 kilométer hosszan visszaduzzasztotta a folyót. Ugyan a Colorado „átrágta" magát a kőzetrétegeken, de máig itt a legsebesebb a folyása.

Az égnek meredő sziklatornyok és mély szakadékok áttekinthetetlen labirintusának olyan hatalmas a mérete, hogy még az űrből is látható — olvashatjuk sok leírásban. Ez persze önmagában nem sokat jelent, az „űr" nincs is olyan messze, de az már igen, hogy a völgy 440 km hosszú, közel 30 km széles és 1200—1800 méter mély. Van, ahol függőleges falai belehasítani látszanak a földgolyó kérgébe — és tényleg, a Colorado ötmillió év alatt földkérgünk kétmilliárd éves történetét tárta fel. Minél mélyebbre ereszkedünk, annál régebbi rétegekre bukkanunk. A felszínhez közeli fosszíliák ősi tengeri elöntés emlékei, legalul pedig nagyon régi hegylánc maradványai helyezkednek el. A mára másfél

A kőzetekbe ágyazódott ősmaradványok közül sok – legalább is a mi számunkra – logikátlan topográfiai és kronológiai sorrendben helyezkedik el, újabb és újabb fejtörést okozva a kutatóknak

Hogyan tudott egy ilyen aránylag kis folyó ekkora változást okozni a felszínen? Mert a Colorado nem túl nagy, nem is különösebben gyors vizű, és nem is mindig arra és úgy folyt, mint ma. A kanyon kialakulásában tektonikus mozgások is szerepet játszottak

kilométeres mélységbe került Vishnu Schist hegyvonulat egykor 9 és fél kilométeres magasra tört. Ekkor a ma ismert Észak-Amerika déli része még nem létezett, és a nyugati partvidék is jóval beljebb húzódott. A hegylánc az óceánból emelkedett ki a partok mentén, de 500 millió év alatt szinte teljesen lepusztult. A tenger szintje többször változott, az alacsonyabban fekvő területeket legalább nyolcszor elöntötte a víz, és mindez más-más kőzetek és élővilág kialakulásával járt. Persze a történéseket geológiai léptékkel kell elképzelni, a „fiatal" és gazdag osztrigatelepek maradványai pl. százmillió évesek. A sekély tengerben voltak hosszú nyakú, halevő hüllők, cápák, teknősök és sok más élőlény.

Az erózió mellett a tetemes hőingadozás is szerepet játszott a kanyon kialakulásában. Télen a víz megfagy a repedésekben, kitágítja azokat, a meglazult kőzetanyagot aztán a tavaszi árvíz elszállítja. A puhább kőzetek kevésbé ellenállóak, a kemény rétegek függőleges falakat alkotnak, a kanyon falai ezért lépcsősek. Az utolsó 10 millió évben a „rés" gyorsabban szélesedett, mint mélyült, úgyhogy a távoli jövőben a grandiózus táj helyén unalmas síkság lesz, melynek közepén tekergődzik majd a Colorado. Ez a tulajdonképpen kicsiny folyó, amely a terület megemelkedése idején elkezdte belevájni a kanyont a felszínbe, szinte kettészelte a tájat. Persze az a folyó nem ez a folyó volt, hanem ennek az őse. Sőt, a hordalék, a víz által szállított kavicsok lekerekítettsége és anyaga, továbbá az, hogy a hordalék milyen irányban fekszik a folyóágyban, és alkotó részei hogyan halmozódtak egymásra, arra utal, hogy egykor nem északnyugat-délkeleti, hanem éppen fordított lehetett a folyásirány. Mi több, eredetileg nem is itt folyt, hanem úgy 6 kilométerrel odább. Megvan az a meder is, csak éppen „üres". Ennek magyarázata a földkéreg lemezeinek mozgásában, emelkedésében, süllyedésében és megdőlésében rejlik. A folyó korát a fosszíliák, ősmaradványok árulják el. Ezek afféle kőzetekbe beépített kronométerek; egy adott fosszília vagy fosszília-együttes bizonyos földtörténeti időszakokra volt jellemző, és ahol ilyeneket találunk, következtethetünk az elmúlt évmilliók sorára. Esetünkben egy apró foraminifera, likacsos héjú egysejtűek tömege az „áruló": ezek szerint legalább négy és fél, és legfeljebb öt millió éves lehet a jelenlegi folyó. A Colorado-fennsík viszont 65 millió évvel korábban már 1800 méter tengerszint feletti magasságba emelkedett,

A kanyon északi és déli pereme nincs egyenlő magasságban. Északon magasabb a perem, a Kaibab-plató és a legalacsonyabb pont között a szintkülönbség meghaladja az 1800 métert. A déli perem 300—400 méterrel alacsonyabb. Az északi oldal több csapadékot is kap, az évi átlag meghaladja a 700 mm-t, míg délen nem éri el a 350-et. A kanyon mélye száraz, évente mindössze 170 mm eső esik. Nemcsak az évszakok, hanem magasság szerint is nagy a hőingadozás. A fennsíkon a hőmérséklet nyár derekán sem több 20—25 °C-nál, míg lent, a kanyon alján meghaladja a 40 °C-t. Február a leghidegebb hónap, ekkor a mélyben 0 °C körül mozog a hőmérséklet, fent kemény fagyok vannak. Hó leginkább az északi peremet borítja.

> „E mesterművet korok vésője faragta, jobb már nem lehet, s az ember csak tönkreteheti."
>
> *Theodore Roosevelt elnök sorai a Grand Canyonról*

A Grand Canyont 1908-ban nemzeti emlékhellyé, majd 1919-ben nemzeti parkká nyilvánították. Területén hozzávetőleg 100 emlős-, 250 madár- és 50 hüllőfaj él. Hegyi mormotákat, ürgéket, különféle amerikai varjúféléket, mókusokat és füles amerikai szarvasokat a turisták is gyakran láthatnak. A fő attrakció az Államok címerállatának, a fehérfejű rétisasnak időnkénti felbukkanása, de mindenekelőtt a kaliforniai kondor fészkelése. Puma már inkább csak a prospektusok lap-

jain található, csörgőkígyó viszont még akad, erre tábla is figyelmeztet. A sziklafalakon sokféle növény él. A felső régióban gyakori a sárgafenyő és egy cserjetermetű tölgy, lejjebb pinionfenyők és borókák közt haladunk, az időjárásnak kitett sziklákon ürömfélék dacolnak az elemekkel. A kanyon alján szamarak kóborolnak — ezek persze nem őshonosak, hanem az aranyászók által kicsapott állatok utódai —, nyulak futkároznak, és vastagszarvú vadjuhok mutatják be akrobatikus képességeiket. A kanyontól északra eső fennsíkon duglászfenyő-, boróka-, juhar- és nyárfaerdők vannak. A lágyszárúak közül legérdekesebb a kábító hatásáról elhíresült maszlag. A hopi indiánok éltek is vele vallásos szertartásaikon. Az északi perem vad, érintetlenebb, mint a déli — és onnét nehezebb lejutni a kanyon mélyére. Délről indulva egy nap alatt is le lehet ereszkedni és visszamászni.

Az indiánok szemében, akik évszázadok óta tisztelettel tekintettek a Grand Canyonra, megszentelt volt ez a föld. Ma hangos, nyüzsgő és szemetelő turistaáradat önti el. Az emberek, akiknek mindkét kezében fényképezőgép — újabban inkább okostelefon — van, nem is annyira a természet eme remekművét, hanem leginkább önmagukat fotografálják, vagyis szelfiznek. A kanyon csak afféle díszlet.

A sárkány árka

Afrikában vagyunk, tehát ki más lehetne kis csoportunk vezetője, mint Lerner János. Harmadszor barangolunk „a Zambézitől délre" — hogy Balázs Dénes könyvének címét kikölcsönözzem —, és a Dél-afrikai Köztársaság felől lépünk Namíbia földjére. Messze vagyunk a turisták elsőszámú célpontjától, a Kruger Nemzeti Parktól, több mint ezer kilométert kell utaznia annak, aki az Augrabies-vízesésre kíváncsi, ahol most táborozunk. Felejthetetlen látvány, és egyben bosszantó, mert túl vagyunk az esőzések idején. Utazni ilyenkor jó, és különösen kedvező, ha az ember kanyont akar felkeresni, mert nem viszi el a folyó, de ez a vízesés most nagyobb is lehetne. Közel a Kalahári-sivatag, száraz a levegő, és itt fényszennyezés sincs, mint Amerikában vagy Eurázsiában, holdfény sem zavar, az égbolton döbbenetesen ragyognak az égitestek. Megnyugtató, hogy „helyén van" a Dél Keresztje, jelezve, hogy nem tévedtünk el, valóban a déli félgömbön járunk. Mellette van a Musca, alias Légy, kissé feljebb a Kentaur, nem hiányzik a Déli Háromszög, a Triangulum Australe sem. A Nagy Magellán-felhő is jól látszik, ezt Magellán a Föld első körülhajózásakor, 1520-ban fedezte fel. Az „otthoni" csillagképek közül látjuk az Oroszlánt, az Ikreket és a Halakat, de csak egészen „lent", a horizont alján. A Göncölszekérnek mindössze egy-két „kerekét" tudjuk kivenni. A csillagfényes éjszakát napfényes reggel követi, kell is a jó idő, mert ötszáz kilométernyi út áll előttünk. Hamar elérjük a határt, kék-piroszöld ferdesávos lobogó, a kék mezőben a Nap sárga, vidám gyerekrajz egyszerűségű ábrájával jelzi, hogy ez már másik ország. Az útlevelek kezelése perceket vesz igénybe, amin kellemesen meglepődünk, mert előző utunkon nem fogadták el vízumainkat, újakat kellett kiváltanunk, persze jó pénzért. Hogy mi-

A kanyon oldalán megkapaszkodó ***Euphorbia virosa*** négy évig is elvan víz nélkül. A világ egyik legmérgezőbb növénye, a szanok (busmanok) a nedvével kenték be nyílvesszőik hegyét

ért? Csak úgy. A lényeg, hogy Afrika egyik legbiztonságosabb államába érkeztünk — a szomszédok közül Botswana is ilyen, de Zimbabwe már messze nem —, ez közép- és kelet-afrikai élményeink után, meg hogy Johannesburgban nappal, a nyílt utcán rohant meg egy rablóbanda, megnyugtató érzés. Az őslakosok nyelvén kívül az angol, búr és német is használatos, az utóbbinak különösen örülök. Nincs még egy ország, ahol a ré-

Afrika legnagyobb gyümölcsevő madarai a szarvascsőrű madarak (Bucerotidae) családjába tartoznak. Meszszire elviszik a magvakat és terméseket, részt vállalnak a fragmentálódott afrikai erdőterületek újrafásításában

gen letűnt német gyarmati kor emléke ilyen élő lenne. Talán az is ennek tudható be, hogy Namíbiában, legalább is afrikai viszonylatban, rend van. A földutakat is karbantartják, felületük sima, akár 100 kilométeres sebességgel is roboghatnánk rajtuk. De hatvannál többel menni nem ajánlatos, az apró kavicsokon megcsúszhat a kerék. Az aszfaltozott utak sem veszély nélküliek, a szél a sivatagokból idehordott porral teríti be őket, ez is nagyon csúszik. Elhagyott tájon robogunk át, sehol egy élőlény, a sziklaalakzatok annál érdekesebbek. Megállunk, fényképezünk, néhány társunk meg kiabálni kezd. Rájöttek, hogy ehhez képest a régi idők tihanyi visszhangja gyengécske suttogás volt. Miután rekedtre üvöltötték magukat, végre tovább indulunk.

Namíbia déli részén a döbbenetes szépségű, 160 kilométer hosszú, 550 méter mély és helyenként 27 kilométer széles, ősi tájba vájt gigantikus völgy, a Fish River-kanyon egyesek szerint semmiben, de legalább is nem sokban marad el a Grand Canyon mögött. Méreteit és még inkább a látványt tekintve, Afrika egyetlen szurdoka sem múlja felül — bár e tekintetben megoszlanak a vélemények. Vannak, akik a Nílus szurdokát, mások egy etióp kanyont elé helyeznek. A Hal-folyó, együtt az Oranje-vel, Namíbia leghosszabb vízfolyása, mely mélyen bevágódott a ma kietlen, köves-sziklás és még szárazságtűrő növényekben is szűkölködő felszínbe. Vízjárása időszakos és rapszodikus, száraz időszakokban nem is folyik, hanem kisebb-nagyobb elnyúlt, egymással nem vagy csak alig érintkező tavak láncolatából áll.

A nemzeti parkoknak, védett területeknek kontinensenként is megvan a maguk jellegzetessége. Míg Észak-Amerika parkjainak legtöbbje leginkább a táj szépségével, geológiai különlegességeikkel tűnik ki — ami nem jelenti azt, hogy ne lenne védelemre érdemes az amerikai növény- és állatvilág —, Afrika túlnyomórészt „az állatokról szól". Kivételek persze itt is vannak, főleg Dél-Afrikában. Ezek egyike éppen a Fish River Canyon Park, melynek létrehozásával magát a tájat, a geológiai formációt kívánták megőrizni. Sok millió éves sziklákat faragott ki a folyóvíz és a szél eróziója, felszínre hozva a másutt eltemetett kőzetrétegeket. A kanyon különlegessége, hogy középső szakaszán a folyóvölgy „meanderezik", vagyis szűk kanyarokat írva kígyózik. A régmúltban persze egészen máshogy nézett ki a vidék. A folyóágyból most meredeken kiemelkedő partok eredetileg homokkőből, palából és 1800 millió évvel ezelőtt lerakódott lávából álltak. Később, 1300 és 1000 millió év között ezek a rétegek összegyűrődtek, gneisz és gránit keletkezett. 800 millió évvel ezelőtt dolerit nyomult a kőzetbe. Az erózió évmilliói következtek, 750 és 650 millió év között kialakult annak a sekély tónak a feneke, amely hajdan Namíbia déli felén terpeszkedett. A tóba a környező hegyekből különféle hordalék került, többek közt kavics és kavicskonglomerátum, homok, homokkő, karbonit, kvarcitok, mészkő és pala került; némelyik csak pár, mások 150—200 méter vastag lerakódásokban. Mintegy 500 millió évvel ezelőtt alakultak ki azok a felszíni repedések, amelyek mentén a folyó alakítani tudta a medrét. A Gondwana idejében, a jégkorszakban pedig gleccserek kúsztak délnek, mély szakadékot vájva. Egyes szakaszokon lépcsőzetes kettős szakadékvölgy, „kanyon a kanyonban" alakult ki. Akinek ez a geológiai múlt kissé zavaros és nehezen követhető, nem kell szégyenkez-

nie, a kutatók is máig vitatkoznak, valójában hogyan, mi és mikor történt. Talán úgy, ahogy a busman legenda állítja: a félelmetes Kouteign Kooru sárkány ásta a meredek falú szakadékokat, midőn egy nálánál is félelmetesebb vadász elől kényszerült menekülni…

A kanyon déli kiöblösödésében, Ais-Ais mellett a XIX. században nama törzsbeli pásztorok hévizekre bukkantak: az elnevezés is tőlük származik (ais-ais jelentése fortyogó forrás). A kőzet sokmillió éves törései mentén forró mélységi vizek törnek fel; különösen a hűvösebb kora reggeli és alkonyati órákban messziről látszik a hévforrás felett gomolygó pára. A 60 °C átlaghőmérsékletű víz bővelkedik szulfátokban, kloridokban és fluoridokban. Mondanom sem kell, hogy hatásosnak tartják reuma ellen — a reumát tudvalevőleg rengeteg minden, de tulajdonképpen semmi sem gyógyítja. A hévforrásoktól északra kénforrások is vannak.

A legtöbb kilátóhelyet a kanyon nyugati peremén építették ki. Innét valóban drámai a látvány. Leglátogatottabb a fő- és az északi kilátó, ahonnét döbbenetes a rálátás a Pokol tornácára (Hell's Corner — fordítsuk talán így). A fő kilátótól 10 km-re délnek találjuk a Kénforrás kilátópontot (Sulphur Spring Viewpoint), és ettől 12 km-re van a legdélebbi kilátó. A Pokol tornácától északra kezdődik a folyó meanderező szakasza, ahol a 70 kilométeres folyószakasz légvonalban mindössze 32 kilométeres távolságot tesz meg.

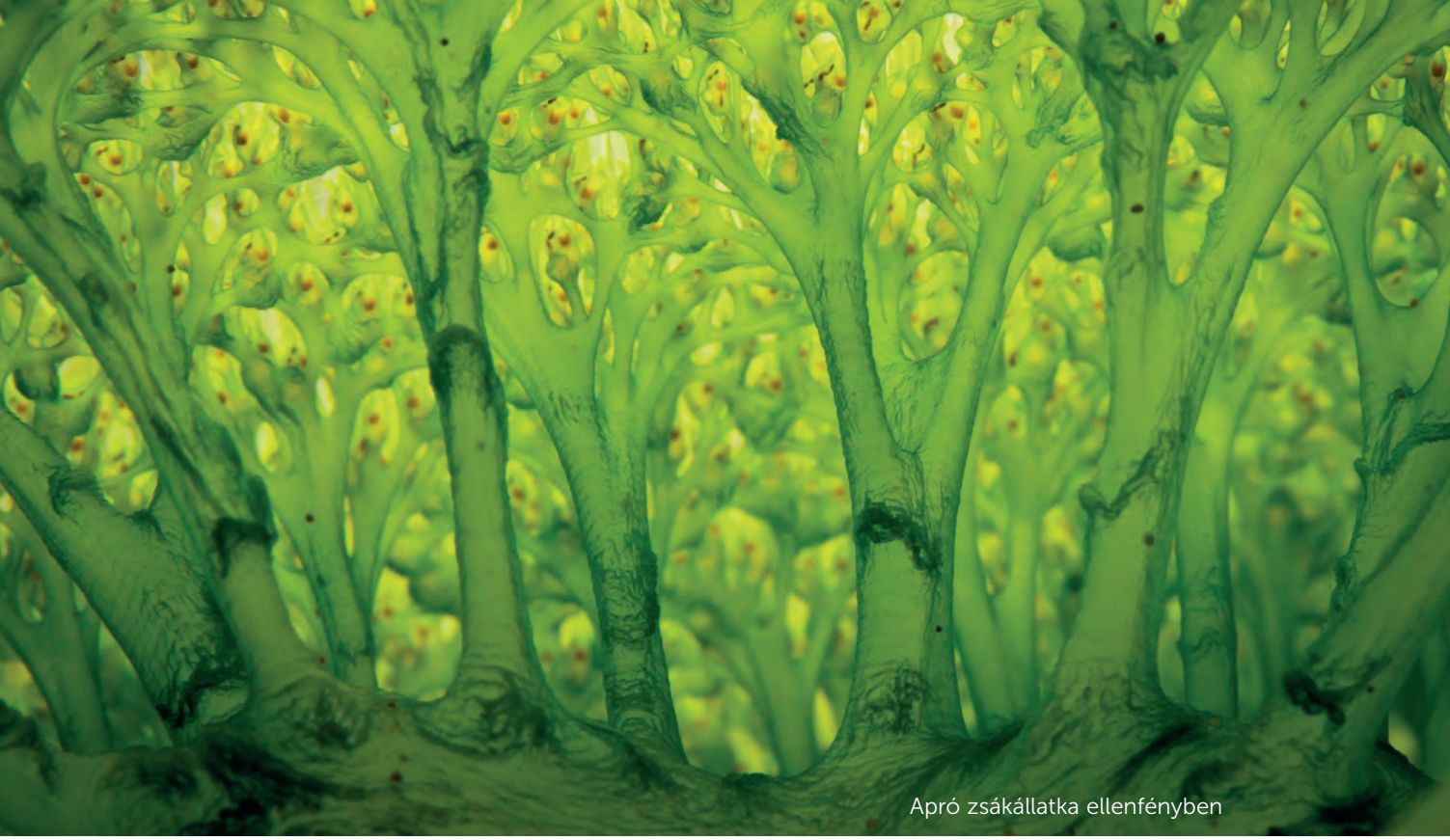
Ami az élővilágot illeti, sok fa nem él meg erre, de ami mégis, annál sokfélébb. Az akáciák minden Afrikát járó turista számára hamar megszokottá válnak, de a fatermetű euforbiák és aloék sosem vesztenek különlegességükből. Nem ritkák, de csak egyesével nőnek az alacsony, bokortermetű euforbiák, tamariszkuszok és aloék. Bármily kietlen is — bár szép! — a táj, népesebb a fauna, és több a gerinces, mint gondolnánk. Ais-Ais vidékén, feltehetően az antilopoknak köszönhetően, még pár leopárd is eléldegél. Akadnak hegyi zebrák, bár nem nagyon mutatkoznak, elrejtőznek a sziklák között. A madárfauna kifejezetten gazdag, 240 fajt mutattak ki. A száraz és meleg éghajlaton a hüllők sokasága nem meglepő, csak gyíkból 35, és kígyóból 16 faj van. A mélyebb folyómedrekben, ahol állandóan van víz, sok a hal, főleg márna, harcsa, ponty és sügérfélék. A horgászás megengedett, bár engedélyhez kötött.

> „Az egyik legnagyobb kihívás a hátizsákos turisták számára végigvándorolni a Fish River Canyon alján. De vigyázat! — kezdőknek, és akiknek gyenge a szervezete, nem ajánlott. Eltekintve a lejutástól, a terep ugyan sehol sem meredek, de sziklás, nehéz. Húszszor kell váltani az egyik partról a másikra, hol kőről kőre ugrálva, hol a vízben gázolva. Közben a hőmérő higanyszála nappal igen magasra emelkedhet. Útközben ivóvíz, szállás vagy segélyhely sehol sincs."
>
> *Willie & Sandra Olivier: Naturschutzgebiete in Namibia — Ein Handbuch*

Decemberben és januárban a hőség, februárban és márciusban az esőzések miatt kerülhet bajba a turista: mert igaz, hogy akár évekig nem esik eső, de amikor mégis lezúdul az áradat, mindent és mindenkit magával ragad. Közel három Magyarországnyi területről, Namíbia egynegyed részéről vezeti le ilyenkor a szűk kanyon az összegyűlt esővizet. Tekintettel a nyári áradásokra és a magas hőmérsékletre, mely nappal elérheti a 48 °C-ot, és éjszakára sem „hűl le" 30 °C alá, csak május 1. és szeptember 15. között engedélyezik a gyalogtúrát a kanyon mélyén. Magányosan tilos bóklászni, a csoportok legalacsonyabb létszáma 3, a legmagasabb 30 fő. Gyerekek csak akkor vehetnek részt egy effajta vállalkozásban, ha tizenkét évesnél idősebbek, és mindenkinek orvosi vizsgálaton kell átesnie. A 90 kilométeres túrát általában öt nap alatt lehet megtenni. A dolgot az is nehezíti, hogy a folyó vize ihatatlan, az ivóvizet magunkkal kell cipelnünk. 1990 óta futóversenyeket is rendeznek a kanyonban. A Fish River Canyon Ultra Marathon távja 100 km, a „könnyű" Lite 65 km. Egyiket sem ajánlom kipróbálni…

VOJNITS ANDRÁS

Afrika „törpe zergéje", a sziklaugró antilop vagy klippspringer (Oreotragus oreotragus) a legkietlenebb helyeken is megél. Fokozottan védett faj (*A SZERZŐ FELVÉTELEI*)



Apró zsákállatka ellenfényben

Hát ez meg mi?

BESZÉLGETÉS POHL ANDRÁS BÚVÁRFOTÓSSAL

— A Magyar Természetfotósok Szövetsége az Év Természetfotósa 2017 pályázatán Hát ez meg mi? című képe a Kompozíció, forma és kísérletezés kategóriában elnyerte a Természet Világa folyóirat különdíját. Az Élet a vízfelszín alatt kategóriában nevezett képei közül a Vacsoraidő című 3. díjas lett, egy további képét pedig — a Muréna glóriávalt — a zsűri dicséretre méltónak tartotta. Az elmúlt években rendszeresen láthattuk a képeit Az Év Természetfotósa (ÉTF) pályázat kiállításain. Milyen eredményeket ért el korábban?

— 2011-ben indultam először a pályázaton, abban az évben két képemet találták dicséretre méltónak. Egy évvel később nagy sikert értem el: én lettem az év búvárfotósa, ez akkor a Papua Paradise Ecoresort különdíját jelentette a legjobb búvárfotósnak. Négy fotóm szerepelt a legjobbak között: az Élet a vízfelszín alatt kategóriában 2. és 3. helyezést értem el, az Állatok és környezetük kategóriában kettő képem lett dicséretre méltó. 2013-ban és 2014-ben egy-egy képem szerepelt a kiállításon, majd 2015-ben három fotóm volt kiállítva — közülük az egyik a Kompozíció, forma és kísérletezés kategória 3. díját kapta. Tavaly a Kezünkben a Föld kategóriában jutott el egy felvételem a kiállításra.

Az Év Természetfotósa pályázatokon kívül többször voltam dobogós a Búvárfotós Országos Bajnokságon, és néhány nemzetközi fotós megmérettetésen is szerepeltem már sikerrel.

— Áruljuk el olvasóinknak, mit látni a különdíjat nyert képen? Hol és hogyan készült a felvétel?

— A képet Indonéziában, a Raja Ampat tartomány (Nyugat-Pápua) szigetvilágának Wagmab Wall merülőhelyén készítettem. A térség a korallszirtek élőlényeinek hihetetlen változatossága miatt a búvárok paradicsoma, és mivel természetvédelmi terület, a védettségnek köszönhetően szinte érintetlen állapotok várnak ott ránk. A képen egy körülbelül 20 méteres mélységben élő, ritkán látható keménykorall néhány centiméteres részlete látható.

A merülés során sok csodálatos, soha nem látott forma kerül elénk. A búvárfotózás egyik ága kimondottan a különleges mintázatokra fókuszál. Ezt a képet egy 60-as makróobjektívvel fotóztam, különleges bevilágítással. Bár legtöbbször sorozatokat készítünk, erről a korallról ez az egy felvétel készült. A kép hatását növeli, hogy a Kompozíció és forma kategóriában megengedett egy ki-

csivel több manipuláció, a valamivel erősebb kontraszt és szaturáció.

— Hogyan kezdődött? Mióta búvárkodik? Rögtön fotózni kezdett a víz alatt?

— 48 évesen, 2007-ben kezdtem búvárkodni, eleinte eldobható gépet vittem a víz alá. Később egy Canon G12-es kompakt gépem lett, búvártokkal, külső vakukkal. Ezzel a géppel, fill-the-frame technikával készítettem a korallharcsákról azt a képet, amely már jól szerepelt az ÉTF-pályázatán. Most egy Canon 600D belépő szintű, 18 megapixeles tükörreflexes gépem van.

— Tanult fotózni? Vannak fotós példaképei?

— 18 évesen egy Zenit, aztán egy Chinon filmes kamerával fotóztam diára, szívesen készítettem diaporámákat, aztán ez a hobbi évekre feledésbe merült. Nincs valódi példaképem, de a legrangosabb mesterek munkáit ismerem. Az interneten követni lehet a búvárfotós oldalakat, hozzám is naponta több tucat kép ömlik be. A fotók tudatos szemlélése, elemzése nagyban hozzásegít a fejlődéshez. Korábban a magyar Divecenter oldalon intenzív munka folyt, ott is rengeteget tanultam.

— Szárazföldön is szokott fotózni?

— Ritkán, de a magam kedvére fotózok rovarokat, növényeket, ezekkel a képekkel viszont még nem pályáztam.

— Miben különbözik a víz alatti kamera a szárazfölditől?

— A gépváz ma már semmiben nem különbözik: ugyanazt a gépet visszük le, csak berakjuk egy vízhatlan tokba. Régebben volt kifejezetten víz alatti fotózásra kifejlesztett gépváz, de ma már nincs erre szükség. A fényképezőgép egy alumíniumból vagy polikarbonátból készült tokba kerül, a kezelőgombokat kívülről lehet működtetni. Nem elég, hogy a tok vízálló: a nagy nyomást is el kell viselnie. A jobb minőségű készülékeket akár 100 méter mélyre is le lehet vinni, az enyém 60 méterig használható.

A víz a fotózás szempontjából másfajta közeget jelent, mint a levegő. Az üveggel elválasztott víz és levegő között fénytörési jelenség is fellép. A víz alatti fotózásban kétféle objektív terjedt el igazán: az egyik a nagy látómezejű halszemobjektív, a másik a kisebb élőlények fényképezésére alkalmas makróobjektív. A búvárfotósnak a merülés előtt el kell döntenie, hogy tájképet vagy apró részletet akar-e fotózni, és ennek megfelelően kell a gépet a szárazföldön összeszerelnie és beraknia a búvártokba.

A tokra kétféle port kerülhet az objektív elé: vagy egy félgömb alakú, vagy egy síküveg. Ha síküveget tennénk a nagylátószögű objektív elé, a látószög jelentősen csökkenne, ezért, ha a víz alatti teret akarjuk fotózni, a félgömb alakú, ún. dome portot illesztjük a tokra. A síküveg portot a makrófelvételeknél tudjuk használni. Nekem 10—17 mm-es zoom objektívem van, amelynek 10 mm-nél 180 fokos a látószöge. A makrófotózásra 60-as és 100-as makróobjektívet használok.

Fénytörési tulajdonságai miatt a víz elnyeli a színeket. Ahogy egyre mélyebbre megyünk, először a vöröset, aztán a narancsot és így tovább. 20—30 méter mélységben már minden kékes-szürkés színű. Ezért le kell vinni a fényt a víz alá, amely jellemzően legalább egy, de inkább több külső vaku. Kimondottan víz alatti fotózásra készült, vízhatlan vakukkal tudunk fotózni, amelyeket flexibilis, állítható karok rögzítenek a tokhoz. A vakuk gondos beállításával lehet csökkenteni az

apró, lebegő szemcsék megvilágítását, amely különben olyanná teszi a képet, mintha enyhe havazásban fotóznánk. A vakukat gyakran súrló fényként állítjuk be. Szinte mindig kevert fényes technikát alkalmazunk: a háttér természetes fényben látszik, a kiemelendő téma pedig vakufénnyel van megvilágítva. A paramétereket ennek megfelelően kell megválasztani.

A szerkezetet szárazföldön kell összerakni, és ott kell ellenőrizni a vízhatlanságot. A korszerűbb tokokon vákuum-előszívásos detektor van. A teljes készülék súlya a betokozott kamerával, vakukarokkal, vakukkal és fókuszfénnyel együtt szárazföldön körülbelül 8 kilogramm. Állványt nem használunk.

Az érdekesség kedvéért megjegyzem, hogy 3 évvel ezelőttig a pályázati szabályzat nem tette lehetővé a nemkívánatos becsillanások eltüntetését, de újabban már megengedik a búvárfotókon ezek kismértékű korrekcióját.

Arany medúzák

— Mi a legnagyobb kihívás a tökéletes kép készítése során?

— Az idő! Naponta maximum 3—4 merülés lehetséges, 1—1 óra (ritkán 1,5 óra) időtartamban, hiszen a búvárkodás megterheli az emberi szervezetet. Mintha egy természetfotósnak egy ismeretlen helyen mindössze egyetlen órája lenne arra, hogy elkészítse a nyerő képet, és még akkor sem bóklászhatna egyedül, szabadon.

Csak merülőtárssal lehetünk a mélyben, akivel közben vigyáznunk kell egymásra. Nagylátószögnél, ha a társ nem mögöttünk van, óhatatlanul látszik a képen. Ilyenkor jó megoldás lehet, ha őt is bele tudjuk komponálni a jelenetbe. Nagyon zavaróak lehetnek a buborékok, amelyeket mi magunk, illetve a társunk bocsát ki. A napsütés és az áramlás is behatárolja a lehetőségeket.

A fotósok ugyanúgy hajóstúrákon vehetnek részt, vagy egy búvárbázis merülőhelyeit látogathatják, ahogy a többi búvár. Ezt megválaszthatjuk, de hogy a mélyben milyen körülmények várnak ránk, az már egyáltalán nem tőlünk függ. Lehet, hogy a legszuperebb helyen megtaláltuk a legjobb témát — erre jön egy felhő, és olyan sötét lesz, hogy már nem lehet az adott képet elkészíteni. Vagy éppen abban a szűk órában nincs ott az a téma, amiért lemerültünk.

Gyakran korlátoz bennünket a látótávolság (amely leszűkülhet néhány méterre), a hullámverés, az áramlás. A halszemoptikánál fontos, hogy közel legyünk a témához: azonban mire beállítjuk a felvételt, a kiszemelt halak bizony gyakran elúsznak. De a legfontosabb a lebegési technika. Meg kell tanulni úgy lebegni, hogy károkozás nélkül tudjunk fotózni.

— A búvárfotók között sok lenyűgöző felvételt láthatunk hihetetlen küllemű állatokról. Önnek melyek a kedvencei?

— Igazából nincsenek kedvenc állataim, de a makrófotókra alkalmas jószágokat kimondottan kedvelem. Vannak, akik csak a nagyvadakra utaznak: én is szeretem őket,

Bébi szirticápák asztalkoráll alatt

de nem kizárólagosan. 760 merülés után már fogy azoknak a trófeáknak a száma, amelyeket még nem láttam.

— Milyen országokban merült eddig? Fotós szempontból melyek a legjobb, legérdekesebb helyszínek?

— A legközelebbi helyszínek Horvátország és Egyiptom, utóbbi nagyon jó úti cél. Voltam Kubában és a karibi ABC-szigeteken (Aruba, Bonaire, Curaçao). A Seychelle-szigeteket búvárfotós szempontból kevésbé találtam érdekesnek, a Maldív-szigeteken viszont fantasztikus merülőhelyek vannak. A gyönyörű Palaun (Mikronéziában) csodás merülőhelyek találhatók. Kedvenceim a Fülöp-szigetek és Indonézia — mindkét ország óriási lehetőségeket kínál a búvároknak.

— A búvárfotósnak mennyire kell ismernie az élőlényeket ahhoz, hogy megtalálja őket?

— A veszélyes élőlényeket természetesen ismerni és kerülni kell. Célszerű továbbá tisztában lenni az adott terület ökoszisztémájával, hogy eredményesebbek lehessünk. A társult életformák terén a jártasság elősegíti a jó témák megtalálását.

Lehet azonban úgy is jó képeket készíteni, hogy az ember nem készül föl az adott merülőhelyre. Nem szoktam előre tervezni, inkább riportfotósnak tartom magamat. A legtöbb túrán vannak helyi vezetők, akiknek az a feladatuk, hogy megmutassák a búvároknak az érdekességeket.

— Mi volt a legemlékezetesebb élménye?

— Ha egyet kell kiemelni, akkor a Maldív-szigeteken naplemente utáni merülésünket említeném. Áramlásban voltunk, óriási ráják, zord arcú, éjfekete, méteresnél is nagyobb, vadászó makrélák, dajkacápák úsztak körülöttünk a lámpáink fényében.

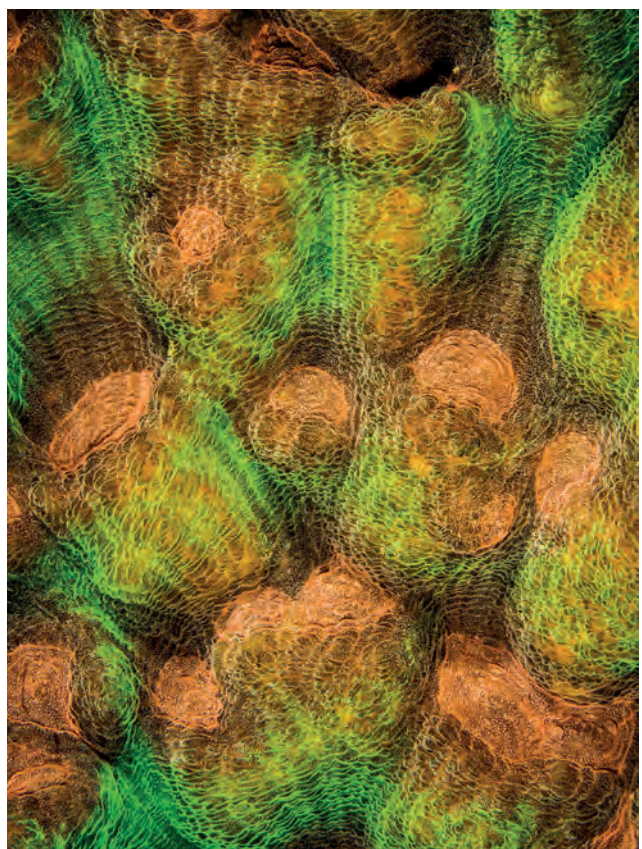
— A nemzetközi fotópályázatokon egyre inkább előtérbe kerül az élővilág védelme, amelyben a természetfotósok meghatározó szerepet tölthetnek be. Mit tehetnek a búvárfotósok a tengeri életközösségek megóvásáért?

— A legfontosabb tanács: ne nyúlj semmihez! Ne hozz ki semmit a vízből, csak nézz! Fontos a természet tisztelete. Azzal, hogy ráirányítjuk a természeti szépségekre a figyelmet, segítjük fenntartani ezt az állapotot.

A sok szép merülőhely hatalmas üzleti lehetőséget biztosít az adott országok számára, hiszen folyamatosan érkezik a sok búvár, és ez jelentős bevételt generál. A helyiek így érdekeltek lesznek a merülőhelyek állapotának fenntartásában. Jól látható, hogy egyre növekszik a védett területek száma, ahol tilos a hálós és a dinamitos halászat, de néha még a horgászás is. Nem hallgathatjuk el azt sem, hogy a sűrűn látogatott merülőhelyek érintetlensége némileg csökken, de ennél nagyságrendekkel nagyobb veszélyt hordoz, ha a terület nem védett. Sajnos, a globális felmelegedés is hatalmas károkat okoz.

— Milyen nehézségekkel jár a víz alatti fotózás?

— A búvárkodás önmagában sem veszélytelen sport, aztán a hullámzásnak, az erős áramlatoknak is megvannak a kockázatai. A gép ki van egyensúlyozva, így a víz alatt lebeg, de a mérete miatt megnövekedett áramlási ellenállása plusz energiát igényel a fotóstól.



Hát ez meg mi?

— Mit tanácsolna annak, aki most kap kedvet a víz alatti fotózáshoz? Hol és milyen témával kezdjen? Mire ügyeljen a leginkább?

— Először is azt: jól gondolja meg, hogy belevág-e! Ha igen, akkor azt tanácsolnám, minél előbb tanuljon meg nagyon jól búvárkodni. Amikor már jól mozog a víz alatt, jó a lebegőképessége, akkor kezdje el tudatosan tanulmányozni az interneten a víz alatti képeket. Irdatlan mennyiségű ember foglalkozik ma már ezzel — hiába méregdrága sport, egyre többen űzik, és egyre többen fotóznak is közben.

— Milyen helyszínekre tervez a közeljövőben fotós túrákat?

— Legközelebbi célom egy mexikói út, ahol az Atlanti-óceánban és cenotékban fogunk merülni. Ezek különleges karsztbarlangok, amelyek felső rétegét édesvíz, a mélyebb rétegeket pedig sós víz tölti ki.

AZ INTERJÚT KÉSZÍTETTE:
TÓSZEGI ZSUZSANNA

KARSZTVILÁG

Töbör, pénz, komment

„Legyen ez a Jubileumi-töbör” – állapodunk meg a hallgatókkal, mikor egy újabb, szép formájú, kerekded mélyedéshez értünk. Ez ugyanis a krassóalmási (Déli-Kárpátok) terepgyakorlat során az 50. töbör, amit GPS segítségével fölmérünk, és noha a töbröknek ritkán van saját nevük, itt mégis úgy érezzük, hogy ez most jó alkalom a névadásra, és ennek ürügyén egy kis pihenőre.

Egy ilyen töbör-fölmérés igazából csak a megszállottaknak jó móka, akik élvezik a karsztos terepet, mert egyébként a szúrós bokrok, a bokatörő kövek, az állandó fölle szaladgálás töbörből töbörbe, helyenként a váratlan kerítések, a barátságtalan kutyák, nagyritkán a viperák könnyen megkeseríthetik a felmérő életét. Persze van, aki éppen ebben a terepi munkában lát valami különös élvezetet, és ezt a lelkesedést próbálja meg másokra is átragasztani. Ezt hívjuk terepgyakorlatnak a földrajz szakon. De miért oly fontosak ezek a töbrök **(1. ábra)**?

Mert ezek a néhányszor 10—100 m átmérőjű, zárt mélyedések nélkülözhetetlen elemei a karsztos tájak megértésének. Szakmai körökben szinte már közhelyszámba megy az a *Derek Ford* kanadai professzortól származó megállapítás, hogy a töbrök a karsztok „diagnosztikus felszínformái”. Valóban, mint bárányhimlőt a pöttyök, úgy árulják el a felszíni karszt jelenlétét a töbrök. A vízfolyások és a völgyek gyakorlatilag hiányoznak a karsztterületekről, mivel a víz a mélybe távozik, beszivárog. Kivételek persze akadnak bőven. Itt vannak például a szárazvölgyek, melyek esetenként a karsztfennsíkokat részekre tagolják. Ezek rendszerint a felszínfejlődés egy korábbi fázisában jelenlévő vízfolyás hűlt helyét őrzik. Aztán a turisták örömére akadnak szép számmal vizes szurdokok is, amelyek igen változatos módokon alakulhatnak ki. De ettől még a töbrök tényleg meghatározó szerepet játszanak a karsztfejlődésben, és a darabszámot tekintve (már ha ez érdem?) kétségkívül ezek az uralkodó felszínformák a klasszikus karsztvidékeken. A nagy mennyiség egy szempontból mindenképp előny, ez pedig a statisztikai megközelítés. Ha a karsztok fejlődését szeretnénk mélyebben megérteni, akkor olyan modellt kell találnunk, ami statisztikailag is megmagyarázza a töbrök jellemző méreteit. A gyakorisági eloszlást magyarázó elméleti modellek pedig azért fontosak, mert rövid ideig élünk ahhoz, hogy a töbrök fejlődését a valóságban megfigyelhessük.

A földrajzosokat (no persze másokat is) az eloszlások helyett többnyire inkább az extremitások érdeklik. Hát elégítsük ki először ezt az igényt! A legnagyobb töbör természetesen Kínában található (ez nemcsak azért

természetes, mert Kínához sok rekord tartozik, hanem azért is, mert a legnagyobb szubtrópusi karsztvidékek is épp Kínában lelhetők fel), ez a *Xiaozhai tiankeng* (tiankeng=„égre nyíló lyuk"), ami 662 m mély, így az Eiffel-torony több mint kétszer elférne benne egymásra téve! Hozzánk közelebb, Európában, a rekorder a horvátországi Imotski mellett található *Vörös-tó* (Crveno Jezero). Ennek a teljes mélysége 530 m, de nagyjából a feléig víz tölti. A tó vízállása a karsztvízszint függvényében igen jelentős, több mint 50 m-es szintingadozásokat mutat. Fontos megjegyezni, hogy ezek az extrém méretű formák szinte mind barlangok beomlásával keletkező *szakadéktöbrök* **(2. ábra)**. Jellemzőjük a közel függőleges, sziklás perem és az átmérőhöz viszonyított nagy mélység.

1. ábra. Oldásos töbrök az erdélyi Királyerdőben

A töbrök túlnyomó része azonban nem ebbe a látványos típusba sorolható, hanem az *oldásos töbrök* közé. Ezek kialakulásának lényege, hogy a mélybe szivárgó vizek oldott állapotban magukkal viszik a felszín közelében kioldott mészkövet, és az így létrejövő anyaghiányt egyre növekvő lyukak, mélyedések jelzik a felszínen. Persze ha ez térben teljesen egyenletesen történne, akkor nem alakulnának ki gödrök, ám a beszivárgás nem mindenhol egyforma esélyekkel indul. Az eleve meglévő, többnyire tektonikus eredetű repedéshálózat miatt van ahol gyorsabb, van ahol lassabb a beszivárgás. Ráadásul ahol több víz jut a mélybe, ott még gyorsabban tágulnak a járatok, és ezzel tulajdonképpen egy öngerjesztő folyamat indul be, ami különösen fontos lesz a későbbiek szempontjából. Mivel az oldásos töbrök többnyire lankásabb lejtőkkel rendelkeznek, mint a szakadéktöbrök, így általában kevésbé izgalmas felszínformák, épp ezért a világrekordot sem tartja számon senki. Nehéz is lenne ezt megmondani, mert értelmezési problémák is fölléphetnek a töbrök felső határa körül. Hiszen a nagyobb zárt mélyedések kialakulását rendszerint nem csupán az oldás, hanem más tényezők is befolyásolják. A karsztperemi vízfolyások kis völgyei például hozzákapcsolódhatnak a mélyedéshez, vagy esetenként a szerkezeti mozgások is segíthetik a mélyedések kialakulását. Hazai viszonylatban alighanem a Szögliget mellett található Páska-bükki töbör a legnagyobb (bár ez sem tekinthető kizárólag oldásos eredetűnek), kis híján fél km-es hosszával (497 m), és 12,6 ha-os területével. De, hogy érezzük a mélység jelentőségét, míg a Páska-bükki töbör hossza alig marad el a fent említett Xiaozhai tiankengétől, addig mélysége csupán annak 25-öd részét éri el (27 m).

És mekkora a legkisebb töbör? Értelemszerűen elvben a nulláról indul a történet. Egy-egy kezdeti beroskadás 1—2 m-es formát jelent **(3. ábra)**. Láttam töbröket születni. Pár éve a bihari Pádis-fennsíkon hatalmas, fél napig folyamatosan zuhogó eső kapott el minket, de szerencsére éjszaka kezdődött, így a sátorban kihúztuk, míg el nem csendesült. Mikor a zuhé után bejártuk a környéket, olyan új mélyedéseket fedeztünk fel, amelyek a vihar előtt még nem voltak ott. A töbrök fejlődése „kis korukban" és egy-egy extrém csapadékeseményt követően tehát megfigyelhető, de a nagyobb formák emberi szemmel nézve szinte változatlannak tűnnek, kialakulásuk 10—100 ezer éves nagyságrendre tehető, de igazából többnyire csak bizonytalan becsléseink vannak ezen a téren. Az egyik,

2. ábra. Szakadéktöbör a szlovéniai Rakov Skocjannál

3. ábra. Többör-kezdemények és hallgatók az erdélyi Torockói-hegységben

még nem teljesen megválaszolt kérdés napjainkban a többrökkel kapcsolatban éppen az, hogy az időbeli fejlődésük hogyan zajlik. Az oldásos többrökkel ellentétben a szakadéktöbrök értelemszerűen hirtelen impulzusok révén alakulnak ki, de a hatalmas formákat általában nem egy, hanem többszöri beomlás hozza létre.

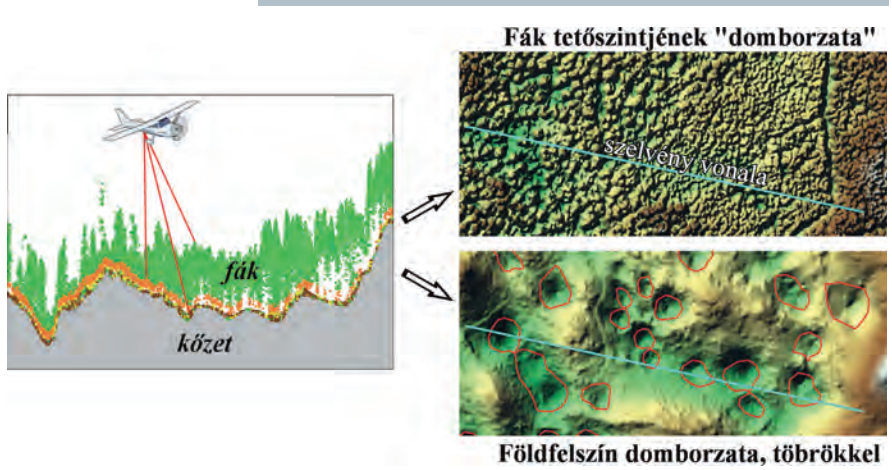
Gondolhatnánk, hogy napjainkban már minden nagy és kis többr pontosan le van írva és a térképeken is fellelhető. De ez azért nem teljesen igaz. Különösen meglepő, hogy a megadolináknak is nevezett extrém formák közül sokat csak az elmúlt 1—2 évtizedben tártak fel. Ennek oka, hogy gyakran olyan vad, csapadékos, általában felhőkbe burkolódzó trópusi karsztterületeken helyezkednek el, amelyek a szárazföldön igen nehezen megközelíthetők, de még a légi felderítésük sem egyszerű. A kisformákat a terepen járva aránylag könnyen megfigyelhetjük, mennyiségi felmérésük azonban hamar kifárasztja az embert, miként azt a „Jubileumitöbörnél" felsóhajtva korábban már megállapítottuk. A közelmúltban kifejlesztett új módszerekkel azonban jelentős előrelépések történtek ezen a téren...

Lézeres többr-letapogatás

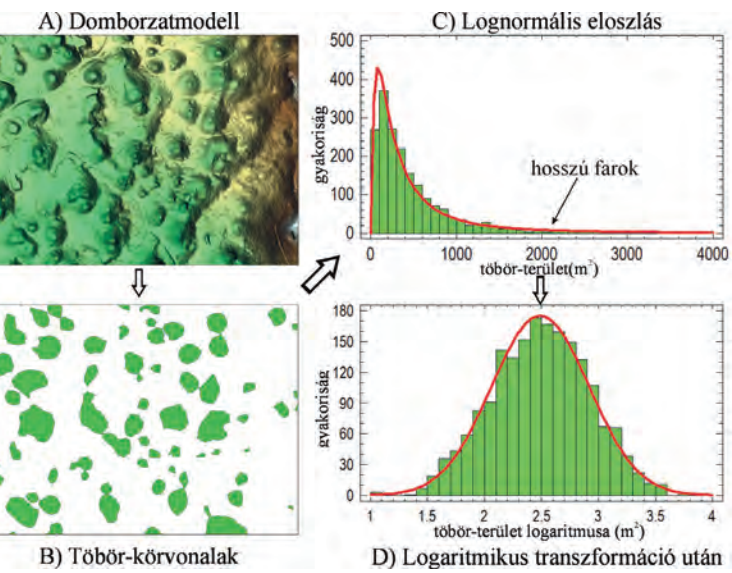
Az aktív távérzékelés lényege, hogy a mérőműszer egy jelet bocsát ki, és a visszaverődés ideje, intenzitása és más jellemzői alapján szerzünk információt a vizsgált objektum távolságáról. Ilyen elven működő eszköz a már régóta használt radar, vagy a vízmélység mérésére alkalmas szonár. Az 1960-as években már megszületett, de igazából csak az elmúlt 1—2 évtizedben terjedt el széles körben a lézerfénnyel működő radar, vagyis a *LiDAR* (Light Detection and Ranging). A lézerfény kis hullámhossza miatt sokkal részletesebb felbontást tesz lehetővé, mint a rádióhullámokkal működő klasszikus radar. Ennek köszönhető, hogy a közelmúltban a domborzat aprólékos feltérképezésére kiválóan alkalmas eszközzé fejlődött a LiDAR. Ahhoz, hogy a korai technológiából jól használható módszer legyen, több jelentős technikai problémával is meg kellett birkózniuk a fejlesztőknek. Az egyik probléma az volt, hogy a LiDAR iszonyatos adatmennyiséget állít elő, amihez óriási tárolókapacitás, és gyors, hatékony szoftver kell. Ezek az eszközök csak a 2000-es évekre váltak széles körben elérhetővé. Ez a probléma tulajdonképpen még ma sem tekinthető teljesen lezártnak, hiszen inkább egyfajta „versenyfutásról" van szó, mert egyre újabb és részletesebb adatok keletkeznek, amelyek folytán állandóan nagyobb tárhelyre és erősebb számítógépre van szüksége az embernek. A fejlesztés során a másik technikai problémát az jelentette, hogy a domborzati felmérésekhez alapvetően repülőgépre szerelt LiDAR-t használnak, viszont a repülőgépek helyzetét és állását korábban nem tudták elég pontosan mérni a repülés során. A GPS, illetve a kinetikus navigációs rendszerek révén azonban ez a probléma lényegében megoldódott, így nincs akadálya, hogy a felszín alakjáról néhány 10 cm pontossággal nyerjünk adatokat, ami a fentiek tükrében a többrök vizsgálatához tökéletesen elegendő, sőt egy kicsit még sok is.

A LiDAR egyik további előnye, hogy komplex képet ad a felszínről **(4. ábra)**. A kis hullámhosszú lézerimpulzusok ugyanis „szűk helyen is elférnek", azaz átha-

4. ábra. A LiDAR-mérések alapelve (visszaverődés a fákról az aljnövényzetről és a földfelszínről), valamint az ebből szerkesztett felületmodellek egy szlovéniai mintaterületen



tolnak a növényzet apró résein. Így a visszavert jelek egy része a lombokról, más része az ágakról, harmadik része a talajfelszínről verődik vissza. Ez első pillantásra okozhat némi zavart, sőt második pillantásra is nem csekély fejtörést, de ha ügyesen járunk el, akkor ezzel csomó többletinformációt kinyerhetünk a LiDAR-adatokból. Megkaphatjuk a lombkoronaszintet, de a közvetlen talajfelszínt is, illetve a növényzet sűrűségéről is nyerhetünk egyfajta információt. Talán nem véletlen, hogy én először erdészektől hallottam a LiDAR-ról, akik nagyon jól fel tudják használni ezeket az adatokat például a famagasság jellemzésére. Hogy még mi minden nyerhető ki a teljes adathalmazból, az jelenleg is nagyon aktív kutatások tárgya. Engem



5. ábra. Többrök levezetése domborzatmodell alapján (A-B), többör-területek lognormális gyakorisági eloszlása (C) és ha a többör-terület értéke helyett annak logaritmusát vizsgáljuk, akkor az eredmény haranggörbe lesz (D). LiDAR révén nyert 1m-es felbontású szlovén mintaterület alapján
(FORRÁS: SZLOVÉN KÖRNYEZETVÉDELMI ÜGYNÖKSÉG)

persze a többrök érdekelnek. Ha elrepülünk egy erdős karszt fölött, meglepetésre azt tapasztalhatjuk, hogy a diagnosztikusnak kikiáltott többrök nem, vagy alig érzékelhetők (l. a ***4. ábra*** *jobb felső része*). Ennek az az oka, hogy a fák kompenzálnak, és a többrök alján magasabbra nőnek, mint a köztük lévő gerinceken. Persze ahol 80—100 m mély többrök is előfordulnak, mint például a horvátországi Velebitben, ott ezt már nem tudja kiegyenlíteni a famagasság. A fentiek miatt a légifotó alapú távérzékelés (fotogrammetria) az erdős területeken komoly nehézségekbe ütközik. A lézer előnye ezeken a terepeken nyilvánvaló, segítségével „leborotválhatjuk" az erdőt a karsztról, és megkaphatjuk a valódi többrös felszínt.

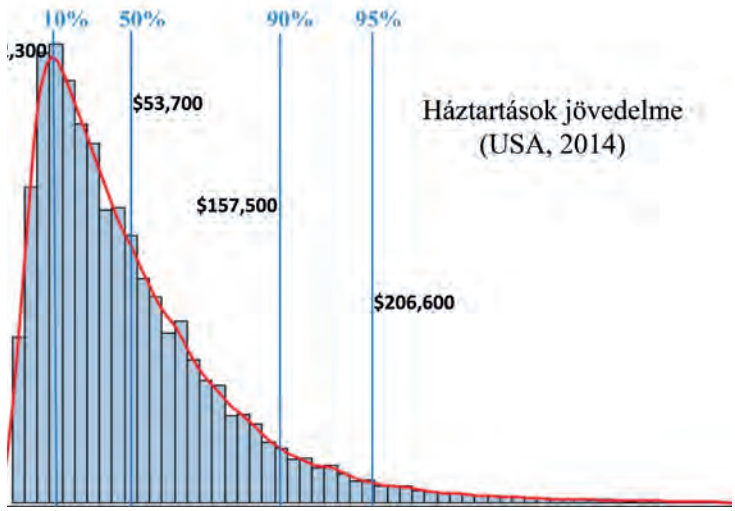
Apró üröm az örömben, hogy a LiDAR meglehetősen drága. Ellentétben a drónokkal, melyek már hobbiszinten is elérhetők, és nem erdős terepen akár többrök térképezésére is felhasználhatók. Szerencsére akadnak olyan többörben (és pénzben is) gazdag országok, amelyek nyilvánosan elérhetővé teszik a LiDAR-adataikat, mint például Szlovénia. Ennek köszönhetően a többrök mennyiségi feldolgozása elől gyakorlatilag minden akadály elhárult.

Nem mindenre jó a haranggörbe

A haranggörbével feltehetőleg mindenki találkozik, aki a természettudományokkal érintkezésbe kerül. „Rendes" neve: normál eloszlás, ami azt sugallja, hogy ez a legtermészetesebb eloszlás, ami létezik, hogy a valóság jelenségei ezzel írhatók le legjobban. Mint például a felnőtt férfiak (vagy nők) testmagassága egy adott országban és adott korban. Ebben a vélekedésben persze van igazság, aminek alapvető matematikai okai is vannak, mégpedig az, hogy ha egy folyamat során a különböző véletlen hatások összeadódnak, akkor eredményként egy normál eloszlást kapunk, azaz a vizsgált jellemző (pl. testmagasság) gyakorisági eloszlása haranggörbével írható le. Ráadásul a haranggörbe vizuálisan is „vonzó": szimmetrikus, ami azt jelenti, hogy a jól bevált számtani átlag egyben középérték (medián) is, tehát az átlagtól fölfelé és lefelé való eltérések ugyanolyan mértékűek. Az átlag körüli értékek egyben a leggyakoribbak is, ami szintén jóleső érzéssel töltheti el az átlagembert. A haranggörbe szélességét a szórás jellemzi. Minél nagyobb a szórás értéke, annál szélesebb a görbe. A haranggörbe aránylag gyorsan „lecseng" mindkét irányba, az átlag pluszmínusz háromszoros szóráson túl már csak az egyedek 0,3%-a található.

Amikor a többrjellemzők gyakorisági eloszlásával az 1990-es évek végén elkezdtem foglalkozni, jóformán semmilyen idevágó publikációt nem találtam a karsztos szakirodalomban (bár a keresési lehetőségek akkoriban természetesen jóval korlátozottabbak voltak, mint manapság), így erősen meglepett, hogy a többrök mérete a haranggörbétől markánsan eltérő eloszlást mutatott **(5. ábra)**. Az derült ki, hogy a viszonylag kis többrökből van a legtöbb, de nem az egészen aprókból, és hogy a nagyméretű formák egyre ritkábbak ugyan, de a lecsengés nem olyan gyors, mint a normál eloszlás esetén. Akkor még nem tudtam, hogy ez az ún. „*hosszú-*

farkú eloszlások" jellemzője (eloszlások esetében a farok a görbe x tengelyhez simuló végeit jelenti). Több területet (pl. az Aggtelek-karsztot, a szlovákiai Pelsőci-fennsíkot, különféle szerb és horvát karsztfennsíkokat) megvizsgálva hamar világossá vált, hogy a többör-eloszlásokat általánosságban viszonylag jól lehet közelíteni a *lognormális eloszlással*. A „viszonylag jól" ez esetben azt jelenti, hogy a statisztikai teszteken időnként „elhasal" a vizsgálat, de a vizuális tesztek szinte mindig megerősítik ezt a képet. Az lényegében mindegy, hogy melyik méretjellemzőt (hossz, szélesség, terület) használjuk, mert az eloszlás jellege ugyanaz lesz.



6. ábra. Jövedelem-eloszlásra egy példa (USA, 2014) – ez is lognormális (FORRÁS: US CENSUS BUREAU)

A lognormális eloszlást a matematikusok természetesen már régóta ismerik, származtatása egyszerű: ha az eredeti változó helyett annak logaritmusát vesszük, akkor az normál eloszlású lesz. Hogy ezt a lognormális eloszlást miként képzeljük el, arra legjobb *Barabási-Albert László* hasonlata, amit itt most kölcsönveszek (bár ő nem a többrökből indult ki...): képzeljük el, hogy az emberek testmagassága egy országban nem a haranggörbe szerint, hanem mondjuk a lognormális eloszlás szerint alakul, miként a többrök méretjellemzői is. Ez esetben az emberek túlnyomó része „törpe" lenne (most az abszolút magasság a példában nem érdekes), de lennének köztünk érzékelhető számban olyanok, akik 10-szer magasabbak, mint a „tömeg", és meglehetősen ritkán, de előfordulnának akár 100-szor magasabb óriások is.

Egyre újabb karsztterületekre megismételve a mérést, most már LiDAR-ból levezetett, pontosabb domborzati adatokat használva is, nekem mindig ugyanúgy a lognormális eloszlás jött ki. És akkor egy spanyol kolléga, akit, úgy látszik, szintén izgat a többrök alakja, azzal hozakodott elő, hogy a többrök méreteloszlása nem lognormális, hanem hatványtörvény szerinti eloszlás jellemző rájuk (*power law distribution*). Mivel a karsztkutatók között aránylag ritka a vérbeli matematikus, így a vitánk eldöntéséhez máshová kellett fordulnunk...

Itt jön a pénz

A többrökbe nem a pénz miatt megy az ember. Hanem „mert ott vannak". Mégis, akár a pénzzel törődő biztosítótársaságok is foglalkozhatnak helyenként többör-statisztikával. Ugyan miért? Nyilván nem minden karsztterület érdekli őket, de azokon a vidékeken, ahol a kisebb szakadéktöbrök létrejötte majdhogynem mindennapos jelenség, mint például Floridában, Tampa környékén, ott nem mindegy, hogy melyik háznak mekkora esélye van arra, hogy egy „szép" napon a tulajdonos arra ébredjen, hogy hálószobájával együtt egyszer csak a mélybe szakadt.

De az alábbiakban azért nem ilyen közvetlenül kapcsoljuk össze a többröket és a pénzt, hanem csak matematikailag. A közgazdászok már régóta fölismerték a lognormális eloszlás fontosságát. Az emberek jövedelme ugyanis lognormális eloszlást mutat **(6. ábra)**. Épp az a helyzet, mint a többrökkel. Vagyis ami a magasság esetében furcsán hatott, az a jövedelmekre igaz: nagyrészünk „anyagilag törpe", de vannak érzékelhető számban (feltehetőleg az ismerőseink között is) gazdagok, és ha máshonnét nem, a médiából biztosan hallunk olyan emberekről, akik 100-szor, vagy akár még többször annyit „visznek haza" havonta, mint mi. És itt egy picit pontosítani kell: a jövedelem-eloszlás a teljes populáció mintegy 98%-ára nézve valóban lognormális, de a felső „farok" már hatványtörvény szerint írható le, ami a lognormálishoz képest még egy kicsit lassabban cseng le, azaz valamivel több dúsgazdag embert „enged meg".

Még mindig a pénzügyeknél maradva: ha feltételezzük, hogy a vállalatok növekedése adott időegységenként a méretükkel arányosan, egy véletlen szorzóval növelve változik, tehát maga a növekedési ráta a mérettől független, akkor az eredmény az lesz, hogy a vállalatok mérete egy idő után lognormális eloszlást fog mutatni. Ezt az összefüggést, amit ma *„multiplikatív folyamat"* néven ismerünk, *Gibrat* már az 1930-as években leírta, és többé-kevésbé igaz is, bár a feltétel nem pontosan érvényes, mert a behemót nagyvállalatok már nem tudnak olyan ütemben nőni, mint a kicsik, így a lognormális eloszlás sem érvényesül pontosan. A valós üzleti életből nyert adatok így ez

esetben is legjobban a hatványtörvény és a lognormális eloszlás kombinációjával írhatók le.

A nagy adatbázisoknak, a gyors gépeknek és az internetnek köszönhetően az 1990-es évek végén minden tudományban felpörgött az eloszlások vizsgálata. Az informatikus *Michael Mitzenmacher* volt az, akinek feltűnt, hogy a lognormális és a hatványtörvény szerinti eloszlás milyen sok különböző tudományterületen jön elő a közgazdaságtantól az informatikán át a biológiáig, és hogy mennyire összemosódik ez a két eloszlás. Ő mutatott rá arra, hogy a lognormális eloszlás és a hatványtörvény szerinti eloszlás elnyúló farka oly mértékben hasonló, hogy sok esetben gyakorlatilag nem lehet statisztikailag egyértelműen eldönteni, hogy melyik eloszlásról van szó. Másrészt elméleti úton levezette, hogy ha csak egy nagyon picit „belenyúlunk" egy multiplikatív modell feltételeibe, például fölállítunk egy küszöbértéket, vagy több ilyen folyamat hatását összegezzük, akkor az eredmény már nem is lognormális, hanem hatványtörvény szerinti lesz.

Lássuk tehát, hogy mindez mit jelent a többrökre nézve:

1. A spanyol kollégával való vitámat lehet, hogy sosem fogom tudni eldönteni...
2. A többrök növekedése egy multiplikatív modellel írható le. Ennek lényege, hogy a többrök növekedése során a véletlen hatások nem összeadódnak, hanem összeszorzódnak. Ez egy jó megközelítésnek tűnik, mivel valószerű az a feltevés, hogy a többröt formáló csapadék, ami végső soron az oldást elősegíti, arányos a többör aktuális méretével, továbbá a beszivárgó vízmennyiség arányos lehet a mélybevezető járatok, repedések kapacitásával, ami szintén a többör fejlettségétől függ. Vagyis a többrök növekedése a méretükkel arányos, és a tényleges növekedést emellett véletlen hatások befolyásolják. Ez épp a multiplikatív modell alapfeltevése, így jól magyarázhatjuk ezzel a többrök növekedését és a méretek lognormális eloszlását, bár a valóságban természetesen mindenféle további „bonyolító folyamatok" hozzávehetők a modellhez.

... és a végén a kommentek

A komment elég sajátos műfaj. Politikai oldalak alján az embernek mindentől elmegy a kedve, ha belenéz a hozzászólásokba, vannak azonban érdekes témák, amik körül akár érdemi vita is kibontakozhat, tudományos híreknél például gyakran pontosító információkat olvashatunk egy-egy cikk után, stb. *Pawel Sobkowicz* és társai azonban nem sokat törődtek a tartalommal, hanem bedobtak pár millió kommentet az elemzésükbe, és pusztán a hozzászólások hosszát vizsgálták. És az eredmény ugyanaz lett, mint a többröknél — a kommentek hossza lognormális eloszlást mutatott. Függetlenül a témától, a stílustól és a nyelvtől. Na de mi a helyzet a mögöttes modellel? Az arányos növekedést itt nehéz lett volna ráhúzni a kommentírás folyamatára, ezért ezt elvetették, és teljesen más feltevésekből indultak ki. Egyrészt feltételezték, hogy a komment hossza, vagyis az idő, amit a megírására szánunk, egyfajta „költségként" értelmezhető. Másrészt, ha szeretnénk valamivel nagyobb hatást elérni, több információt közölni egy kommentben, akkor hosszabban kell írnunk. A *Weber—Fechner-féle* pszichológiai törvény szerint 2-szer akkor hatáshoz 4-szer akkora ingerre van szükség, azaz kicsit pontosabban: az érzet az inger logaritmusával arányos. A fenti szerzők azt feltételezték, hogy a kommentekre is érvényes ez a megközelítés, azaz exponenciálisan többet kell írni a hatás lineáris növeléséhez. E két feltételezésből pedig sikerült matematikailag levezetniük, hogy az eredmény lognormális lesz, ami megfelel az általuk tapasztalt tényeknek.

A fenti esetből az az óvatosságra intő tanulság is következik, hogy ugyanaz a gyakorisági eloszlás (jelen esetben a lognormális) előállhat különböző mögöttes viselkedés, modell eredményeként is, az eloszlás ismerete tehát nem jelenti automatikusan egy probléma teljes megválaszolását.

Még temérdek példát lehetne sorolni különféle jelenségekről, amelyek lognormális eloszlással jellemezhetők, de én örülök, ha valaki idáig eljött velem a nehezen járható többrök és a talán még nehezebben járható matematikai okfejtések terepén, és ha valakinek mindezek után véleménye is van a cikkről, hát írjon nekem egy kommentet!

TELBISZ TAMÁS

IRODALOM

Barabási, A. L. (2003). Behálózva. A hálózatok új tudománya. *Magyar Könyvklub, Budapest*.

Limpert, E., Stahel, W. A., & Abbt, M. (2001). Log-normal Distributions across the Sciences: Keys and Clues. *BioScience*, 51(5), 341-352.

Mitzenmacher, M. (2004). A brief history of generative models for power law and lognormal distributions. *Internet mathematics*, *1*(2), 226-251.

Sobkowicz, P., Thelwall, M., Buckley, K., Paltoglou, G., & Sobkowicz, A. (2013). Lognormal distributions of user post lengths in Internet discussions - a consequence of the Weber-Fechner law?. *EPJ Data Science*, *2*(1), 2.

Telbisz, T., Látos, T., Deák, M., Székely, B., Koma, Z., & Standovár, T. (2016). The Advantage of Lidar Digital Terrain Models in Doline Morphometry Compared to Topographic Map Based Datasets-Aggtelek Karst (Hungary) as an Example. *Acta Carsologica*, *45*(1), 5-18.

Scientific Reports,
(2017. november)

MEGLEPŐEN NAGYOT HARAPOTT AZ ÓRIÁSI ŐSVIDRA

Egy farkas méretű kihalt vidrának nagyon robusztus állkapcsa volt, ami arra utal, hogy az állat 6 millió évvel ezelőtt a csúcsragadozók közé tartozhatott. A körülbelül 50 kg-os tömegével a *Siamogale melilutra* nagyobb volt, mint bármely ma élő vidra. A kutatók Délnyugat-Kína területén tanulmányozták az ősvidra egykori vizes élőhelyét és táplálkozását.

Abból indultak ki, hogy a rágás terén az állat a tengeri vidrának, vagy a fokföldi vidrának a nagyobb változata lehetett, és emiatt nagyobb prédaállatokat tudott megenni. A vizsgálatok eredménye azonban végül teljesen mást mutatott. Számítógéppel szimulálták hogyan deformálódtak a S. melilutra állkapcsai harapás közben, és azt találták, hogy az állkapocs csontjai jóval erősebbek voltak, mint feltételezték. Az állkapocs merevsége meglepően erős harapást biztosított a vidrának, még a nagy méretét figyelembe véve is. A Siamogale keményebb és nagyobb prédával is el tudott bánni, mint a ma élő fajok. Biztosra ugyan nem lehet tudni, de a paleontológusok azt feltételezik, hogy a kínai vidra a mai rokonaihoz képest sokkal inkább a csúcsragadozók közé tartozott.

A mai vidrák étrendje változatos, a különböző fajaik menüjében szerepet kapnak többek között növények, rágcsálók, halak, rákok és kagylók is. Habár arról egyelőre nincsenek adatok, hogy a kínai ősvidra mit evett pontosan, de a S. melilutra állkapcsai elég erősek voltak ahhoz, hogy a nagyméretű puhatestűek héjait, vagy akár madarak és rágcsálószerű kisemlősök csontjait is összeroppantsák. Hogy jobban megértsék a kihalt egykori fajt, részletesen összehasonlították a ma élő rokonokkal. Komputertomográf (CT) segítségével beszkennelték a koponyákat és a 13 ma élő fajból tíz esetében 3D-s digitális modelleket hoztak létre annak tanulmányozására, hogy ezeknél a fajoknál milyen erőhatások lépnek fel az állkapocscsontokban harapás közben. A kutatócsoport a S. melilutra faj modelljét is elkészítette, miután az összenyomott fosszília alapján sikeresen megalkották a digitális rekonstrukciót. A vidra állkapocs szimulációk összehasonlítása fordított arányosságot mutatott az állkapocs merevsége és az állat mérete között: a kisebb vidráknak voltak erősebb állkapcsai. Pont a S. melilutra volt a kívülálló, mivel az állkapcsai hatszor erősebbek voltak, mint korábban feltételezték. A masszív állkapocs, az állat méretével párosulva, félelmetes vadásszá tehette a kínai vidrát.

A Délnyugat-Kínában talált lelőhely területét 6 millió évvel ezelőtt egy mocsár, vagy sekély tó borította, amit örökzöld erdő vett körül. A tavat változatos vízi élővilág népesítette be, halakkal, rákokkal, puhatestűekkel, teknősökkel, békákkal. Sok különböző vízimadár is élt arrafelé, így bőséges választék állt rendelkezésre a potenciális prédaállatokból a S. melilutra számára. Ebben a nedves, erdős környezetben a vidra állkapcsának ereje előnyt jelentett a többi ragadozóval szemben, melyek nem tudtak a vízben vadászni, vagy összetörni a vízben élő préda teknőjét. A ragadozók többnyire azzal a céllal fejlesztenek ki erőteljes állkapcsokat, hogy összeroppanthassák a préda csontjait. Elképzelhető, hogy Dél-Kína sekély mocsaraiban a hatalmas kagylók bőséges előfordulása késztette a vidrákat olyan ritka tulajdonságok kifejlesztésére, mint a mindent összeroppantó fogak és a robusztus állkapcsok.

Amellett, hogy az új vizsgálatok bepillantást nyújtottak a S. melilutra életébe, több általános kérdést is felvetettek az állkapcsok ereje és az állatok táplálkozása közötti összefüggésekről. A kutatók azt feltételezik, hogy azoknál a fajoknál találhatók erőteljesebb állkapcsok, amelyek keményebb táplálékot fogyasztanak. Az új tanulmány szerint azonban a mai vidráknál az állkapocs erőssége a mérettel korrelál, a választott táplálléktól függetlenül. Ezt az ellentmondást az eszközhasználat magyarázhatja, hiszen ez lehetővé teszi, hogy néhány vidra viszonylag gyenge állkapocscsal és harapó erővel is szívós táplálékot fogyasszon. A tengeri vidra például háton úszik, és a mellkasát

használja üllőként, hogy azon kövekkel feltörje a táplálékát. Az eszközhasználat azonban nem magyarázza meg teljesen azt a mintát, amit a paleontológusok láttak, így további vizsgálatok szükségesek a trendek megértéséhez. A kínai S. melilutra erős állkapcsai mindenesetre arra utalnak, hogy ez a primitív vidra még biztosan nem használt eszközöket.

www.wissenschaft.de
(2017. november)

bild der wissenschaft

GYÓGYULÁS A BELSŐ ÓRA SZERINT

Belső óránk nemcsak az ébrenlétünket és alvásidőnket szabályozza, hanem a testi működésünket is befolyásolja, sőt a kutatók arra jöttek rá, hogy még a sebgyógyulás is függ a belső időzítő ritmusától: ha éjszaka sérülünk meg, átlagosan 60 százalékkal hosszabb ideig tart a sebgyógyulás.

Forgó világunk meghatározza testünk legutolsó, legkisebb sejtjét is. Mert mint a legtöbb élőlénynek, az embernek is van belső órája, amely gondoskodik arról, hogy tevékenységünk, valamint testünk tudatalatti folyamatai kövessék a nappal és éjszaka változásának ütemét. Ehhez sejtjeinkben speciális, úgynevezett óragének szinkronizálnak agyunk központi órájával. Ezek működésének feltárásáért kapta idén három kutató az orvosi Nobel-díjat. Ma már tudjuk, hogy a belső óra irányítja fiziológiai folyamataink nagy részét: befolyásolja a testhőmérséklet és a vérnyomás ingadozását, de a hormontermelést vagy az immunrendszer aktivitását is. Ha nem a belső óránk ritmusa szerint élünk, például a kontinensek közötti időeltolódás érint minket, vagy műszakozunk, akkor ez hosszú távon akár meg is betegíthet.

A Cambridge-i Molekuláris Biológiai Laboratórium kutatója, *Nathaniel Hoyle* és csapata felfedezték egészségünk egy további aspektusát, amelyet belső óránk befolyásol: ez a sebgyógyulás. A kutatók először azt vizsgálták, hogy a fibroblasztok tevékenységük során követik-e a belső ciklust. Ezek a kötőszöveti sejtek fontos szerepet játszanak a sérült szövetek javításában. Sérülés esetén a fibroblasztok reagálnak a kémiai jelekre, amelyek arra ösztönzik őket, hogy behatoljanak a sérült területekre és ott szaporodjanak. Ennek eredményeképpen a sebszélek ismét összenőnek. Ugyanakkor a fibroblasztok elősegítik a kollagén bejuttatását is a sebszövetbe. A kollagén olyan fehérjerost, ami a bőrt mint egy rugalmas támasztóváz szövi át.

A sejtkísérletek kimutatták, hogy a fibroblasztok aktivitása is ingadozik a nap folyamán. Napközben az elszigetelt és kultúrában tartott bőrdarabokon lévő sebekbe gyorsabban vándoroltak, mint éjszaka. A következő lépésben azt vizsgálták, hogy mindez hogyan befolyásolja az élő állatok sebgyógyulását. Ehhez egereken pihenőidejükben, valamint ébrenlétük alatt kis, felületes bőrsérülést ejtettek, és összehasonlították, hogy ezek a sebek milyen gyorsan húzódtak össze. Megfigyelték, hogy a fibroblasztok jelentősen nagyobb intenzitással vándoroltak a sebekbe, amikor azok az aktív fázisban keletkeztek. Ennek eredményeképpen a sebek nemcsak gyorsabban záródtak, hanem a sebszövetben több új kollagén is képződött.

A döntő kérdés az volt, hogy vajon a fenti megfigyelések alkalmazhatók-e az emberekre is. Ennek tesztelésére a kutatók 118 angliai és walesi égési sérüléssel kezelt betegből származó adatot értékeltek. Ezen vizsgálat során is egyértelmű ritmust állapítottak meg: 60%-kal hosszabb sebgyógyulási időtartamot figyeltek meg abban az esetben, ha az égési sérülés éjszaka történt. Éjfél és hajnali 4 óra közötti sérülés estén a sebgyógyulás 39 napig tartott. Délelőtti vagy késő délutáni sérülés esetén ezzel szemben csak 15—16 napig. Átlagosan a sebgyógyulás éjszakai sérülés esetén 28, napközbeni sérülés esetén csupán 17 napig tartott.

Először nyert bizonyítást, hogy a ritmusteny ezők a sebgyógyulás szempontjából is fontosak. S ami izgalmas a dologban: sejtszinten és egereknél megállapították, hogy a sebgyógyulás felgyorsítható, ha a sejteket becsapják, megtévesztik őket a napszakot illetően, például éjjel felkapcsolják a villanyt, vagy bizonyos kémiai anyagokat használnak, amelyek képesek megváltoztatni a biológiai órát. Lehet, hogy ez az időbeli megtévesztés embereknél is alkalmazható, hogy javítsák az éjszakai sérülések gyógyulásának statisztikáját. Mindez például a műtétek időzítése szempontjából is fontos lehet.

FEBRUÁRI SZÁMUNKBÓL

RAFFAI PÉTER: A gravitációshullám-detektorok

NÉMETH GÉZA: Az út vége

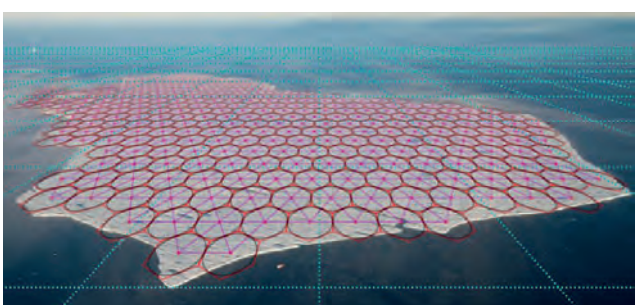
DARNAI GERGELY - JANSZKY JÓZSEF: Az internetfüggő agy

OBORNY BEÁTA: Környezeti hatások az ökológiai rendszerekre

ÚJ MODELL A JÉGHEGYEK FELDARABOLÓDÁSÁRA

A nyáron a Larsen-jégnyelvről levált óriási méretű jégszigethez hasonló, tábla alakú (lapos, nagy kiterjedésű) jéghegyek hosszú ideig sodródhatnak az óceánon, mire apránként elfogynak — részben az olvadással, részben pedig a darabolódással csökken a méretük. Számos okból is fontos lenne megérteni, miként aprózódnak fel, ám a jelenleg használatos jéghegy-modellek nem képesek kezelni ezt a tábla típusú jégképződményt. Az új modellt a Princeton Egyetem kutatói készítették el, és egyaránt alkalmas a jégnyelvekről leszakadó táblák, valamint a már úszó tábla-jéghegyek további sorsának követésére.

A jégtáblákat, mivel ezek változatos méretűek és alakúak, nem egyben, hanem egymáshoz kapcsolódó, azonos méretű elméleti részegységekre bontva vizsgálja a modell. A teljes jéghegy esetén a modell a



Egy 42 négyzetkilométeres táblás jéghegy modellezése
(CRISH PACKHAM FELVÉTELE)

részekre egyenként értelmezi a környezete hatásait, nyomást, áramlatokat, hőmérsékletet, természetesen beleértve azt, hogy az adott rész a jéghegy szélén vagy a közepén van. Az eddigi modellekben egy jéghegy csak pontként szerepelt, de az új modell fizikai kiterjedést és tömeget adott a jéghegynek, így a valóshoz hasonló adatokból valós kölcsönhatásokat lehet vele szimulálni. A modell a részegységeket akár egyenként is szét tudja bontani s az így kapott széttört jéghegyre a hatásokat lépésenként újra kiszámolni. Ezzel a jéghegy borjadzása utáni állapotot is látja, a leszakadt darab és a szülő jégtest körüli viszonyok változásait, e változások továbbgyűrűző hatásait mind a leszakadt darabot, mint a szülő jégtestet illetően. Mindezek mellett a jég leszakadása-mozgása miatti tengeri viszonyok (hőmérséklet, áramlások) változásait is képes megmutatni a modell, s előrejelzi a további olvadás-darabolódás folyamatát e kölcsönhatások tükrében.

(Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 2017. augusztus 17.)

MILYEN FÉNYES A HOLD?

Meglepő, de erre az egyszerű kérdésre csak 5—10%-os pontossággal ismerjük a választ. A szokásos válasz szerint a Hold —13 és —14 magnitúdó közötti fényességű, vagyis körülbelül 400 000-szer halványabb a Napnál. Egyes, a Föld körül keringő műholdaknak azonban kalibrációs célokra ennél sokkal pontosabb, legalább 1% pontosságú értékekre lenne szükségük. Ezért az Egyesült Államok Szabványügyi Hivatala (NIST) 2018 elején új projektet indít, azzal a céllal, hogy minden korábbinál pontosan lehessen megállapítani a Hold fényességét.

A Hold fényességét több tényező befolyásolja, így a fázisa (vagyis a Nap—Hold—Föld szög), pontos távolsága, egyéb látszó elmozdulásai (a librációja és a nutációja) és felszínének fényvisszaverő képessége és az úgynevezett albedója, amely átlagosan kb. 13% (ez a kopott aszfalt szürkeségének felel meg). Szabad szemmel is látható azonban, hogy az albedó helyről helyre változik, ezért látunk sötétebb és világosabb árnyalatú területeket a Holdon. Emellett megfigyelhető, hogy teliholdkor a Hold nem kétszer, hanem körülbelül hatszor olyan fényesnek látszik, mint első és utolsó negyedkor, amikor a Nap csak a felénk forduló oldala felét világítja meg. Az eltérést az okozza, hogy teliholdkor a Nap közel merőlegesen világítja meg a felénk forduló területeket, így eltűnnek az árnyékok.

A Hold felszínének fényvisszaverő képessége rendkívül stabil, mérések szerint a változások legfeljebb egy százmilliomod résznyiek. Kismértékben változik a Nap fényessége is, elsősorban a naptevékenység 11 éves ciklusával összefüggésben, de ezek a változások legfeljebb 0,1%-ot tesznek ki. A megvilágítás szöge a libráció és a nutáció miatt 20 éves periódussal változik, de remélik, hogy 3—5 év alatt a lehetséges megvilágítási szögek 95%-ára vonatkozóan el tudják végezni a méréseket. Az NIST tervei szerint a Hold fényességének megmérését egy 15 cm átmérőjű távcsővel végzik, amelynek lencséje kalcium-fluoridból készül, lehetővé téve hogy a Holdról visszaverődő fényt a látható tartományon kívül az ibolyántúli és az infravörös tartományokban is mérjék. A fény színének kalibrációját minden éjjel a távcsőtől 15 és 30 méterre elhelyezett, széles- és keskenysávú fényforrásokkal végzik. (Erre azért van szükség, mert a Holdat kalibrációs célokra használó műholdak is különböző színképtartományokban dolgoznak.) A megfigyeléseket 2018-tól kezdve a Mauna Loa Obszervatóriumban (Hawaii-szigetek) végzik.

(www.skyandtelescope.com, 2017. október 26.)

Oldásos töbrök a faluhatárban
(Erdődámos, Erdélyi-szigethegység)

Töbrökkel sűrűn tagolt karsztfennsík
(Karabi Jajla, Krím-félsziget)

Töbör-variációk

Telbisz Tamás felvételei

Jég által is formált, glaciokarsztos mélyedések
a Canin-fennsíkon (Olaszország)

A Bimah-szakadéktöbör Ománban

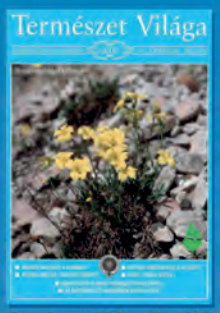
Tölcséres víznyelőkkel rendelkező töbrök a
Felső-hegyen (Gömör-Tornai-karszt, Szlovákia)

A Természet Világa különszámai

A különszámok ára az utolsó kettő kivételével egységesen 500 Ft. Korlátozott számban megrendelhetők a Kiadónknál, a Tudományos Ismeretterjesztő Társulatnál (1088 Budapest, Bródy Sándor utca 16. Telefon: 327 8965, fax: 327 8969, e-mail: titlap@telc.hu).

A ■-tel megjelölt számaink már csak könyvtárakban hozzáférhetők.

Evolúció (1995)■



Természetvédelem (1995)■

World of Nature (1995)

Változások a légkörben és az éghajlatban (1996)■

A biológiai sokféleség (1996)■

Időjárás és előrejelzés (1998)■

Geológia (1998)

Matematika (1998)■

Orvostudomány (2000)

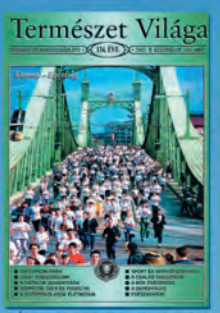
Informatika (2000)

Mikrovilág (2000)■

A magyarországi fizika kultúrtörténete (2001, 2002)

A természet múzeuma (2002)

Bólyai-emlékszám (2003)



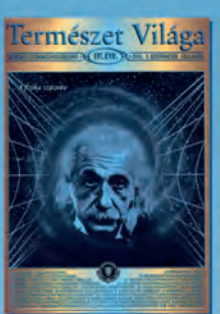
Életmód-Egészség (2003)

Neumann-emlékszám (2003)

Együtt (2004)

Kémia (2005)

Idegtudomány (2006)



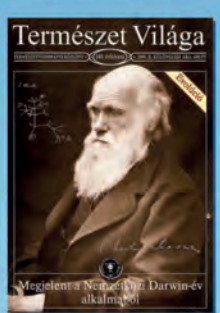
A fizika százada (2006)

Napjaink kémiája (2007)

Földközelben a világűr (2008)

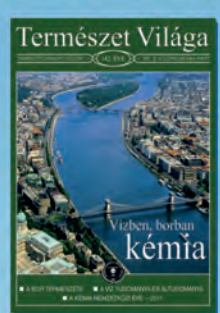
A Föld éve (2008)

Feltárul a Világegyetem (2009)

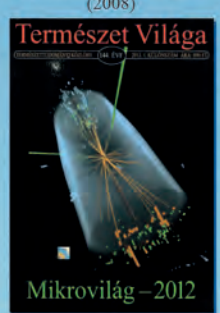


A Darwin-év (2009)

Emberközelben a fizika (2011)



Vízben, borban kémia (2011)

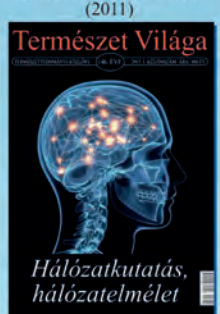


Mikrovilág – 2012

Káosz, környezet, komplexitás (2013)

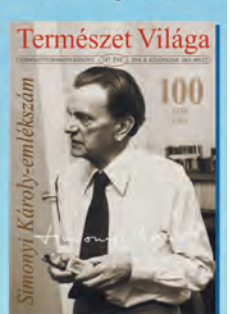
A Kalmár-verseny feladatai (2014)

Európával a világűrben (2014)



Hálózatkutatás, hálózatelmélet (2015)

Ember és környezet kapcsolata (2016) Ára: 980Ft



Simonyi Károly-emlékszám (2016) Ára: 980Ft

Nemzeti Kulturális Alap