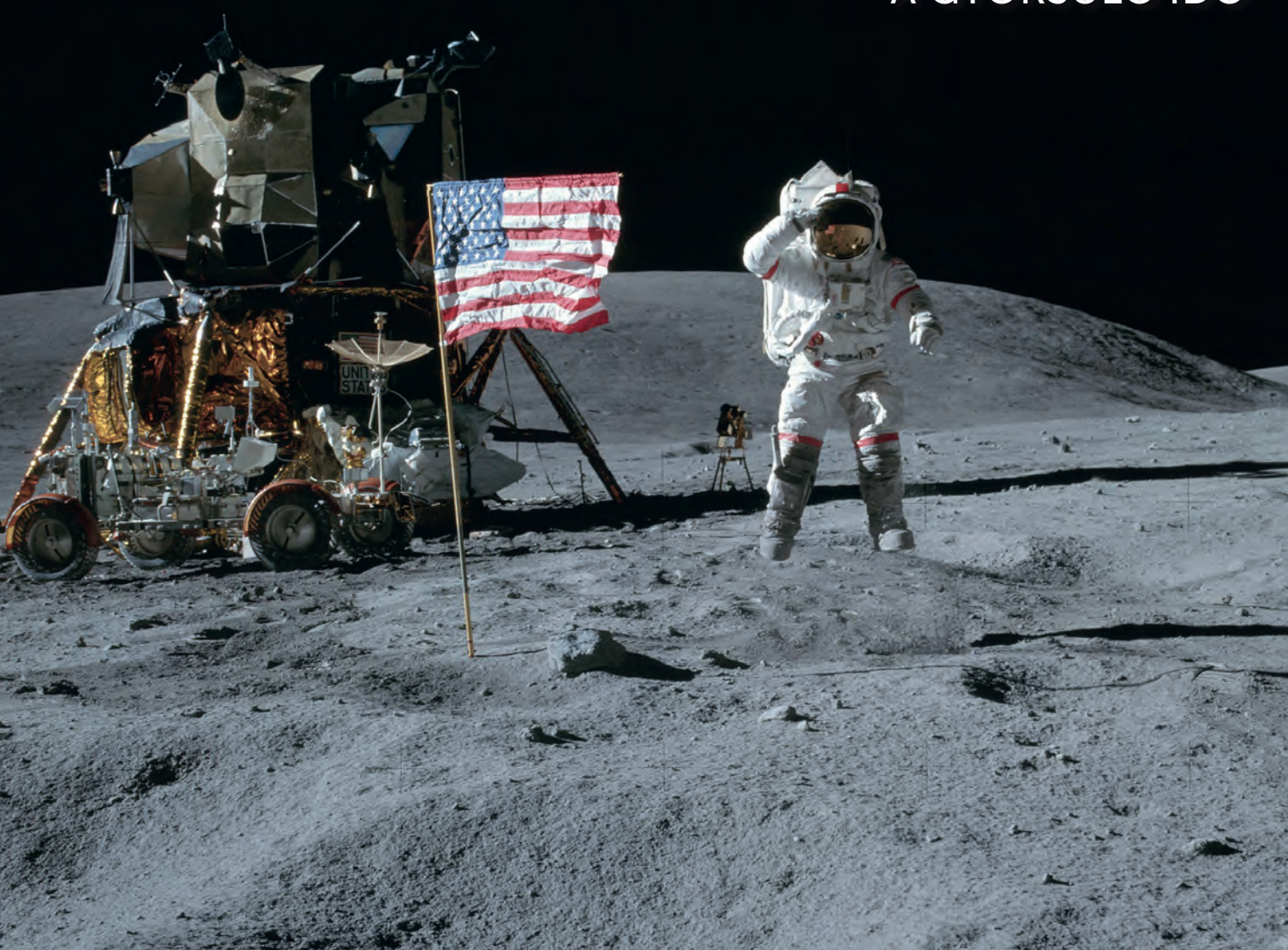
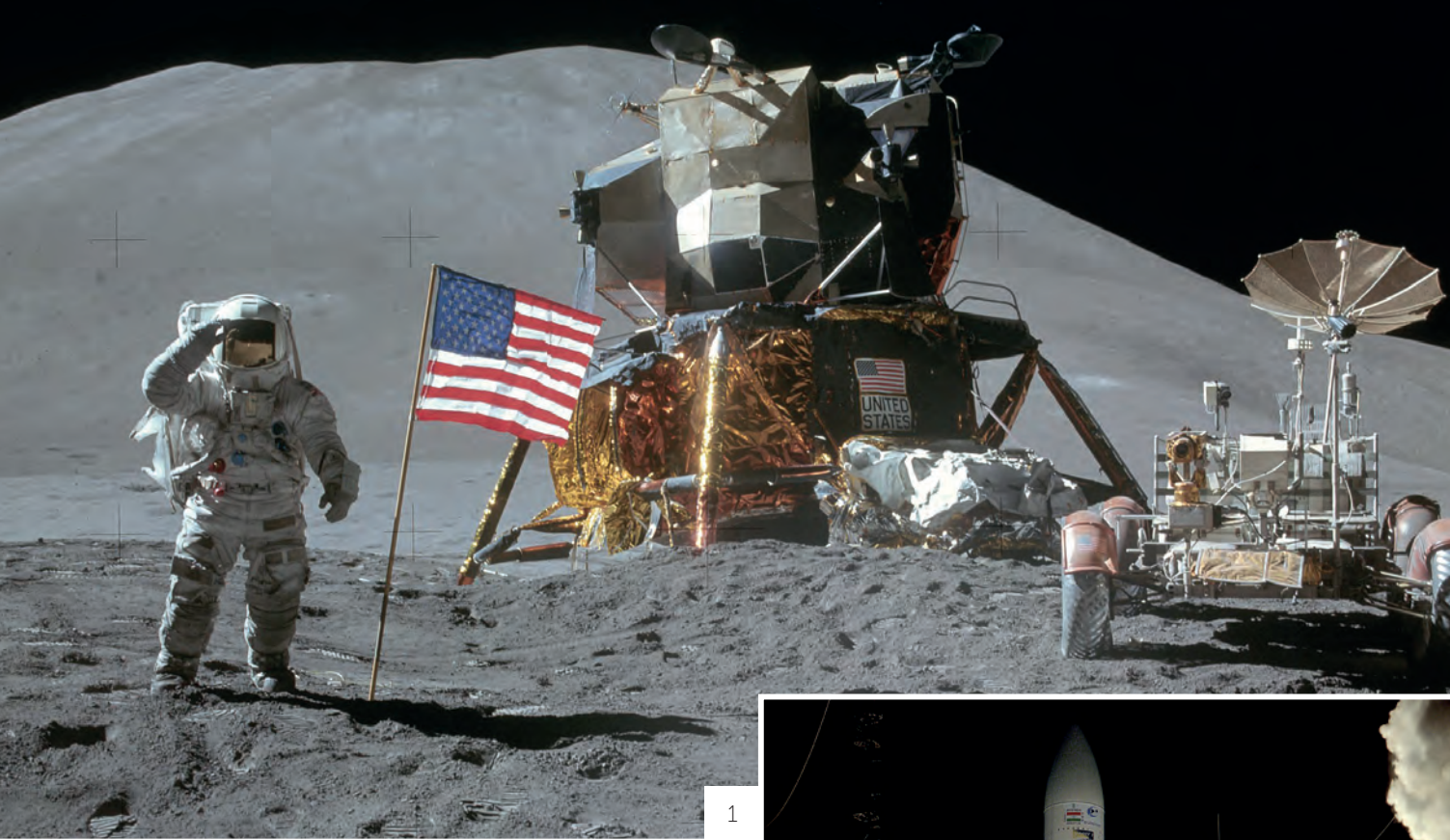
Természet Világa

TERMÉSZETTUDOMÁNYI KÖZLÖNY • 150. évf. 7. sz. • 2019. JÚLIUS ÁRA: 800 Ft
Előfizetőknek: 670 Ft

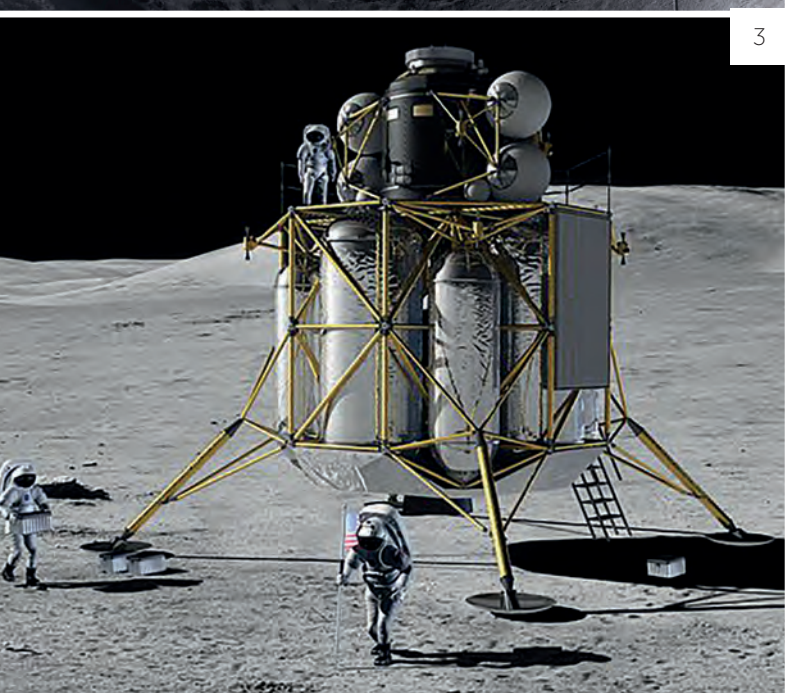
TÖRTÉNELMI KÖZVETÍTÉS
AZ ÁLCÁZÁS FORMÁI
ARTEMIS-PROGRAM
EMBER A HOLDON
ÓRIÁSOK VÁLLÁN
A GYORSULÓ IDŐ





1

2



3

4

Képösszeállításunk a holdraszállás 50. évfordulója kapcsán közölt holdkutatási cikkfüzérünkhöz

1. Az Apollo–15 pilótája, James Irwin a holdkomp előtt tisztelteg az amerikai zászlónak, jobbra az elsőként a Holdra vitt holdautóval *(Kép: NASA)*

2. Elképzelt NASA holdbázis a déli pólusnál *(Fantáziakép)*

3. Leszállás a Holdra az Atair űrhajóval *(Fantáziakép)*

4. Az Európai Űrügynökség (ESA) első holdszondáját, a SMART–1-et 2003. szeptember 27-én a francia guyanai Kourou-ból Ariane–5 rakétával indították a Hold felé *(Kép: ESA/CNES/Arianespace - Service optique CSG)*

Természet Világa

A TUDOMÁNYOS ISMERETTERJESZTŐ TÁRSULAT FOLYÓIRATA

Megindította 1869-ben
SZILY KÁLMÁN
KIRÁLYI MAGYAR
TERMÉSZETTUDOMÁNYI TÁRSULAT

A TERMÉSZETTUDOMÁNYI KÖZLÖNY
150. ÉVFOLYAMA

2019. 7. sz. JÚLIUS
Magyar Örökség-díjas és
Millenniumi Díjas folyóirat

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

Főszerkesztő: GÓZON ÁKOS

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

BOTH ELŐD: Múlt, jelen, jövő – Ember a Holdon 290
ALMÁR IVÁN: A hatalmas ugrás – Történelmi közvetítés, történelmi távlatok 291
BÉRCZI SZANISZLÓ: A Hold anyagainak kutatása – Égi kísérőnk geológusszemmel 296
BOTH ELŐD: Nem szünetel a Hold kutatása – Főszerepben az automaták 303
HORVÁTH ANDRÁS: Holdi űrkapu és marsi indítóállomás – Az Artemis-program 309
WESZELY TIBOR: 150 sor a tudományról – A gyorsuló idő 313
PAULOVKIN ANDRÁS: Az imádkozósáskák védekezési stratégiái – Az álcázás formái 316
NAGY JENŐ: A magyar madártan 150 éve – Óriások vállán 322
FÖLDTUDOMÁNYI FIGYELŐ (Szoucsek Ádám) 328
KÖNYVISMERTETŐ (Farkas Csaba) 331
FOLYÓIRATSZEMLE (Landy-Gyebnár Mónika, Szabó Márton) 332
HÍREK (Dulai Alfréd, Landy-Gyebnár Mónika) 335

Címlapképünk: John Young, az Apollo-16 legénységének tagja a Holdon

Borítólapunk második oldalán: Képösszeállításunk a holdraszállás 50. évfordulója kapcsán közölt holdkutatási cikkfüzérünkhöz

Borítólapunk harmadik oldalán: Az imádkozósáskák védekezési stratégiái (Paulovkin András felvételei)

Mellékletünk: A XXIX. Természet – Tudomány Diákpályázat versenyszabályzata; A XXVIII. Természet –Tudomány Diákpályázat cikke (Szalai Andor: Foktő, a nyolcszáz éves falucska)

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

Elnök: VIZI E. SZILVESZTER

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

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

Szerkesztők:
TEGZES MÁRIA (tegzes.maria@ termvil.hu; 06–1–327–8954)
LŐRINCZ HENRIK (lorincz.henrik@ termvil.hu; 06–1–327–8961)
NYERGES GYULA (nyerges.gyula@ termvil.hu; 06–1–327–8960)
SZOUCSEK ÁDÁM (szoucsek.adam@ termvil.hu; 06–1–327–8951)

Tervezőszerkesztő: LÉVÁRT TAMÁS

Szerkesztőségi irodavezető:
DEME LÍVIA (info@termvil.hu; 06–1–327–8950)

Ember a Holdon

Ebben a hónapban emlékezünk meg arról, hogy éppen 50 évvel ezelőtt lépett először ember a Holdra. Az esemény mérföldkő volt a Hold kutatásának történetében, de egyben az emberes űrrepülések történetének is eddigi csúcspontját jelentette. Tudományos sikerről beszélünk, pedig a nagyszabású vállalkozásban a tudomány csak mellékszereplő volt. A fő célt az űrversenyben, a Hold eléréséért folytatott versenyfutásban az elsőség megszerzése jelentette, ami sikerült, hiszen 1969. július 21-én az Apollo-11 két űrhajósa, Neil Armstrong és Edwin (Buzz) Aldrin – elsőként az emberiség történetében – a Hold felszínére lépett, ahol kőzeteket gyűjtöttek és tudományos kísérleteket hajtottak végre.

Az Apollónak kétségtelenül az első holdraszállás volt az (egyik) csúcspontja, de valójában a program az űrkutatás egy hosszabb, sikeres fejezetét jelentette. Kennedy elnök 1961-ben hirdette meg, kijelölve az űrverseny következő célpontját. Szándékának megfelelően sikerült „az évtized vége előtt embereket a Holdra juttatni, és onnan épségben visszahozni". A hat sikeres holdraszállást végrehajtó Apollo-program két további mérföldkövét kell ehelyütt megemlíteni. Óriási jelentőségű volt 1968 decemberében az Apollo-8 küldetése, amikor először keringtek űrhajósok a Hold körül, bár akkor még nem szálltak le. Az Apollo-15 űrhajósai vitték magukkal a program három holdautója közül az elsőt, amelyről azt érdemes kiemelni, hogy vezető tervezője Pavlics Ferenc Amerikában dolgozó magyar mérnök volt. (Lapunk korábbi számaiban Pavlics Ferenccel készült interjút olvashatnak — Természet Világa 2008/8. és 9., valamint 2010/9. szám.) Az Apollo-program eseményeinek részleteiről Almár Iván cikkében olvashatnak bővebben.

A több évre elhúzódó évforduló-sorozat jellegéből adódóan a Magyar Asztronautikai Társaság (MANT) már tavaly megkezdte megemlékező rendezvényei sorozatát, amikor az Apollo-8 fél évszázados évfordulója alkalmából a Híradástechnikai Tudományos Egyesülettel közösen tartottunk ismeretterjesztő konferenciát. Ennek a rendezvénynek a gondolati vezérfonalára épülnek fel azok a cikkek, amelyeket a MANT szakemberei most, a Természet Világa évfordulós összeállításában közzétesznek.

Almár Iván, a MANT örökös tiszteletbeli elnöke a szemtanú hitelességével emlékezik vissza az eseményre, hiszen ő a Magyar Televízió stúdiójában szakértőként kommentálta azt az eseményt, amelyet olvasóink többsége már csak az űrhajózás-történeti könyvekből ismer. Bérczi Szaniszló, a MANT elnökségi tagja cikkében ízelítőt ad azokból a tudományos eredményekből, amelyek az Apollo-program hat holdraszállása során a Földre hozott 384 kg holdkőzet és holdpor elemzéséből születtek. E sorok írója, a MANT jelenlegi elnöke megpróbálja eloszlatni azt a tévhitet, miszerint az Apollo-program óta semmi sem történt a Hold kutatásában. Végül, de nem utolsósorban Horváth András, a MANT korábbi elnöke a jövőbe tekint, írásában felvázolja, mi várható a Hold kutatásában a közelebbi és távolabbi jövőben.

Amint cikkeinkből kiderül, a jövőt illetően megoszlanak véleményeink, ki optimistábban, ki pesszimistán látja a Hold kutatásának jövőjét. Csak az a biztos, ami már megtörtént — körülbelül 50 évvel ezelőtt. Huszonnégy űrhajós eljutott a Hold távolságáig (közülük hárman kétszer is), olyan messzire, ahol az Apollo-űrhajósokon kívül ember még nem járt: ezerszer messzebbre, mint a Föld körül keringő űrhajósok. Tizenketten közülük a Holdra léptek, hat társuk a Hold körül keringve várta őket. A Holdra le nem szálló három küldetés kilenc űrhajósa szintén közvetlen közelről láthatta égi kísérőnket. A hat holdraszállás során tizennégyszer léptek ki a Hold felszínére, néhányan alkalmanként hét órát meghaladó ideig dolgoztak a Holdon. Az ő emberi, tudományos és műszaki teljesítményükre emlékezünk összeállításunkkal.

BOTH ELŐD

A HATALMAS UGRÁS

Történelmi közvetítés, történelmi távlatok

Az első holdraszállás az Apollo-expedíciók keretében 50 éve történt. Kennedy elnök 1961. május 25-én hirdette meg azt a programot, amelynek keretében a NASA 10 éven belül embereket juttat a Holdra és vissza is hozza azokat. 1969. július 20-án történt meg a program első leszállásának sikeres teljesítése.

Mindenekelőtt helyezzük az Apollo-11 történelmi repülését az egész Apollo-program keretébe! A kezdőpont egyértelműen Kennedy elnök nevezetes beszéde volt röviddel Gagarin űrrepülése után, 1961. május 25-én. (Kennedy halála után Lyndon Johnson, a korábbi alelnök lett az elnök, aki egészen 1969 elejéig fáradozott az Apollo-program megvalósításán, a sikerek gyümölcseit azonban már utóda, a republikánus Nixon elnök aratta le.) Azonnal kezdetét vette a szükséges hordozórakéta, az űrhajó, és a holdkomp fejlesztése, amely csak 1967. január 27.-én szakadt meg rövid időre az Apollo űrkabin tragikus földi tesztelésekor kirobbant tűz miatt, amely három űrhajós halálát okozta (több áldozata szerencsére nem volt az egész, nagyon komoly kockázattal járó programnak).

Az első Apollo űrhajósok 1968. október 11-én startoltak Föld körüli pályára az Apollo-7 űrhajóval. Nagy és merész ugrás volt az Apollo-8 vállalkozása, amely 1968. december 21-én már egyenesen a Hold felé indult. Kezdősebessége elérte a szökési sebességet, maximális távolsága a Földtől kereken ezerszer meghaladta a korábbi, Föld körüli űrrepüléseket. A legnagyobb izgalommal az Apollo-11 1969. július 16.-i startját várta az emberiség (**1.ábra**). A holdraszállás a terveknek megfelelően sikerült, az űrhajósok épségben tértek vissza a Földre. Ezt követően félévente repült 3-3 amerikai űrhajós a Hold különböző tájaira. Az Apollo-13 útja 1970. április 11-én indult, de már két nappal később megsérült az űrhajójuk egy robbanás következtében. Az űrhajósok szerencsére épségben haza tudtak repülni.

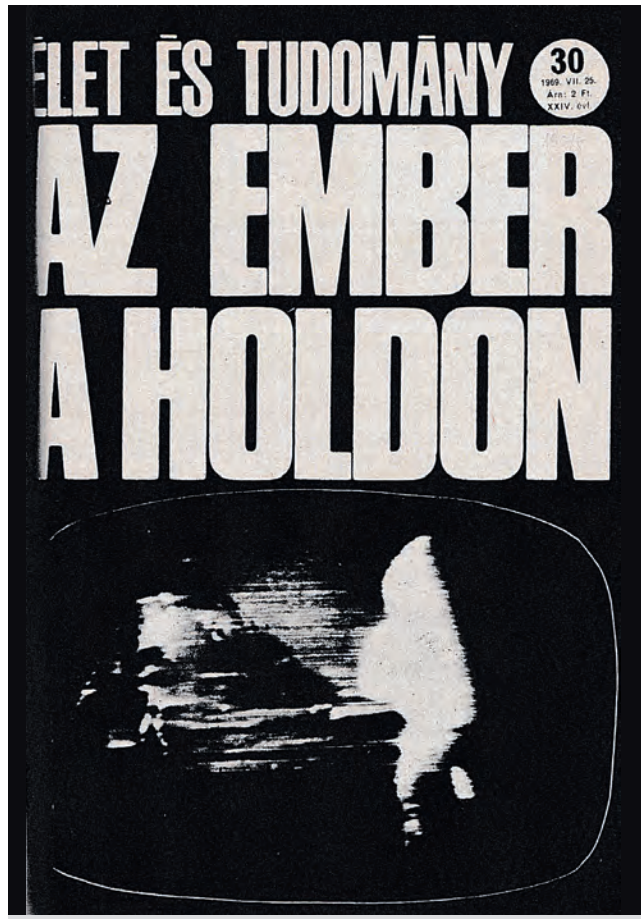
1.ábra. Az Apollo-11 Saturn-V rakétájának startja

Az 1971. július 29.-én indított Apollo-15 vitte magával a felszíni kutatásokat segítő első holdautót. Utolsóként 1972. december 7-én startolt a Hold felé az Apollo-17, amelyen helyet kapott az egész program egyetlen civil űrhajósa, Harrison Schmitt geológus is. A program befejezését későbbre tervezték, de az utolsó két repülést — főképp a nagyközönség érdeklődésének drasztikus csökkenése miatt — törölni kellett.

Az alábbiakban számszerűen is összegezzük az Apollo-programot. Összesen 11 Apollo-repülésre került sor, ezek közül 9 jutott el a Holdig. Az amerikai űrhajósok a holdfelszín hat különböző helyszínén jártak, ezeken műszereket helyeztek el, és összesen mintegy 400 kilogrammnyi mintát hoztak a Hold felszínéről. Az Apollo űrhajósok száma 32 volt, közülük 24 jutott el kísérő égitestünk közelébe (Cernan, Lovell és Young viszont két alkalommal is!). A 12 amerikai űrhajós közül, akik ténylegesen a Holdon voltak, már csak négyen vannak életben.

A program méreteinek érzékeltetésére néhány mondatot idéznék ötven évvel ezelőtti, az Élet és Tudomány 1969. augusztus 15.-i számában megjelent „Kozmikus Krónika" cikkemből: *„Az Apollo-terv hivatalos bejelentése, 1961. május 25. óta mintegy tízezer különböző feladatot kellett az állami, az ipari és az egyetemi kutatóközpontoknak megoldaniuk. 1966-ban, amikor a legtöbb embert foglalkoztatták, 120 laboratóriumban és 30 ezer ipari cégnél 400 ezer ember dolgozott az Apollo-terv megvalósításáért. A költségvetés ebben az évben elérte az 5900 millió dollárt. Az 1967. januári katasztrófa után lényegesen megszigorították az ellenőrzést, és körülbelül ugyanannyit költöttek az űrhajó és rakétája minden egyes részének előállítására, mint kipróbálására és ellenőrzésére. Az Apollo-11 űrhajósai napi 14 órát gyakorolták a 294 oldalas repülési terv minden mozzanatát. Csupán a holdfelszínre való leereszkedést 150-szer próbálták végig az űrhajómodellel. Amikor eljött a start ideje, sorra ellenőrizték az űrhajó és a Saturn-5 rakéta mind a 15 millió alkatrészét. A repülés ideje alatt a NASA éjjel-nappal telefonkapcsolatot tartott azzal a 40 ezer kulcsemberrel,aki valahol, valamikor valamilyen részlet elkészítését irányította. Üzemzavar esetén így pillanatok alatt elérhették azt, aki a meghibásodott alkatrészért felelős, és esetleg tanácsaival segíteni tud."*

Miben volt első az Apollo-11 az űrhajózás történetében? Ez volt az első leszállás a Holdon embert szállító űrhajóval. Armstrong és Aldrin elsőként tett lépéseket egy idegen égitest felszínén, első esetben sugároztak tévéközvetítést a Holdról, és először fordult elő, hogy űrhajósok műszereket helyeztek el egy másik égitesten. Korábban soha nem hajtottak végre



2.ábra. Az Élet és Tudomány ötven évvel ezelőtti számának címlapja

felszállást egy idegen égitest felszínéről emberekkel. Végül ez volt az első olyan dokkolás Hold körüli pályán, ahol az egyik űrjárműnek a felszínről indulva kellett találkoznia a keringő anyaűrhajóval.

Közvetítjük az első holdraszállást

Az Élet és Tudomány 1969. július 25-i száma címlapján már közölt képet az első holdraszállásról, de a hosszú átfutási idő miatt cikkemben csak előzmények és tervek szerepelnek — többek között a sugárveszély-előrejelzés ma is aktuális problémájáról. (**2. ábra**)

A lap 1969. november 14-i számában „Az Apollo-11-től az Apollo-12-ig" című részletes cikkemből idézem az első holdraszállás hiteles történetét: *„Maga a leszállás a Holdra nem volt egészen zavartalan. Még 15 km magasan repültek, amikor Armstrong a fő hajtómű bekapcsolásával megkezdte a fékezést és egyúttal a felszín feletti magasság folyamatos mérését radarral. A mért értékeket a mozgás egyéb jellemzőivel együtt az űrhajó kis elektronikus számológépe értékelte volna,*

ez azonban hamarosan telítődött és „túlzott megterhelést" jelzett. Armstrong ekkor az utolsó percekben átvette az irányítást, és a holdkompot kézi irányítással az eredetileg kiválasztott leszállási helytől mintegy 6 kmre, egy törmelékes kis kráter belsejébe kormányozta… a megmaradt üzemanyag már csak 49 másodpercre lett volna elég."

Amikor 1969. július 20.-án este ezt a holdatérést közvetítettük a magyar televízió III-as stúdiójából, még senki ismerhette ezt a történetet. Hárman voltunk Echter Tibor orvos-ezredessel és Szőnyi János riporterrel, kezünkben az amerikai követségtől kapott sillabusszal, amely a tervezett menetrendet tartalmazta **(3. ábra)**. Sejtettük, hogy az a homályos kép a „Sas" űrkomp holdatéréséről kicsit késett, de nem törődtünk vele. Próbáltuk megérteni és értelmezni a szöveget és a látványt — amilyet ember korábban még sohasem láthatott. Izgatottan vártuk a kiszállást a holdkompból, de tudtuk, hogy erre még órákat kell várni, amíg az űrhajósok kipihenik magukat, és felveszik szkafandereiket. A televízió főnöke végül úgy döntött, hogy befejezzük az adást, éjjel rögzítik a kilépés izgalmas pillanatait, mi pedig jöjjünk vissza reggel 6 órára, és rendkívüli adás keretében azonnal megkezdhetjük a műsor második részét. (Mivel az osztrák televízió nem így tett, hanem éjjel 3 óra körül folytatta az élő adást, Nyugat-Magyarországon azonnal láthatták, amint kilép Armstrong a Hold felszínére.)

Emlékeim szerint országunk lakosai egyöntetű lelkesedéssel fogadták az amerikai sikert. Egyáltalán nem volt olyan szkepticizmus, mint a szovjet űrsikerek idején. Ehhez hozzájárulhatott az a körülmény is, hogy ezúttal nem egy utólagos közleményben olvashattak róla, hanem televíziós készülékeiken, élőben követhették a páratlan eseményeket. Tapasztalatból állíthatom, hogy szinte mindenki egész életében emlékszik erre az élményre.

3. ábra. A tv-közvetítés egyetlen fennmaradt fényképe a Film, Színház, Muzsika 1969. július 26.-i számában jelent meg. Balról jobbra Echter Tibor, Almár Iván és Szőnyi János.

Lesz-e folytatás?

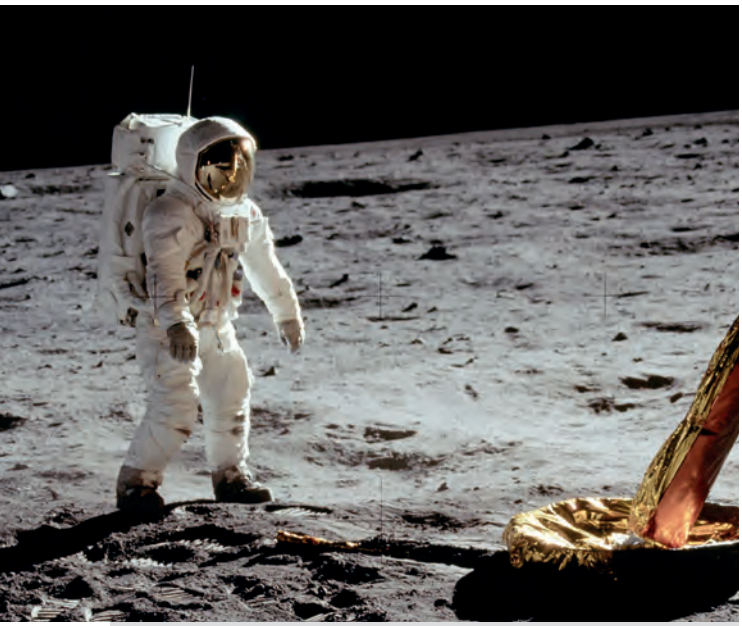
Ez a kérdés jogosan merül fel világszerte, ha visszatekintünk az elmúlt fél évszázad űrhajózási eseményeire. Történelmi léptékben ugyan nem sok az a 47 év, ami az utolsó holdraszállás óta eltelt, de emberi léptékkel, különösen az elvárásokhoz képest, ez nagyon hosszúnak tűnik. Gyakori, hogy az Apollo-utak valóságában kételkedők egyik érvként éppen azt hangoztatják, hogy ha valóban megtörtént volna, akkor folytatták volna az amerikaiak.

Pedig, ha kissé elmélyedünk az Apollo-program történetében, akkor nyilvánvaló, hogy azt a küldetést folytatni semmiképpen nem lehetett. Az adott történelmi helyzetben az Egyesült Államok azért helyezte akkori űrprogramjának középpontjába a holdraszállást, hogy bebizonyítsa a világnak és saját népének is, hogy az űrkutatásban ugyanúgy a világ vezető hatalma, mint a technika egyéb területein. A Szovjetunió látványos űrsikerei az 1950-es és 1960-as években ugyanis valósággal kiprovokálták ezt a válaszlépést. A merész küldetés sikerült, ugyanakkor az is kiderült, hogy Holdunk nem tartalmaz olyan kincset érő erőforrást, amely egyszerűen hasznosítható lenne, és a Hold katonai szempontból is érdektelen. Az amerikai kormányzat, amely az Apollo-programnak valóban korlátlan anyagi támogatást biztosított (az USA GDP-jének akkor jelentősen nagyobb részét fordította egyetlen űrprogramra, mint a későbbi évtizedekben az egész amerikai űrtevékenységre), egyszerűen nem kívánhatta tovább folytatni ugyanezt az utat. A hordozóeszközök és űrhajók vagy megsemmisültek, vagy múzeumokba kerültek, a kiképzett űrhajósokat átirányították más területekre. Az amerikai űrprogram fókuszába — egymással szoros kapcsolatban — a Shuttle űrrepülőgépek és a Nemzetközi Űrállomás (ISS) építése került.

Az „indítsuk rakétáinkat újra a Hold és később a Mars felé" elképzelés tulajdonképpen csak akkor nyert teret, amikor belátható távolságba került az űrrepülőgépek leállítása, és az ISS bezárása. A NASA nagy beszállító vállalatai, mint például a Boeing és a Martin Lockheed elkezdték sürgetni a NASA-nál a további megrendeléseket. Erősödött azok hangja is Amerikában, akik hivatkozva a dicső Apollo-korszak eredményeire újabb szenzációs felfedező utakat sürgettek a Naprendszerben. (Később ebben a kínai, az európai és részben az orosz konkurencia megerősödése is számottevő szerepet játszott — erről lásd Horváth András cikkét.)

Elnöki tervek

Az USA egymást váltó elnökei közül elsősorban a republikánusok voltak fogékonyak erre az érvelésre. A Hold és a Mars „meghódítására" legalább féltucatnyi elnöki kezdeményezés volt, különböző, egyre tolódó céldátumokkal. Ezek közül említésre méltóak a következők: az idősebb George Bush 1989-ben hirdette meg a „Space Exploration Initiative" programot a Hold, majd a Mars felé indítandó űrhajókkal. Ez a kezdeményezés azonban megbukott az amerikai képviselőház ellenállásán. Másfél évtizeddel később az ifjabb George Bush elnök „Vision for Space Exploration" elnevezéssel hasonló víziót hirdetett. A később Constellation-nak nevezett program keretében Ares-V óriás hordozórakéták szállítottak volna Orion űrhajókat a Hold, majd a Mars felszínére. A költségvetési fedezetet főleg az űrrepülőgépek, majd az űrállomás fenntartási költségeinek törlése szolgáltatta volna. Átszervezték a NASA-t is, de a republikánus kormányzatnak már nem volt ideje arra, hogy a terv megvalósítása érdekében jelentős lépéseket tegyen.



4. ábra. Edwin Aldrin (Apollo–11) a holdkomp leszállótalpa mellett *(Kép: NASA)*

Obama elnök 2010. január 15-én a Kennedy Űrközpontban tartott beszédében új elképzelésekkel állt elő. Javasolta a magántőkével Amerikában megvalósított, sikeres űreszközök bevonását a programba. Első célpontként nem a Hold, hanem a Holdon túl keringő kisbolygók meglátogatását javasolta. (Valószínűleg ezzel akarta megnyerni a kisbolygók erőforrásainak kihasználásában érdekelt vállalatok támogatását, valamint feltételezhette, hogy e távoli célpontok a katonákat is érdekelhetik.) A kisbolygókra 2025-ig, a Mars körüli pályára 2030-ig kellett volna eljutniuk a NASA űrhajósainak. Obama terve nem váltott ki nagy lelkesedést a képviselőházban, mert a szükséges új hardver kifejlesztésével keveset foglalkozott, sőt úgy döntött, hogy az ISS-t 2024-ig működésben kell tartani, ami újabb költségnövelő tényező lett.

Mi újat hozott a Trump kormányzat ezen a területen? A NASA próbálta folytatni az Orion űrhajók, és az időközben Space Launch System-nek (SLS) átnevezett hordozórakéták kifejlesztését, de átütő sikert nem produkáltak. A fejlesztés több magánvállalkozással versenyben történt. (Lásd Horváth András cikkét.) Csak nemrég jutott el a Trump kormányzat odáig, hogy nyilvánosan megnevezze céljait ezen a területen. Pence alelnök 2019. március 26.-án a NASA huntsville-i űrközpontjában tartott előadása hangvételében nagyon hasonlított Kennedy elnök 1961-es beszédéhez. Az elnök nevében utasította a NASA-t, hogy öt éven belül, vagyis legkésőbb 2024-ben űrhajósai szálljanak le újra a Holdon, de ezúttal hosszabb tartózkodás és egy holdbázis kiépítése céljából. 2028 és 2032 között évente legyen holdraszállás a Lunar Gateway (magyarul holdi átjáró) űrállomáson keresztül. A Marsra 2037 körül indítana űrhajósokat. A teljes program költségét nem kevesebb, mint 217 milliárd dollárra becsüli.

Jim Bridenstine úr, a NASA vezetője április 9-i beszéde további részleteket árult el az elképzelésből. Eszerint a holdraszállást ezúttal nemzetközi együttműködés

keretében, a magántőke fokozott bevonásával tervezik. Az asztronauták között lenne az első nő, aki eljut a Holdra. A Lunar Gateway felépítéséhez nemzetközi partnereket keresnek, Kanada 500 millió dollárral már csatlakozott is. Az alelnökkel egyetértésben azt hangsúlyozta, hogy „bármi áron" meg kell valósítani az SLS hordozórakéták gyártását, és az egész elnöki űrprogramot. Később hivatalosan bejelentették, hogy az új programot Apollón ikertestvéréről, Artemiszről nevezik el, aki többek között a Hold istennőjének is számított a görög mitológiában. Vagyis amire a NASA jelenleg készül, az az „Artemis-program" megindítása.

Vajon e sok kudarc után lehet-e hinni még abban, hogy a NASA megvalósítja terveit a Hold tartós benépesítésére? Anélkül, hogy utalnánk az ebben a kérdésben nyilvánvalóan fennálló nézetkülönbségekre, egyetlen példára hivatkozunk: a hatodik kontinens, vagyis az Antarktisz „meghódítására". Ez annál inkább jogos analógia, mert az Apollo-program sikere után sokan nevezték a Holdat a Föld „hetedik kontinensének".

Az Antarktiszról köztudott, hogy a behatoló emberrel szemben ellenséges, szinte lakhatatlan világ. Nem véletlen, hogy állandó lakói korábban sohasem voltak, és az sem, hogy meghódítására egészen a XX. század elejéig várni kellett. Roald Amundsen, illetve Robert Scott 1910 körül indultak el csapataikkal a Déli Sark felé. Amundsen 1911. december 14-én érte el célját, vetélytársa Scott csak egy hónappal később. Scott a visszaúton életét veszítette. A sarki verseny ezáltal lezárult, de mi következett ezután? Kevesen tudják, hogy csaknem 40 évig szinte semmi. Voltak ugyan kisebb vállalkozások a déli sarkvidéken, de csak 1947 után kezdtek sarki kutatóbázisokat létesíteni. Ezek az 1950-es években szaporodni kezdtek, különös tekintettel a közelgő Nemzetközi Geofizikai Év feladataira. Ekkoriban létesült az Amundsen-Scott kutatóállomás magán a Déli Sarkon, és még sok más ország önálló, vagy nemzetközi bázisa szerteszét a kontinensen. 2006 körül már 30 állam tartott fenn ilyen kutatóhelyeket, köztük például Románia és Csehország is. Telente ezeken mintegy ezer kutató dolgozott, nyárra a létszámuk meghaladta a négyezret. Jelenleg nyáron már turisták ezrei keresik fel ezt a fagyott világot, de rendeznek például nemzetközi maratoni futóversenyeket is arrafelé. Érdemes megemlíteni, hogy 2019. január 7.-én 44 napos síelés után a magyar Rakonczay Gábor egyedül is eljutott a Déli Sarkra. Ma már joggal hivatkozhatunk az Antarktiszra mint lakott kontinensre annak ellenére, hogy területe (akárcsak a Holdé) nem tartozik egyetlen állam fennhatósága alá sem.

Ha az Antarktisz jó modellnek tekinthető, akkor nem példa nélküli tehát, hogy az úttörő felfedezőket csak évtizedek múltán követi a telepek létrehozatala és a benépesedés. Az, hogy ezt a fontos lépést a Hold esetében ki hajtja majd végre, nem világos még, de a holdutazások terén tapasztalatokkal rendelkező NASA helye minden bizonnyal a szereplők között lesz.

ALMÁR IVÁN

5. ábra. Az első holdraszállás legismertebb képén Edwin Aldrin látható, a képet készítő Neil Armstrong és a holdkomp Aldrin sisakjának ablakán tükröződik *(Kép: NASA)*

E SZÁMUNK SZERZŐI

ALMÁR IVÁN: csillagász, űrkutató, a MANT örökös tiszteletbeli elnöke; Budapest; BÉRCZI SZANISZLÓ: ny. egyetemi docens, ELTE TTK Fizika Intézet, a MANT elnökségi tagja, Budapest; BOTH ELŐD: a Magyar Asztronautikai Társaság elnöke; FARKAS CSABA: író, újságíró; HORVÁTH ANDRÁS: csillagász, űrkutató, a MANT volt elnöke; NAGY JENŐ: Debreceni Egyetem, Debrecen; PAULOVKIN ANDRÁS: Semmelweis Egyetem, Budapest; WESZELY TIBOR: matematikus, tudománytörténész, Marosvásárhely, Románia.

KÖVETKEZŐ SZÁMUNKBÓL

BARTHA JÚLIA: Felfedezni való tájak Kelet-Anatóliában
FUTÓ PÉTER: Egzotikus planéták
HAJNAL BÉLA: Nagyvárosaink a változó térben

A HOLD ANYAGAINAK KUTATÁSA

Égi kísérőnk geológusszemmel

Az évfordulón sok számvetés készül az Apollo-program világképformáló eredményeiről. Cikkünkben az égitest geológiai kutatásáról és a hozott kőzetminták anyagvizsgálatairól adunk tömör beszámolót. Ezt az is megkönnyíti, hogy 25 éve az Eötvös Loránd Tudományegyetemen található egy oktatási anyagminta gyűjtemény a NASA holdkőzeteiből.

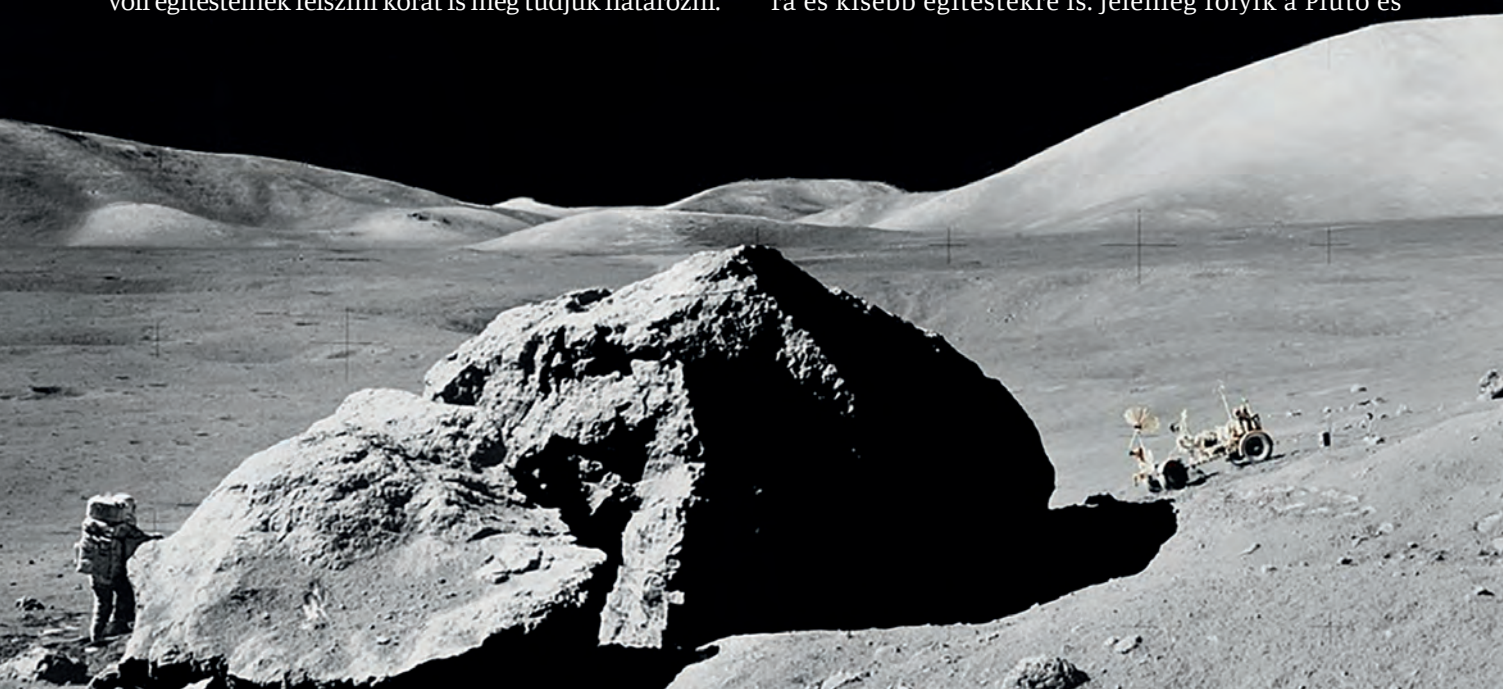
Az égitestek vizsgálatát számos nézőpontból fölvázolhatjuk. A legátfogóbb ismeretelrendezés a Holdról az, ha a szerkezeti hierarchia lépcsőfokain haladva tárjuk föl az égitest szerkezetét.

Első szerkezeti szintként az égitest felszínét kellett föltérképezni. A rétegtani (sztratigráfiai) térképezés már a 60-as évek elején elkezdődött és a leszállási helyek kiválasztását szolgálta. A Hold anyagainak föltérképezése során a földtan által már 300 éve bejárt utat használták. Ennek lényege, hogy első lépésként az égitest felszínén lévő olyan kőzettesteket azonosítottak, melyeket nagy holdi események hoztak létre. Egy évtized alatt az U. S. Geological Survey munkatársai megalkották a hold rétegtanát (Shoemaker és mtsa, 1962, Wilhelms, 1970a, 1970b, Wilhelms és mtsa, 1971). A kőzettestek tulajdonságait, az átfedési viszonyokat először fotometriai úton, távcsöves fényképfelvételekről, majd űrfelvételekről állapították meg. Nem volt azonban segítségükre fosszília (élőlények zárványa) az egymást át nem fedő rétegek relatív sorrendjének meghatározására (a földtani korrelációra). Felismerték azonban, hogy a kőzettesteken elhelyezkedő gyakori forma (a kráter) is lehet, zárványszerepű. Ahogy fokozatosan települ rá a sok kráter, azok sokasága a kőzettest felszínén ugyanolyan „fosszília" szerepkörű, mint korábban a biológiai „hozzátartozók", vagy — a XX. századtól — a bezárt radioaktív elemek is. Az így létrehozott kráterstatisztika segítségével ma már a Naprendszer távoli égitesteinek felszíni korát is meg tudjuk határozni.

A rétegtani térképező munka egyik összefoglalása a holdi rétegtani oszlop, amit mi most egy lépcsőzetes „azték piramis" formájában ábrázolhatunk. Ebben fölsoroljuk a holdi rétegek egymásra települt emeleteit. (Ezek egyúttal a holdi kőzetképződés nagy korszakait is jelentik.) A Holdon a részben szabad szemmel is megfigyelhető sugársávos kráterek a legfiatalabbak (Kopernikuszi emelet), mert a sugársávok mindent elborítanak merőleges napállásnál megfigyelhető módon. Ezek alatt találhatók a szintén fiatalos megjelenésű, de már sugársáv nélküli kráterek (Eratoszthenészi emelet). E két fiatalabb emelet rétegei csak kráternyi foltokban vannak jelen a Hold felszínén, bár kivételesen előfordulnak holdi bazaltsíkságok is az Eratoszthenészi felületeken.

E kráterfoltnyi rétegtani egységek alatt terülnek el a nagy kiterjedésű kőzettestek. Ezek a bazaltsíkságok, amelyek körkörös medencéket töltenek ki. Az egyik ilyen emelet az Imbriumi. Ez az Imbrium-medencéhez kapcsolódik, ahogyan az alatta fekvő még idősebb egység a Nektár-medencéhez kapcsolódó Nektári emelet. Legalul fekszik a krátermezőkkel borított felföldek pre-Nektári emelete. (**2. ábra.**)

Azóta a rétegtan alapelveit több más naprendszerbeli égitestre is alkalmazták, így a Marsra, a Merkúrra, a Jupiter Galilei-féle holdjaira, a Vénuszra és kisebb égitestekre is. Jelenleg folyik a Plútó és



Charon geológiai térképezése is. A XXI. század a Naprendszerléptékű rétegtan (sztratigráfia) kidolgozása, melyet az Apollókkal végzett holdraszállások geológiai térképező előkészítése indított el.

Holdkőzetek az ELTE-n

Öt év alatt hat sikeres leszállást hajtottak végre a NASA űrhajósai a Holdon. A gyűjtött kőzetminták tömege összesen csaknem 4 mázsa (pontos adat: 384 kilogramm). Ebből a hatalmas anyagkészletből a NASA 20 példányban elkészített egy 12 vékonycsiszolatból álló készletet a felsőoktatás számára (**3. ábra**). Ez a mintasorozat áttekintést ad a Hold főbb kőzettípusairól. Vizsgálatuk során képet alkothatunk a Holdon lejátszódott nagyobb kőzettani folyamatokról.

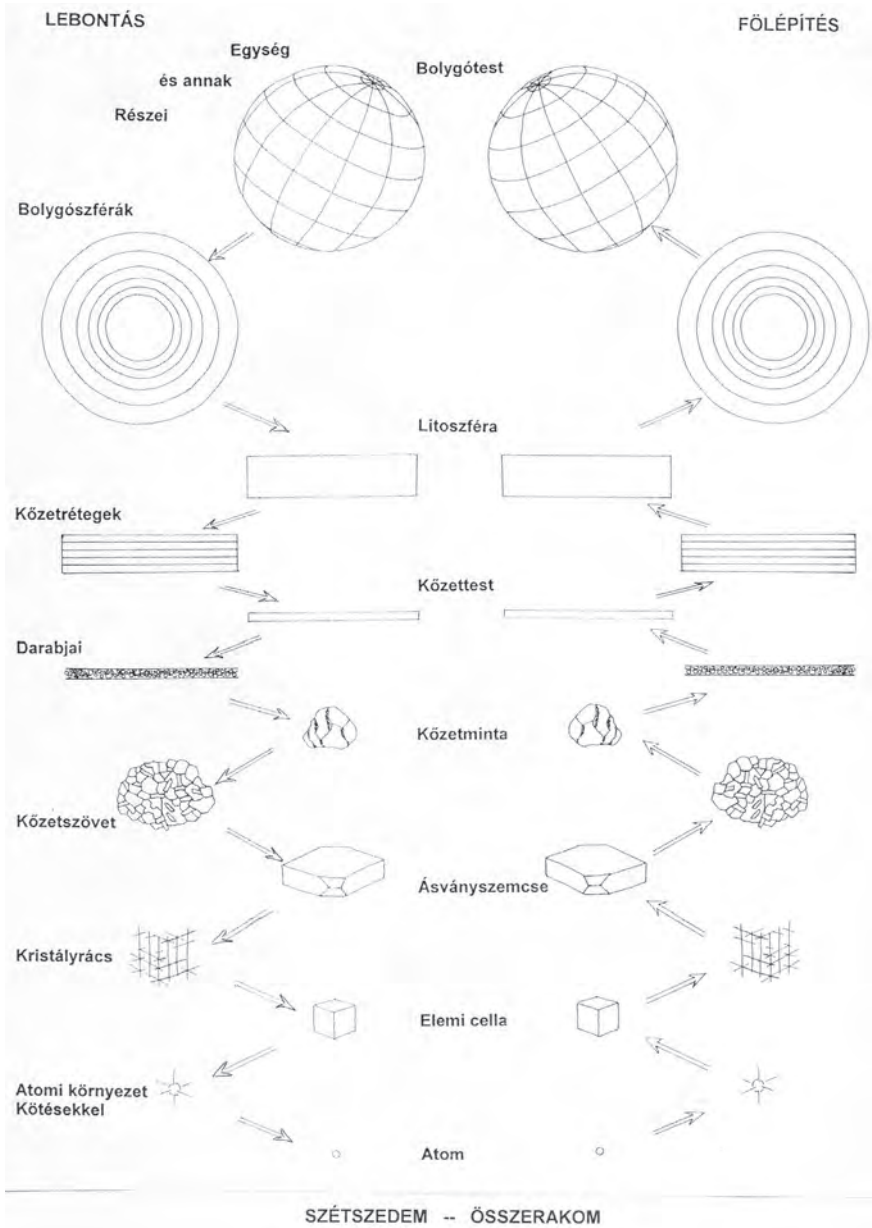
Vegyük sorra ezeket az eseményeket. A holdi kéreg kialakulása 4,4 milliárd éve (anortozit és norit minta), a bazaltos lávaelöntések kialakulása, a felszínre ömlött bazaltok rétegződése (3 bazaltos minta és a narancs színű talaj: egy szitált frakció), breccsák keletkezése (3 breccsa minta: felföldi és láva borította területekről, valamint a Fra Mauro Formációról), s a holdi regolitminták (2 talajmintából szitált frakció és egy talajbreccsa).

Anortozit

Az égitest összeállása után a Hold külső kérge megolvadt. Ezt az állapotot nevezik magmaóceánnak. Ebből kristályosodott ki az anortozitos kéreg, s ez alkotja a holdi felföldeket. (A teljes holdra kiterjedő holdi magmaóceánra egyes kőzetek és ásványok ritkaföldfém-gyakorisága alapján következtettek. Az anortozitos kéregnek nagy pozitív európium anomáliája, a holdi bazaltoknak nagy negatív európium anomáliája van.). Néhány anortozitmintának ősi, helyben törött, kumulátos szövete figyelhető meg.

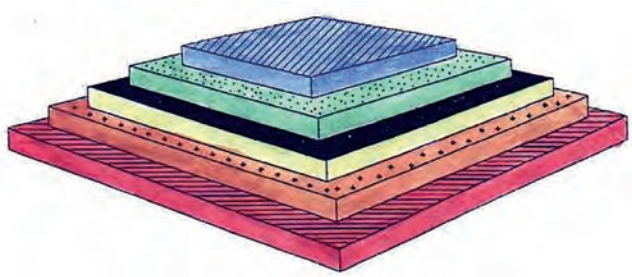
A Hold keletkezése utáni fél milliárd évben több nagy méretű égitest becsapódása érte az anortozitos kérget. Ezek a becsapódások feltördelték azt, körkörös medencéket hoztak létre, és hatalmas területekre terítették szét a kidobott törmeléktakarót. Az anortozitos kőzetek többségükben ezért breccsás szövetűek.

A Hold terra kőzeteit egy anortozit és egy norit minta képviseli. Az anortozit a holdi felföldek anyaga, szinte kizárólag csak földpátkristályokból áll. A



1. ábra. A hold mint égitest anyagszerkezeti hierarchiája. Felülről lefelé haladva, rendre a következő szétszedési egységek sorakoznak benne: a bolygótest övei, ezek közül a litoszféra, abban a kőzettestek (sztratigráfia emeletei), a kőzetminták egy-egy rétegből, a kőzetminták szövete, annak ásványai, azok kristályrácsa, elemi cellája, és annak belső szerkezete, a sor legvégén az egyes elemek izotópjai.

valamikori nagy méretű (centiméteres) szemcsék a sok ütközéstől, becsapódástól, rengéstől mára összetöredeztek (60025). A vékonycsiszolaton megfigyelhetjük a blokkok elmozdulását, a szemcseperemek összetöredezését, az optikai tulajdonságok (pl. a kioltás) mozaicitását. Az anortozitok kialakulásának kora 4,4-4,2 milliárd év (**4. ábra**).



2. ábra. A holdi sztratigráfia idealizált rétegtani „azték piramisa": Felülről lefelé haladva, rendre a következő rétegtani egységek sorakoznak benne:
A. Kopernikuszi emelet
(fiatal, sugársávokkal is rendelkező kráterek),
B. Eratoszthenészi emelet
(fiatal, de sugársáv nélküli kráterek),
C. Imbriumi emelet
(az Imbrium-medence kialakulásával kezdődő rétegek: kidobott takarók, holdi lávatavakat alkotó elöntések),
D. Nektári emelet (a Nektár-medence kialakulásától kezdve képződött medencék és síkságok),
E. pre-Nektári emelet (minden Nektár-medence előtti kőzettest ebbe a rétegtani emeletbe tartozik).

A noritminta felerészt rombos piroxénből, felerészt plagioklász földpátból áll (78235). Durvaszemcsés kőzet, az ásványok nagysága az 5 mm-t is elérheti. Üveges erek is előfordulnak benne. A becsapódások ütközései nagyon megviselték ezt a kőzetet. A földpát nagy része maszkelynit üvegként található benne. Ma azt feltételezik, hogy a noritok és más terra kőzetek is intrúzióként nyomultak be az anortozitos kéregbe.

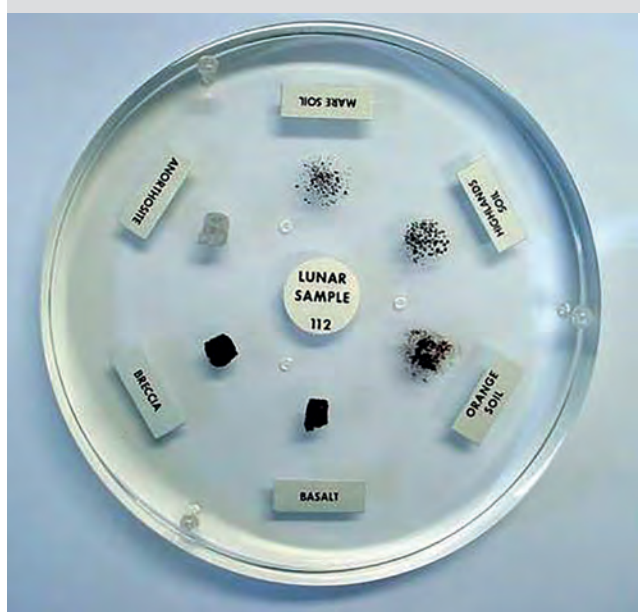
Holdi bazaltok

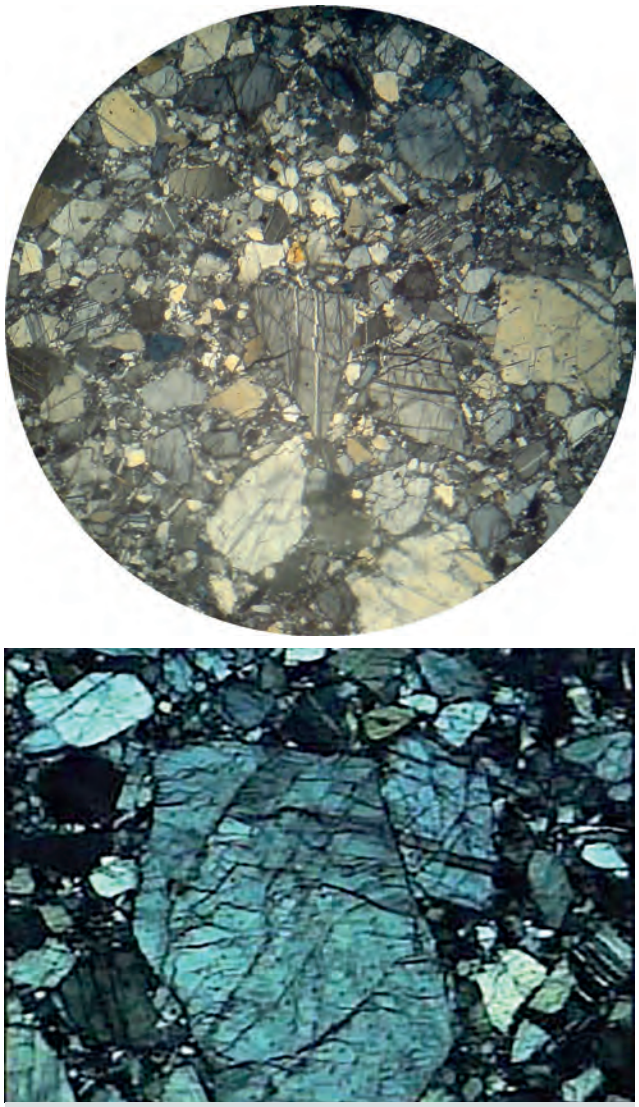
A holdi kéregbe történt nagy becsapódások körkörös medencéket alakítottak ki a Holdon. A Hold látható oldalán ezeket bazaltláva-folyások töltötték föl, melyeknek a hígan folyó lávája hatalmas távolságokon, vékony rétegekben terült szét. Keletkezésük kora csaknem egy milliárd évet fog át az Imbriumi korban. Léteznek Eratoszthenészi korban keletkezett lávafolyások is.

Mivel a holdi lávák vékony rétegekből származnak, ezért legcélszerűbb egy ilyen lávafolyás felszínétől lefelé haladva sorba rendezve bemutatni őket. A felszíntől lefelé haladva, a mélység növekedésével ugyanis egyre csökken a lehűlés sebessége, és ennek eredményeként más és más jellegű szöveteket találunk a sorozatban. A lehűlési sebesség csökkenése szerinti sorba rendezett szövetek az üveges elegyrészeket is tartalmazó szferulitos szövettől elindulva rendre a következő típusokat tartalmazzák: variolitos szövet, interszertális szövet, intergranuláris szövet, szubofitos szövet, ofitos szövet, poikilites szövet. A holdi bazaltok között a legtöbb típusra van példa, néha azonban csak úgy, hogy töredékként találjuk meg őket a breccsákban. Ilyen szövetsort földi ofiolitokban vagy párnalávákban is találtak kutatók (Józsa, 2000).

Három bazaltos vékonycsiszolat van a gyűjteményben, de összetételét tekintve ide tartozik a „narancsszínű talajminta" is, tehát a bazaltokat négy minta képviseli a NASA-készletben. Rendezzük el a holdkőzet-készlet négy, bazaltos összetételű mintáját egy olyan tulajdonság alapján, ami jól megfigyelhető a szövetükön: az ásványszemcsék mérete alapján. Tudjuk, hogy a lehűlés körülményei erősen hatnak a szemcseméretre. A gyorsan lehűlő szilikátolvadékból apró kristályok válnak ki, míg a hosszú ideig (pl. nagy mélységben) kristályosodó kőzetek durva szemcsés szövetűek lesznek. Ha tehát az átlagos szemcseméret, illetve a szemcsék egymáshoz való viszonya alapján készítünk el egy sorozatot a holdi bazaltokból, akkor voltaképpen a lehűlési sebesség szerinti anyagtérképet is fölvázoltuk. A mi lehűlési anyagtérképünkön (**6. ábra**) a függőleges tengelyen szerepel a lehűlési sebesség, a különféle

3. ábra. A NASA holdkőzetkészlet két része: felül a holdi mintákat tartalmazó korong látható, 6 beöntött anyagmintával; alul a 12 vékonycsiszolatot tartalmazó készlet látható felülnézetben.





4. ábra. Anortozit minta a NASA-készletből: a 60025 sz. kőzetminta két részlete.

szövetek pedig egymás alá kerülnek: az apró szemcsés felszínközeli, s rendre az egyre durvább szemcséjű mélységi szövetekkel zárul a sor.

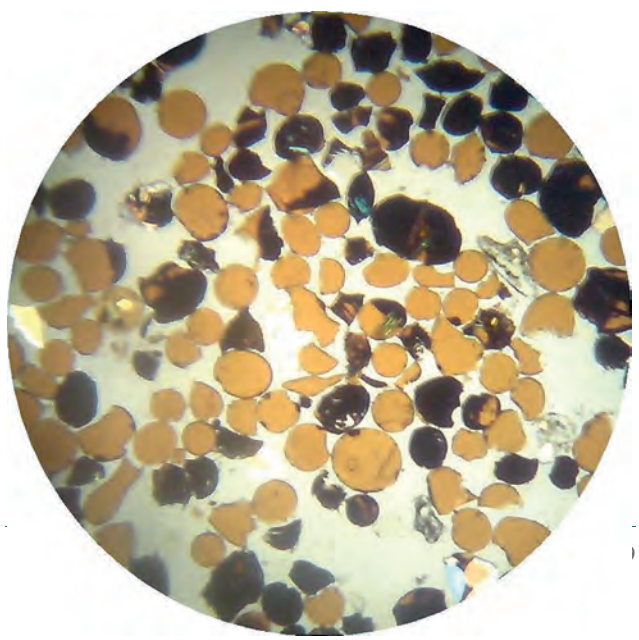
A leggyorsabban lehűlt anyagot a narancsszínű talajminta üvegcseppjei képviselik a sorozatban (74220).

Ezek a holdi ásványi anyagok egyúttal a legszínesebbek is. A narancsszínű talajminta egy 50-80 mikrométeres szemcsékből, gömböcskékből (szferulákból) álló szitált frakció. Feltehetően egy lávakitörés (lávaszökőkút) parányi olvadékcseppjeiből keletkezett. Üveges alapanyaguk mintegy szerkezeti ellenpontja a kristályos szerkezetű kőzetmintáknak. A hirtelen megszilárdult cseppek átalakulás nélkül megőrizték a láva forrásvidékének, a holdi köpenynek az olvadék-összetételét. Pikrites összetételűek, ami azt jelenti, hogy a földi bazaltoknál kevesebb SiO_2-t tartalmaznak.

A lehűlési sebesség szerinti szövetsorban alájuk kerül az ugyancsak gyorsan lehűlt, de már a mélyből jövő lávában nagyobbra nőtt ásványszemcséket is tartalmazó szövet, melyben ásványnyalábok (plagioklász, földpát és piroxén) figyelhetők meg (12002). A piroxén-tűkristályok körbe veszik a korábban a mélyben már megnőtt, és a magma által fölhozott olivinkristályokat, s így alakítják ki a porfíros szövetet. A 12002 számú minta porfíros szövete úgy alakult ki, hogy a kristályosodás már a mélyben megkezdődött, s a kiömlő láva már tartalmazta az olvadékból elsőként kikristályosodó ásványokat, az olivineket. Ezeket aztán körbevették a szálas-tűs piroxének és a földpátok. Mivel egyetemi oktatási programunkban ipari anyaggyártási és szövetképzési folyamatokkal hasonlítottuk össze a holdkőzeteket, a 12002-es mintánál a Tapolcai Bazaltgyapotgyár gyártási folyamatát szoktuk párhuzamba állítani.

A szövetek sorában harmadik bazaltminta már nagyobb ásványokat is bőven tartalmaz (70017). (Ez a minta Ti-ban gazdag, ezért a hazai DNy-bükki, szarvaskői gabbrónkkal szoktuk összehasonlítani annak nagy titántartalma alapján.) A 70017 sz. bazaltban a piroxének saját színe a halvány rózsaszín barackvirághoz hasonló, de a fekete, átlátszatlan (opak) ilmenit kristályok, melyek fontos elegyrészei a 70017 számú bazaltnak, sötétre színezik a vékonycsiszolatot. A spinellszemcsék többnyire négyzetes vagy hatszöges metszetű, fekete (opak) ásványként figyelhetők meg, az ilmenitek gyakran vázkristályosak, beöblösödéseket mutatnak a vékonycsiszolatban. Igen ritkán megfigyelhetünk armalcolit ásványokat is, melyek hosszúkás hordó alakúak. Az armalcolitot a Holdon fedezték föl és az elsőként leszállt űrhajósokról (*Arm*strong, *Al*drin, *Col*lins) nevezték el.

5. ábra. A holdi narancs talaj képe: szitált frakció gömböcskéi (74220 sz. minta).



A lehűlési sorban negyedik egy poikilites szövetű minta (12005). Ebben — a lehűlésnek immár egy késői szakaszában —, nagy szemcsékbe ágyazottan láthatók a korábban kivált kicsiny szemcsék. A korán kiváló kristályszemcséket még olvadék vette körül, ezért szép, saját alakkal kristályosodtak. A 12005 számú bazaltminta szövetében a nagy méretű földpátok és piroxének kristályosodtak utoljára, s ezért bezárják a szép, sajátalakú olivineket és néhány ilmenit és spinell szemcsét.

Breccsák

Még az anortozitoknál is tördeltebb ásványvilág szökik a szemünkbe a breccsákat megfigyelve a mikroszkópban (**7. ábra**). A becsapódások ütése összetett átalakító folyamatokat indít el a felszíni kőzeteken. Ipari folyamatok hasonlatával élve: mint a „malom" őrli, mint a „vihar" forgószele teríti, s mint a „kemence" forrósága összesüti a törmelékeket. A breccsák némelyike sokszor átesett ezen a tortúrán, ezért alakulhatott ki soknak a „breccsa-a-breccsában" szövete (14305, 72275).

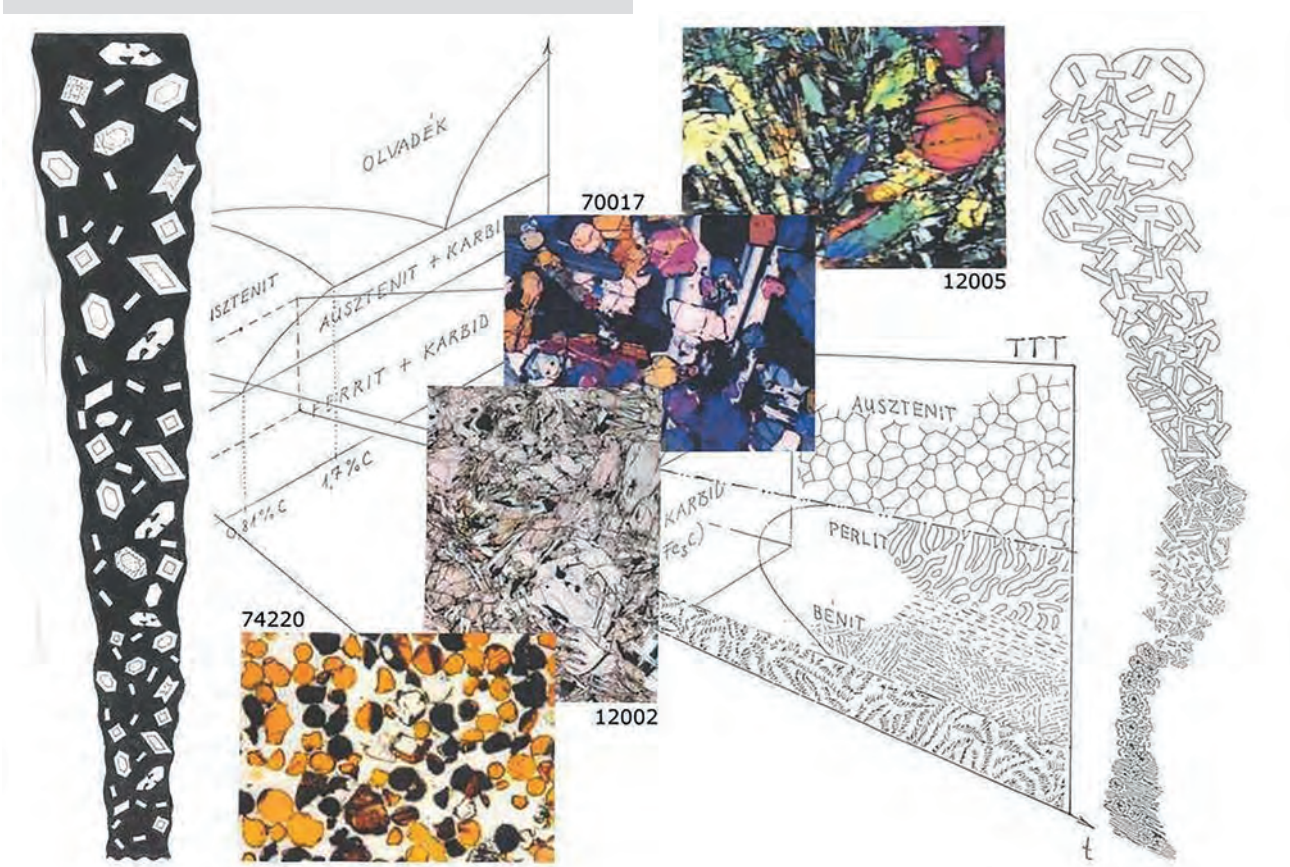
Sok breccsában különböző eredetű kőzetszilánkok és töredékek keveredtek össze (polimikt breccsák), míg más breccsák egyetlen megelőző kőzet (protokőzet) összetördeléséből alakultak ki (monomikt breccsa). Sok breccsában a mátrix anyaga megolvadt és újrakristályosodott. A becsapódási kráter közepén találjuk azokat a kőzeteket, amelyek a megolvadt kőzetekből és a rájuk visszahullott törmelékekből alakultak ki. A 65015 számú felföldi breccsában a megolvadt mátrixból olyan nagy méretű piroxén ásványok kristályosodtak ki, amelyek az apró plagioklász földpát szemcséket poikilitesen magukba zárják. Más breccsákban nagy méretű kőzettöredékeket, kőzetszilánkokat találunk beágyazva. A breccsák jelentőségét az adja, hogy bennük több távoli területről származó idegen kőzetszilánk is megtalálható. Így a 6 expedíciós gyűjtőhely a breccsák révén sokkal nagyobb kiterjedésű gyűjtési területet reprezentál összekeveredett kőzetszilánkjaival.

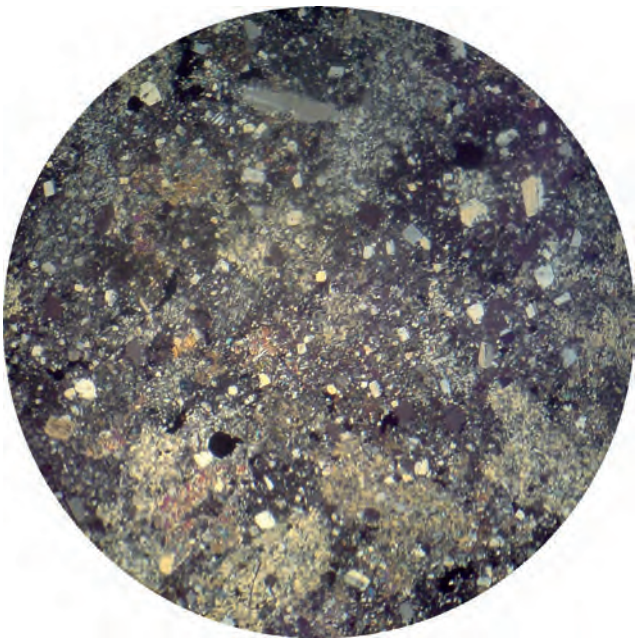
Mivel egyetemi oktatási programunkban ipari anyaggyártási és szövetképzési folyamatokkal hasonlítottuk össze a holdkőzeteket, a breccsákat a kerámiagyártás anyagaival állítjuk párhuzamba.

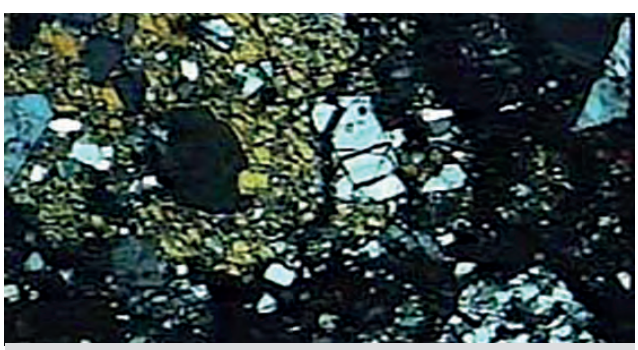
Porminták

A NASA-készletben a negyedik anyagminta típus a talajmintáké. A talajminták is a távoli vidékekről odaszállított változatos anyagvilágot, kőzet- és ásványtöredék darabokat hordozzák és így a felszíni keveredési folyamatokra is utalnak. Szitált frakciók 60-100 mikrométeres szemcsékkel. A 68501 sz. minta a felföldekről, a 70181 sz. minta pedig a mare vidékekről tartalmaz töredékeket, kőzetszilánkokat, ásványszemcséket.

6. ábra. A NASA holdkőzetkészlet 4 bazaltmintájának szövete lehűlési sebesség szerinti sorozatba rendezve és összevetve az acélok edzésére készített szövetdiagrammal, melyen a különböző szövetű acélok is lehűtési sebességük szerint következnek. A szövet mintázata annál apróbb szemcsés, minél közelebb történt a lehűlése a felszínhez, s ezért minél nagyobb volt a lehűlés sebessége.







7. ábra. A NASA holdőzetkészlet két breccsa mintája.

A 68501 sz. mintában főleg anortozitos szilánkok fordulnak elő néhány felföldi típusú bazalt szilánk is megtalálható közöttük. A 70181 sz. minta főleg a mare bazaltok ásványtöredékeit tartalmazza. Előfordul a szemcsék között néhány odakeveredett narancstalaj-gömböcske is.

Ugyancsak a talajminták sorába illik a 15299-es számú regolit breccsa. Ebben üveges alapszövetbe beágyazva találhatjuk meg a kőzet- és ásványszilánkokat. Olyan kisméretű gömböcskék (szferulák) is megfigyelhetők bennük, amelyek becsapódások idején keletkeztek. Méretük 10-20 mikrométer, s így észrevehetően kisebbek, mint a lávaszökőkutak 60-100 mikrométeres szferulái.

Összegzés a kőzetekről

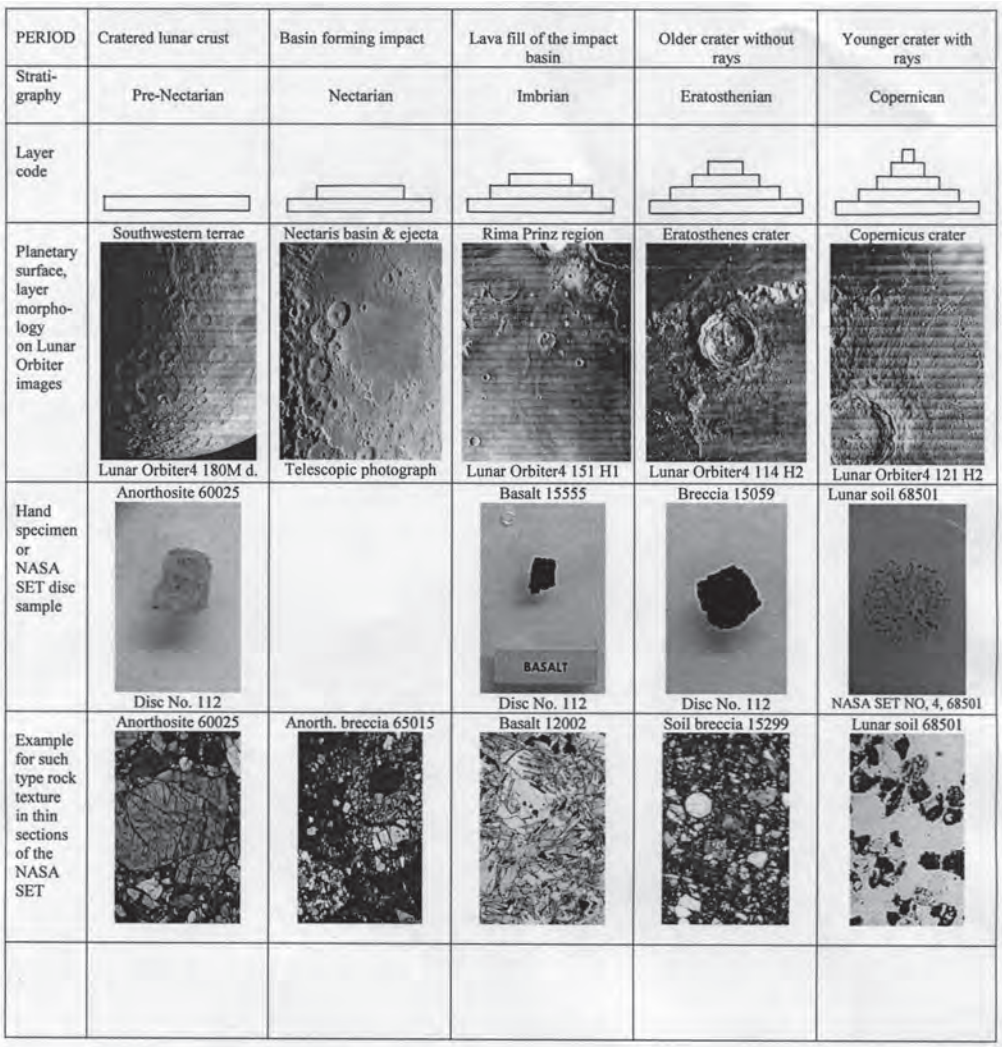
A Hold felszíni folyamatairól sok fontos ismeretet gyűjtöttünk már az Apollo-11 anyagának megismerésével. Ezek közül kiemelkedő jelentőségű a holdi anortozitok kéregalkotó szerepe, a nagyon idős holdi kőzetvilág kormegállapításai, a nagy mélységből származó lávaszökőkúti szferulák holdi köpeny eredete, a mare bazaltok sokfélesége és néhány mare bazalt nagy titántartalma.

Ma a holdi kőzeteket összetételük szerint a bázisos-ultrabázisos földi kőzetek közé interpolálhatjuk be. Nagyobb magnéziumtartalma alapján több holdi kőzet már a pikrites ultrabázisos tartományba esik (12002, 70017). Azonban a becsapódások által elvégzett anyagkeveredéseknél három fontos csoportot különítenek el a holdi talajok forrásvidékeire. Az egyik a felföldek anortozitja, a másik a viszonylag nagy vastartalmú mare bazaltok csoportja, s a harmadik a káliumban (K), Ritka FöldFémekben (RFF) és foszforban (P) való gazdagsága miatt KREEP-nek nevezett komponens. Ez utóbbi komponens a Mare Imbriumtól való távolodással csökken a talajösszetevők között. A három fő forrástípust a későbbi Clementine és Lunar Prospector műholdak sugárzásos összetétel analizátorai is jól el tudták különíteni. Így ma, a hat leszállás kicsiny felszíni mintavételezése ellenére a Hold egészére kiterjedő összetételi térképek állnak már rendelkezésünkre a holdfelszín anyagairól. (A Hold túlsó oldalán szintén van egy fontos KREEP-forrás, s ez a South Pole Aitken nevű nagy becsapódásos medence. Ide szállt le a Chang'e-4 kínai űrszonda.)

A Hold fejlődéstörténete

Azokkal a kőzetmintákkal, amelyeket a térképezésből már ismert geológiai környezetből gyűjtöttek, pontosítani lehetett a sztratigráfiában már megismert holdi fejlődéstörténetet is. A holdi terrák anortozitjai és a bennük mért ritka földfémek eloszlása különös és fontos eseménysort bizonyított. Egykor a Hold külső rétegei megolvadtak, s 4,4 milliárd évvel ezelőtt az egész égitestre kiterjedő magmaóceán borította a Holdat. (A földi külső rétegek kezdeti megolvadására a holdi anortozitos kéreg keletkezésének fölismerése után gondoltak először.) A magmaóceán lehűlése során a plagioklász földpát ($CaAl_2Si_2O_8$) az olvadékzóna tetején gyűlt össze, s létrehozta a világos színű felföldek anortozitját. A nagyobb sűrűségű ásványok az olvadékzóna aljára süllyedtek. Ez az első holdi differenciálódási korszak mintegy fél milliárd évig tartott.

A vastagodó holdi kéregre következtek a nagy körkörös medencéket létrehozó becsapódások, melyek feltördelték a holdi kérget. A töréseken át bazaltos láva szivárgott a felszínre és egy - másfél milliárd éven át működő vulkáni tevékenységgel feltöltötte a Hold látható oldali medencéit. A bazaltok a hold köpenyéből származnak. Némelyik közülük titánban igen gazdag, mint például az Apollo-11 és -17 leszállási helyéről gyűjtöttek (Meyer, 1987).



8. ábra. Holdi szerkezeti hierarchia és a korokra lebontott egységek táblázata. A felső sorban a rétegtani emeletek, alattuk az emeletek geológiai megjelenése Lunar Orbiter képeken, azok alatt a holdi korong makroszkópikus mintái, végül a vékonycsiszolatok adott egységhez tartozó mintája szerepel a táblázatban.

A bazaltos vulkanizmus csendesedésével a nagy felszínformáló események elültek a Holdon. Az egyre vastagodó holdi kéregre egyre kevesebb becsapódás történt. A folyamatos kráterbombázás a talajt ma is állandóan őrli, keveri és süti össze breccsákká. A holdi „breccsa a breccsában" szövetű kőzetek, a talaj anyagából összesült breccsák, a becsapódáskor megolvadt anyagból keletkezett talajbreccsák mind ezt igazolják (Wilhelms, 1970b).

Ugyancsak fontos új ismeretek, ritka kőzettípusok származnak a holdi meteoritok ma már csaknem 200 példányt is elérő készletéből. Ezek között olyan csoportok is szerepelnek, melyek eltérőek a leszállási helyeken gyűjtöttektől. Ilyen például a legidősebb YAMM holdi bazaltok csoportja. Sok érdekes feladat vár a XXI. századi űrverseny (USA-Kína) holdra lépő expedíciós űrhajósaira. Ezek között mindenképpen fontos szerephez jut majd a Hold kőzeteinek további gyűjtése. Valószínű azonban, hogy a tervezett Chang'e-5 holdraszállás már mintákat hoz a Holdról, s ezzel folytatja a három Luna-expedíción (16, 20, 24) megkezdett sorozatot a robottal gyűjtött kőzetmintákkal. Ennek ígéretes első fázisa volt a Chang'e-4 leszállása a Hold túlsó oldalán, a Kármán Tódorról elnevezett kráterben.

BÉRCZI SZANISZLÓ

Ezúton is köszönetet mondunk a NASA Johnson Space Center Kozmikus Anyagok Laboratóriumának a mintakészlet kölcsönzéséért.

IRODALOM

Bérczi Sz. (1978): *Planetológia.* Egyetemi jegyzet, J3-1154. Tankönyvkiadó, Budapest

Bérczi Sz. (1991): *Kristályoktól Bolygótestekig.* (210 old.) Akadémiai Kiadó, Budapest

El-Baz F., Kosofsky L. J. (1970): The Moon as Viewed by Lunar orbiter. NASA SP-200. Washington;

Józsa S. (2000): Thesis. Eötvös University, Dept. Petrology/Geochemistry, ELTE, Budapest;

Korotev R. (1999): Lunar Terranes, the Composition of the Regolith. 30. LPSC, Abstr. No. #1302. LPI, Houston

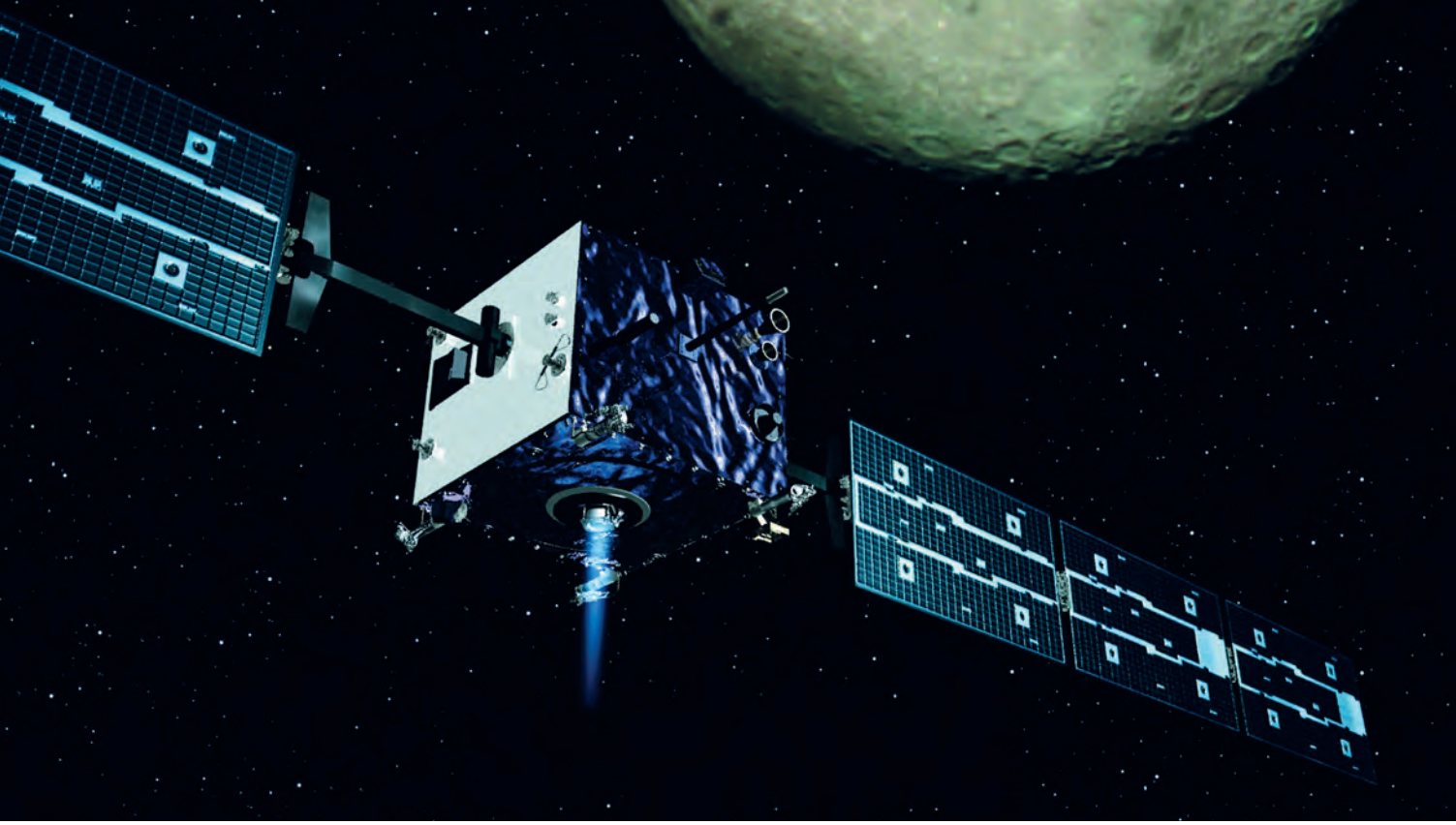
Meyer, C. (1987): *The Lunar Petrographic Thin Section Set.* NASA JSC Curatorial Branch Publ. No. 76. Houston, Texas; (*Holdkőzetek: Kőzettani vizsgálatok a holdi vékonycsiszolat készleten.* Ford.: Bérczi Sz. ELTE TTK, Kőzettan-Geokémia Tanszék és Csillagászati Tanszék, Budapest, 1994.)

Shoemaker E. M. Hackman R. J. (1962): Stratigraphic basis for a Lunar time scale. In: *The Moon.* Kopal, Z. Mihailov, Z. K. Eds. Academic Press, New York. 289-300.

Wilhelms D. E. (1970a): *Summary of Lunar Stratigraphy - Telescopic Observations.* U.S. Geol. Survey Prof. Papers No. 599-F., Washington;

Wilhelms D. E. (1970b): *The Geologic History of the Moon.* U.S. Geol. Survey Prof. Papers No. 1348, Washington;

Wilhelms D. E., McCauley J. F. (1971): *Geologic Map of the Near Side of the Moon.* USGS Maps No. I-703, Washington;



NEM SZÜNETEL A HOLD KUTATÁSA

Főszerepben az automaták

Gyakran elhangzik az a vélemény, miszerint az Apollo-program óta a Hold kutatásában „nem történt semmi". Dehogynem történt! Csak éppen nem űrhajósok, hanem automaták voltak az elmúlt fél évszázad holdkutatásának főszereplői. Ezek történetéről adunk áttekintést, elsősorban a közelmúlt eseményeire helyezve a hangsúlyt.

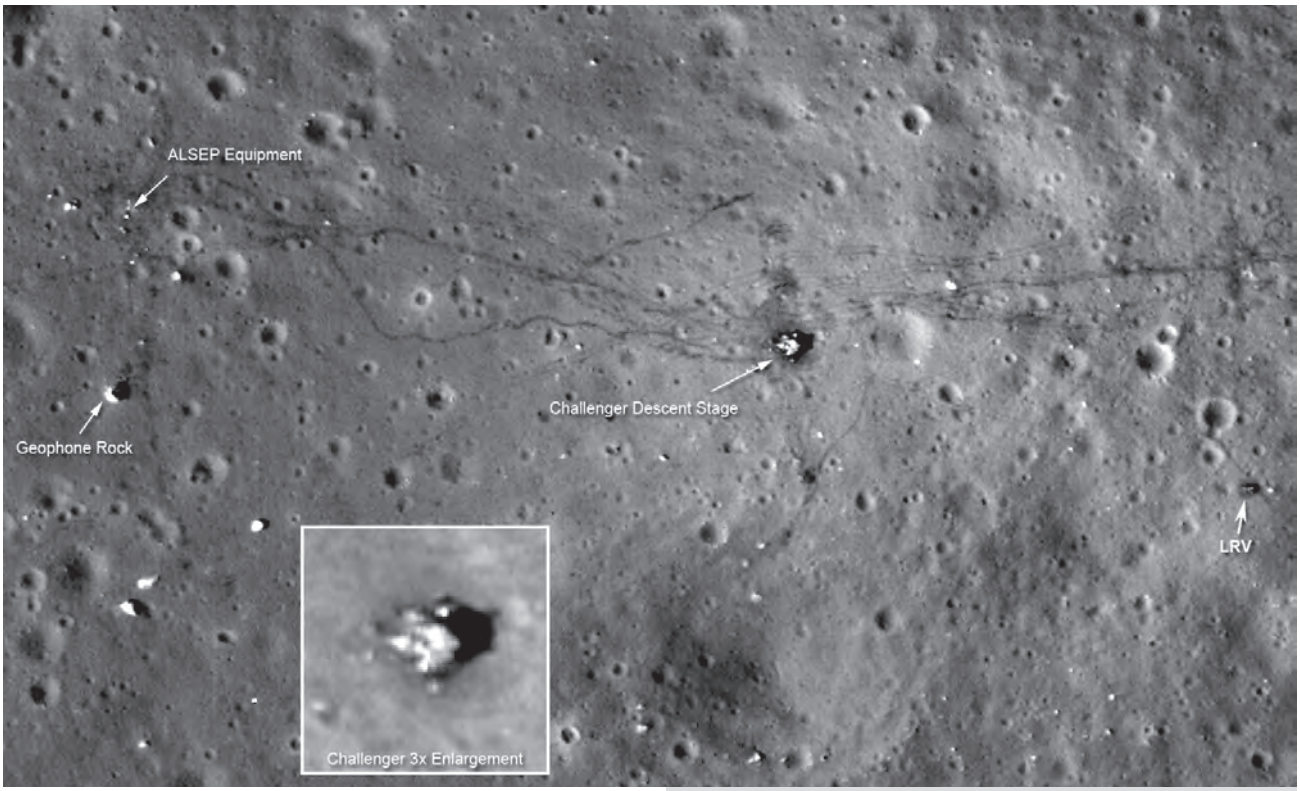
Az űrkutatás hőskorában, majd az Apollo-program előkészítése és az űrverseny idején több szovjet és amerikai űreszköz érte el a Holdat. Lényegében az Apollo-programmal párhuzamosan a szovjetek a *Luna* küldetéseket hajtották végre, több-kevesebb sikerrel. Három küldetés során hoztak holdi talajmintát a Földre, összesen mintegy 300 grammot. A program legnagyobb sikere mégis két holdjáró Holdra juttatása volt. A *Lunohod-1* az Apollo-program közben, 1970 novemberében szállt le, és csaknem egy évig dolgozott. Így ez volt az első holdjáró a Hold felszínén, az Apollo-program első holdautóját csak 1971 nyarán vitte magával az *Apollo-15*. Az 1973-ban, tehát már az Apollo-program befejeződése után indított *Lunohod-2* viszont mindmáig a Holdon leghosszabb utat (37 km) megtett jármű, az Apollók roverjeit is beleértve. Mindkét szovjet holdjáró lézertükröt, röntgentávcsövet, röntgenfluoreszcencia-spektrométert, mágneses méréműszereket, kamerákat és a felszín talajmechanikai tulajdonságainak vizsgálatára alkalmas eszközöket vitt magával.

Ázsia és Európa színre lép

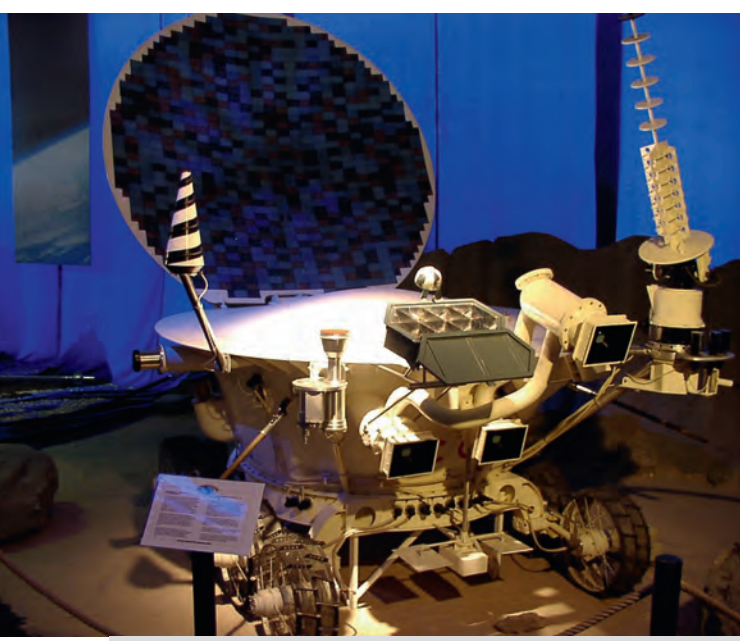
A szovjet Luna program 1976-ban fejeződött be, és ezután csaknem másfél évtizeden át valóban egyetlen ország sem küldött űreszközt a Hold kutatására.

A történet csak 1990-ben folytatódott, amikor Japán elindította első holdszondáját, a *Hiten*t (*Muses-A*). Valójában a Hiten nem is űrszonda volt, hanem a Föld körül nagyon elnyúlt pályán keringő műhold, amely földtávolban megközelítette a Holdat. Első ottjártakor Hold körüli pályára állított egy kisebb szondát. Japán 2007-ben folytatta a Hold kutatását az égitest körül pályára állított *Kaguya* (hivatalos nevén *Selene*) űrszondával, amely két évig keringett a Hold körül. Mérései új adatokat adtak a Hold túlsó oldalának anyagáról, lézeres magasságmérőjével pedig feltérképezte a domborzatot.

Ugyancsak 2007-ben indította első holdszondáját Kína, egy sikeres sorozat nyitányaként, amire később részletesen visszatérünk. Harmadik ázsiai országként India kapcsolódott be a Hold kutatásába. Az első indiai holdszonda, a *Csándrájján-1* csaknem egy évig működött Hold körüli pályán, miközben 3400-szor kerülte meg kísérőnket.



1. ábra. Az ember utolsó nyomai a Holdon. Az amerikai Lunar Reconnaissance Orbiter szonda felvételén jól látszanak az Apollo-17 holdautójának keréknyomai, sőt az űrhajósok, Eugene Cernan és Harrison Schmitt lábnyomai is *(Kép: NASA's Goddard Space Flight Center/ASU)*



2. ábra. A Lunohod-2 szovjet holdjáró életnagyságú makettje egy németországi kiállításon

Közben az Európai Űrügynökség (ESA) 2003-ban elindította első holdszondáját, a *SMART-1*-et. Bár az ESA újabban ambiciózus terveket dédelget a Hold kutatását illetően, eddig mégis ez volt az egyetlen holdkutató szondája, de még csak a belátható tervek közt sem szerepel újabb eszköz indítása. Az ESA szondájának különlegessége, hogy üzemanyagként xenont használó ionhajtóművel szerelték fel, amely megszakításokkal 3700 órán keresztül működve, végső soron 15 hónap alatt juttatta el a 300 kg-os szondát Hold körüli pályára.

Amerikai szondák

Az Egyesült Államok az 1990-es évek közepén tért vissza a Holdhoz a Clementine (1994) majd a Lunar Prospector (1998) szondákkal. Előbbi számtalan felvételt készített az égitest felszínéről, utóbbi viszont nem vitt kamerát, ehelyett műszeres méréseket végzett, többek közt neutron-spektrométerével megerősítette a Hold pólusai közelében egyes kráterek mélyén a vízjég jelenlétét.

2009-ben indult az LRO (Lunar Reconnaissance Orbiter) szonda (és vele együtt egy rakétafokozat becsapódását megfigyelő LCROSS). Az LRO immár tíz éve kifogástalanul működik, kamerájával 50 km magasságból 1 méter felbontású képeket készít, kedvező fényviszonyok (és alacsonyabb keringési magasság) esetén még kisebb részletek is megfigyelhetők. Érdekesség, hogy az LRO felvételeket készített az összes Apollo-leszállóhelyről,

amelyeken jól kivehetők az otthagyott eszközök, berendezések, sőt a holdjárók keréknyomai is. Legújabban az LRO a Hold túlsó oldalán leszállt kínai Csang'e-4 szondát és holdjáróját is megörökítette, igaz, utóbbi alig volt egy pixel nagyságú.

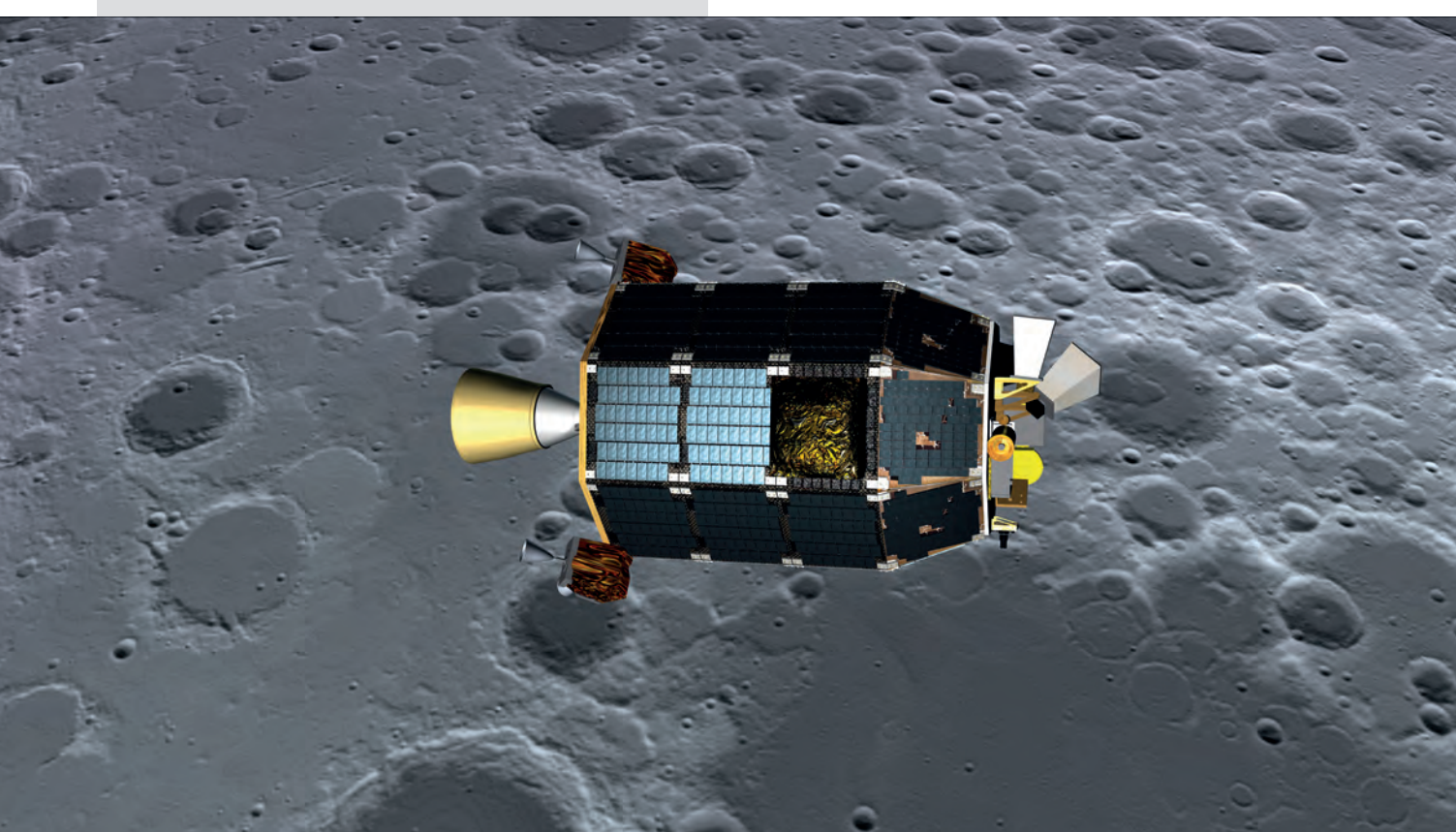
2011-ben indult és 2012 elején állt Hold körüli pályára a GRAIL szondapáros. A két szonda mozgását pontosan követve a Hold gravitációs terét, és belső szerkezetét, elsősorban a felszín alatti tömegkoncentrációk, az úgynevezett masconok elhelyezkedését térképezték fel, de emellett felvételeket is készítettek a Holdról.

A következő, és mindeddig utolsó amerikai holdszonda, a 2013 szeptemberében indított LADEE október 6-án kezdett keringeni a Hold körül, majd november 10-étől hajtotta végre tudományos programját. 2014 márciusában az eredetileg 100 napos tudományos programot még egy hónappal megtoldották. Az alacsony (20—80 km közötti) keringési pálya stabilan tartásához, a pályamódosító manőverekhez szükséges üzemanyag kifogyása után a szonda 2014. április 18-án irányítottan a Hold felszínébe csapódott. A LADEE egyik műszere igazolta, hogy a Hold rendkívül ritka „légkörét" legnagyobb részben hélium, neon és argon alkotja. Relatív gyakoriságuk a napszaktól függ, az argon helyi idő szerinti napkeltekor, a neon hajnali 4 órakor, a hélium pedig hajnali 1 órakor a leggyakoribb összetevő. A következtetéseket a műszerrel hét hónapon keresztül végzett mérésekből vonták le. Bár a holdi exoszféra fő forrása a napszél, a kutatók azt is kimutatták, hogy a gáz egy része a holdkőzetekből érkezik. Az argon-40 például a természetben előforduló, és az összes Föld típusú bolygó kőzeteiben megtalálható kálium-40 bomlásterméke. Megállapították, hogy az argon-40 koncentrációja a Hold felszínének bizonyos területei, például az Esők tengere (Mare Imbrium) és a Viharok óceánja (Oceanus Procellarum) fölött a legnagyobb. Nem véletlen, hogy a Hold kőzeteiben éppen ezeken a területeken a legnagyobb a kálium-40 koncentrációja.

Meglepő felfedezés, hogy a Hold exoszférájában az argon mennyisége időben nem maradt állandó. A LADEE küldetésének időtartama alatt mennyisége előbb mintegy 25%-kal megnőtt, majd ugyanennyivel csökkent. A kutatók szerint elképzelhető, hogy az ingadozást az árapályerők okozhatják. A műszer azt is kimutatta, hogy a Hold exoszférájában található hélium mintegy 20%-a magából a Holdból ered, valószínűleg a holdkőzetekben ugyancsak előforduló radioaktív tórium és urán bomlástermékeként keletkezik — méghozzá átlagosan hét liter normál állapotú hélium áramlik ki másodpercenként a kőzetekből.

Kína a Holdon

Kína eddig három holdszondát és egy kísérleti kapszulát küldött égi kísérőnkhöz. A 2007-ben indított Csang'e-1 a Hold körül keringve 120 méteres felszíni felbontással térképezte fel a Hold topográfiáját és a különböző kémiai elemek gyakoriságát és eloszlását.



3. ábra. Fantáziarajz a Hold felszíne közelében keringő, amerikai LADEE űrszondáról *(Kép: NASA Ames/Dana Berry)*

A 2010 októberében indított Csang'e-2 a Holdnál elvégzett kutatási feladatait követően eljutott a Nap-Föld rendszer L2 Lagrange-pontjához, és megközelítette a 4179 Toutatis kisbolygót.

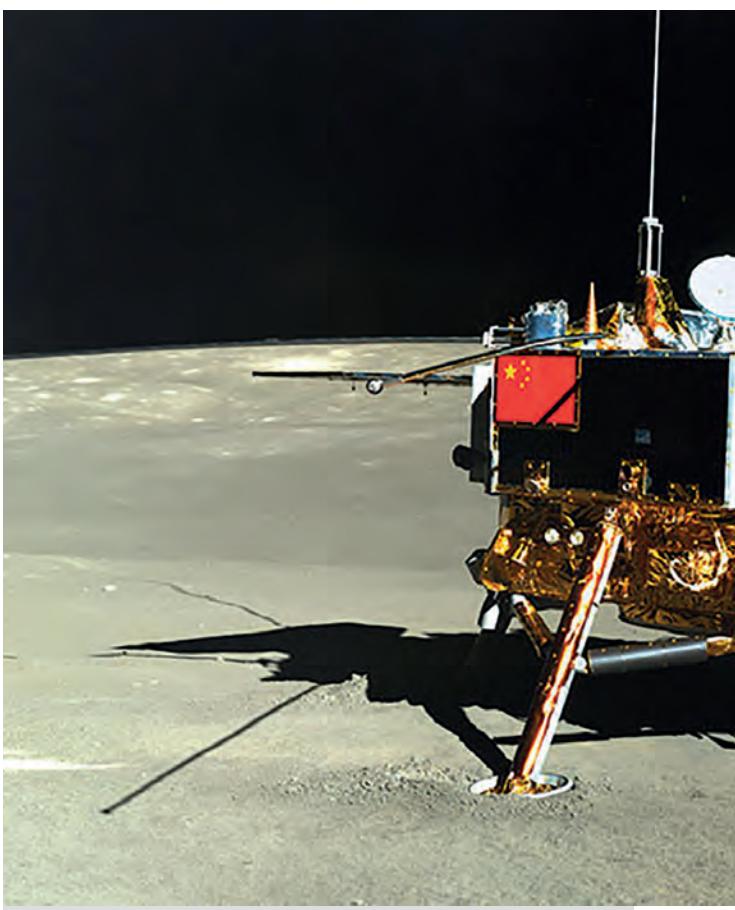
A Csang'e-3 szonda 2013. december 14-én szállt le az Esők tengere Szivárvány-öblében, ezzel Kína lett a harmadik ország, amelynek űreszköze leszállt a Holdra. Maga a leszállóegység holdi csillagászati obszervatóriumként is működik. Egyik műszere a közeli ibolyántúli tartományban (245-340 nm) érzékeny, 15 cm-es átmérőjű távcső. A holdi ibolyántúli távcsővel (LUT, Lunar-based Ultraviolet Telescope) működése első két évében 2000 órányi megfigyelést végeztek, összesen 40 csillagot követtek, és képet alkottak a Szélkerék-galaxisról (M101). A Földről vezérelt műszerrel havonta átlagosan 10 000 felvételt készítettek. (Korábban is működött már UV-távcső a Holdon, de azt az Apollo-16 űrhajósai kézzel működtették.) A kínai távcső számára két fő kutatási célt jelöltek meg. 1.) Fényes változócsillagok folyamatos követése a közeli ibolyántúli tartományban, akár 10-12 napig. 2.) Az égbolt teljes átvizsgálása kis galaktikus szélességeken, ugyancsak a közeli UV sávban. A detektort mintegy 40 fokkal a környezet hőmérséklete alá hűtik, ami helyi délben –20 °C körüli, alacsonyabb napállásnál –40 °C körüli üzemi hőmérsékletet jelent. A leszállóegység panorámakamerájával képet készített a leszállóhely környezetéről, optikai távcsövével a holdi csillagos égboltot fényképezte, távoli ibolyántúli kamerájával pedig a Föld környezetéről is képet készített.

A Csang'e-3 útnak indította a Jütu (Jáde nyúl) nevű holdjárót, ami újabb technikai siker volt Kína számára. A Jütu röntgenspektrométerével a talaj kémiai összetételét, radarjával pedig a mélyebb rétegek szerkezetét vizsgálta. Igaz, a mozgatását vezérlő rendszer mintegy 100 méter megtétele után elromlott, de a jármű egyhelyben állva még több mint két éven át folytatni tudta a méréseket. Többek között felfedezett egy újfajta holdkőzetet, radarméréseivel pedig a leszállóhely alatt kilenc kőzetréteget azonosított.

A sikeres kínai holdszondasorozat a Csang'e-4 küldetésével folytatódott. A Csang'e-4 eredetileg a -3-as szonda tartalékának készült, de az előző küldetés sikere után eldöntötték, hogy minőségi előrelépést hajtanak végre, és megkísérlik a sima leszállást a Hold túlsó oldalán. Az űrszonda és a holdjáró felszereltsége hasonló elődjéhez, de néhány részletet az új küldetés igényeinek megfelelően módosítottak. Fontos különbség továbbá, hogy a szonda csak egy relélholdon keresztül tud kapcsolatot tartani a Földdel.

A leszállóegység és a Föld közti összeköttetést a Csüecsiao reléműhold biztosítja. A 4,2 méter átmérőjű antennával felszerelt szondát 2018. május 20-án indították, a szonda június 14-én állt pályára a Föld-Hold rendszer L2 Lagrange-pontja körül, ahonnan folyamatos összeköttetést tud biztosítani a Csang'e-4 és a földi követőállomások között. Az adattovábbításra a telemetriai kapcsolatot az S-sávban biztosítják, a leszállóegységgel és a roverrel a kommunikációt az X-sávban folytatják.

A Csang'e-4-et 2018. december 7-én Hosszú Menetelés-3B rakétával a Hszicsang (Xichang) Űrközpontból indították, és január 3-án szállt le egy tudományos

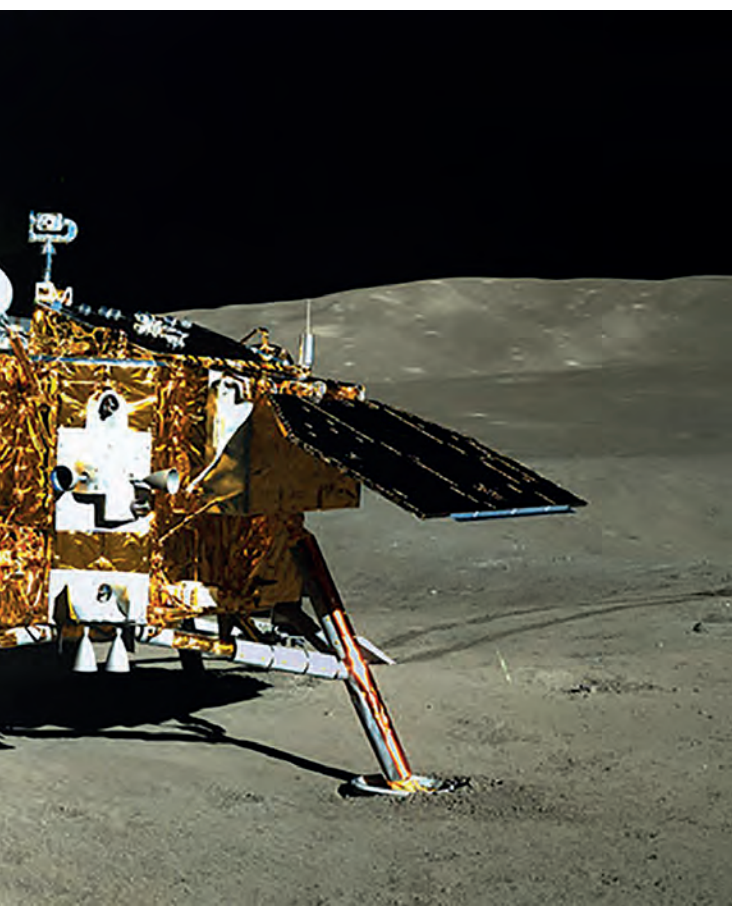


4. ábra. A 140 kg tömegű Jütu-2 kínai holdjáró felvétele az őt a Hold túlsó oldalára szállító Csang'e-4 szondáról... *(Kép: CNSA / CLEP)*

szempontból rendkívül érdekes területen a Déli-sarki Aitken-medencében lévő, 186 km átmérőjű, Kármán Tódorról elnevezett Von Kármán-kráterben. Miután a Csang'e-4 öt évvel a Hold innenső oldalán simán leereszkedő Csang'e-3 után, elsőként az űrkutatás történetében leszállt a Hold túlsó oldalán, útnak indította a Jütu-2 holdjárót. A Hold túlsó oldalának „meghódításával",

a Csüecsiao adatközvetítő szonda segítségével végrehajtott sima leszállással Kína kétségtelenül technikai bravúrt hajtott végre, és fontos elsőséggel iratkozott be az űrkutatási rekordok történelemkönyvébe. Időközben a Nemzetközi Csillagászati Unió a leszállóhelynek a Tejút kínai nevéről hivatalosan is a Tianhe-állomás nevet adta.

A Csang'e-4 küldetés tudományos céljai között a Hold felszínét borító por szerkezetének és kialakulásának vizsgálata, mágnességének és a napszéllel való kölcsönhatásának mérése, a felszíni hőmérséklet és részecskesugárzás mérése, a felszín alatti rétegek vizsgálata



és holdi alapú VLF csillagászati megfigyelések szerepelnek. A leszállóegységen helyet kapott egy alacsony frekvenciájú spektrométer (LFS), amely a Hold túlsó oldalának rendkívül rádiócsendes környezetét igyekszik kihasználni. Emellett a leszállóegységre leszállókamera (LCAM) és felszínfigyelő kamera (TCAM) került, valamint helyet kapott rajta a német fejlesztésű neutronmérő és doziméter (LND). A Jütu-2 roverre a Csang'e-3 holdjárójához hasonlóan panorámakamera (PCAM) és a regolitot vizsgáló radar (LPR) került. Ez egészült ki a látható és infravörös tartományban működő képalkotó spektrométerrel (VNIS) és a svéd űrfizikai intézetben (Kiruna) fejlesztett, a semleges anyagok fejlett, kis analizátorával (ASAN). A küldetésen helyet kapott egy biológiai kísérletcsomag, amelyet 28 kínai egyetem munkatársai állítottak össze.

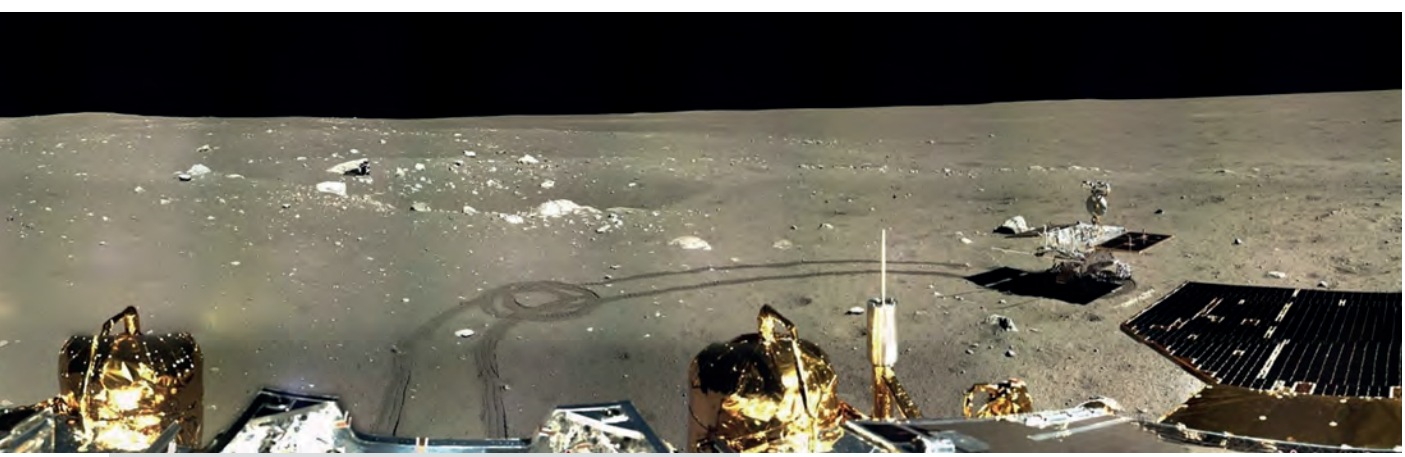
A Von Kármán-kráter kialakulása után valamennyi idő elteltével a kráter fenekét bazaltláva öntötte el. A Csang'e-4 meg fogja mérni a Hold túlsó oldalán található bazalt pontos ásványösszetételét. A kutatók számára ez elsősorban azért érdekes, mert így össze tudják hasonlítani a Hold túlsó és innenső oldaláról származó bazaltminták összetételét, felderíthetik, esetleges különbözik-e valamiben az összetételük. Az első eredményeket talán még idén közzéteszik.

A Von Kármán-kráter meglepő tulajdonsága, hogy alján rendkívül sok becsapódási kráter látható, és azok feltűnő változatosságot mutatnak. A nagy krátersűrűségnek nyilván az az oka, hogy a felszín több mint 3 milliárd éves. A rendkívül hosszú idő alatt olyan sok 200 méteresnél kisebb kráter keletkezett, hogy a kráterfenék ekkora kráterekkel telítetté vált, azaz hiába eredményeztek az újabb becsapódások újabb kis krátereket, azok rárakódtak a régebbiekre, eltakarták azokat, így a kráterek teljes száma nem nőtt tovább. Mivel a kisebb kráterek számában beállt ez az egyensúlyi állapot, a felszín korának becslésére csak az 1 kilométernél nagyobb kráterek használhatók, amelyekből kevesebb van, így ebben a mérettartományban még nem állt elő a telítettség. Az újabb kráterek nem minden esetben takarják el a régebbieket, a nagyobbakra rakódó kisebbek csak koptatják, rongálják a meglévőket. Emiatt a fiatalabb, éles peremű kráterek határozottan kirajzolódnak, a lekopott peremű idősebbek elmosódottak. A felszínt folyamatosan érő kozmikus bombázás őrli a felszínt borító kőzeteket a Holdra jellemző finom, porszerű regolittá.

A kutatás folytatódik

Az idei év mozgalmasnak ígérkezett a Hold kutatásának történetében. A sikeres nyitányt az említett Csang'e-4 jelentette, majd nem sokkal később, február közepén elindult a Hold felé Izrael első holdszondája, a Beresit (Genezis, Teremtés könyve). A szonda 95 millió dolláros költségvetéssel készült, magánszemélyek adományainak és az Izraeli Űrügynökség támogatásának köszönhetően. A Falcon-9 rakétával indított, 585 kg tömegű szonda fokozatosan közelítette meg a Holdat, április 11-én kellett volna leszállnia a Derültség tengerében. Sajnos egy apró műszaki hiba miatt nem sikerült a leszállás, egy hibás parancs következtében a szonda a Holdba

csapódott. Pedig a sikeres leszállással az Egyesült Államok, a Szovjetunió és Kína után Izrael lett volna a negyedik ország, amelynek űreszköze leszáll a Holdra. A Beresit küldetésének fő célja a technológia kipróbálása volt, megismétléséről azonnal megszületett a döntés. A küldetés jelképes értékét egy izgalmas projekt hangsúlyozta: a Beresit magával vitte a „Holdi Könyvtárat", amely 30 millió oldal terjedelmű információt tartalmazott az emberi civilizációról. Az információt tartalmazó eszköz 100 gramm tömegű, kívülről nézve egy 120 mm átmérőjű DVD-re emlékeztet. Belsejét azonban 25 darab, egyenként 40 mikrométer vastag nikkelkorong alkotta, ezekre vitték fel az információt.



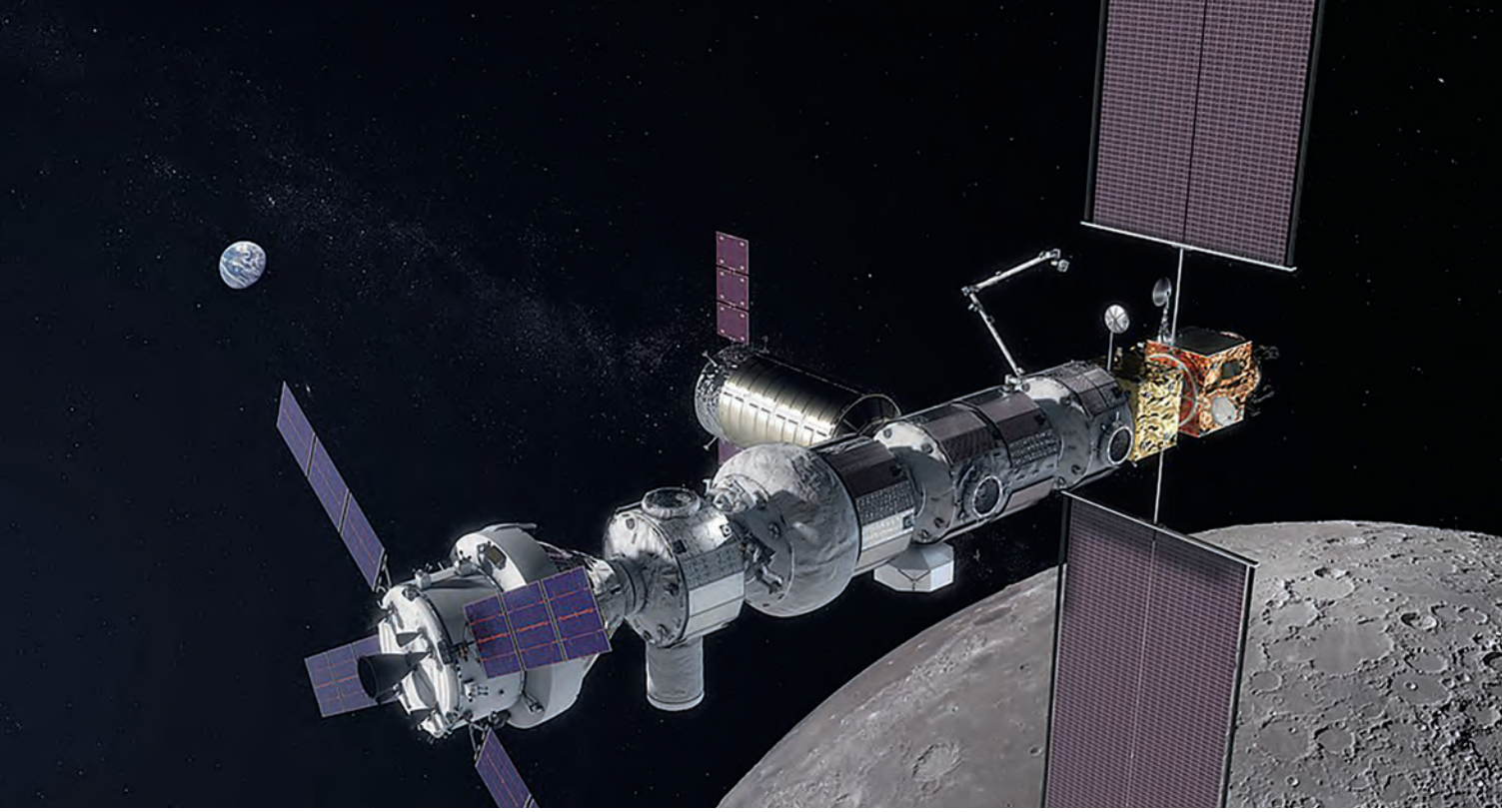
5. ábra. ...és a Csang'e-4 leszállóegysége, a 140 kg tömegű Jütu–2 panorámakamerájának felvételén *(Kép: CNSA / CLEP)*

A Beresit kudarca miatt India lehet a negyedik ország, amelynek eszköze épségben eléri a Hold felszínét. Várhatóan még az első félévben (több éves késés után) elindul India második holdszondája, a Csándráján-2. A 3,3 tonnás szonda nemcsak leszállóegységet, hanem holdjárót is visz magával. Miközben az indiai űrszonda 100 km magas pályájáról vizsgálja a Holdat, a holdjáró a felszínen vizsgálódik.

Az idei Hold-küldetések sorát Kína zárhatja, ugyanis ez év végére tervezik a Csang'e-5 szonda indítását, amely anyagmintát hoz a Holdról. (2014-ben a Csang'e-5-T1 tesztkapszula megkerülte a Holdat és sikeresen leszállt a Földre, előkészítve a talajmintát hozó küldetést.) Kína Holddal kapcsolatos távolabbi tervire enged következtetni, hogy a pekingi Beihang Egyetemen 2017-ben megépítették a Jügong-1-et (Holdi Palota), egy szimulált holdbázist, amelyben nyolc egyetemi hallgató egy éven át élt a holdit szimuláló körülmények között. Az úgynevezett „bioregeneratív életfenntartó rendszerben" az emberek, állatok, növények és mikroorganizmusok egy majdani holdbázist szimuláló rendszerben éltek együtt. Az oxigént, a vizet és az élelmet újrahasznosították, a diákok különféle zöldségeket termesztettek. A Hold kutatása tehát az Apollo holdraszállásai óta sem szünetelt, és a munka a következő években, évtizedekben is folytatódik. Egyes magáncégek a Hold ásványi kincseinek kitermeléséről ábrándoznak, fittyet hányva arra az „apróságra", hogy a világűrjog jelenleg hatályos nemzetközi szerződései szerint ez a tevékenység illegális. Az Egyesült Államok fejleszti az Orion űrhajót, amellyel többek közt a Holdra is elutazhatnának űrhajósai, de útközben meglátogathatnának egy Hold körüli pályára telepítendő űrállomást. Kína tervei között is szerepel, hogy űrhajósai leszálljanak a Holdra. Mások a különböző országok és szervezetek munkájának összehangolásával létrehozandó „holdfaluról" álmodoznak. A realitások talaján álló tervektől a sci-fi világába illő ötletekig nincs tehát hiány az elképzelésekben, ezek közül néhányat összeállításunk következő cikkében ismerhetnek meg.

Nehéz lenne megjósolni, hogy a tervek megvalósításához szükség lesz-e űrhajósokra, vagy szertefoszlanak az ábrándok, kipukkad a Hold-lufi, és kutatásának következő fél évszázadában is az egyre okosabb automatákkal derítjük ki mindazt, amit még érdemes megtudni a Holdról. Erre vonatkozóan Martin Reest, Anglia királyi csillagászát idézzük, aki legújabb könyvében realistán ítéli meg az emberes űrrepülések jövőjét: „A robotok és a miniatürizálás fejlődésének minden egyes lépését követően egyre gyengébb lábakon állnak az emberes űrrepülések gyakorlati jelentősége mellett szóló érvek."

BOTH ELŐD



HOLDI ŰRKAPU ÉS MARSI INDÍTÓÁLLOMÁS

Az Artemis-program

2018-ban az amerikai NASA és az orosz Roszkozmosz elhatározta, hogy a Nemzetközi Űrállomás (ISS) programjával párhuzamosan olyan űrobjektumot terveznek, amely nemzetközi Hold Körüli Űrállomás lesz. A program – Apollón ikertestvére, a Hold istennője után – Artemiszről kapta a nevét.

Az emberiséget „egybolygós civilizációnak" is nevezhetjük, amennyiben majd megtörténik az emberes marsi leszállás ez megváltozik, ha a Mars-expedíciók 26 havonta követik az első űrrepülést. Már a XX. században voltak olyan emberek, akik lelkesen forszírozták, hogy a földi és holdi űrrepülések után minél hamarabb térjünk rá a távolabbi világok, különösen a Mars meghódítására. Wernher von Braun 1952-ben németül, majd 1953-ban angolul is megjelentette a Marsprojektet. Ebben 70 embert, tíz űrhajót (három teherszállítót) kívánt a Marsra küldeni. Az űrhajók úgynevezett Hohmann-pályán jutottak volna a vörös bolygóhoz.

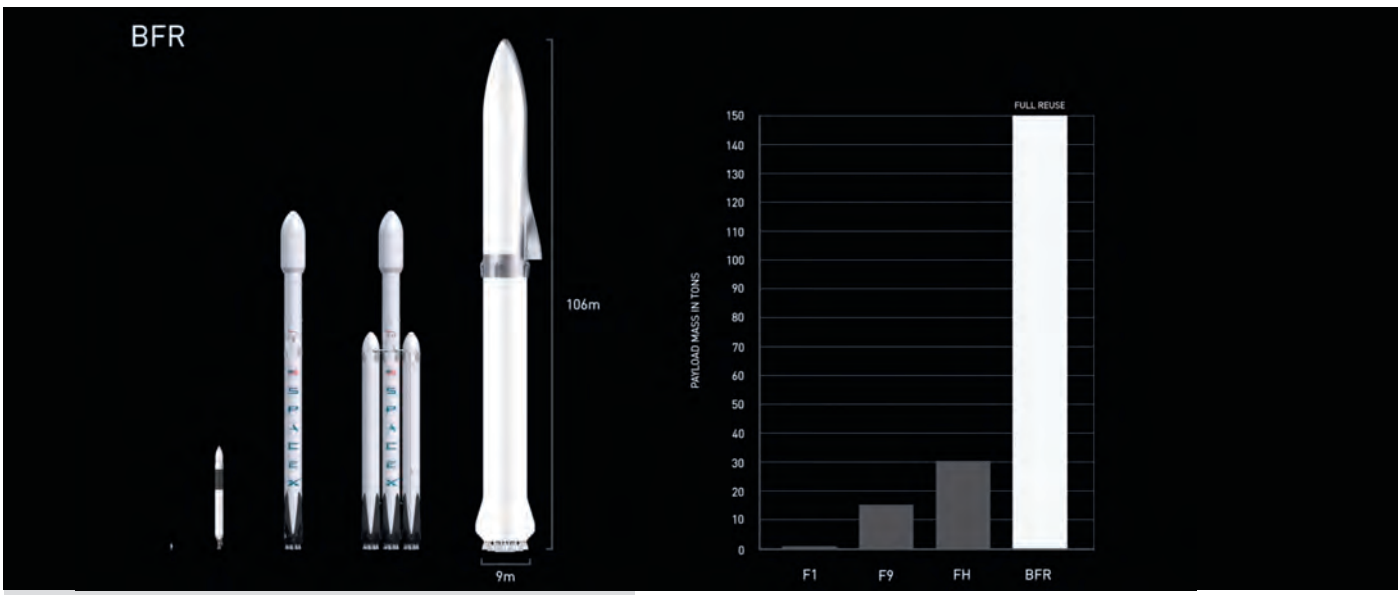
Elon Musk rakétája és űrhajója

2002-ben, amikor *Elon Musk* amerikai dollármilliárdos létrehozta SpaceX-cégét újra felmerült a Mars-meghódításának gondolata. Musk Falcon-9 olcsó hordozórakétájának Falcon Heavy változata már alkalmas lehetne egy Mars-expedícióra, de egy még nagyobb rakétát és űrhajót is igér (BFR vagyis Starship-Super Heavy, **1. ábra**.). A tervezett Starship-Super Heavy óriás hordozórakétát és űrhajót Musk egy felszíni holdbázis kialakítására is javasolja (**2. ábra**). Musk elképesztő fanatikus lelkesedéssel 2027-re tervezi a marsi űrhajó emberekkel történő leszállását, amelyet néhány pilóta nélküli űrhajó automatikus leszállása előzne meg a vörös bolygón. Ha minden Musk elképzelése szerint történik, akkor az emberiség „kétbolygós civilizációvá" válhat.

A Hold Körüli Űrállomás

A holdi űrállomás (Lunar Orbital Platform-Gateway, LOP-G) tervet először 2009-ben javasolták az ISS-leállításával, illetve a Nemzetközi Űrállomás űrrepüléseinek kezdetben 2024-re tervezett befejezésével. Igaz 2019-ben az ISS leállítását már 2030-ra tervezik.

Amerikai részről a Boeing, Lockheed Martin és a SpaceX cégek, az oroszoktól az Enyergija, az ESÁ-tól az EADS Astrium és a Thales Alenia Space, Kanadából az MDA, Japánból pedig a Mitsubishi nehézipari cég kapcsolódna be az LOP-G űrállomás programjába. 2015 az Enyergija és a Boeing, valamint Lockheed Martin cég szerződést írt alá a közös fejlesztési munkákról. 2016-ban a résztvevők úgy döntöttek, hogy az első modult a holdi űrállomáshoz 2023-ban indítják. 2017 márciusában elhatározták, hogy a holdi űrállomáson egy éves űrrepüléssel vizsgálják meg, hogy az űrhajósok készek a távolabbi célok pl. a Mars felé elindulni. 2017 júniusában Kína jelezte,



1. ábra. Elon Musk hordozórakétái és hasznos teherkapacitásuk

hogy az LOP-G űrprogramban 2028-tól 5 pilótás holdraszállást terveznek. A JAXA bejelentette, hogy 2030-ban japán űrhajós fog leszállni a Holdra.

2019-ben az amerikaiak úgy döntöttek (Trump elnök javaslatára), hogy öt éven belül a NASA űrhajósainak vissza kell térnie a Holdra (lásd Almár Iván cikkét), azaz a holdi űrállomás programot fel kell gyorsítani.

Ebben a következő nagyszabású űrprogramban, a holdi űrtervben kezdetben az ISS építésében és üzemeltetésében közreműködő országok, vagyis az USA, Oroszország, Európa (ESA), Japán (JAXA) és Kanada (CSA) vesznek majd részt. A Lunar Orbital Platform-Gateway (LOP-G) a Holdra történő nemzetközi pilótás expedíciók kísérőnk körül keringő érkezési, leszállási, visszatérési bázisa lesz négy fős befogadási kapacitással. A közös tervek szerint a holdi űrállomás részenkénti kiépítése a húszas évtizedben (2020-2030) történik majd meg.

A Roszkozmosz a Federácija űrhajóval, és részegységekkel (űrséta modul, lakómodul, tartalék energiaegység, holdi leszállóegység). vesz részt a holdi űrállomás programban. A tervek szerint az űrállomáson az expedíciók idején négy űrhajós tartózkodik majd 30-60 napig. Két Hold körüli pályában gondolkodnak:a tervezők: egy alacsony 100-200 km magasságban, vagy egy magasan 70 000 km lévő keringési pályán. Utóbbiról a Holdra is és távolabbi kozmikus célok felé (pl. a Marsra) indulhatnak űreszközök, illetve személyzetes és teherűrhajók.

A holdi űrállomás programban az ESA is részt vesz az amerikai modulok és az Orion űrhajó építésében, valamint az Ariane-6 hordozórakétával

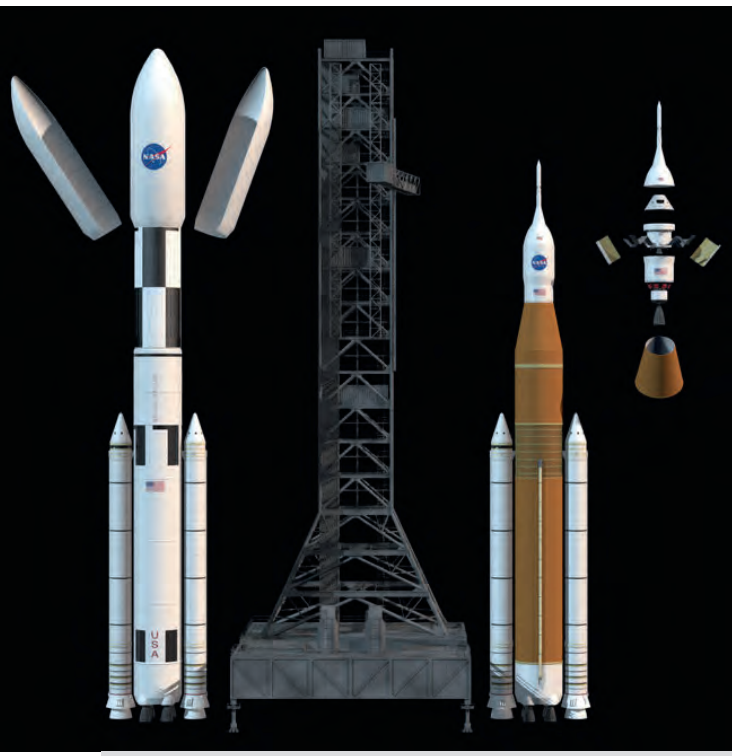
2. ábra. Elon Musk óriás rakétájával lehet majd holdbázist is építeni *(fantáziakép)*.

egy teherűrhajó szállításával. Japán (JAXA) modul építésben, és a H-3 hordozórakétával szállított HTV-X teherűrhajóval csatlakozik a LOP-G programhoz. Kanada robotizált karokkal vesz részt a holdi űrállomás küldetésben. A Roszkozmosz javaslatára az LOP-G űrprogramhoz Brazília, a Dél-afrikai Köztársaság, India és Kína is bekapcsolódhatna.

Hordozórakéták és az űrhajó

Boeing, United Launch Alliance, Northrop Grumman, Aerojet Rocketdyne cégek készítik az SLS (Space Launch System) rendszereit. A fővállalkozó a Boeing cég. Az SLS rakétákhoz (**3. ábra**) a Space Shuttle elemeit is felhasználták.

Az SLS különféle változataihoz az első fokozat egy hatalmas, hengeres, 8,4 m átmérőjű tartály, amelyet négy RS-25 hajtómű működtet. A hajtóanyag



3. ábra. A 117 m magas SLS-Block-2 és a 98 m magas SLS-Block-1 hordozórakéták az indító-állványnál.

folyékony oxigén és hidrogén. Az oldalsó gyorsítófokozat öt elemből álló szilárd hajtóanyagú egység (SRB), amelyet az űrrepülőgép oldalsó fokozatából fejlesztettek. Az SRB-t az Orbital ATK készíti.

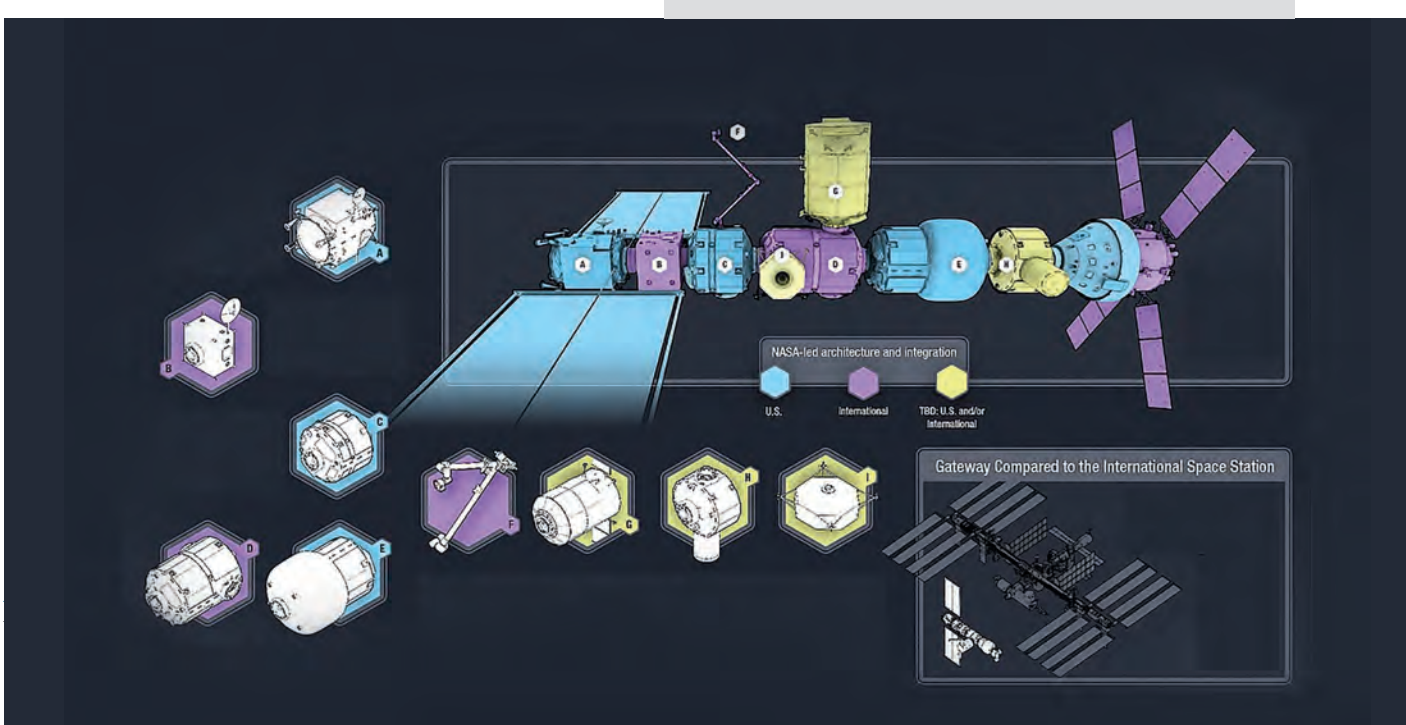
A második fokozat a Block-1 változatnál az ICPS (Interim Cryogenic Propulsion Stage) lesz, amelyet egy öt méter átmérőjű átalakított Delta IV felső fokozat (Delta Cryogenic Second Stage), amit egy folyékony hidrogént és folyékony oxigént égető RL10B-2 hajtómű működtet. A 98 m magas SLS

4. ábra. A NASA-ESA Orion űrhajója.

Block-1 alacsony Föld körüli pályára 95 tonna terhet tud szállítani (a Hold felé pedig 26 tonnát). A Block-1B, amely négy RL-10C-1 hajtóművet használ és pilótás, valamint teherszállító változatban készül, a második fokozat és az Exploration Upper Stage (EUS) lesz, amely Föld körüli pályára már 105 tonna (a Holdhoz 37 tonna) terhet juttat el. A Block-1B pilótás, valamint teherszállító változatban készül.

A Block-2 hordozórakétát a Mars-programhoz kívánják felhasználni, és pilótás, valamint teherszállító változatban készül, alacsony Föld körüli pályára 130 tonnát juttathat, Nap körüli pályára pedig

5. ábra. A holdi űrállomás, a Gateway tervezett moduljai és méretaránya az ISS-hez képest (jobbra lent).



Artemisz

Az ősi görög vallásban és mítoszokban Artemisz a Hold, a természet, a vadászat, az erdő, a hegyek, a vadon élő állatok (különösen a medve), a betakarítás, a tisztaság és az íjászat istennője. A római mítoszokban Artemisz megfelelője Diana istennő volt. Artemisz Zeusz és Leto lánya, Apollón ikertestvére, Delosz szigetén született.

Ő volt a fiatal lányok védője. Gyorsan és határozottan cselekedett, hogy megvédje és megmentse azokat, akik segítségét kérték. Artemiszt a szülések és szülésznők egyik elsődleges istennőjeként imádták. Akárcsak Athéna és Hestia, Artemisz inkább leány maradt, és esküdött, hogy soha nem házasodik. Artemisz az ókori görög istenségek egyik legismertebb tagja, Ephezoszi temploma az ókori világ hét csodája volt. Szimbólumai közé tartozik az íj, a nyíl, a szarvas, a vadászkések, a szarvas és a ciprus szent volt számára.

Artemisz nevének gyökere valószínűleg perzsa származású *arta*, *art*, *arte* mindenekelőtt nagyszerű, kitűnő, szent, ezért Artemisz azonos a természet nagy anyjával.

45 tonna terhet szállíthat. Az SLS Block-2 hordozórakéta 117 m magas. A holdi űrállomáshoz az asztronautákat a négyszemélyes (**4. ábra**) Orion űrhajó viszi majd.

Az űrállomás tervezett moduljai

Az első holdi Orion-repüléssel (EM-1) szállítanák a Hold Körüli Űrállomás egyik alapelemét a NASA és az ESA által fejlesztett Energia és Hajtómű Rendszert (PPE) a Holdhoz (*A-elem*). A PPE tervezett tömege 8-9 tonna, 12 kW-os ionos pozíciós hajtóművel van ellátva, és az űrállomásnak 50 Kw energiát biztosít. A PPE hidrazinos kémiai hajtóműve 2 tonna xenonnal üzemel minimum 15 évig. A PPE-t hírrendszerrel is ellátják, helyzet és pályakontrollt is biztosít az űrállomásnak. A következő egység az ESA által készített ESPIRIT modul (European System Providing Refuelling, Infrastructure and Telecommunications, *B-elem*). Az ESPIRIT egy olyan modul, amely áttölthető tartalék hajtóanyag-tároló és az összeköttetést is biztosítja a Földdel. Tömege 4 tonna és 3,91 m hosszú.

A *C-elem* (UE) egy a NASA által készített kis méretű, nyomás alatti kiegészítő kabin. A D- és E-elemek nyomás alatti lakómodulok. A *D-egységet* az ESA és a JAXA tervezi, míg az *E-elem* NASA fejlesztés lesz. A D-egységre szerelik a kanadai építésű távirányítható robotkart (*F-elem*). Az amerikai *G-egység* egy kis tartalék lakótér, ahol élelmiszereket is tárolnak. A tervek szerint az EM-3-as repüléssel jut a LOP-G űrállomásra. A *H-egység* egy kilépő űrsétamodul. Az *I-elem* egy robot mintavevő berendezés fogadására alkalmas (**5. ábra**).

HERACLES az ESA-JAXA-CSA által javasolt automatikus holdi leszálló- és visszatérő egység talajmintavétel céljára. A HERCULES alkalmanként 500 kg mintát szállíthatna a Gateway űrállomásra. A Lockheed Martin cég ajánlott egy 22 tonnás holdi leszállóegységet négy űrhajóssal kéthetes útra, amelyről kb. 1 tonna talajmintát vihetnének az űrállomásra. A NASA Orion űrhajója az európai gyártású műszaki egységgel biztosítja az asztronauták szállítását a Hold Körüli Űrállomásra és a Hold felszínre történő leszállás és visszatérés utáni űrrepülést vissza a Földre. A tervek szerint az oroszok négyszemélyes Federacija nevű űrhajója is képes lesz dokkolni a LOP-G űrállomásra.

Az amerikai holdi leszállóegységek mellett az oroszok is terveznek olyan űrhajót, amely alkalmas lesz a kozmonauták leszállítására a Holdra és visszajuttatására a Gateway holdi űrállomásra.

A NASA Artemis-programjának végső célja egy állandó felszíni holdbázis létrehozása.

HORVÁTH ANDRÁS

150 SOR A TUDOMÁNYRÓL

A gyorsuló idő

Manapság egy ember annyi változást ér meg élete folyamán, amennyit az ókori Mezopotámiában csak száz egymást váltó nemzedék tapasztalhatott. Mai világunk gyorsan alakuló, dinamikus benyomást kelt. A mai ember természetes környezete a napról napra megfigyelt változás. Talán végzetként veszik sokan tudomásul a fokozódó iramot. A ma tapasztalt népességnövekedési expanzió nem azonos a társadalmi fejlődéssel, csupán tünete annak. A gyorsulás motorja a civilizációs haladás. Emlékszem, hogy 1943-ban, első elemista koromban a megtanulandó betűket és számokat a kis palatáblánkra palavesszővel írtuk, s el sem képzeltük, hogy életünk vége felé, a komputerek világában, a számítógépek vagy a kis mobiltelefonok használati eszközeink lesznek. Rohan az idő. Korunkban a tanítók, tanárok és oktatók állnak a legkritikusabb poszton. A tankönyvek ötévenként cserélődnek. Mindenki elmaradhat a gyorsuló világban, de a tanítók soha. Az ő munkájuktól függ, milyen lesz néhány évtized múlva a termelékenység, életszínvonal, milyen lesz népünk helyezése a nemzetek versenyében.

A továbbiakban a matematika fejlődéséből ragadnék ki néhány mozzanatot. Ezek közül is csak egy kis szeletet, amelyek katalizátorként hatottak a kutatásokra. Ilyenek azok a problémák, amelyek az idők folyamán felvetődtek, de igazolásukat nem sikerült rövid időn belül megadni. Évszázadoknak kellett eltelnie ahhoz, hogy valamilyen feleletet tudjunk adni. De még ma sem mindegyikre. Sokuk közül, a négy leghíresebbet említeném meg: 1) az euklideszi párhuzamossági axióma, 2) a nagy Fermat-sejtés, 3) a Goldbach-sejtés, 4) a Riemann-hipotézis.

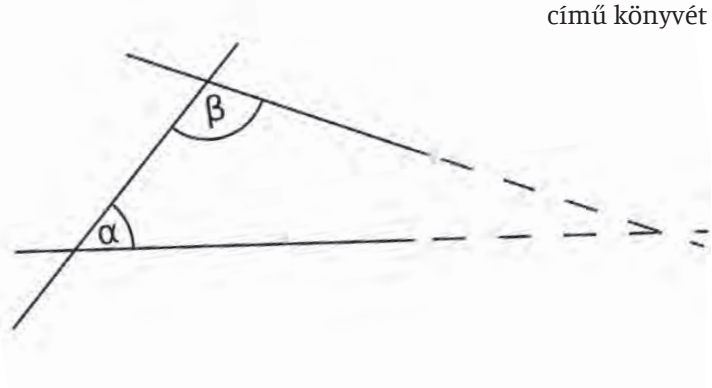
Az első kérdéskör tisztázása több mint 2000 évet vett igénybe. Kr. e. 300 évvel Euklidesz görög matematikus megírja Elemek című munkáját, mely az egyetemes matematikairodalom egyik leghíresebb alkotása. Ebben posztulátumként szerepel egy kijelentés, mely a síkbeli párhuzamos egyenesekre vonatkozik. Ez a kijelentés, melyet ma euklideszi párhuzamossági axiómaként emlegetünk, a vele egyenértékű legegyszerűbb megfogalmazásban így szól: a síkban, bármely rajta kívüli ponton át csak egy őt nem metsző (párhuzamos) egyenest húzhatunk. Mivel ez egy nem azonnal belátható kijelentés, idővel megpróbálták bizonyítani. Az ezzel kapcsolatos erőfeszítések nyomán számos új matematikai felfedezés született, de maga az állítás igazolása makacsul ellenállt. Észrevehető, hogy ahogyan teltek az évszázadok, és közeledtünk a kérdés tisztázásához, a bizonyítási kísérletek száma egyre nagyobb és nagyobb lett. Voltak, akik azzal a tudattal haltak meg, hogy bebizonyították Euklidesz állítását, de haláluk után kiderült, hogy hibásak voltak az érveik. De voltak olyanok is, akik már életükben kénytelenek voltak belátni, hogy próbálkozásaik kudarcba fulladtak. Ilyen volt például Bolyai Farkas is, aki látva sikertelenségét, reményt vesztve jelentette ki: *„én a paralelákat akarva megtudni, tudatlan maradtam, életem és időm virágját mind ez vette el"*. De Bolyai Farkas, aki fiát, Bolyai Jánost a kezdetektől tanította, igyekezett mindig ezt a kérdést elkerülni. De egyszer mégis elszólta magát. Azt mondta fiának: *„aki ezt a problémát megoldja, akkora gyémántot érdemelne, mint a Föld"*. Az apa akkor nem mérte fel kijelentésének súlyát, de gyermeke lelkében mély nyomot hagyott. Később Farkas valósággal megrémül, amikor a bécsi hadmérnöki akadémián tanuló 18 éves fia az egyik levelében azt írja, hogy ő is foglalkozik a *„paralelák problémájával"*.

1825 februárjában János meglátogatja a Marosvásárhelyen élő édesapját, és bemutatja neki eredményeit. Farkas azt várta, hogy fiának végül is sikerül az euklideszi párhuzamossági axióma bizonyítása. De János

kijelentette: 2000 éven át azért nem tudta senki sem igazolni Euklidesz állítását, mert az nem bizonyítható! Tehát nem lehet eldönteni, hogy igaz vagy hamis. Miért nem? — kérdezhette Farkas. Eredményei alapján ezt felelhette János: azért, mert az euklideszi axióma tagadására felépített új geometria pont olyan ellentmondás nélküli, mint ezen az axiómán alapuló euklideszi mértan. Farkas akkor kétkedve fogadta fia válaszát, mivel ő is, akárcsak két évezreden át számos elődje, úgy akarta igazolni Euklidesz állítását, hogy annak tagadásából ellentmondáshoz jutnak, és így az állítás igaz. A matematika professzor Farkas természetesem jól ismerte az euklideszi geometriában gyakran használt *reductio ad absurdum* bizonyítási módszert, mely abban áll, hogy felteszem a bizonyítandó állítás tagadását és abból ellentmondáshoz jutok, tehát a bizonyítandó tétel igaz.

Egy évszázadnak kellett eltelnie ahhoz, hogy véglegesen beigazolódjon Bolyai János akkori zseniális meglátása. Ugyanis Kurt Gödel 1931-ben bebizonyította, hogy lehetetlen teljes és ellentmondásmentes matematikai rendszert felállítani. Eredményeit a következő két állítás foglalja össze: 1) Ha az axiomatikus halmazelmélet ellentmondásmentes, akkor vannak olyan állítások, amelyek nem bizonyíthatók, de nem is cáfolhatók; 2) nincs olyan konstruktív eljárás, amellyel be lehetne bizonyítani, hogy egy axiómarendszer ellentmondásmentes. Ma már a modell-módszer alkalmazásával bizonyítani tudjuk, hogy az euklideszi geometria, a Bolyai-Lobacsevszkij geometria és a valós számok halmazának elmélete közül az egyik akkor és csakis akkor ellentmondásmentes, ha a másik kettő is az. De ezzel is csak viszonylagos ellentmondás-mentességet tudunk igazolni, vagyis egyik ellentmondás-mentességét visszavezetjük a másikéra. Ma már általánosan elfogadottnak tekintjük azt az állítást, miszerint a valós számok halmazának elmélete ellentmondásmentes. A XX. század kiemelkedő matematikusa, André Weil frappáns véleményt adott erre a problémára, amit lehet, hogy a teológusok egy része is elfogad: *„Az Isten azóta létezik, mióta a matematika ellentmondásmentes, az ördög pedig azóta, amióta ezt nem tudjuk bizonyítani"*.

Pierre de Fermat francia matematikus 1637-ben Diophantosz ókori görög matematikus Aritmetika című könyvét



Az euklideszi párhuzamossági axióma

Goldbach-sejtés

olvasva, ennek margójára a következő latin nyelvű megjegyzést írta: *„egy köböt lehetetlen szétbontani két köbre, egy negyedik hatványt két negyedik hatványra, és általában a négyzet kivételével egy hatványt egy ugyanolyan két hatványra. Erre találtam egy csodálatos bizonyítást, de a lapszél túl keskeny ahhoz, hogy befogadja."* Mai megfogalmazásban ez pontosabban így szól: egy természetes szám 2-nél nagyobb hatványát nem lehet felírni másik két természetes szám ugyanolyan hatványú összegeként — azaz a Pitagorasz-tételt nem lehet kiterjeszteni 2-nél nagyobb egész számú hatványkitevőkre. Azóta nagyon sok matematikus kereste ezen állítás bizonyítását, de több mint 350 éven át senkinek sem sikerült megtalálnia a megoldást, pedig az idők folyamán számos pénzjutalom volt kitűzve erre a célra. Ebben az esetben is a próbálkozók több számelméleti tulajdonságot fedeztek fel, de a bizonyítandó tulajdonság makacsul ellenállt. Jelenleg úgy van, hogy az Amerikai Egyesült Államokban élő angol matematikus, Andrew Wiles több évi megfeszített és kudarcokkal is járó munka után — a bírálók szerint — 1995-ben végül is a Fermat-sejtés igazolását megadta. Maga a rendkívül hosszú bizonyítás olyan felfedezésekre épül, melyek Fermat idejében még nem voltak ismertek. Ma is sokan tűnődnek azon, hogy Fermatnak valóban sikerült-e az állítását bebizonyítani, s ha igen, hogyan. A jelenleg 65 éves Andrew Wiles ezután nagyon sok díjban részesült, így például 2016-ban ő kapta az Abel-díjat, amely mellékesen 6 millió norvég korona (kb. 200 millió forint) pénzjutalommal is jár.

Maradtak azonban a XXI. század matematikusai részére is szép számban megoldatlan hipotézisek, melyek között híresek a már említett Goldbach-, valamint Riemann-sejtés.

Christian Goldbach német matematikus 1742-ben Leonhard Eulernek írt levelében azt állítja, hogy minden 5-nél nagyobb természetes szám felírható három prímszám összegeként. Euler válaszában leírta, hogy ennek bizonyításához elegendő lenne belátni, hogy *minden páros szám felírható két prímszám összegeként*. Ez manapság az úgynevezett Goldbach-sejtés. Mint mondtuk, a Goldbach-sejtés ma sem bizonyított tény. Minden erőfeszítés ellenére nem találtak rá ellenpéldát, ami eldöntené a kérdés megoldását. A sejtést számítógépekkel is megvizsgálták, és roppant nagy számoknál kisebb számokra igazolták helyességét. De a természetes számok végtelen halmazának részhalmaza, a páros

Bernhard Riemann

Bolyai Farkas

Bolyai János

Christian Goldbach

Pierre de Fermat

számok halmaza is végtelen halmaz, így valamennyiükre igazolni kell a sejtést. Emiatt a Goldbach-sejtés továbbra is nyitott kérdés, annak ellenére, hogy ma sem szűkölködünk számelmélettel foglalkozó matematikusokban.

Úgy tűnik, napjainkban a matematikusok által ostromolt hipotézisek közül a legjelentősebb a Riemann-sejtés. Ezt Bernhard Riemann német matematikus fogalmazta meg 1859-ben az egyetlen számelméleti tárgyú dolgozatában, melyben a Riemann-féle zeta-függvény zérushelyeinek eloszlásával foglalkozik. Ez többek között a prímszámok lehető legegyenletesebb elosztását is állítja. E témával kapcsolatban az olvasónak külön ajánlom Staar Gyula Otthonosan a prímek világában című interjúját, melyet Pintz János matematikussal készített, és a Természet Világa 2016. júliusi számában jelent meg. A Riemann-sejtés kimondja, hogy a zeta-függvény minden nem triviális gyökének a valós része ½. Tehát a nem triviális gyökök a Gauss-féle komplex számsíkban az ½+ti alakú számokból álló, úgynevezett kritikus

alkalmazottabb lett, mint valaha. Felmerül a kérdés: vajon okozhat-e ez a tény gondot a tiszta matematika számára? Időnként úgy tűnik, hogy az elméleti matematika kissé háttérbe szorul, legalábbis ami a tudományos támogatásokat illeti. De ma se feledjük David Hilbert kijelentését: *„a matematika éltető eleme a problémák"*.

Most, a legutóbbi nyár egyik délutánján betértem egy kávézóba, hogy megigyak egy hűsítőt. Nemsokára, a mellettem lévő üres asztalnál négy, húsz év alatti fiatal is helyet foglalt. Amint láttam kávét és valami italt kértek. Négyük közül hárman azonnal elővették az okostelefonjukat, és csak azzal foglalkoztak. A negyedik, hogy három társát ne zavarja, csendben figyelte őket és a kávézóba járókat. Miután megitták, amit rendeltek, egy idő után felálltak és távoztak. Kifelé menet kettő még mindig az okostelefonját nyomogatta és simogatta. Én még ülve maradtam néhány percig és elgondolkoztam: ebben a gyorsuló időben milyen lesz ez a világ és az emberek közötti kapcsolat néhány évtized múlva?

WESZELY TIBOR

AZ IMÁDKOZÓSÁSKÁK VÉDEKEZÉSI STRATÉGIÁI

Az álcázás formái

2. RÉSZ

2019 februárjában a XLI. Magyar Rovartani Napok egyik programpontja volt a Magyar Rovartani Társaság által kiírt pályázat eredményeinek kihirdetése is. Ezen a pályázaton I. díjat nyert Paulovkin András (akinek korábban már olvashatták cikkét lapunkban) rovartani témájú dolgozatával. A zsűri e szavakkal méltatta a nyertes dolgozatot: „Remek olvasmány és profi munka [...]. Színvonalában leginkább egy Természet Világa cikknek felel meg, bár terjedelmét tekintve több is kitelne belőle." A zsűri véleménye számunkra is megtisztelő; és úgy gondoljuk, valóban felkeltheti olvasóink figyelmét ez az érdekes témáról írt képes, látványos, ugyanakkor nagyon részletes és szakmailag is megalapozott munka. Alábbiakban a díjnyertes pályázat megszerkesztett változatának második részét közöljük.

Az imádkozósáskák védekezési megoldásai többnyire a vizuális ingerek alapján vadászó ragadozók ellen alakultak ki, melyek érzékelése között találunk ugyan eltéréseket, de ezek jobbára az élőhelyi adottságokkal mutatnak szorosabb összefüggést és különbségeik ellenére számos vonásukban megegyeznek. Bár az ember nem kifejezetten rovarevő, színlátásunk van olyan jó, mint bármely más állaté, legalábbis abban a hullámhossz-tartományban, amit a szemünk érzékelni képes. Ennek megfelelően, ha egy rovart a színezete miatt nehezen veszünk észre, minden okunk megvan azt feltételezni, hogy ez a ragadozóiknál sincs másképpen. Márpedig ha egy ragadozónak vannak ragadozói, elengedhetetlen, hogy megfelelő védelmet alakítson ki ellenük, és ha ezek jellemzően a látásukra hagyatkoznak, az egyik leghatékonyabb védelmet a rejtőszínezet és a környezethez történő hasonlóság jelenti.

Rejtőzés és rejtőszínezet

A fogólábúak egy adott életközösségben ragadozóként és potenciális zsákmányként is szerepet játszanak és mivel jellemzően lesből támadnak áldozatukra, zsákmányszerző hatékonyságuk a rejtőzésük hatásfokával szoros kapcsolatban áll. Esetükben tehát a rejtőzés nem csak védekezési, hanem táplálkozási stratégia is egyben. Ennek egyik legelterjedtebb formája, amikor az állat színezete igazodik a környezethez, ezáltal biztosítva számára bizonyos mértékű észrevétlenséget. A rejtőzés hatásfoka jelentősen javítható a test kontúrjának

megtörésével, amelynek az egyik legegyszerűbb módja a megfelelő mintázat kifejlesztése. Mivel a ragadozók a rejtőzködő állatok árnyékát is észlelhetik, az árnyékot megszüntetve a rejtőzés is sikeresebb lesz. Az árnyék kevésbé jelentős a sűrű növényzetben élő állatoknál, de a fákon, a csupasz földön vagy a homokon élő fogólábúak esetében az árnyék jelenléte vagy hiánya kulcsfontosságú tényező a rejtőzés hatékonyságában. A lapított testű állatoknak minimális árnyékuk van, így például a fás szárú növények kérgén élő fajok hát-hasi irányban erősen lapítottak és sok időt töltenek mozdulatlanul. Például az afrikai *Tarachodes afzelii* feje sajátos fejtartásának köszönhetően egybeolvad a testével, így oldalnézetben az állat kontúrja szinte észrevehetetlen. A felnőtt hímek szárnyai szürkék, mint a kéreg, de még így is meglehetősen szembetűnőek, a kifejlett nőstények viszont redukált szárnyakkal rendelkeznek. A potrohuk pedig hullámosan redőzött, ami miatt remekül képesek beolvadni a fakéreg felületi egyenetlenségeibe. A szintén fás szárú növények kérgén élő *Theopompa*- és a *Theopompella*-fajok hasonlóképpen lapított testtel rendelkeznek. A fejüket azonban úgy tartják, hogy a szájszerveik nyugalmi fejtartásban előrefelé néznek. A szárnyaik szélesek és oldalirányban ferdén elfedik a test jelentős részét, ezáltal csökkentve a rovar által vetett árnyék nagyságát. A felületbe történő beolvadást a szárnyaik krémszínű és barna foltjai is segítik, ami miatt egy zuzmós kéregre emlékeztetnek.

Néhány fogólábúfajnak kettő vagy akár több színváltozata is létezik. Ez a polimorfizmusnak nevezett jelenség tulajdonképpen egy evolúciós léptékű válasz a predációs nyomásra, aminek eredményeképpen az adott egyed sikeresebben képes beolvadni a környezetébe, továbbá a ragadozóknak kettő vagy akár több formát is meg kell tanulnia felismerni. Például a *Sphodromantis lineola* színét a fényintenzitás határozza meg; nagy intenzitás esetén barnák, kisebb esetén zölddé változnak a következő vedlés alkalmával. Malcolm Edmunds Ghánában végzett vizsgálata során azt tapasztalta, hogy a színváltozás megfelelő álcát biztosít az adott rovar számára, hiszen a fák és a cserjék a száraz évszakban elhullajtják a leveleiket és ezáltal koronájuk jelentősen több fényt enged át, mint amikor sűrű levélzet borítja. Ilyen körülmények között a zöld egyedeket könnyebben észreveszik a ragadozók is, míg a barnák a friss levelek előterében válhatnak feltűnővé. A fiatal lárvák azonban a fényintenzitás hatására megváltoztatják a színüket a következő vedlésüknél, ezáltal rövid időn belül képesek beolvadni a megváltozó környezetbe.

Az időben és térben változó környezetben a rejtőzés feltételezi, hogy egy imádkozósáska képes legyen felismerni a rejtőszínezetének megfelelő mikrokörnyezetet. A fogólábúak körében megfigyelt szándékos háttérválasztás (chantlitaxis) számos tudományos vizsgálatot inspirált már. Edmunds Ghánában közel hat éven keresztül gyűjtötte a *Sphodromantis lineola* egyedeit és barna színváltozattal kizárólag a száraz évszakban, októbertől márciusig találkozott. Azt is megfigyelte, hogy míg a zöld egyedek jellemzően zöld környezetben fordulnak elő, addig a barna egyedeknél nem mutatható ki egyértelmű színpreferencia, háttérválasztásuk lé-

1. ábra. Egy afrikai levélmanó *(Phyllocrania paradoxa)* barna színváltozatú lárvája

nyegében véletlenszerűnek mondható. A jelenség egyik ésszerű magyarázata, hogy a száraz évszakban egy leveleit elveszítő fán esély sincs arra, hogy egy barna imádkozósáska zöld foltot találjon, így nincs olyan szelekciós nyomás, ami a háttérválasztás irányába hatna.

Az afrikai *Miomantis paykulli* színváltozatainak terepen végzett megfigyelései alapján az esős napok száma és a zöld színű felnőtt hímek egyedszáma között találtak összefüggést. Ráadásul, ha az előző hónap esős napjait vették alapul, ez az összefüggés meghatározóbbnak bizonyult. A jelenség észszerű magyarázata, hogy a faj az afrikai szavannák lágyszárú növényein

2. ábra. Kifejlett *Phyllocrania paradoxa* zöld színváltozatban

él, ami esőzések idején néhány nap alatt barnából zölddé változhat. Ez idő alatt az esőzés hatására megemelkedő páratartalom a vedlő lárvákat zölddé változtatja, ami növeli túlélési esélyüket a megfelelő rejtőszínezet biztosításával. A relatív páratartalom meghatározó szerepét kísérleti körülmények között is igazolták. Vizsgálták a *M. paykulli* lárvák háttérválasztását is, és azt tapasztalták, hogy a saját színükkel megegyezőt részesítik előnyben. A választás mechanizmusa tökéletesen nem ismert, de az eddigi megfigyelések alapján azt feltételezik, hogy vizuális alapon hasonlítják össze színüket a háttérével.

Színek, formák, környezet

Az álcázás kialakulásával és fejlődésével kapcsolatban már Edmunds is felvetette, hogy a ma élő imádkozósáskák a rejtőzködés evolúciójának egy-egy köztes állomását képviselhetik. Ezzel összhangban a növények hajtásrészeit és virágait utánzó fajok között fokozati sort kellene tudni felállítani. Például a zöld leveleket utánzó imádkozósáskák evolúciójának korai szakaszát azok a ma élő fajok képviselhetik, melyeket rejtőszínezetük és életmódjuk egyértelműen a növényi levelekhez kötik. Edmunds például a levélutánzók kialakulásának első lépcsőfokaként az ázsiai *Sinomantis denticulata* fajt említi. Az angol neve (Glass mantis) alapján magyarul üvegmanónak is nevezhető faj egyik legfőbb érdekessége ugyanakkor, hogy néhány foltot leszámítva fiatal lárvái zöldesen áttetszőek, aminek köszönhetően táplálkozás közben megfigyelve a rovart egy ideig még nyomon követhető az elfogyasztott zsákmány sorsa is. A szárazföldi állatok között az átlátszóság ritkaságnak számít, hiszen olyan mértékű pigmenthiányt feltételez, ami az ultraibolya sugárzás elleni hatékony védelem elvesztésével jár. Ráadásul a szárazföldi állatok testébe belépő fény szükségszerűen megtörik, emiatt még a tökéletesen átlátszó test is láthatóvá válhat. Ennek megfelelően a fiatal üvegmanók átlátszósága csupán kiegészítő védekezési stratégia lehet, amit az is bizonyít, hogy a zöldes árnyalatú lárvák jellemzően a levelek fonákján helyezkednek el, megzavarva pedig gyorsan átfordulnak a levél másik oldalára és ott lapulnak tovább. Az élő leveleket utánzó fajok evolúciós ranglétrájának csúcsát viszont minden bizonnyal a *Choeradodis rhombicollis* képviseli lapított testével és a fák lombkoronájában élő (epifiton) növények leveleire emlékeztető hatalmas előtorával és szárnyaival. A két példafaj között pedig számos átmeneti formát találunk az élő, zöld leveleket utánzó imádkozósáskák között.

3. ábra. Kifejlett *Deroplatys lobata* nőstény petetokjával

A trópusokon ugyanakkor jellemzően elhalt, barna levelekhez hasonló formákkal találkozhatunk. Számos kiváló példáját találjuk a neotropikus területeken őshonos *Acanthops*, a délkelet-ázsiai *Deroplatys*, valamint az afrikai *Panurgica* és *Phyllocrania* nem képviselői körében, közülük is azonban a legfejlettebbnek az afrikai *Phyllocrania paradoxa* mutatkozik. A nőstények a sötétbarnától a zöldig különböző színárnyalatot ölthetnek magukra és szárnyaik erezete megtévesztésig hasonlít egy levélére. A hatást fokozzák a fejen, az előtoron, a potroh oldalán és a járólábakon megjelenő lebenyek. Ezek a függelékek megtörik az állat kontúrját és segítik a minél hatékonyabb álcázást. A fogólábak nyugalmi testhelyzetben szorosan a fej alatt találhatók, ennek megfelelően a fej és a fogólábak profilja a tipikus „imádkozó" testtartásnak felel meg. A karcsúbb testű, füstösen áttetsző szárnyakkal rendelkező, kifejlett hímek álcája azonban ennél a fajnál is gyengébb, mint a nőstényeké. Hasonló adaptációkkal rendelkeznek például az *Empusa*-fajok, a fejen található bóbitaszerű lebenyt is ide értve, mégsem tartoznak a *P. paradoxa* fajjal egy rokonsági körbe (különböző családok képviselői). A barnás színű *Sybilla pretiosa* szintén hordoz jellegzetes függelékeket a fejtetőjén és a járólábain, a szárnyai azonban viszonylag egyszerű zöldek, ennélfogva akár egy köztes evolúciós állapot képviselőjének is tekinthetők.

A nyílt füves-bokros területek, ligetes erdők gyep-, cserje- és lombkoronaszintjében számos keskeny és hengeres szerkezű növényi hajtással találkozhatunk. Érthető módon, ezeken az élőhelyeken a fogólábúak hasonló morfológiai és viselkedési adaptációkat fejlesztettek ki. Az *Orthoderella ornata* például Dél-Amerika pampáinak jellegzetes fűutánzó imádkozósáskája. Egyedei zöld és barna színűek lehetnek, testfelépítésükkel pedig szinte az észrevétlenségig képesek beolvadni a fűszálak tengerébe. Előre irányuló fejük a testükkel szinte egy vonalat alkot. A testhez szorosan behúzott fogólábaik és rövid járólábaik lehetővé teszik számukra, hogy lágyszárú növények hajtásaihoz, leveleihez simuljanak. A felnőtt nőstények csökevényes, alig észrevehető szárnyakkal rendelkeznek, így a ragadozók is kevésbé veszik észre, mint a jól fejlett szárnyakkal rendelkező hímeket. Hasonló adaptációkat figyelhetünk meg az afrikai *Pyrgomantis*-fajok esetében is. A nőstények csökevényes szárnyakkal, rövid járólábakkal és feltűnően csúcsos fejtetővel rendelkeznek, aminek köszönhetően a fűszálakon pihenő rovar szinte észrevehetetlen.

Mivel ezek a területek hosszú, vékony növényi hajtásokban bővelkednek, az itt élő fogólábúak között nem ritkák a hosszú, vékony testű fajok sem. Ilyen imádkozósáskák a dél-amerikai *Angela guianensis* és az afrikai *Danuria barbozae*, amelyek egyedei, ha megzavarják, még a fogólábaikat is a fejük elé nyújtják a testük meghosszabbításaként, amivel olyan hatást keltenek, mintha hosszú növényi hajtások volnának. Nőstényeik kifejletten redukált szárnyakkal rendelkeznek, ami csak fokozza ezt a hasonlóságot. A közeli rokon *Popa spurca* testfelépítése ugyan a klasszikus imádkozósáska-formát követi, azonban hasonló morfológiai és viselkedési adaptációi miatt egy korábbi fejlődési állomás képviselőjének tartják és feltételezik, hogy a test megnyúlása egy később megjelenő változás. Érdekes módon a fűutánzó

4. ábra. Orchideamanók *(Hymenopus coronatus)* párzás közben

fogólábúak között találunk ugyan megnyúlt testű fajokat (pl. *Brunneria borealis*, *Thesprotia graminis*) körükben mégsem ismert a morfológiai és viselkedési adaptációk olyan mértékű skálája, mint a gallyutánzók esetében. Kevésbé kiforrottnak tűnő álcájukért talán a gallyutánzókétól eltérő élőhelyi adottságok tehetőek felelőssé. Amíg ugyanis a fűtenger sűrűjében egy kevésbé specializált testfelépítésű és viselkedésű rovar is ugyanolyan könnyen elrejtőzhet, addig a cserjék és fák sokkal szellősebb lombozata ugyanezt nem teszi lehetővé.

A Hymenopodidae családba tartozó fogólábúak számos faja fiatal korában virágokon tölti ideje legnagyobb részét. Külsejükkel olyan jól beolvadnak a környezetükbe, hogy nem csak a ragadozók, de a virághoz látogató rovarok sem veszik észre őket. Éppen ezért

5. ábra. Délkelet-ázsiai levélmanó *(Deroplatys lobata)* védekező pózban

az ide sorolt fajok a Peckham-féle mimikri klasszikus példáiként is szolgálnak. A viráglakó fogólábúak legismertebb képviselőiként az Afrikában őshonos *Pseudocreobotra* és *Chlidonoptera* genusz fajai, valamint az ázsiai *Creobroter*-fajok és a virágutánzás bajnokaként ismert *Hymenopus coronatus* említhetők meg. Nelson Annandale egy 1900-ban megjelent írásában arról számol be, hogy a *H. coronatus* egyik általa megfigyelt egyede több virágtalan ágat is végigjárt, mielőtt megtalálta végső rejtekhelyét egy Malajziában meglehetősen gyakori növény (a *Melastoma polyanthum*) virágzatán. Azt is megfigyelte, hogy amikor a növény virágai kezdtek elszáradni, a rovar potrohának megszokott (torra „fektetett") elhelyezkedése is megváltozott és végül a virágtalanná váló hajtásról levetette magát, mintha csak egy elszáradt virág hullott volna le.

A Hymenopusok elhalt virágot utánzó viselkedése egyedülálló ugyan, de önmagukat halottnak tettető fajokkal már jóval nagyobb számban találkozhatunk. A legtöbb ragadozó ugyanis jellemzően csak a mozgó zsákmányra reagál, ezért a fogólábúak egy része mozdulatlanná dermed, ha megtámadják. A tettetett halál (tanatózis) jelenségét az imádkozósáskák több képviselőjénél is kimutatták már, jellemzően nagyobb testű illetve növényi részeket utánzó fajoknál. Például Edmunds Ghánában végzett megfigyelései során a tanatózist mutató 6 fajból 4 utánzott valamilyen növényi hajtásrészt: a *Catasigerpes occidentalis*, a *Danuria buccholzi* és az *Angela guianensis* szárat, a *Phyllocrania paradoxa* pedig levelet. A másik két megfigyelt faj a *Polyspilota aeruginosa* és a *Tenodera superstitiosa*, melyek nagyobb testméretük miatt nehezebben tudnak elmenekülni, ha rájuk támadnak, így az esetükben a tanatózis a predáció sikerét csökkentő hatékony védekezési forma lehet.

A feltűnő mintázat szerepe

A fogólábúak kivétel nélkül rejtőzködő életmódot folytatnak, ennek ellenére rejtőszínezetük mellett néhány képviselőjük feltűnő színekkel is rendelkezik, amelyek viszont nyugalomban nem, de például futás vagy repülés közben jól láthatóak. Ennek egyik ésszerű magyarázata, hogy a ragadozók a zsákmányt üldözve könnyebben követik ezeket az élénk színeket, viszont amikor a menekülő rovar hirtelen megáll, és elrejti feltűnő színeit, a ragadozók szem elől tévesztik. Például az afrikai *Pseudoharpax virescens* zöld alapszínű felnőtt egyedei nyugalomban a növényzet között rejtőznek, de ha megzavarják őket, jellemzően futva menekülnek és eközben elülső szárnypárjukat részlegesen széttárják, láthatóvá téve ezáltal potrohuk narancssárga hátoldalát és lilás árnyalatú hátsó szárnyaikat. Amikor abbahagyják a futást, szárnyaikat hirtelen összecsukják, és feltűnő színeiket elrejtik.

A feltűnő mintázatnak azonban egész más szerepe van, amikor azt fenyegető testtartásban mutatja be az állat a támadónak; ilyenkor ugyanis elsődleges funkciója a támadó megfélemlítése, illetve elriasztása. A fenyegető testtartás tekintetében jelentős különbségek figyelhetők meg az egyes fajok között, de általánosságban az a jellemző, hogy ilyenkor a támadó felé fordulnak, fogólábaikat széttárják, szárnyaikat részben felemelik olyan hatást keltve, mintha nagyobbak lennének, mint valójában. Más fajok fenyegető testhelyzetükben sziszegő hangot is képezhetnek azáltal, hogy a potrohukat a szárnyaik között felfelé és lefelé görbítik. A ragadozók elriasztásának igazán hatékony mestere egy kifejletten tekintélyes méretűre (több mint 10 cm-esre) megnövő imádkozósáskafaj, az afrikai

6. ábra. Afrikai gallymanó *(Danuria barbozae)*

Idolomantis diabolica. Fogólábain hatalmas levélszerű lebenyek fejlődtek kiváló álcát biztosítva a rovar számára. Azonban támadás esetén a fogólábait széttárva láthatóvá válnak a lebenyek belső felületének élénk színei is, melyek olyan megdöbbentő hatásúak, hogy a nagyobb ragadozók elriasztására is alkalmasak.

A lepkéknél megfigyelt szemfoltokra is találunk példákat a fogólábúak körében és ezek vélhetően náluk is a ragadozókkal szembeni védekezésben játszanak szerepet. Az egyik elképzelés szerint céljuk az imádkozósáskák tömegközéppontjának elrejtése. Menekülés esetén ugyanis ennek mozgása a legkiszámíthatóbb, ami ideális célponttá teszi a ragadozók számára. A szemfoltok viszont szupernormális ingerként hatnak a támadóra, melynek figyelme ezáltal könnyen elterelhetővé válik. Hatékonysága nagymértékben észlelhetőségén és követhetőségén múlik, emiatt színei ellentétesek az állat alapszínével és eltérnek a környezetre jellemző színektől is. Csakhogy egy felnőtt fogólábú tömegközéppontja jellemzően a torra és a potroh elülső részére esik, amit általában a szárnyai takarnak. Ráadásul, amíg a lepkék szemfoltjai jellemzően a szárnyszélek közelében találhatóak, ahol egy esetleges támadás kisebb károkat okozhat az állatban, addig a nyugalomban lévő fogólábúak esetén ezek a tömegközéppont közelében helyezkednek el.

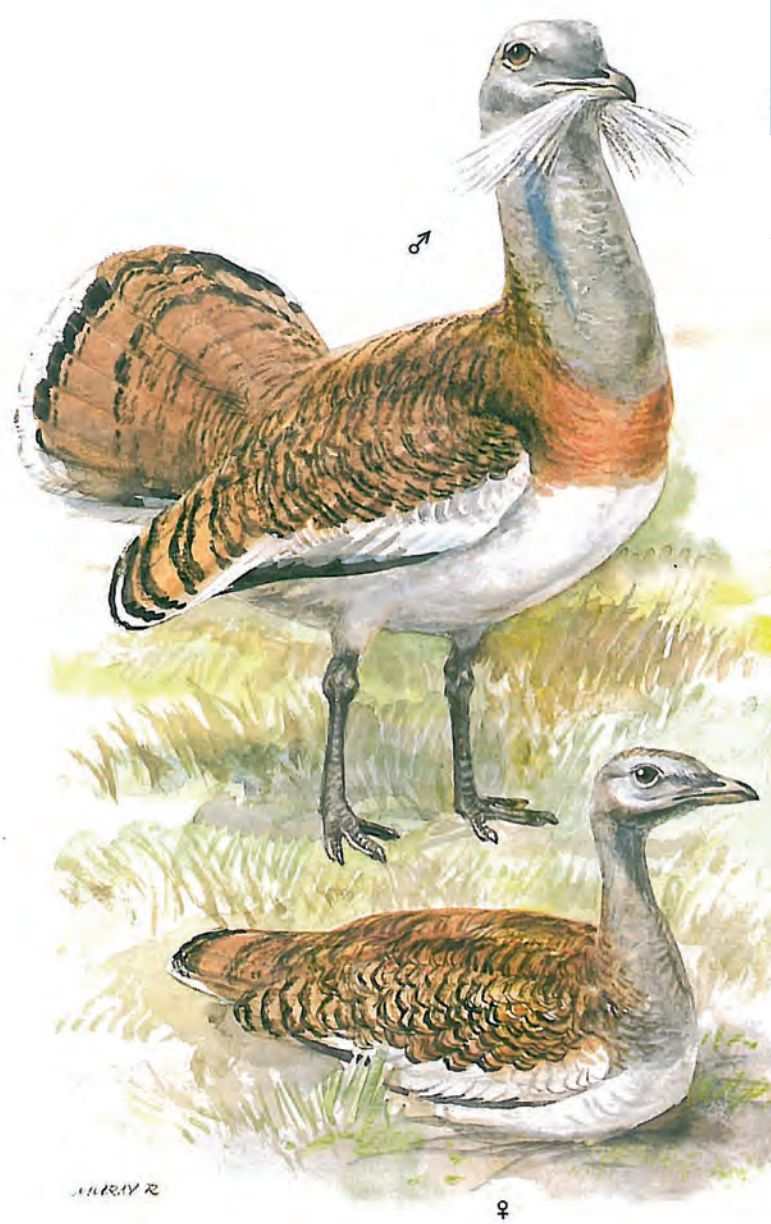
A legfeltűnőbb riasztó jelzéssel a *Pseudocreobotra*- és a *Chlidonoptera*-fajok rendelkeznek, amelyek elülső szárnyaikon egy-egy feltűnő színű szemfoltot viselnek. Ezek az élénk színek azonban nem csak menekülés közben vagy védekező pózban válnak láthatóvá, mint a korábban bemutatott példákban, így nehezen érthető, hogyan maradhatnak hosszabb ideig életben egyedeik. Ezek a fajok azonban jellemzően virágokon, illetve virágok közelében töltik idejük legnagyobb részét. Márpedig ilyen környezetben a szárnyakon látható zöld, sárga, fekete és fehér színek talán épphogy megzavarhatják a ragadozókat abban, hogy viselőjüket könnyen felfedezzék. A szárnyak hirtelen megemelésével azonban ezek a minták két hatalmas szemre emlékeztetnek, ami a lepkéknél megfigyeltekkel összhangban akár a kis testű madarak elriasztására is alkalmas lehet. Emiatt jóval valószínűbb, hogy a fogólábúak körében megfigyelhető feltűnő szemfoltok kialakulásának hajtómotorját nem a rejtőzködés, hanem a rovarevő madarak elriasztása adja.

Ezzel kapcsolatban Héctor Maldonado 1970-ben megjelent tanulmányában arról olvashatunk, hogy a vadon élő *Stagmatoptera biocellata* fogólábúfaj feltűnő mintázata hatékonyan képes megelőzni a gyakoribb madárfajok támadásait. A fogólábak belső felületén, a tor és a potroh hasi oldalán valamint a hátsó szárnyon

7. ábra. Orchideamanó *(Hymenopus coronatus)* első stádiumú lárvája

hordozott feltűnő színeiket nyugalomban elrejtik és csak támadás esetén válnak ezek láthatóvá. A hatást erősítik a széttárt elülső szárnyon található hatalmas, feltűnő szemfoltok, amelyek a nyugalomban lévő állat összezárt szárnyain kevéssé feltűnőek. Edmund megfigyelései szerint azonban emlősök esetében az imádkozósáskák fenyegető testtartása ritkán hatásos, ami Maldonado tapasztalataival összevetve azt sugallja, hogy ez a viselkedés leginkább a madarak ellen fejlődött ki. Mivel azonban a fogólábúaknak nincs tényelegesen hatékony önvédelme a madarak támadásaival szemben, fenyegető testtartásuk csupán a megtévesztés eszköze. Emiatt azok a madarak, amelyek többször találkoznak és zsákmányolnak ilyen rovarokat, gyorsan felismerik a fenyegetés valós értékét és létrehoznak magukban egy megfelelő keresési képet, amellyel hatékonyan képesek elejteni a fenyegetőző fogólábúakat is. Ezáltal válik érthetővé, hogy egyes fajok sohasem pózolnak, ha megtámadják őket, míg mások csak alkalmilag, megint mások a támadások gyakoriságának függvényében, így lényegében kiszámíthatatlan, hogy mikor jelenik meg és mikor nem az adott válaszreakció. Ráadásul az egyes fajok figyelmeztető színei és mintái eltérőek, de még az egyazon fajba tartozó populáción belül is lehetnek eltérések. A megfigyelt változatosság tehát minden bizonnyal a tapasztalt ragadozók által kifejtett szelekciós nyomás eredménye.

PAULOVKIN ANDRÁS



A MAGYAR MADÁRTAN 150 ÉVE

Óriások vállán

„Óriások válláról távolba látok” – Sir Isaac Newton hasonlóan fogalmazott 1675-ben egy Robert Hooke-nak írott levelében, s ez azóta közismert mondássá vált. Nem véletlen: évszázadtól és tudományterülettől független, hogy elődeink összegyűjtött tudására épül gondolkodásunk és munkánk, ami nélkül nem érhettük volna el azokat a magasságokat, ahonnan ma egy-egy kérdéskörre ráláthatunk. Sorozatunk ezen fejezetében megismerhetünk olyan neves – és részben kortárs – madarászokat, akik az elődök nyomdokain jártak és járnak a mai napig. Munkájukat – éppúgy, mint azokét, akikről itt nem tudunk írni – e cikk szerzőjeként én is folytatni igyekszem. Nem véletlen, hogy épp ezzel az idézettel indul az egyik előkészületek alatt álló könnyűzenei művem is.

Romok alól a fényre

A természet szüntelen utat tör magának. Még a legerősebb, emberi kéz emelte építmények sem örök életűek, de a romok közül növények hajtásai bújnak elő. Sajnos a háborúk pusztításai következtében csaknem szó szerint megelevenednek ezek a képek.

A második világháború után a Madártani Intézet újjászervezésében alapvető fontosságú szerepe volt *Vertse Albertnek*, aki nagycsaládba született, hatodik gyerekként. Gimnáziumi tanulmányait Nyíregyházán kezdte meg, majd később Budapesten fejezte be. Közben kipróbálta az asztalos mesterséget is, mert rossz tanulmányi eredményei miatt apja inasnak adta. A madarak azonban már fiatalon érdekelték, első művét 18 éves korában írta meg a témában [1]. 1934-ben szerezte meg doktorátusát és ugyanebben az évben került a Madártani Intézethez, ahol Csörgey Titusz madártelepítési és madárvédelmi munkáját vette át. A nagymester irányításával madárillusztrációkat is készített. Második felesége révén Fekete István író sógora volt, akivel gyakran együtt járták a természetet. Fekete István nagy hatással volt Vertse Albert fogalmazásmódjára, szövegei olvasmányosak, akárcsak az íróé. Rajzai folyóiratokban is megjelentek, Schenck Jakab turultanulmányát is ő illusztrálta [1]. Madárvédelmi és ragadozó madarak röpképeit bemutató plakátokat is készített. Rövid megszakítással 1946 és 1970 között a Madártani Intézet igazgatója volt. A Magyar Mezőgazdasági Múzeum ideiglenes vezetőjeként *Keve Andrást* váltotta 1949-ben, aki szintén jelentős tevékenységet vállalt a Madártani Intézet újjáélesztésében, főként könyvtári állományának megújításában. Kleiner Endreként született Budapesten és csak 1942-ben változtatta nevét Keve Andrásra. Édesapja banktisztviselő volt, az ő nyomdokain járva jogi doktorátust szerzett [1]. Ekkorra azonban már a Madártani Intézet munkatársa volt, így a természettudományok területén folytatta tovább tanulmányait, melynek eredményeként 1935-ben második doktorátusát is megszerezte. A Madártani Intézet volt első és egyetlen munkahelye. Hazai és nemzetközi kapcsolatai segítették a magyar madártan újbóli felvirágoztatását. Feladatai közé tartozott a könyvtári állomány gondozása és fejlesztése (jelentős idegen nyelvű magánkönyvtára is volt). Többek között ilyen irányú tevékenysége iránti tisztelgésként 2008-ban a madártani és természetvédelmi szakkönyvtár felvette nevét. A Magyar Madártani Egyesület alapító tagja volt, amely intézmény a nyolcvan éves Madártani Intézet civil alapokon szerveződő utódja lett [2].

Az 1974-ben alakult szervezet első elnöke *Jánossy Dénes* lett. 1926-ban született Budapesten. A madarak és az őslénytan már korán felkeltették érdeklődését.

1949-ben természetrajz-vegytan és geológus szakokon szerzett végzettséget. Paleontológiai kutatásai révén ismerte meg nevét és munkásságát a világ [1,3]. Számos ásatást szervezett, ahol a Kárpát-medence egykori gerinces faunájának maradványait tárták fel. Ezek közül az egyik legfontosabb az Istállós-kői barlang leletanyaga, ahonnan Kretzoi Miklós emlősszakértő mellett Jánossy Dénes madártani leletein keresztül ismertük meg a terület két-három millió évvel ezelőtt élt gerinces faunájának összetételét [4]. Mindemellett jelentős mértékben fejlesztette a Magyar Természettudományi Múzeum csontgyűjteményét az ásatásokon talált, valamint elhullott madarak csontjaival is. A csontok tárolásra való előkészítése nem volt épp a legkellemesebb tevékenység, erőteljes szaggal járt, ezért Jánossy Dénes szinte mindig zárt ajtók mögött dolgozott [2]. Azonban bárkivel, aki őt felkereste, mindig nagyon segítőkész volt; tanítványai, munkatársai az ásatásokon és a mikroszkóp mellett is sokat tanultak tőle. A természetvédelem iránt is elkötelezett volt. A ragadozó madarak védelme érdekében tett erőfeszítései közül kiemelendő az ürge védetté nyilvánítása, mely emlős a hazai ragadozó madárfajok egyik fő zsákmányállata [3].

Határtalanul

Nem szabad elfeledkeznünk azokról a honfitársainkról sem, akik hazánktól távolabb folytatták ornitológiai tevékenységeiket, miközben mindvégig megmaradt nemzeti identitásuk és magyarnak vallották magukat. Volt, akit a sors vezetett erre az útra, de jó néhányan az '50-es évek megnehezedett politikai viszonyai következtében látták jobbnak külföldön folytatni életüket és munkásságukat.

Az 1956-os események után többek között *Farkas Tibor* is úgy döntött, hogy Bécsben próbál szerencsét, de addigi élete során már máskor is kijutott számára a megpróbáltatásokból. Huszonhárom éves korában négy évre hadifogságba került, ahonnan csak 1948-ban térhetett vissza. Ekkor iratkozott be az egyetemre, biológia-földrajz szakra. A kor meghatározó zoológusa, Dudich Endre irányításával készítette el „Magyarország ornithográfiája" című kandidátusi értekezését [5]. Ez a munka sajnálatos módon Budapesten elveszett, azonban Farkas Tibor több nyelven is jól tudott, köztük németül is, ezért nem okozott gondot neki Bécsben ismét megírnia a korábbi munkát, amelyre egy éves Rockefeller-ösztöndíjat is kapott. Még idehaza a rigókkal (Turdinae) kezdett foglalkozni, amely vonalon tovább folytathatta kutatásait Dél-Afrikában (illetve Afrika különböző területein) is. A kövirigókról (*Monticola*) készített tanulmányai többségét angol és német folyóiratokban közölte. Madagaszkári kutatásai során új fajt írt le [6], melyet C. W. Bensonról nevezett el, aki jelentősen támogatta kutatásait (jelenleg a Sharpe-rigó alfaja, *Monticola sharpei bensoni*). Élete végéig a Dél-afrikai Köztársaságban lakott és dolgozott, de többször látogatott haza és kapcsolatait a távolból is ápolta. 1996 augusztusában hunyt el. Hamvait afrikai otthonának kertjében, augusztus 20-án, a magyar nemzet ünnepének napján szórták szét [5].

A forradalmi eseményekben való részvétel miatt *Szijj József* is Ausztriába menekült, ahonnan Keve András közbenjárásával a bonni, majd a stuttgarti múzeumban kapott állást [1,7]. Ösztöndíjak segítségével a radolfzelli madárvártán, Konrad Lorenz vezetésével dolgozott 1969-ig. Ezt követően, immár német állampolgárként, 1992-es nyugdíjazásáig Essenben volt professzor. Madártani kutatásai során főleg vízi madarakkal, azon belül is récékkel foglakozott. Tanulmányozta a madarak táplálkozásbiológiáját is, bár az esseni évek alatt eltávolodott az ornitológiától, s szinte kizárólag a száskákat kutatta. Hazai kapcsolatait rendszeres levelezéssel tartotta fenn és többször visszalátogatott szülőföldjére. Ilyenkor gyakorta felkereste azokat a helyeket is, ahol korábban madarászott [7].

Udvardy Miklós abból a szempontból szerencsésebb helyzetben volt, hogy a pályája elején kínálkozó szakmai lehetőségeket elfogadva, már fiatalon külföldön kezdte meg kutatói pályáját; s ezt követően is számos lehetőség nyílt meg előtte. 1919-ben született Debrecenben, s már hét és fél éves korában elhatározta magát az ornitológia iránt, amikor Herman Ottó a Madarak hasznáról és káráról című könyvét kezébe vehette [1,8]. Nagy hatással volt tudományos érdeklődésének kialakítására a szünbiológia (egyed feletti szerveződési szintek folyamatainak biológiája) hazai megteremtője, Soó Rezső.

1948-ban magyar állami ösztöndíjat szerzett finnországi madártani kutatásokra [1,8]. A hazai helyzet változása nyomán úgy határozott, hogy az ösztöndíj lejártával nem tér vissza, hanem Uppsalában, majd Svédországban folytatja munkásságát. Ott meg is házasodott, és feleségétől később három gyermeke született. Svédországból családjával együtt 1952-ben Kanadába költöztek, ahol sokat segített az '56-os forradalom után oda menekült tanároknak. Mindig akadtak magyar tanítványai is és Udvardy igyekezett velük az európai kutatási irányzatokat megismertetni és alkalmazni [8]. A '60-as évek elején az Egyesült Államokban telepedett le végleg családjával és 1966-tól a Sacramentoi Egyetem professzora lett. Ekkorra már két jelentősebb madártani vonatkozású, de tágabb értelemben állatföldrajzi munkája jelent meg, melyeket 1969-ben a Dinamikus Állatföldrajz (eredetije: Dynamic Zoogeography) című alapvető fontosságú könyv követett [8]. Magyar nyelven, a szerző fordításában és Varga Zoltán professzor lektorálásával 1983-ban jelent meg. Munkásságát világszerte elismerések övezték. 1980-ban a Nemzetközi Természetvédelmi Unió (IUCN) munkatársa lett. Elkészítette a világ vegetációtérképét is, de sajnos a hozzá kapcsolódó elemző munka már nem készülhetett el. A '80-as évek második felének politikai viszonyai már lehetővé tették, hogy rendszeresen hazalátogasson. A Magyar Természettudományi Múzeum részére értékes könyveket és folyóiratokat juttatott el, amiért emlékplakettel tüntették ki. [1,8]. 1998-ban váratlanul bekövetkezett halála megrázta a világ tudományos közéletét is. Sacramentoban temették el, sírkövén a magyar hazafi („Hungarian patriot") felirat olvasható [8]. Munkássága előtti tiszteletből 2018-ban a Debreceni Egyetem Evolúciós Állattani és Humánbiológiai Tanszékének szemináriumi termét róla nevezték el, így a debreceni származású kutató ismét hazatért.

Udvardy Miklós diákkorában, az akkor már idősödő *Nagy Jenővel* rendszeresen tanulmányozta Debrecen és környéke, valamint a Hortobágy madarait. (A puszta egyik nevezetességének is tekinthető túzokot mutatja be keretes ismertetőnk.) Doktori értekezését is ez utóbbi terület madárvilágáról írta. Nagy Jenő abban a szerencsés helyzetben volt, hogy a Nagyerdei körúton lévő házának kertjéből figyelhette meg az út túloldalán elterülő erdő madarait. Ezeket a tapasztalatokat az erdő madarairól szóló könyvében másokkal is megosztotta. Egyik legjelentősebb műve az Európa ragadozó madarai című könyv. (Érdekes egybeesés, hogy névrokonként, első tudományos munkámat én is a ragadozó madarakkal kapcsolatban írtam, 70 évvel később.)

Tanítványokból mesterek

Az eddig említésre került személyek közül többeket is mestereiként, barátaiként vagy kollégáiként említ *Schmidt Egon* önéletrajzi művében [2], akinek életútja igen rögösen vezetett a Madártani Intézethez, miközben elszántsága aziránt, hogy ornitológus legyen, mindvégig töretlen volt. Már gyerekkorától fogva

TÚZOK *(Otis tarda)*

Európa legnagyobb röpképes madara. A természetvédelem kiemelkedő faja, a Magyar Madártani és Természetvédelmi Egyesület, valamint a Körös-Maros Nemzeti Park címermadara. Világszerte veszélyeztetett faj, így az állomány megőrzése céljából igen jelentős hazai populációja. A dévaványai túzokrezervátum 1975-ös megalapítása után, a keltetési és fiókanevelési programokkal sikerült stabilizálni a hazai állományt. Magyarországon fokozottan védett faj (eszmei értéke 1 000 000,- Ft).

A túzok az Eurázsiai sztyeppzóna ritka, de jellegzetes madara. A füves puszták jelentik természetes élőhelyét, de a mezőgazdasági területekhez is alkalmazkodni képes. Tavasszal jellegzetes módon („dürgés") választanak párt. Az elmúlt évszázadok során a kakasok vadászata következtében a túzok poligámmá vált. Egyszerű fészke mindössze egy talajmélyedés, amit legtöbbször a mezőgazdasági művelésű terület és a gyep határán alakít ki. A túzok későn, 4-6 éves korában válik ivaréretté. Fészekalja 1-3 tojásból áll. A fiókák fészekhagyóak, de a kikelés utáni időszak elején a tojó segíti táplálkozásukat. Táplálkozása sokrétű, magvakat, leveleket, ízeltlábúak és akár kisemlősöket is fogyaszthat. Télen sokszor az őzekhez csapódik, a hó alól kikapart repcét, lucernát fogyasztja. A fiókák eleinte főleg rovarokat, később azonban egyre inkább növényi eredetű táplálékot esznek. Testhossza 75-105 cm, szárnyfesztávolsága 190-260 cm. A kakasok nemcsak külsejükben, hanem tömegükben is jelentősen különböznek a tojóktól, előbbiek tömege 6-8,5 kg, utóbbiaké átlagosan 3,8-4,4 kg.

Hazánkban rendszeres fészkelő és egész évben megtalálható, állománya növekedést mutat, 1200-1600 egyed körülire tehető. 1951 óta 630 példányt gyűrűztek meg Magyarországon, melyből 3 egyed hazánkban, 1 pedig külföldön került meg (Albániában, 675 km távolságban). Az eddigi legidősebb gyűrűs madár közel 9,5 éves volt.

(Forrás: Magyar Madártani és Természetvédelmi Egyesület (2019) Magyarország madarai: Túzok. http://www.mme.hu/magyarorszagmadarai/madaradatbazis-otitar)

megfigyelte a madarakat. Habár nem egyenes út vezetett a hőn áhított munkahelyhez, bármerre is sodorta az élet, mindig madarászott is. Még a mezőtúri munkaszolgálat alatt is. Igyekezett rendszeresen tartani a kapcsolatot az Intézetben dolgozó barátaival és érdekes megfigyeléseit hozzájuk is eljuttatta. Első közleménye is így született. Volt vasutas és az állatkertben is hosszabb ideig dolgozott, ahol azokkal az élőlényekkel került kapcsolatba, amelyeket egyébként is szeretett. 1965-ben jött a fordulat, amikor egy nyugdíjazás végett megüresedett állást ajánlottak fel a Madártani Intézetből [2]. Ekkor már majd egy évtizede, ha nem több, hogy külső munkatársként rendszeresen végzett kutatói munkát is. Amikor csak tehette, terepre is kijárt madarászni és gyűrűzni. Schmidt Egon többször is próbálkozott az egyetemi felvételivel, de eredményei ellenére mindig elutasították jelentkezését. Az '56-os forradalom után számos barátja, többek között Farkas Tibor és Szijj József is külföldre ment, akikkel rendszeresen tartotta a kapcsolatot. Az 1974-ben megalakult Madártani Egyesület alelnöke lett, azonban fájó pont volt életében a Madártani Intézet ily módon történő „átváltozása", hiszen számára már nem ugyanazt jelentette [2]. A '60-as évek közepétől rendszeresen részt vett ismeretterjesztő művek, televízió- és rádiófelvételek készítésében, melyekben megfigyelésit is felhasználta. Megjelent közleményinek száma eléri a több ezret, köztük megannyi gyerekeknek szóló írással. Természetvédelmi és írói-művészeti munkásságát több kitüntetéssel is elismerték. Ezek közül előbbi tevékenységért 1993-ban Pro Natura-díjat, majd utóbbiért 2009-ben Kossuth-díjat kapott. Mai napig aktívan ír, a 2017-ben megjelent életrajzi könyve a 95. az önálló köteteinek sorában, mely korántsem kis szám, mégis eltörpül az összes közleményeinek száma mellett.

Az '56-os forradalom sokak életében meghatározó volt. Közéjük tartozik a később kiváló ornitológus és biológia tanár *Legány András* is. A debreceni Fazekas Mihály Gimnáziumban érettségizett a forradalom évében, szeptemberben pedig az ELTE hallgatójaként kezdte meg tanulmányait. Az október 23-i felvonulás után, társaival együtt a Magyar Rádióba szerettek volna bejutni, de a sortűz során egy lövés súlyosan megsebesítette. Felépülve biológia-földrajz szakos tanári diplomát szerzett, majd Dudich Endre professzor vezetésével doktorált [9]. Ezt követően Keve András témavezetésével a biológiai tudomány kandidátusa fokozatot is megszerezte. A madarakkal még hetedik osztályos korában került kapcsolatba, amikor egyik osztálytársa egy tojásokkal teli tengelic (*Carduelis carduelis*) fészekre hívta fel figyelmét, ami „örökre elvarázsolta" és ettől kezdve csak a madarak érdekelték. 1978-tól a Hortobágyi Nemzeti Park

munkatársa lett, majd kilenc év elteltével a Nyíregyházi Tanárképző Főiskola állattani tanszékén rendszertant és természetvédelmet oktatott. Terepgyakorlatokon és madarász táborokban számtalan tanítványával ismertette és szerettette meg a természetet, akik közül sokan a természetvédelemben dolgoznak vagy katedrájuk van valamilyen oktatási intézményben. Munkásságából a tanítványaira és azok elért eredményeire a legbüszkébb. Főiskolai tanárként ment nyugdíjba. Kutatásaira a közösség-ökológiai szemléletmód a jellemző, abból kiindulva, hogy az élőhelyek védelmével, változatosságuk fenntartásával az állatvilágukat és így a madarakat is védeni tudjuk. Több elismeréssel is jutalmazták munkásságát: 1992-ben Pro Natura-díjat kapott, majd tíz évvel később a Magyar Köztársasági Érdemrend Lovagkeresztjével tüntették ki a természetvédelemben és az ornitológiában kifejtett több évtizedet átölelő, iskolateremtő pedagógiai munkásságának elismeréseként [10]. Jelenleg az MME Tiszavasvári Helyi Csoportjának elnöke.

Legány András régi jó barátja a Debreceni Egyetem emeritus professzora, *Varga Zoltán*, aki szintén a Fazekas Gimnáziumban érettségizett. Jóllehet Varga professzor úr a hazai és a nemzetközi tudományos életben, mint lepkész vált ismertté, azonban széleskörű a tudományos érdeklődése és sokirányúak a kutatásai, így tulajdonképpen a teljes zoológia területén kiemelkedő a szakmai jártassága. Varga Zoltán pályája több ponton is kötődik a magyar madártanhoz. Gimnazista korában nagy hatással volt rá Chernel István Magyarország madarai című munkája, valamint azok a madártani könyvek, melyeket Nagy Jenő megőrzésre hagyott Varga Zoltán hajdani első német tanáránál, Hettesheimer Ernőnél. Annak bizonyítékául, hogy „milyen kicsi a világ", a következő történetet szeretném elmesélni. Legány András az ELTE másodéves hallgatójaként, éppen ugyanakkor volt Jósvafőn terepgyakorlaton, ahol az elsőéves KLTE biológia-földrajzos Varga Zoltán szintén terepgyakorlaton volt. Egy, a karsztfennsíkon tett közös terepbejárás maradandó élményei hatására döntötte el, hogy részletesen feldolgozza ennek a páratlanul fajgazdag területnek egyenesszárnyú- és lepkefaunáját, ami a későbbi nemzeti park területkijelöléseihez is alapvető adatokat szolgáltatott. A régi baráttal való találkozás és a közös felderítés hatására azóta, ha teheti, minden évben felkeresi a területet. Lepkefaunisztikával és -taxonómiával kezdte, az állatföldrajzban Gustaf de Lattin genetikai megalapozású történeti szemlélete, a fajképződés kutatásában pedig Zdravko Lorković munkássága volt számára a példa. A Kárpát-medence és a Balkán-félsziget faunatörténeti kapcsolatainak feltárásában, majd az eurázsiai arid hegyvidékek kutatásában ért el jelentős eredményeket (kandidátusi, majd akadémiai doktori értekezés). Több évtizedre terjedő kutató és tanári munkásságáért, iskolateremtő tevékenységéért, a hazai s európai természetvédelemben elért eredményeiért 1995-ben Pro Natura-díjat, 2005-ben a Magyar Tudományos Akadémia Eötvös-koszorúját, majd 2018-ban a legrangosabb hazai tudományos elismerést, a Széchenyi-díjat vehette át. Mindemellett a képzőművészetekben és sportokban is jártas, bel- és külföldön több akvarell-kiállítása volt, több cikkét, könyveit, ezek között az Állatismeret című könyvét saját rajzaival illusztrálta, amelyből generációk tanulták meg a hazai fajokat, köztük a madarakat is. A rovartani kutatások mellett az MME örökös tagja, 1989 és 2007 között a Hajdú-Bihar Megyei Helyi Csoportjának elnöke volt. Ezalatt az idő alatt jelentősen hozzájárult az Egyesület ismertségének növeléséhez különböző programok, találkozók, szakkörök létrehozásával. Az állatrendszertani és zoogeográfia kutatásai kapcsán számos tanítványát kalauzolta a madárvilág tanulmányozásának megannyi ösvényén (köztük a szerző doktori témavezetője is).

A Madártani Intézetnek, illetve később a Magyar Madártani Egyesületnek a természetvédelmen és a madarak védelmén túlmenően, azok viselkedésének, ökológiájának tanulmányozása is kiemelt feladata.

Az egyik leggyakrabban megfigyelhető jelenség a madárvonulás, melynek kutatására hazánk számos pontján állomások létesültek. Az egyik legrégebbi ilyen intézmény az Ócsai Madárvárta, amelynek aktív vezetője *Csörgő Tibor*. A 36 éven át folyó kutatások során közel 200 faj fél milliós egyedszámát gyűrűzték meg a területen működő kutatók [11]. Számos, a hazai madárfaunára új faj került meg az Öreg-turján mozaikos élőhelyeiről, ahová többek között Szijj József és Schmidt Egon is előszeretettel járt madármegfigyelésekre. A terület eredeti állapotának visszaállítása a '80-as évek elején kezdődött meg. Csörgő Tibor mint

fiatal, lelkes madarász és egyetemi doktor, az ELTE munkatársaként vetette bele magát a munkálatokba. Napjainkban is állnak azok a fák, melyeket akkor ültettek, miközben fokozatosan eltűntek a tőzegbányászat és mezőgazdasági művelés okozta tájsebek, visszatelepült az eredeti növényvilág.

A hazai madarászatba Szentendrey Gézával való ismeretsége után kapcsolódott be. Az MME alapító tagjaként 1974 óta részese a hazai madártani eseményeknek. Az Ócsai Madárvárta 1983-as beindítása előtt is rendszeresen szervezett madárgyűrűző táborokat főként a Velencei-tavon, valamint több külföldi tábornak és expedíciónak volt beindítója, szervezője. A nádasok madarainak kutatására, gyűrűzésére akkoriban kevesen fordították figyelmüket. Csörgő Tibor azonban az elsők között látta meg az ebben rejlő lehetőségeket, így indult a dinnyési tábor, ahol mindjárt az első évben olyan ritkaság került meg, mint a csíkosfejű nádiposzáta (*Acrocephalus paludicola*). 24 éven keresztül volt az MME Gyűrűző és Vonuláskutató Szakosztályának elnöke. Egyik szerkesztője volt a 2009-ben megjelent, 100 évnyi madárvonulás-kutatást összegző Magyar Madárvonulási Atlasznak. Az Ornis Hungarica főszerkesztőségét 2012-ben vette át. Az ELTE oktatójaként, számos tudományos diákköri és szakdolgozat témavezetéséért 2004-ben Tudományos Diákkör Emlékérmet, 2005-ben Mestertanár Aranyérmet kapott. A természetvédelemben elért eredményeiért, ismeretterjesztő munkásságáért, illetve a magyarországi madárgyűrűzés fejlesztéséért, táborok létrehozásáért 2006-ban Pro Natura-díjjal tüntették ki.

Azon személyek névsora, akik munkásságáról bőven lehetne még írni, itt nem ér véget. Ezt részben mások már megtették helyettem és a terjedelmi keretek most ennyit tettek lehetővé.

NAGY JENŐ

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni Varga Zoltánnak és Csörgő Tibornak azokat a személyes találkozókat, amely beszélgetések alkalmával az írásom színesítésére felhasználható, általuk megélt eseményekről, kapcsolatokról esett szó. Továbbá köszönöm Legány Andrásnak, hogy kiegészítéseivel támogatta ezt a munkát: „Jó, hogy már a madarászok körében is csaknem elfeledett dolgok ismét előkerülnek."

IRODALOM

1. Magyar, G. 2018. Magyarországi ornitológusok életrajzi lexikona. *Magyar Természettudományi Múzeum*, Budapest.
2. Schmidt, E. 2017. A talicskától a Kossuth-díjig. *EX-BB Kiadó*, Budapest.
3. Gasparik, M. 2015. Jánossy Dénes (1926–2005), az ornitológus, természetvédő és őslénykutató. *Annales Musei Historico-Naturalis Hungarici 107*: 191—206.
4. Jánossy, D. 1977. A hazai barlangok gerinces őslénytani kutatása. *Karszt és Barlang 16*: 39—42.
5. Nagy, É. 1998. Dr. Farkas Tibor (1921-1996). *Aquila 103/104*: 155—157.
6. Farkas, T. 1971. *Monticola bensoni*, a new species from South-Western Madagascar. *Ostrich 42*: 83—90.
7. Schmidt, E. 2010. Prof. Dr. Szijj József (1927-2010). *Madártávlat 17*: 34.
8. Kádár, Z. 2000. Udvardy Miklós (1919-1998). *Aquila 105/106*: 173—175.
9. Ésik, S. 1997. Dr. Legány András. *Szabolcs-Szatmár-Beregi Almanach 6. kötet.*
10. Péchy, T. 2003. Szívből gratulálunk. *Madártávlat 10*: 7.
11. Csörgő, T. és Harnos, A. 2018. Az Ócsai Madárvárta működése és fontosabb kutatási eredményei. Rosalia 10: 929—960.

KÉPEK

1. Túzok *(Otis tarda)* Vörös Könyv Muray Róbert
2. Fülemüle *(Luscinia megarhynchos)* A madarak hasznáról és káráról Csörgey Titusz
3. Csíz *(Carduelis spinus)* A madarak hasznáról és káráról Vezényi Elemér
4. Kenderike *(Carduelis cannabina)* A madarak hasznáról és káráról Vezényi Elemér
5. Tengelic *(Carduelis carduelis)* A madarak hasznáról és káráról Vezényi Elemér
6. Aranyos sármány *(Emberiza aureola)* Avifauna neerlandica, Csörgey Titusz
7. Karvalyposzáta *(Sylvia nisoria)* Avifauna neerlandica, Csörgey Titusz
8. Keresztcsőrű *(Loxia curvirostra)* A madarak hasznáról és káráról Csörgey Titusz

A túzok fényképét Borza Sándor készítette.

NEM BÁNTJA A SZEMÉT?

Műanyagba merülve

A bolygónk természetes folyamatait veszélyeztető globális problémák sora az elmúlt években sajnálatos módon újabb taggal bővült. A műanyagszennyezés ugyanis egyre nagyobb területeket érint, az első segélykiáltás pedig az óceánok felől érkezik. A vízfelszínen lebegő, sokszor már városméretű műanyagszigetek keletkezése, a folyók szennyezettsége, valamint a mikroműanyagok környezeti hatása még nem teljesen tisztázott, ezért újabb és újabb kutatások vállalkoznak a feladatra, hogy megfejtsék a probléma pontos eredetét, és amennyiben lehetséges, megoldásokat is kínáljanak rá.

A világ óceánjainak műanyagszennyezése ma már széles körben ismert és egyre jelentősebb, globális kihívássá vált, azonban még mindig nagyon keveset tudunk arról, hogy ezek az anyagok valójában hogyan érik el a világtengert. A Birminghami Egyetem új kezdeményezése megmutatja, hogy a folyókra összpontosítva hogyan vehetjük észre és kezelhetjük a fokozódó műanyagválságot.

A *The 100 Plastic Rivers Project* a világ több mint 60 helyszínén folyatott víz- és üledék-mintavételezést fog össze. Célja az, hogy jobban megértsük, hogyan szállítódnak és alakulnak át a műanyagok a folyókban, és hogyan gyűlnek össze az üledékekben, hosszútávú szennyeződést hagyva örökségként.

A projekt első eredményeit az Európai Földtudományi Unió (EGU) 2019. április 7-12. között megtartott Közgyűlésén ismertették Bécsben, melyben sokrétű képet mutattak be az egyesült királyságbeli, illetve francia folyóvölgyekben vizsgált mikroműanyagok igen változatos típusairól, valószínű forrásairól.

A program keretében elemezték az ún. elsődleges mikroműanyagokat, mint például a kozmetikumokban használt mikroszálakat, valamint a nagyobb műanyag elemekből — pl. ruházatból — lebomló másodlagos mikroműanyagokat is. A projekt egyik kulcsfontosságú része a mikroszálak mintavételére és elemzésére szolgáló szabványos módszer kidolgozása, amely folyami hálózataink szennyezésének értékelésére használható fel. A birminghami csapat külön eszköztárat is kidolgozott, amely részletes utasításokat tartalmaz a víz-, és üledék-mintavételre olyan helyekre vonatkozóan, ahol a folyóáramlás

1. ábra. A küszöbünkről induló probléma felúszva a folyón szép lassan visszatér hozzánk.

ismert, automatizálható a mérési folyamat, így objektív adatokat szolgáltat az anyagok azonosítására, elemzésére.

„Mikrorészecskék! Egy kék és egy rózsaszín"

Egy pár csipesszel felszerelkezve, Jean-Francois Ghiglione vizsgálja épp a londoni Temze folyóból kihalászott mintákat, melyet a kutatók a mikroműanyag-szennyezés forrásának megállapításához használnak. *„Teljesen más dolgokat találtunk, mint amit az óceánokban látunk, például kozmetikai termékekből származó szemcséket"*. — mondta Ghiglione, miközben a Tara Alapítvány hajójának fedélzetén — amellyel a vizsgálatokat végezték — a nagyítóüveg fölé hajolt. A Csendes-óceántól a Jeges-tengerig vizsgálódó vízi jármű megfigyelte, hogy a világtengerben található mikrorészecskék gyakran nem nagyobbak egy rizsszemnél.

A Tara az óceánok vizsgálata után azonban új feladatba kezdett: Úgy döntöttek, hogy a 15 legnagyobb európai folyó közül tízben vetik ki hálójukat, a Temzétől a Teveréig, a Rajnától a Szajnáig.

Jelenleg évente több mint 8 millió tonna műanyag végzi az óceánokban. A kutatók sokáig úgy gondolták, hogy a mikroműanyagok nagyobb töredékekből származnak, melyeket aztán az áramlatok, a baktériumok és az UV-sugárzás bontanak szét. Az egyre növekvő számú kutatások azonban azt mutatják, hogy a mikroszkopikus részecskék már kimutathatók a folyókból is, mielőtt azok a nagyobb tengerekbe, óceánokba kerülnének.

Megállítható a szennyezés?

A Tara-küldetés célja, hogy megállapítsa, mindez honnan érkezik: a csatornákból, az iparból, vagy a mindennapi életünkből? — tette fel a kérdést *Romain Trouble*,

2. ábra. A Tara expedíció kutatói mikroműanyagok után kutatnak egy London melletti homokos strandon.

3. ábra. A mikroműanyagok vizsgálata egy nagyító lencséjén keresztül.

az alapítvány igazgatója. *„Ez ugyanis a mi küszöbünkről indul, vagyis a tengereinkben és óceánjainkban jelentkező műanyag gondok a szárazföldön kezdődnek"*. Trouble meggyőződése szerint lehetséges a szennyezés leállítása, ennek kezdetét pedig a felesleges csomaglástól való megszabadulás jelentheti. Ahhoz azonban, hogy hatékonyan tudjunk fellépni ellene, annak pontos eredetét is érdemes tisztázni. Emiatt a kutatócsoport 10 különböző folyón, a nagyvárosok alsó és felső folyószakaszán kezdenek mintavételezésbe.

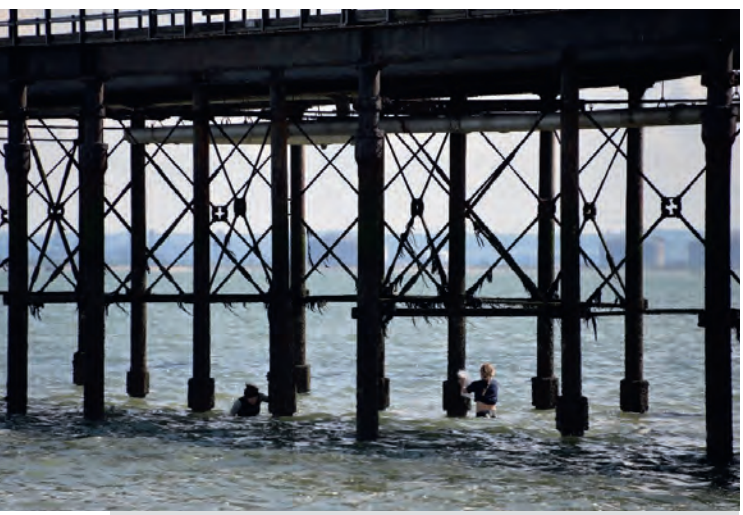
A hajó fedélzetén lévő laboratóriumban aprólékos munkát végeznek. Minden egyes 1-5 milliméteres szemcsét gondosan, egy csipesz segítségével nyernek ki a mintából, majd félbe vágva több ezer különböző kémcsőbe helyezik. A minták egyik felét a műanyag típusának megállapítására használják, és megpróbálják belőle kinyomozni az eredeti terméket. A másik része lehetővé teszi a kutatók számára, hogy egy listát állítsanak össze a „plasztiszférában" élő valamennyi fajról egy olyan mesterséges élőhelyről, amelyet számos vízi organizmus tutajként használ.

Kulcsfontosságú kagylók

A Tara vizsgálati szakaszától lejjebb más kutatók kanalakat és szívószálakat gyűjtenek be, amelyek dagály idején a folyópartra sodródtak. Akárcsak *Leila Meistertsheim* biológus, aki emellett azokat a ládákat is keresi a vízben, amelybe vizsgálati célból, nagyjából egy hónappal korábban kagylókat helyezett. A kagylókat ezután felboncolják és folyékony nitrogénnel lefagyasztják, ily módon kiszárítva pedig megállapítható, hogy a szövetek mennyi mikroműanyagot tartalmaznak.

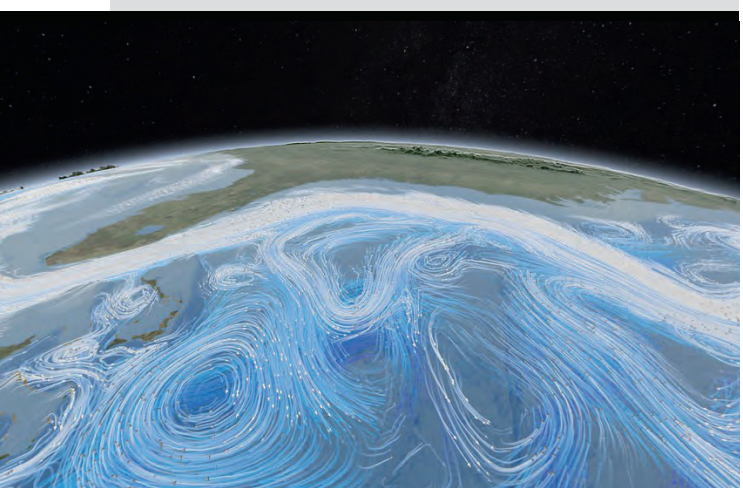
„A kagylók gyakorlatilag minden arra úszó szemcsét lenyelnek, így jött az ötlet, hogy akár bioindikátorként is használhatnánk őket". — mondta Meistertsheim.

4. ábra. A francia kutatóhajó a Temzéről kihajózva a küldetés folytatásaként Hamburg felé veszi az irányt.



5. ábra. A bioindikátorként vízbe helyezett kagylók begyűjtése.

6. ábra. A műanyagszigetek az óceáni áramlatokkal sodródva, a vízfelszínen lebegő hulladékot összeszedve egyre nagyobbra nőnek.



„Apály idején egyébként valóságos mikroműanyag-szőnyeg alakul ki a folyó mentén: fogkefék, tollak, szívószálak, nyalókák, és sok olyan tárgy, amely szabad szemmel nem ismerhető fel egyértelműen". — tette hozzá a kutató.

Egyre több bizonyíték utal tehát arra, hogy a mikroműanyag növekvő mennyisége miatt akár az emberi táplálékláncba is beléphet. Egy nemrég közzétett WWF-jelentés azt állítja, hogy egy átlagos személy hetente 5 gramm műanyagot fogyaszt, amely egy bankkártyányi mennyiségnek felel meg.

Mi történik azokkal a szemcsékkel, melyek elérik az óceánt?

Korábbi kutatások szerint a legtöbb műanyag a szubtrópusi óceáni körbe kerül be, mely az Atlanti- és Csendes-óceán közepes szélességeken futó áramlásait foglalja magában. Az ide gyülemlő hulladék miatt város méretű, gyorsan növekvő szemétszigetek alakultak ki a térségben.

Egy új modellezésen alapuló tanulmány szerint — amely a *Journal of Geographical Research: Oceans* tudományos folyóiratban jelent meg — sokkal több mikroműanyag érheti el a sarkvidéki szélességeket is, mint azt korábban gondolták. Az új tanulmány összegyűjtötte, amit az oceanográfusok jelenleg az óceáni áramlatokról tudnak, és ezt ahhoz használták fel, hogy megállapítsák, mi befolyásolja leginkább a mikroműanyag-áramlást.

Az általános meghatározás szerint mikroműanyagnak az 5 mm-nél kisebb, tartós — azaz biológiai értelemben nem lebomló — szemcsék számítanak, melyek mérete a polisztirol gyöngyöktől egészen a mikroszkopikus nanorészecskékig terjedhet, mely utóbbiak elég kicsik ahhoz, hogy a sejtmembránon keresztül is áthatoljanak. Emellett a felszíni vizekben még hosszú évekig fennmaradhatnak.

A mikroműanyagok egészségtelenek az állatok számára, lenyelésük a planktonoktól a bálnákig terjedően elsősorban anyagcsere-károsodást okoz, amellett, hogy ezek az anyagok különféle egyéb kémiai szennyeződéseket és fertőző mikroorganizmusokat is szállíthatnak felszínükön. A milliméteres — méteres mérettartomány közötti műanyagok terjedését vizsgáló új szimulációk pedig kimutatták, hogy leginkább a szélrendszerek által szabályozott felszíni áramlatok vannak döntő hatással a mikroműanyagok útjára. A vizsgálatok alapján az is kiderült, hogy jellemzően az óceánok hullámai is a pólusok felé irányítják a törmeléket.

SZOUCSEK ÁDÁM

Hazai természetkárosításokról

Tengeren úszó olajba ragadt madarakat, hálóba gabalyodott tengeri teknősöket, amazóniai erdőirtásokat, jég nélkül maradt jegesmedvéket bemutató felvételeket számtalanszor láttunk már a tévében. A hazai természetkárosítások hírei azonban sokkal ritkábban jutnak el hozzánk. Pedig számtalan eset történik meg napról napra szűkebb környezetünkben, akár a szomszéd utcában vagy a tőlünk nem messze eső parkban, hogy a „szabadban", védett vagy nem védett területeken előfordulókról ne is szóljunk. Ezek sokszor olyan groteszkek, hogy el sem hinné az ember. Például: a gondatlanságból az út mellett hagyott kátrányban először benne ragadnak a rovarok, aztán a rovarok vergődése odacsalja a sünt, és az is odaragad, a sün vergődése végül odacsalja az egerészölyvet, amely ugyancsak beleragad. Halmozott természetpusztítás, akár fél négyzetméteren — hívja fel a figyelmet *A civilizáció káros hatásai az élővilágra Magyarországon* című könyv.

Mint olvashatjuk benne, az olyan alapvető, meg nem kerülhető emberi tevékenységek is okoznak bajt, mint például a közlekedés. A gépjárművek felmérhetetlen mennyiségben terjesztik az adott területeken eredetileg elő nem fordult gyomnövények magvait a kerekek recéivel. Hogy a vasúti közlekedés mit okoz, azzal kapcsolatban elegendő csak a sínek menti parlagfűtengerre gondolni. A közlekedési eszközök szélvédői egy-egy hosszabb utazás után tele vannak elpusztult, szétkenődött rovarok tetemeivel. A vízibogarak vízfelszínnek nézik a megvilágított aszfaltot, s tömegesen oda szállnak le. A mezőgazdálkodás szintén olyan tevékenység, amely mással ma még nemigen váltható ki. A gyepek feltörése és szántóvá alakítása megszünteti az adott területen kialakult növénytársulásokat, s a hozzájuk köthető állatközösségeket. Hogy gyakran nagyon keskeny pallón egyensúlyozunk, arra példa: az alullegeltetés éppoly káros lehet, mint a túllegeltetés; az erdőtelepítésnek éppúgy lehetnek káros hatásai, mint a tarvágásnak. A beépítés magától értetődően szünteti meg az élőhelyeket — az ország területének mintegy kétharmadát felszántották, beépítették, ennek ellenére folyamatosan új földterületek esnek a beruházások, építkezések áldozatául. Egy-egy város környezetében büszkén emlegetett „zöld beruházások" is gyakran újabb, növényekkel borított terület lebetonozását jelentik. Az infrastruktúra okozta károk közül elegendő az elektromos vezetékek okozta madárpusztulásokra utalni, vagy a madarak nagy üvegfelületeknek történő nekiütközéseire. A természetben történő emberi tevékenység következményeire jó példa a homokbányák művelése, aminek következtében partifecske- és gyurgyalagfészekaljak pusztulnak el tömegesen. Ragadozómadarak mérgezéses elpusztulására gyakran a napisajtó is felfigyel. Csak néhány példát soroltunk fel a kötet által feldolgozott folyamatok közül, melyek bemutatása azért sokkoló, mert nem általánosságban beszél, hanem konkrét esetekkel, helyszínekkel, s az ott készült fotókkal operál -- egyes konkrétumokat kiemelni közülük itt nem is lehet, mert a megemlítetlenül maradt több száz ugyanolyan fontos volna.

Hogyan állt össze a 300 oldalas, 154 helyszíni fotóval illusztrált, 54 szerzős könyv? A két szerkesztő felvette a kapcsolatot olyan, biológiában, természetvédelemben jártas személyekkel, akik ilyen esetekkel találkozhattak kinn a természetben végzett munkájuk során, és felkérték őket, hogy írják meg tapasztalataikat. A szakmai felügyeletet Kalotás Zsolt látta el.

Kiket érdekelhet ez a könyv? Minden jó szándékú embert, aki napjaink természeti környezetére odafigyel, látja, hogyan változnak negatívan kisebb-nagyobb, növényekkel borított területeink, s velük együtt az állatvilág is — vagy akár csupán azt észleli, hogy nincs annyi fecske, mint amennyi volt. Minden biológiát végzett vagy ehhez kötődő szakembert, érintetteket és szakértőket, egyetemistákat, tanárokat, civil természet- és környezetvédő egyesületek tagjait, természetfotósokat, nemzeti parki dolgozókat — utóbbiakat ráadásul arra sarkallhatja a kötet, hogy napi munkájuk során mérjék fel és dokumentálják a hasonló eseteket.

FARKAS CSABA

A civilizáció káros hatásai az élővilágra Magyarországon. Szerkesztette Molnár Gyula ötletgazda és Andrési Pál. (Typotex Kiadó, 2019)

A CUKI KUTYATEKINTET EVOLÚCIÓJA

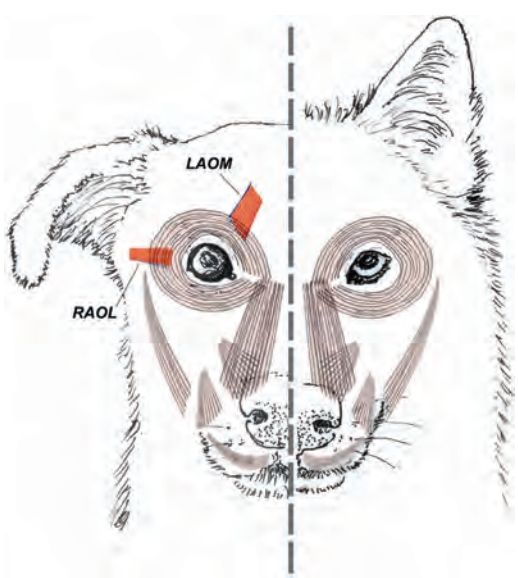
PNAS

A kutyafajták arcán, a szemek körül sajátos izmok fejlődtek ki azóta, hogy az ember háziállatává fogadta a mai kutyák őseit. Ezen izmok elsődleges funkciója az emberrel való közvetlen kommunikáció megkönnyítése. Egy frissen megjelent tanulmány szerint, mely a kutyák és a farkasok anatómiáját és viselkedését hasonlította össze, a kutyák arc-anatómiájának változásai komoly összefüggésben vannak az emberrel történő kapcsolatteremtésben. A tudományos munkát végző kutatócsoport szakértői az Egyesült Királyság és az Egyesült Államok szakmai kiválóságai közül kerültek ki. Eredményeiket a *Proceedings of the National Academy of Sciences* (PNAS) nevű tudományos szaklapban közölték, *Dr. Juliane Kaminski*, a Portsmouth-i Egyetem (Egyesült Királyság) kutatójának főszerzőségével.

A kutyák és a farkasok anatómiáját és viselkedését összehasonlító első, részletes elemzés során a kutatók megállapították, hogy arcuk izomzata alapvetően rendkívül hasonló a szem feletti tájékon. A kutyáknak azonban van egy kis izmuk, amely lehetővé teszi számukra, hogy intenzíven fel-le mozgassák szemöldöküket — ezt a farkasok nem csinálják.

Ez a kutatók feltételezései szerint természetes módon egy gondoskodó reakciót vált ki az emberekből, hiszen a felhúzott szemöldöktől a kutya szeme nagyobbnak tűnik (akár egy emberi csecsemő esetében), ugyanakkor nagy vonalakban hasonló ahhoz az arckifejezéshez, amit egy ember akkor tanúsít, amikor szomorú.

1. ábra. A kutya (balra) és a farkas (jobbra) arcának mimikai izomzata. A kutya arcán a szemöldököt emelő izmok (RAOL és LAOM) pirossal jelezve láthatók *(Kép: Kaminski és mtsai., 2019).*



„Kísérletképpen összehasonlítottuk, hogy egy ember-állat interakciós helyzetben a kutyák és a farkasok arcizomzata miképpen működik. Nagyjából két percre emberi társaságban helyeztünk el őket. Megfigyeltük, hogy a kutyák ugyanannyi idő alatt többször és magasabbra emelték a szemöldöküket, mint a farkasok." — magyarázta Dr. Kaminski.

Ez egyben azt is sugallja, hogy a kutyákban kifejlődött, „kifejező" szemöldök az emberi, szelektív tenyésztés eredménye, ugyanakkor nem nevezhető épp szándékosnak. Úgy tűnik, hogy ez az egyszerű mozdulat, ami a kutyák faciális érzelmi megnyilvánulásai közé bújik, egy az egyben azt a válaszreakciót váltja ki az emberekben, hogy törődni akarjanak

2. ábra. A kutya szemöldökmozgatása.
(Kép: Waller és mtsai., 2013)

a kutyával. Ez természetesen az ember által véghez vitt szelektív kiválogatódásban (ez maga a kutyatenyésztés) előnyhöz juttatta az ilyen szemöldökkel bíró kutyákat, ezzel az adott eb továbbadhatta utódainak a „kutyatekintet" génjeit.

A kutyák szemöldökmozgatása élénkebbé vált, amikor a kísérlet során az emberek rájuk néztek. Ez arra utal, hogy ez a szemöldökrántás sokkal fontosabb az ember-kutya kommunikációban, mint azt a kutatók elsőre gondolták, ugyanis nem csak törődő reakciót vált ki az emberekből, de egyben létrehozza az emberszerű kommunikáció illúzióját is.

„Annak érdekében, hogy kiderítsük, hogy a szemöldök felemeléséhez kellő izom valóban evolúciós vívmány-e, meg kellett vizsgálni a farkasok arc-anatómiájának részleteit is. Azt találtuk, hogy a farkasokban ezek a szemöldökmozgató izmok inkább egyfajta rendezetlen rostkötegekként vannak jelen. - mondta *Anne Burrows*, az amerikai Duquesne Egyetem anatómus professzora, a cikk társszerzője. — *A szemöldököt felemelő izom a kutyák amolyan saját vívmánya, legközelebbi rokonaikban, a farkasokban nem található meg ugyanilyen formában. Ha figyelembe vesszük, hogy a kutyák és a farkasok evolúciója nagyjából 33.000 évvel ezelőtt vált ketté, ez igencsak*

markáns evolúciós eredménynek számít. Úgy véljük, hogy ez a különbség egyértelműen a kutyák emberekkel szembeni, aktív szociális interakciójából ered."

A kutatók szerint eredményeik kiemelik az arckifejezések fontosságát a fajok közötti és fajon belüli kommunikációban. Adam Hartstone-Rose, az Észak Karolinai Állami Egyetem kutatója, a cikk társszerzője hozzátette: *„Ezek az izmok olyan vékonyak, hogy szó szerint át lehet rajtuk látni. Mégis, a mozdulat, melyet végrehajtanak, komoly evolúciós nyomás gyakorol. Igazán izgalmas belegondolni, hogy az arckifejezés egy ilyen apró részlete milyen komoly hatással volt a farkasokat egykor elsők közt háziasító, korai emberekre."*

A kérdéskör evolúciójának vizsgálata ugyanakkor rendkívül nehéz. A lágy szövetek, így az izmok is, lebomlanak az élő szervezet pusztulása után, így nem őrződnek meg a fosszilis leletanyagokban. Az egyetlen kutyafajta, amely nem rendelkezett szemöldökemelő izommal, a szibériai husky volt, mely a legősibb kutyafajták egyike. A szemöldök ilyen aktív és erőteljes megemelésének ugyanakkor lehet egy másik ráhatása is az ember tudatalatti döntéshozatalára: az ember jellegzetes módon és ösztönösen kevésbé tart az olyan élőlényektől, melyek szemében látható fehér terület. Azzal, hogy a kutyák erősen felemelik szemöldöküket, „kivillantják a szemük fehérjét", elősegítve az ember közeledését vagy a szorosabb kötelék kialakulását.

(Erről a témáról az Élet és Tudomány 2019/26. számában is olvashatnak.)

(Proceedings of the National Academy of Sciences, 2019. június)

A TENGERI VIDRÁK ESZKÖZHASZNÁLATÁNAK NYOMAI

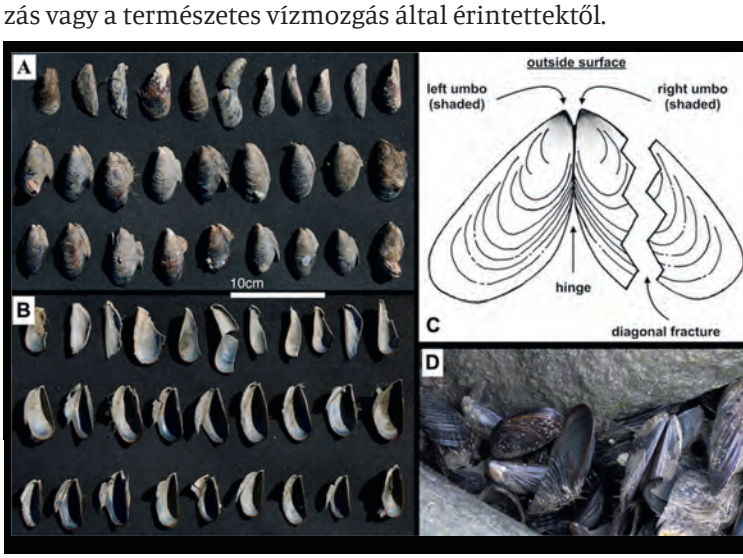
SCIENTIFIC REPORTS

A tengeri vidra (*Enhydra lutris*) az egyetlen tengeri emlős, amely az élelme megszerzéséhez eszközt használ: a kemény vázú kagylókat, csigákat köveken töri fel. Ennek a műveletnek azonban nyoma is van. Egy kaliforniai partszakaszon tíz éven át figyelték a vidrák tevékenységét, s kiderült, hogy az állatok rendszeresen ugyanazokat a parti köveket használták üllőként zsákmányuk feltöréséhez. A köveken maradandó nyomok keletkeznek ezáltal, így ezek segítségével a vidrák múltját régészeti módszerekkel lehet feltárni.

A köveket magukat háromféle módszerrel használják a vidrák: egyrészt a víz alatt a rögzült zsákmányállatok aljzatról való leválasztásához, másrészt hanyatt úszva, a mellkasukra helyezett követ üllő gyanánt, harmadrészt pedig a parti köveket úgy, hogy a kagylókat ütögetik ezekhez. E harmadik típusú, fix parti kövekhez kötődő eszközhasználatot lehet a régészet módszereivel feltárni. Ez amiatt is fontos, hogy így meg lehessen különböztetni a vidra és az ember hagyta nyomokat a kövek, kagylóhéjak vizsgálata során. Az állat régészet eddig legfőképpen a főemlősökre koncentrált, csuklyásmajmoknál például a diók köveken történő feltörését 600 éves múltra tudták régészeti vizsgálatokkal visszavezetni.

A vidrák leggyakoribb elesége a kagyló volt, a megfigyelések szerint körülbelül 77 százalék, ezt a rákok követték 17 százalékkal, a maradék vegyes tengeri állatokból tevődött össze. A tengeri vidra eltérő populációi eltérő mértékben esznek kagylót, például az Aleut-szigetek környékiek sokkal több lágy testű állatot fogyasztanak, ezt az adott élőhely zsákmányállatai határozzák meg. Néhány esetben a vidra egy másik kagyló üres héját használta a mellkasára téve üllőként a friss zsákmány felnyitásához, de sok esetben a foguk-kal nyitották fel a kagylókat az állatok. Amikor a parti köveket használta egy vidra, hason vagy oldalt úszva, a két mancsa közt fogta a kagylót, s többször egymás után hozzácsapdosta, a kövek csúcsát vagy élét használták a feltöréshez, sosem a szikla lapos részét, s mindegyik vidrának volt „kedvenc" pontja, amelyet használt. A megfigyelt egyedek általában a kagyló jobb oldalát csapkodták a kőhöz, az ütő mozdulat közben kissé elforgatva a mancsukat. E mozdulatok hatására maga a kagylóhéj két fele egyben maradt, de a héj jobb oldala nagyjából átlósan széttört, s jellegzetes, jól felismerhető darabokból álló kagylóhéj-halom keletkezett, közel az üllőként használt parti kövekhez. A halmok mérete a vidra látott étkezési arányával is megegyezett.

A viselkedési jellegzetességek megfigyelések mellett a használt köveket is megvizsgálták a kutatók, s alaposan felmérték az azokon található, kagylónyitásból eredő és szintén jellemző ütésnyomokat, így összesen 421 kő került az adatbázisukba. A kövek és a héjak sérülései, a héjhalmok különböztek az emberi beavatkozás vagy a természetes vízmozgás által érintettektől.



A tapasztalt viselkedéssel és a felmért nyomokkal együtt komplex adatok állnak így már rendelkezésre, s egy-egy régészeti feltárás során fel lehet majd ismerni, hogy például a talált kagylóhéjak emberi tevékenységből, vagy vidrától származó maradványok-e. Ugyanezen nyomok alapján felmérhető a vidrák múltbéli élőhelye, megtudhatjuk, hol táplálkoztak régen, s a héjak mennyisége alapján megbecsülhető, hogy menynyi ideig használták az adott helyszínt. Mivel nem minden vidra használja a parti köveket, arra is fényt lehet deríteni a régészeti munkákkal, hogy mióta áll fenn ez a viselkedés a vidráknál, s így magának a viselkedésmintának az evolúciója is világosabbá válhat.

(Scientific Reports, 2019. március)

KEMÉNYEBB DIÓ LESZ SZÉTTÖRNI EGY ASZTEROIDÁT, MINT GONDOLTUK

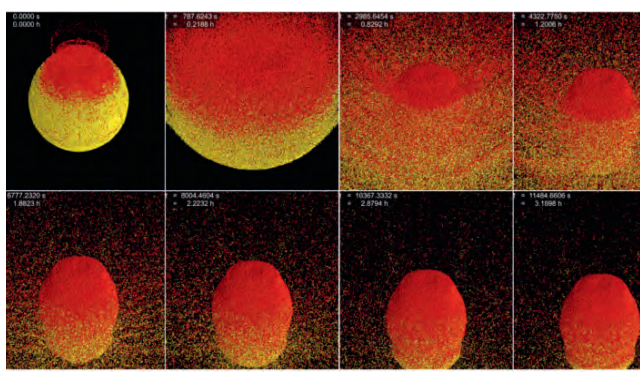
ICARUS
MAGAZINE

A klasszikus katasztrófafilm-klisék szerint a Föld felé száguldó pusztító aszteroidát néhány jól elhelyezett robbanótöltettel fel lehet darabolni, s így elkerülhető bolygónk pusztulása. A helyzet azonban távolról sem olyan egyszerű, mint azt a filmek sugallják! Egy nemrégiben elkészült tanulmányban a Johns Hopkins Egyetem kutatói a kőzetek töredezésének új vizsgálati eredményeit, és az aszteroidák ütközésére készült speciális számítógépes szimulációt ötvözték. A kapott eredmények nemcsak az aszteroidák megsemmisítésében vagy eltérítésében adhatnak segítséget, hanem azok bányászatára, illetve még a Naprendszer keletkezésére vonatkozóan is hasznos információkkal szolgáltak.

Korábban úgy vélekedtek, hogy a nagyobb aszteroidákat könnyebb lehet feldarabolni, mivel több gyengeség, gyakorlatilag „anyaghiba" lehet bennük, azonban a kutatás rávilágított, hogy ez nem így van, s jóval több energiát igényel a művelet. A fizikai paramétereket a kutatólaboratóriumokban kis mennyiségű (ökölnyi) kőzetdarabok segítségével tudják csak felmérni, s ezek alapján készülhetnek el azok a modellek, amelyek a mérések adatait nagy tömegű objektumokra kivetítik. E modelleket azonban nem könnyű megfelelően elkészíteni, ha egy nagyváros méretével egyező aszteroida a szimulációk tárgya. Különösen nagy jelentősége van a most feltártak alapján annak, hogy milyen módon és mekkora sebességgel terjednek az aprócska repedések a kőzetben (magában az aszteroidában). Ezt a hiányosságot orvosolta az, a korábbiaknál sokkal részletesebb modell, amelyben két aszteroida egymásnak ütközését lehetett szimulálni.

A modell két fázisra bontva vizsgálta a hatásokat. Az elsőben a becsapódáskor keletkező repedések terjedése, a kráterkeletkezés, illetve az aszteroida anyagának darabolódása volt a tárgy, ez a fázis a másodperc töredéke alatt lejátszódik. A második fázis pedig azt modellezte, hogy az ütközéskor, az első fázisban keletkezett darabok, törmelékek a gravitáció hatására hogyan viselkednek, e folyamat több órás időtartam eseményeit jelenti.

A korábbi vélekedésekkel szemben a friss modellek és szimulációk szerint az ütközéskor nem törik darabokra a teljes aszteroida, hanem egy központi része egyben marad, s egyúttal ez a megmaradt „mag" a gravitációs hatásával az ütközéskor keletkező törmelék igen jelentős részét



vissza is húzta magához. Az így újra összeálló aszteroida kellően erősen egybe is tapad, vagyis nem egy laza törmelékcsoport csupán. Ennek okát a számítások alapján abban látják a kutatók, hogy az ütközéskor nem tudják a kialakuló repedések a teljes aszteroidát áthálózni. Ez a mag körül csoportosuló, átrendeződött törmelékből álló réteg azonban az aszteroidabányászok számára lehetőséget biztosít az egyes égitestek belsejében lévő anyagok kiaknázására a könnyebb hozzáférés miatt.

A töredezés vizsgálata nemcsak abban segít, hogy konkrétan fel tudjunk robbantani egy közeledő aszteroidát, hanem a számítások azt is lehetővé teszik, hogy megmondjuk, mekkora az az energia, amellyel még pont nem darabolódik fel, de már kitéríthető pályájáról az adott égitest. Nem egyértelmű, hogy az aszteroidák eltérítése vagy azok feldarabolása lenne-e célravezetőbb módszer arra az esetre, ha a bolygónkat egy nagy becsapódás fenyegetné, s mindkét módszert alaposan át kell gondolni, mielőtt szükség lesz a gyakorlati alkalmazásukra. Az eltérítő manőverhez egy gyakorlati tesztre is sor kerülhet néhány éven belül, amikor a NASA autó méretű űrjárművel egy közeli aszteroidapáros kisebbik tagját célozza meg, s abba becsapódva a piciny égitest igen kis mértékű pályaváltozását mérik majd meg. E tesztet szintén a Johns Hopkins Egyetem csapata tervezi és irányítja majd.

(Icarus, 2019. március)

A LEMEZTEKTONIKA INDÍTHATTA BE A KAMBRIUMI ROBBANÁST

A földtörténet egyik legjelentősebb és legnagyobb hatású eseménye az úgynevezett kambriumi evolúciós robbanás volt, amikor mintegy 500 millió évvel ezelőtt számos különböző új életforma jelent meg a tengerekben rövid időn belül. Az esemény már Darwin figyelmét is felkeltette, és később a kutatók számos elméletet dolgoztak ki a magyarázatára. Ezek közül a legvalószínűbb az volt, hogy az oxigénszint jelentős emelkedése lehetett a háttérben, ami lehetővé tette a különböző állatcsoportok felvirágzását. A legújabb kutatások szerint az oxigénszint emelkedését viszont a globális lemeztektonika változásai indították be. Gondwana szuperkontinensének kialakulása közben erősen növekedett a vulkáni tevékenység, amikor ezer kilométeres vulkánláncok jöttek létre a kontinentális és óceáni lemezek összeütközése során. Emiatt megnövekedett a légkörben a CO_2 mennyisége, ami a bolygó felmelegedéséhez vezetett. A felmelegedés hatására intenzívebb lett a szárazföldi kőzetek eróziója, ami nagy mennyiségű foszfort juttatott az óceánokba, ez pedig ugrásszerűen megnövelte a sekélytengerekben a fotoszintézist és ezzel az oxigéntermelést. A mai légköri oxigénszintnek körülbelül a negyede jelentette azt a kritikus szintet, amire a kambriumi robbanás során megjelent állatoknak, köztük nagy méretű, mozgékony ragadozóknak is szüksége volt.

(Nature Communications, 2019. június 19.)

KŐFALÓ HAJÓFÉRGET TALÁLTAK A FÜLÖP-SZIGETEKEN

A hajófélgeknek nevezett kagylók eddig ismert fajai fát esznek, erről is kapták a nevüket, ugyanis előszeretettel fúrják be magukat a hajók faanyagába, súlyos károkat okozva. Szimbionta baktériumaik segítségével képesek lebontani a cellulózt, a fába pedig módosult héjuk segítségével fúrják be magukat. Természetesen, hajók vagy parti cölöpök híján uszadékfával, kókuszhéjjal, mangrove gyökérrel, vagy egyéb faanyaggal táplálkoznak.

2006-ban pillantották meg először az új fajt az Abatan folyó menti mészkősziklákban, azonban csak tavaly kerülhetett sor részletes vizsgálataira, az új faj neve *Lithoredo abatanica* lett. A begyűjtött egyedek mérete 0,5 cm és 10 cm közt változott, s azt is észrevették a kutatók a terepi vizsgálatok során, hogy a hajófélgek vájta, s már elhagyott üregeket szívesen foglalták el rákok, vagy más gerinctelenek. A fával táplálkozó fajok összezsugorodott, fúrófejjé módosult héjának peremén sok száz aprócska, tűhegyes fog segíti a faanyag kifúrását, a kőben megtalált új faj ezzel szemben csak pár tucat, nagyobb méretű és vaskosabb foggal rendelkezik. Az állatok béltartalmának vizsgálata során a nekik otthont adó mészkő porrá zúzott anyagát találták meg, az anyakőzet és a bélben talált kőpor ásványtani elemzésben

azonosnak bizonyult. Az állatok megtalálásának helye közelében a folyóban lévő fatörmelékeket mind átvizsgálták, de nem volt annak nyoma, hogy a faj azokban bármikor is előfordult volna. Feltételezhetően már az egészen fiatal egyedek is a kőbe fúrják be magukat, a legkisebbek, amelyeket a szirtben láttak, fél centinél is apróbbak voltak. Nem világos, hogy a belekben talált kőporból tudnak-e tápanyagot kivonni az állatok, de a kőpor mellett sötét elegyet is láttak, ami utalhat arra, hogy a sziklafalon élő algákkal, baktériumokkal táplálkoznak.

Proceedings of the Royal Society B, 2019. június 19.

KIKELÉS UTÁN EGYBŐL REPÜLHETTEK A KIS PTEROSZAURUSZOK

A dinoszauruszokhoz hasonlóan a repülő őshüllők (Pterosauria) is az érdeklődés középpontjában vannak, mind a kutatók, mind a laikusok részéről. A szaporodásuk, és az utódgondozásuk is sokat vitatott kérdés, amihez most egy kínai leletegyüttes szolgáltatott értékes adatokat. A *Hamipterus tianshanensis* maradványait 2014-ben találták meg Kína északnyugati részén.

A kora-kréta korú repülő őshüllő szárnyfesztávolsága 3,5 méter lehetett, állkapcsaiban hegyes fogak sorakoztak, fejüket pedig taréj díszítette (valószínűleg mindkét nemnél). Csaknem negyven példányuk került elő, ráadásul a csontok mellett tojások is fosszilizálódtak. A Leicester Egyetem és a Lincoln Egyetem kutatói most harminchét tojást vizsgáltak meg alaposan. Közülük négyről CT szkennerekkel felvételeket készítettek, így láthatóvá téve a tojások belsejében még kikelés előtt fosszilizálódott példányokat. Megállapították, hogy a karoknál a csontosodás folyamata szinte teljesen befejeződött, ezért az újszülöttek akár azonnal a levegőbe emelkedhettek. A mai madarak és denevérek között nem ismerünk ehhez hasonlót. Az eredményekkel szemben felhozott legjelentősebb kritika, hogy a kutatók csak a csontokról beszélnek, azt viszont nem vizsgálták, hogy mennyire lehetett fejlett a kikelő egyedek izomzata.

(Proceedings of the Royal Society B, 2019. június 12).

NARVÁL-BELUGA HIBRID LÉTÉT BIZONYÍTOTTÁK

A narvál és a beluga az északi sarkvidéki vizek közepes testű cetjei, és bár egymásnak a legközelebbi rokonai, a genetikai vizsgálatok szerint kb. 5 millió éve élt a közös ősük, ám ezt követően, egészen 1,2-1,6 millió évvel ezelőttig volt a két faj közt keveredés. Mindketten az északi sarkvidék vizeiben élnek, élőhelyeik közt a Baffin-öböl környezetében van átfedés.

Az 1980-as években, a grönlandi Disko-öbölben ejtettek el egy cetet, amelynek különös külseje figyelemfelkeltő volt. A vadász megőrizte az állat koponyáját, ami 1990-ben a Dán Természettudományi Múzeumba került. A vadász elmondása szerint két másik, ugyanilyen küllemű példányt is elejtettek, ám azokból nincsenek maradványok. Az állatok szürkék voltak, a mellúszójuk olyan volt, mint a belugáé, míg a farkúszójuk a narváléra hasonlított.

A koponya aztán persze éveken át porosodott a raktár mélyén, mígnem nemrégiben egy dán-kanadai kutatócsoport DNS elemzésnek vetette alá. A fogakból és a csontokból kivont DNS elemzése szerint a koponya egykori tulajdonosa hím volt, egy narvál anya és egy beluga apa utódaként született. E cetfajok szaporodásáról meglehetősen hézagosak az ismereteink, bár a Disko-öbölről tudjuk, hogy a szaporodási időszakban mindkét faj előfordul itt, a hibridizációnak tehát van fizikai esélye. Ez ugyan az első eset, hogy a két faj hibridjére bukkantak, a cetek körében nem túl ritka a hibridizáció, 16 cetfaj esetében tudomásunk van ilyen eseményről. A szilászcetek körében a fajok kialakulásában és evolúciójában is jelentős szerep jutott a múltban a hibridizációnak.

A csont kollagén-tartalmának szén- és nitrogénizotóp elemzését is elvégezték, azzal a céllal, hogy kiderüljön, mivel táplálkozott a hibrid. Míg a két szülő faj a teljes vízoszlopban vadászik, a vizsgált példány a tengerfenék közelében kereste eleségét. A kutatók szerint lehetnek még más hibrid egyedek is a régió tengerein.

(Scientific Reports, 2019. június 20.)

A XXIX. TERMÉSZET–TUDOMÁNY DIÁKPÁLYÁZAT VERSENYSZABÁLYZATA

A Tudományos Ismeretterjesztő Társulat által meghirdetett, a Természet Világa tudományos ismeretterjesztő folyóirat által lebonyolított diákcikkpályázaton indulhat bármely középfokú iskolában a 2019/2020-as tanévben tanuló vagy végző diák, határainkon belülről és túlról.

A pályázatot elektronikusan kérjük feltölteni a Természet Világa termvil.hu honlapjára. A pályázat benyújtásának további formai követelményei és tudnivalói a honlapon megtalálhatók.

A pályaművek benyújtásának határideje **2020. január 6.**

A diákpályázat célja, hogy a pályaművek tartalmát a természettudományok iránt érdeklődő, de a témában nem járatos olvasók is megértsék. A pályamunkák végén kérjük a felhasznált irodalmat és forrásmunkákat megjelölni. A szó szerinti idézetek forrásának fel nem tüntetése etikai vétség. Pályázni csak másutt még nem publikált pályamunkákkal lehet.

PÁLYÁZATI KATEGÓRIÁK:

Természettudományos múltunk felkutatása és a kultúra egysége

- A pályázó iskolájához vagy lakóhelyéhez, környezetéhez kapcsolódó jelentős múltbeli tudós személyiségek életútjának, munkásságának bemutatása (eredeti dokumentumok felkutatásával és felhasználásával). Vagy:
- A dolgozat írójának tágabb környezetéhez kapcsolódó tudományos vagy műszaki intézmények története, tudóstársaságok története, eredeti dokumentumok bemutatásával. Vagy:
- A természet- és műszaki tudományok valamelyik ágában tárgyi vagy épített emlékek, örökség bemutatása.

Önálló kutatások, elméleti összegzések

- A természeti értékek, jelenségek megismerése érdekében a diák által végzett kutatások bemutatása. Előnyben részesülnek az egyéni, fiatalos, önálló gondolatokat, innovatív megközelítéseket tartalmazó, élvezetes és szakszerű beszámolók.
- Az elméleti összegzéseknek is önálló kutatásokon kell alapulniuk. Azoknak javasoljuk, akik örömmel mélyednek el a rendelkezésükre álló megbízható és naprakész adatok tárházában.

Matematika, informatika és applikáció-innováció

- A pályázók matematikával vagy informatikával kapcsolatos önálló vizsgálódással nevezhetnek, amelyben a pályázó elemző áttekintést ad az általa szabadon választott témakörből. Vagy:
- A pályázó pályázhat saját fejlesztésű mobil-applikációk szabatos bemutatásával, leírásával.

Egészségtudomány

Az orvostudomány múltját, nagyjainak életét és életművét, az orvostudománynak az egyéb tudományokhoz való viszonyát, eszközeinek fejlődését; vagy az orvosi tevékenység művészeti megjelenítését és annak elemzését mutatják be; vagy egyéb, szabadon választott témakört dolgoznak fel – akár hazai, akár külföldi vonatkozásban. Felhívjuk a pályázók figyelmét az egészségtudományi etikai szabályok tiszteletben tartására!

Választható műfajok mind a négy kategóriában:

- Ismeretterjesztő, olvasmányos formában megírt cikk vagy esszé (szóközökkel együtt minimum 9 ezer, maximum 20 ezer karakter terjedelemben, word formátumban; minimum 5 db, JPG formátumú illusztrációval)
- Ismeretterjesztő interjú (szóközökkel együtt minimum 9 ezer, maximum 12 ezer karakter terjedelemben, word formátumban; minimum 5 db, JPG formátumú illusztrációval)
- Ismeretterjesztő fotósorozat, minimum 10, maximum 20 db, JPG formátumú, maximum 64 MB méretű fényképpel, minden képhez tartozó 1-3 mondatos képaláírással (word formátumban); valamint rövid bevezető írással: minimum 1000, maximum 3000 karakter terjedelemben, szóközökkel együtt.

DÍJAZÁS:

Minden kategóriában és minden műfajban I. díj, II. díj, III. díj, illetve különdíj adható. A zsűri a díjazott diákok felkészítő tanárainak a munkáját is elismeri. A konkrét díjazásról, a díjak esetleges megosztásáról a zsűri a bírálati folyamat során dönt. Pályázatunk elsősorban egyéni alkotói felhívás, többszerzős pályamunkák esetén a díjak és egyéb juttatások megoszlanak a társszerzők között.

(Tájékoztatásul közöljük az előző évi díjkategóriákat: 2018/2019-ben a kategóriák győztes pályázó diákjai pályaművenként 75 000 Ft, a II. díjasok 50 000 Ft, a III. díjasok 40 000 Ft pénzjutalmat kaptak. A különdíjasok 30 000 Ft díjazásban részesültek. A díjazottak felkészítő tanárainak a munkáját 30 000 Ft díjjal ismerte el a zsűri.)

A pályaművek elbírálására előre láthatóan 2020 márciusában kerül sor, a díjakat diákkonferencia keretében adjuk át 2020 tavaszán.

A Természet—Tudomány Diákpályázat versenyszabályzatát a Természet Világa számaiban közöljük, illetve olvasható a folyóirat honlapján is.

Foktő, a nyolcszáz éves falucska

Kalocsán születtem, ám kezdettől fogva a várostól csupán 1-2 kilométer távolságban lévő kis faluban, Foktőn élek, ezért a település fontos helyet foglal el a szívemben. A falu Bács-Kiskun megye Kalocsa Járásában található és a Dunától csupán egy kőhajításnyira fekszik.

Bevezetés

A környék Magyarország egy kevésbé bolygatott vidéke, ahol egy helyen találhatjuk a tájra jellemző élőhelyi adottságoknak megfelelő természeti értékeket, a történelem viharos eseményei nyomán megmaradt emlékeket és az emberi tevékenység nyomán kialakult kultúrtájat. Mivel a falu a Duna mellett helyezkedik el, a nagy folyó mindig élettel töltötte fel az itt élők időnként elcsüggedt mindennapjait. A község napjainkban egy igazán összetartó lakosság otthona, akiknek elődei még történelmünk legviszontagságosabb időszakaiban is hűen kitartottak szülőfalujuk mellett. Életemre, ahogy visszatekintek — ha egy kis nyugalomra vagy csendre vágytam — gyakran biciklire pattantam és utam során már a faluban elfogott egy kellemes, megnyugtató érzés. Ahogy kiértem a Duna-partra, rájöttem, hogy hamarabb is kijöhettem volna. Hogyha pedig meguntam a rácsodálkozást a víz hömpölygésére, akkor valami érdekes után kutatva felfedeztem a környék erdeit. Hosszú évek óta szinte minden nap megfordultam a Dunánál, hiszen a sport — az evezés —, és a horgászat szeretete is ide köt. Sportolás közben mindig csodáltam a környezetet, ami még jobban elmélyítette bennem a tiszteletet és szeretetet a folyó iránt. A községemet illetően is erősödött a kíváncsiságom, hogy milyen szerepet töltött be korábban a környék életében.

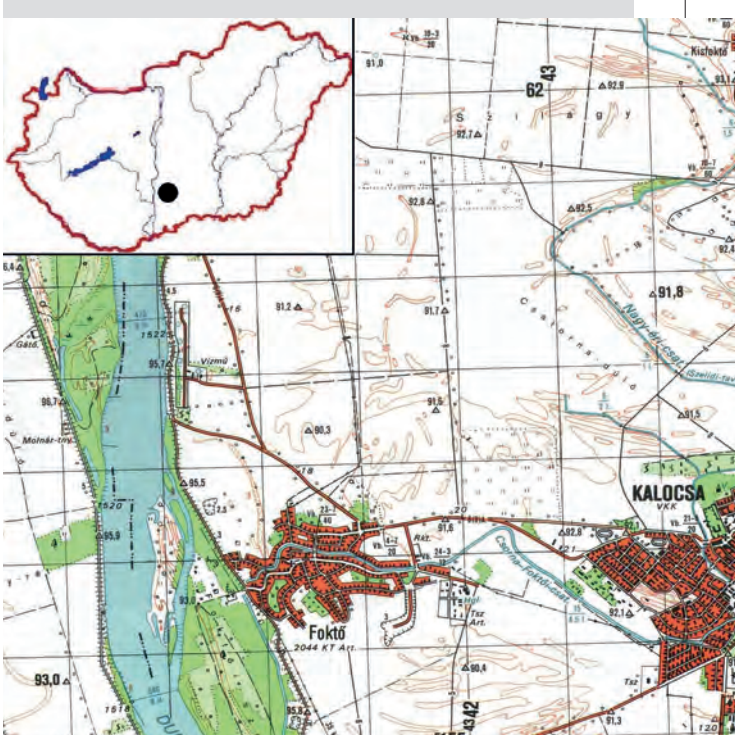
A természetben szerzett tapasztalataim és Foktő község történetének kutatása ihlette eme munkámat, amelyben szülőfalumról és lakóhelyemről: Foktőről fogok szólni. Munkámban be kívánom mutatni a helység történetét, környezetét.

Fekvés és elnevezés

Foktő Bács-Kiskun megye középső részének nyugati felében fekszik: északról Uszód, délről Bátya községek, keletről Kalocsa városa, míg nyugatról a Duna folyó határolja, külső határrésze a vele területileg közvetlenül nem érintkező Kisfoktő (lásd a térkép jobb felső sarkában). A földrajzi kistáj oldaláról közelítve a település annak a Sárköznek a szívében fekszik, amelyet a Duna két részre oszt: a folyó jobb partján fekszik a Tolnai-, a bal parti rész a Kalocsai-Sárköz. A vidék nagy részét az 1870-es évekig hazánk főfolyója rendszeresen elöntötte.

A Duna Budapest és Baja közötti bal partja mindig is óriási mocsárvidék volt, amelyet a folyó árvizei jártak és a mélyedésekben mocsarak voltak (sokfelé ezt jól igazolják a különböző vastagságú tőzegtelepek). A máláriával is sújtott területen elsőrendű fontosságúvá vált a vizek rendezése: az 1871-ben megalapított Pestmegyei Sárközi Dunavédgát- és Csatornázási Társulatból az érdekeltségi változások nyomán lett a Pestvármegyei Sárközi Ármentesítő Társulat, amely megerősítette a védtöltéseket és a vízlevezetés érdekében a régiek felhasználásával új csatornahálózatot alakított ki. A Duna-szabályozás mellett Foktőn fontos feladattá vált a folyóból itt kiágazó és Kalocsa felé továbbfolyó Vajas medrének átalakítása-kotrása, amelyről tudni kell: itt ágazott ki a Dunából, majd azzal nagyjából párhuzamosan folyva a történelmi Bács-Bodrog vármegye déli részén, majd a napjainkban Szerbiához tartozó Bács közelében találkozott ismét a nagy folyóval. A Vajas 1872-ben megkezdődött rendezése a későbbiekben egyúttal a Csorna-Foktői

Foktő környezete és fekvése Magyarországon



árapasztó csatorna kialakítását jelentette: az első világháború után kotort Duna-völgyi főcsatorna csapadékosabb időszakokban elégtelennek bizonyult a vizek levezetéséhez és ilyenkor Kalocsa környékén árvízi elöntések alakultak ki. A helyzetet hatékonyan kezeli a második világháborút követően teljesen elkészült árapasztó csatorna és a közelmúltban felújított 7,4 m^3/s vízátemelő képességű Foktői-szivattyútelep (a gépeket akkor működtetik, ha magas Duna vízállásnál megszűnik a gravitációs kivezetés lehetősége). Előzőek hatékonyságát egészíti ki az 1927 és 1934 között elkészült Sárköz I. számú főcsatorna, amellyel tulajdonképpen Bátya és Érsekcsanád között a Vajas egykori medrét állították helyre.

A Foktő elnevezés a falu földrajzi elhelyezkedésére utal, hiszen a Vajas-fok Dunából való kiágazásánál épült. Ahogy a térképeken is látszik, a település a Dunából kilépő Vajas-fok mentén fekszik. A fok kifejezést a Dunának az ártérben maradt holtágaira, vízfolyásaira alkalmazták: beömlésüket a nagyobb folyóba pedig tőnek, tűnek mondták.

Fok, mint a folyó és annak a töve. Az évszázadok során több megnevezése is fennmaradt a falunak. Ezek közül még ritkán lehet találkozni a Foktü, Foktű megnevezéssel, főleg idősebb emberek szóhasználatában.

A falu története

A magyar történelemben ennek a kis községnek szinte említésre sem méltatható szerep jutott. Azonban igenis történtek olyan események, amelyekről szólni lehet és kell, ezért összegyűjtöttem a falu és környéke történetének jelentősebb mozzanatait.

A település és környéke már ősidők óta lakott terület, ezt több régészeti lelet támasztja alá. A falutól nem messze az egyik dűlőben bronzkori, míg máshol kelta és római kori leletek kerültek a felszínre. Később a honfoglaló magyarok letelepedtek a területen, hiszen a *„Fok töve”* a fejedelmi szállás közelében volt, fontosságát az is mutatja, hogy itt lehetett szabályozni a Kalocsa felé folydogáló Vajas vízszintjét. A települést első írásos emlékként a Váradi Regestrum említi 1221-ben *„Foktheuu”* formában, a falu neve több változat közül 1873-ban lett hivatalosan a jelenlegi.

A mohácsi csata után a török elfoglalta Kalocsát és környékét, valamint nyilván a dunai kapcsolatot a Vajason keresztül biztosító Foktőt is. A lakosság kezdetben a Duna túlsó partján, a gerjeni erdőségekben talált menedékre. A későbbiekben lassú visszatelepülés indult meg, újjáépültek a házak és a környékről ide menekülőkkel (akiknek falvai teljesen elpusztultak) kissé növekedett az itt élők száma. A hódoltság közel másfél száz esztendeje alatt a falu a kettős adózás terhét nyögte.

A sok viszontagság ellenére, meglepő módon, Foktőt a kezdeti időszakban jól érintette a török hódoltság időszaka. Közigazgatásilag a törökök a szegedi szandzsák kalocsai nahijéjébe tagolták. Nagyobb település lett belőle, mint a szomszédos érsekségi város Kalocsa. A török defterek szerint 225 *„kapu adózott”*, ezzel a mennyiséggel már okkal nevezhetjük az 1570-es évek Foktőjét mezővárosnak.

Az említett csatát örökíti meg Foktő címere

A század végén, 1599 tavaszán a magyar dunai naszádosok, a hajdúk támogatásával, Pálffy Miklós vezetése alatt nagy csapást mérve szétverték a foktői Duna szakaszon állomásozó török élelemszállító hajókat. A település jelenlegi címere is ezt az eseményt örökíti meg, ahogy a bátor magyar hajósok, mint oroszlánok csaptak le a törökökre.

Előzőek ellenére a török hódoltság vége felé Foktő hanyatlott, lakossága jelentősen lecsökkent: sokan a Duna nehezen megközelíthető mocsaraiban kerestek biztonságot.

Hiába szabadult fel a falu a törökök alól, most a császáriak sanyargatták a falusiakat. Így 1703-ban Foktő is zászlót bontott a Rákóczi-szabadságharcban. A területen jelentős volt a császáriak és szövetségeseik, a rácok jelenléte. Emiatt maga II. Rákóczi Ferenc is a közeli Ordas falujába érkezett, hogy felmérje a veszély mértékét.

Foktő központja napjainkban,
háttérben a református templom

Foktő központja egy 20. század első felében készült képeslapon

Kalocsa-Foktő hajóállomás a Dunáról nézve 1955-ben

A törökök kiűzése után a falunak és környékének a kalocsai érsekség lett a földesura (az 1940-es évekre tulajdonrésze 20 százalékra csökkent). Bél Mátyás az alábbiak szerint írt a faluról (előbbi alatt a szomszédos Uszód település leírását kell érteni):

„Fogtő (ma Foktő) az előbbivel nyelvben, vallásban, a talaj, valamint a káposzta és hagyma termelékenységében majdnem azonos, a Vajasnak ugyanazon táján. A kalocsai érsekségnek szolgál. A nevét azokról a zsilipekről nyerte, amelyekkel egykor halászat kedvéért el szokták zárni azt a csatornát, amelyet Vajasnak neveztünk."
A lakosság megélhetését a későbbiekben is a mezőgazdasági haszonnövények biztosították: a XX. század első felében a földeken búzát, kukoricát, őszi és

A faluból kilépő Vajas szivattyútelepi zsilipje és annak túloldala

László Károly síremléke

Parti zátonyok a Duna 2018-as, rekord alacsony vízállásánál

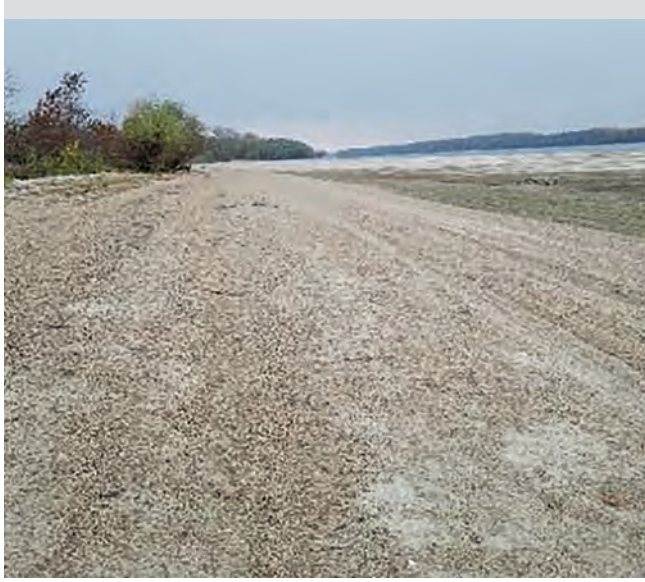
tavaszi árpát, lencsét, babot, petrezselymet, sárgarépát és salátát termesztettek. Ezeket a termelők abban az időben a Mohácsról induló dunai hajójáratokkal vitték Budapestre, szekerekkel Baja, Kiskőrös és Szekszárd piacaira eladásra. A fűszerpaprika termesztése az 1920-as években indult meg.

A katolikusok mellett a török idők vége felé megjelentek a reformátusok is: előbbiek anyakönyveit 1762-től, utóbbiakét 1756-tól vezetik. A katolikus templom 1790-ben, a református 1843-ban épült. Foktő fejlődését visszavetette, hogy az 1832-es tűzvész alkalmával szinte az egész falu leégett. Az 1848-49-es forradalom és szabadságharchoz kapcsolódik, hogy a foktői református temetőben temették el László Károly honvéd századost, aki Kossuth Lajos titkára volt.

László Károly honvéd századossal kapcsolatosan meg kell jegyezni, hogy a sírfelirat szerint hamvait 1983-ban Kecskemétre helyezték át.

Az előzőekben vázoltak alapján a község életének egyik felvirágzása volt az 1930-as, 40-es évek időszaka, melyet a második világháború szakított meg. A szocialista rendszer a falu történelmében a Béke Mezőgazdasági Termelő Szövetkezet megalakítását eredményezte, emellett a kialakuló háztáji gazdálkodás a piacozás újrakezdéséhez vezetett.

A szabadstrand rekord alacsony vízállásnál



Az ipari fejlődést a Duna-parton épült Pannon Növényolajgyár biztosítja, amely Közép-Európa legnagyobb olajgyára. Ez garantálja a falu termelői számára a biztos piacot, a családok számára a megélhetést.

Az 1989-es rendszerváltás utáni folyamatok ígéretesek és bízom benne, hogy a jövő hasonló sikereket, felvirágzásokat hoz Foktő életébe, mint a történelem folyamán oly sokszor.

A Duna és Foktő kapcsolata

Mint ahogy azt már említettem, a Duna mindig is fontos szerepet kapott a falu és lakóinak életében. Sokaknak biztosított megélhetést a halászat, az erdőgazdálkodás vagy a hajózás révén. A foktői kofák Kalocsára a Vajason, az ország különböző pontjaira pedig a helyi dereglyék segítségével jutottak el. Amint a bevezetőben említettem, a Vajas-fok a település határában torkollik bele a Dunába.

A foktői Duna-szakaszhoz még két, a falutól távolabb fekvő, Barákai és Meszesi partrész is hozzátartozik, utóbbi egykor a falu határához tartozott.

A Duna 2018. esztendei rekord alacsony vízállása engem is kicsábított a partra, ahol úgy láthattam a vén folyót, ahogy azt azelőtt még sohasem. Ám a helyi adottságoknak köszönhetően, a szakasz még mindig hajózásra alkalmasnak bizonyult. Nagyjából 150 métert lehetett besétálni a hatalmas homokpadokon a kisvízi mederig, mégis még 300-400 méter távolság maradt a túlsó partig a folyó szabad folyására. A meder geometriája egyelőre biztosítja, hogy az ehhez hasonló alacsony vízállásnál is meglesz a hajózáshoz szükséges vízmélység.

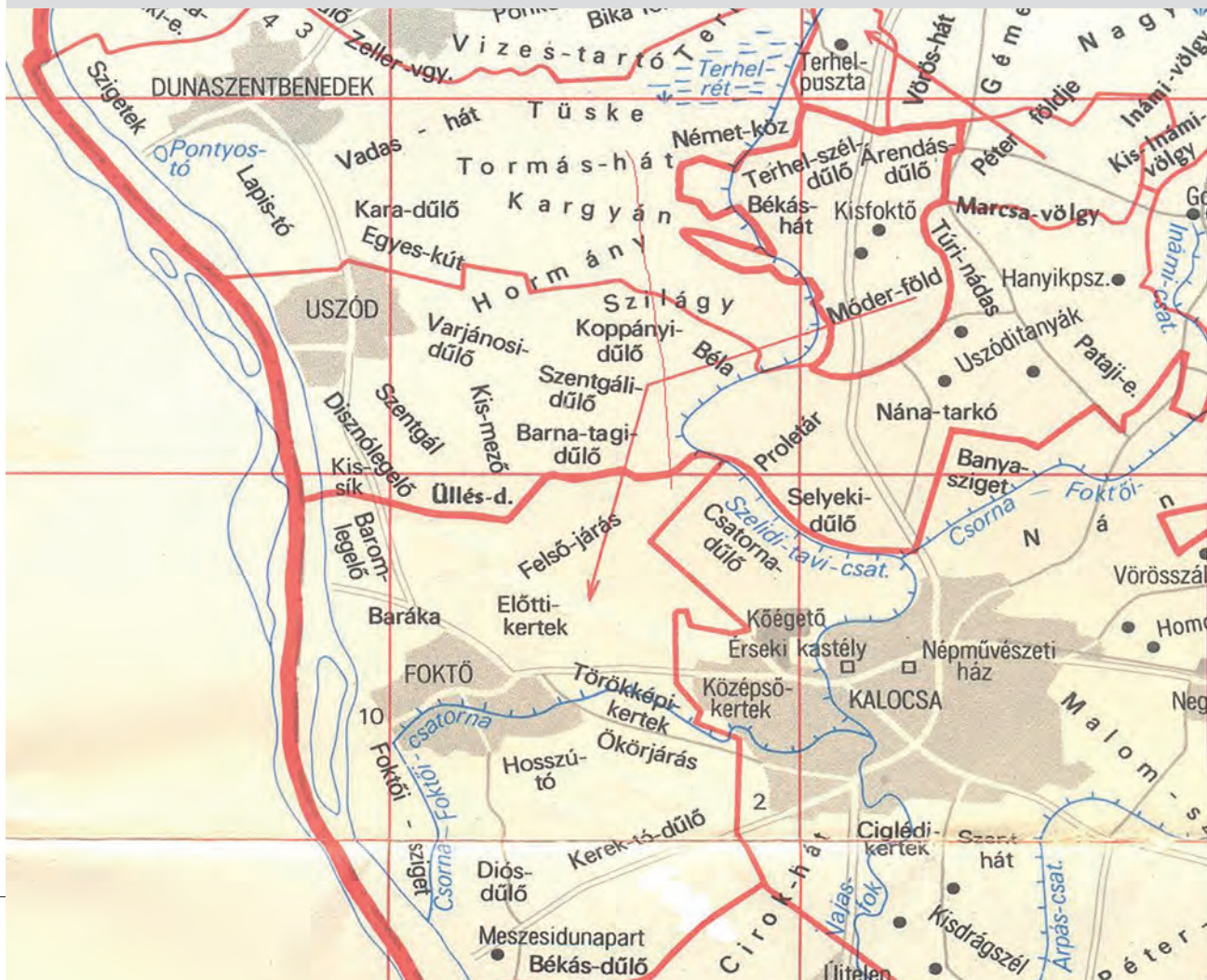
A múlt üzenete

Egy település múltjáról beszédesen szólnak határrészének földrajzi elnevezései, csak meg kell őket szólaltatni. Segítséget ebben a helyszíni bejárások tapasztalatai, az idős foktőiek emlékezete, a faluval kapcsolatos helytörténeti irodalom, továbbá az etimológia stb. adhat. A határrészek elnevezései és azok magyarázata:

Árendás-dűlő: a határrendezés nyomán ebben a dűlőben voltak egykor a haszonbérletbe kiadott földek, Kisfoktő határrészen található.

Baráka: itt már a XIX. század közepén gőzhajó kikötő és rakodóhely volt, az elnevezés talán a bárka szóból származhat. Ma itt található Foktő ipari parkja, legjelentősebb üzeme a Duna partján fekvő Pannon Növényolajgyár.

A foktői és kisfoktői határ elnevezései



Baromlegelő: egykor a nagyobb háziállatok (szarvasmarha, ló) legeltetésére használt füves terület, amelyre György napjától Mindenszentekig (áprilistól novemberig) csapták ki a jószágot. Mivel a Dunához közel feküdt, dús füvű legelő jellemezte.

Békás-dűlő: a Dunához közel fekvő terület, amely egykor közepes vízállásnál is kapott vizet és a kétéltűek szaporodásához kedvező feltételeket biztosított.

Békás-hát: a Szelidi-tavi-csatorna (másik neve Nagy-éri-csatorna) melletti hát.

Csorna-Foktői-csatorna: a Duna-völgyi-főcsatorna árapasztójaként került kialakításra.

Diós-dűlő: nevét a határrészben található sok diófáról kapta.

Előtti-kertek: ha Kalocsa felől érkezünk Foktőre, akkor ezek a kertek közvetlenül a falu előtt fekszenek.

Felső-járás: Foktő északi határrészében fekvő legelő elnevezése.

Foktői-sziget: a Duna mederváltozásai nyomán a főágról lefűződött mellékággal határolt terület, napjainkban ligetekkel tarkított ártéri erdő borítja.

Hosszú-tó: nevét hosszú és keskeny alakjáról kapta, napjainkra nagyrészt kiszáradt és feltöltődött (csak magasabb dunai vízállásnál jelenik meg medrében a fakadóvíz).

Kerek-tó-dűlő: a határrész nevét a mára már feltöltődött, közel kör (kerek) formájú, lapos részről kapta.

Kisfoktő: Foktő külső határrésze, amely jelenlegi elnevezését 1904-ben kapta, korábban Zásztó-pusztának (az első katonai felmérés térképén még Szásztó-szállás, a harmadik katonai felmérés térképén Zaztó-puszta) hívták, a jelzett időpontban vármegyei engedéllyel történt a névváltoztatás.

Meszesi Duna-part: vélhetően meszes talajáról kapta nevét, 1981-ben a területet, az itt lévő kikötővel és révvel együtt Kalocsához csatolták.

Móder-föld: a harmadik katonai felmérés térképén tulajdonosáról elnevezve Móder-puszta, az ottani épületek lebontását követően lett neve Móder-föld.

Ökörjárás: az ökör kifejlett, herélt szarvasmarha, Ökörjárás pedig az a terület, ahol ezeket legeltették.

Szelidi-tavi-csatorna: a közeli Szelidi-tó felesleges vizeinek levezetésére 1941-43 között épült csatorna elnevezése.

Terhel-szél-dűlő: elnevezésének alapja, hogy a közeli — már Géderlak község határához — Terhel-puszta mellett, a foktői határban fekszik.

Törökképi-kertek: Borovszky Samu szerint ez a dűlő a török világ emlékét őrzi.

A környék élővilága

A Duna közelsége meghatározza Foktő természeti környezetét: egykor a rendszeres elöntések és komoly károkat okozó árvizek, valamint a Vajas biztosította közvetlen kapcsolat a nagy folyóval. A Duna szabályozását, az árvízvédelmi töltések, belvízlevezető csatornák

A lassú folyású vizekben és tavakban megfigyelhető a védett mocsári teknős

A nedves részek tavaszi virága a mocsári nőszirom

Néha a partszélen felbukkan egy-egy rák is

A figyelmes szemlélőnek feltűnhet a mindenfelé előforduló nappali pávaszem hernyója

A Duna meghatározója az itteni növényvilágnak is: a partközeli részeken a lágy fafajok (főleg fűz és nyár), a magasabb területeken a ligetesen elhelyezkedő keményfák (tölgy, kőris, szil) a jellemzőek. A dunai védtöltések mentett oldalának meghatározói a haszonnövények, hiszen ezeken a részeken mezőgazdasági növénytermesztés folyik.

Összegzés

Foktő évszázadok óta lakott település a Duna folyó mentén. Változatos történelméhez párosuló jó természeti adottságai tették és formálták azzá a csodálatos lakóhellyé, ahol felnőttem. A barátaimmal folytatott túrázások és az evezősport által egyre jobban kezdem megismerni a környéket, akkor is, amikor tekerés (kerékpározás) közben látok egy-egy állatot, vagy valami érdekeset az

A falu határa

és a foktői szivattyútelep kiépítését követően ez a kapcsolat jelentősen megváltozott, szabályozottá vált: a folyó már nem kénye-kedve szerint, hanem az ember által irányított öntözéssel biztosítja a növényvilág fejlődéséhez szükséges vizet, belvizes időszakokban a felesleg vízkormányzással kerül levezetésre a területről. Mindezek ellenére a vidék a kultúrnövények mellett őrzi hagyományos állat- és növényvilágát is.

Az erdőkben és a szántóföldek közelében sok a szarvas és őz, rajtuk kívül a vidék a vaddisznó, a nyúl, a róka és az utóbbi időszakban visszatelepült sakál otthona. Nagyobb dunai árhullámoknál a hullámtérről a védett területre menekülőkkel jelentősen megnő a gímszarvas egyedszáma. Foktő környezetében az emlősök mellett számos madárfaj is megtalálható. Közülük a Duna és az ártéri erdők térségében a legméretesebbek a rétisas, a fekete gólya, a héja, az egerészölyv és a barnakánya, míg a mezőgazdasági művelésű területeken figyelhető meg leginkább a fácán és a fehér gólya. A folyó és mellékágai, valamint a csatornák kiváló szaporodó és élőhelyet jelentenek a tájra jellemző halaknak, hüllőknek és kétéltűeknek.

erdőben, a Duna-parton. A megszerzett-megtapasztalt élményekről mindig nagy lelkesedéssel beszélek családomnak és ismerőseimnek.

Úgy gondoltam, hogy az elmúlt években szerzett tapasztalataimat kiegészítem a vonatkozó irodalomban szerzett adatokkal és ismereteimet egy áttekintésre, de nem teljességre törekedő munka keretei között írom le a Foktő iránt érdeklődők számára. Külön öröm számomra, hogy kutatás közben is számtalan új dolgot fedeztem fel és ismertem meg, ami egy nap biztosan újra segítséget fog nekem nyújtani az életem során.

SZALAI ANDOR

IRODALOM

Bél Mátyás: Pest-Pilis-Solt vármegye. Ford.: Szőts Rudolf. In: Iványosi-Szabó Tibor (szerk.): Bács-Kiskun megye múltjából VI. 9-67.
Borovszky Samu (szerk.): Magyarország vármegyéi és városai. Pest-Pilis-Solt-Kiskun vármegye I-II. Budapest, 1910
Danis György: Foktő. 2002
Földi Ervin (szerk.): Magyarország Földrajzinév-tára II. Bács-Kiskun megye. Budapest, 1980
Ihrig Dénes (szerk.): A magyar vízszabályozás története. Budapest, 1973
Kiss Lajos: Földrajzi nevek etimológiai szótára I-II. Budapest, 1988

1 2

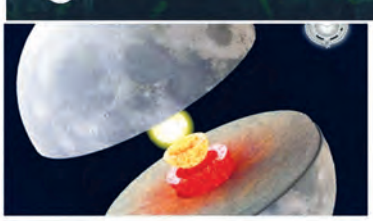
3 4

Az imádkozósáskák védekezési stratégiái

1. Dél-ázsiai levélutánzó *(Gongylus gongylodes)*
2. Afrikai levélmanó *(Phyllocrania paradoxa)* nőstény
3. Orchideamanó *(Hymenopus coronatus)* lárvája
4. *Amorphoscelis annulicornis* lárva

(Paulovkin András felvételei)

Megújult honlapunk: termvil.hu

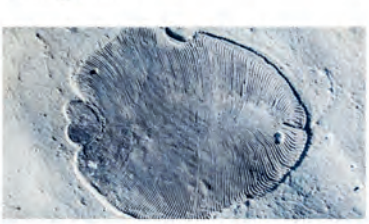


LAPSZÁM

2019. január

ÜRKUTATÁS

Újévi randevú — A New Horizons

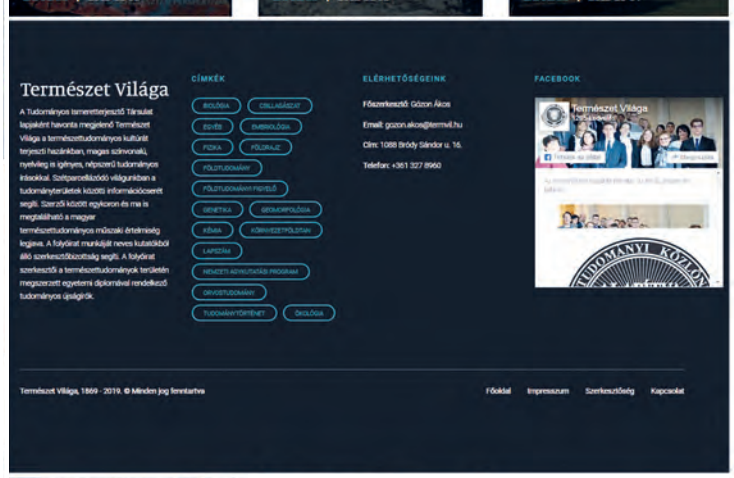


FÖLDTÖRTÉNETI KUTATÁSOK

A földtörténet úttörői

ÁLLATVILÁGUNK

A házityúk-ivarszerv kialakulásának érdekességei — Tyúkok, tojások, össejtek



nka
Nemzeti Kulturális Alap

9 770040 371316 19007