

ŰRTAN ÉVKÖNYV 2018

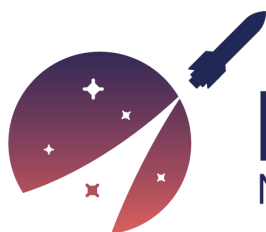


MANT



Az Asztronautikai Tájékoztató 70. száma

Kiadja a Magyar Asztronautikai Társaság



MANT

Magyar Asztronautikai Társaság

A MANT arculatának megújítása jegyében 2018 végétől új logót használ



A MANT szakmai kirándulásának résztvevői a Bécsi Természettudományi Múzeum és a Német Repülési és Űrkutatási Központ (DLR) Rosetta kiállításán, 2018. augusztus 25-én. A háttérben a 67P/Csurjumov-Geraszimenko-üstökös 1:1000 méretarányú modellje.

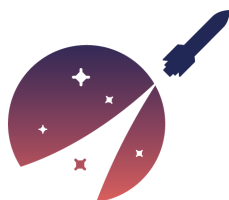
(Fotó: Trupka Zoltán)

A címlapon a BepiColombo űrszonda indítása a Merkúr felé egy Ariane-5 hordozórakétával, a Francia Guyanában fekvő Kourou űrközpontból, 2018. október 20-án. A program magyar vonatkozásairól évkönyvünk egyik cikkében olvashatnak részleteket. (Kép: ESA / CNES / Arianespace / Optique Vidéo du CSG / J.M. Guillon)

Űrtan Évkönyv 2018

Az Asztronautikai Tájékoztató 70. száma

Kiadja a Magyar Asztronautikai Társaság



MANT

Űrtan Évkönyv 2018

Az Asztronautikai Tájékoztató 70. száma

Szerkesztette: dr. Frey Sándor

Készült
a Külgazdasági és Külügyminisztérium támogatásával

Kiadja:
a Magyar Asztronautikai Társaság
1044 Budapest, Ipari park u. 10.
www.mant.hu
Budapest, 2019

Felelős kiadó: dr. Hirn Attila főtítkár

Kézirat gyanánt

HU ISSN 1788-7771

Előszó

A Magyar Asztronautikai Társaság (MANT) idén tavasszal is megjelentette az Űrtan Évkönyv című sorozatának az elmúlt évre – ezúttal 2018-ra – vonatkozó kötetét. A kiadvány egyúttal a korábban Asztronautikai Tájékoztató címmel ismert sorozat kerek 70. száma. Olvasóink most is találkozhatnak a tárgyév legfontosabb üreseményeiből készült válogatással (közvetlenül az előszót követően), valamint a MANT 2018-as tevékenységének keresztmetszetétül szolgáló rendezvény- és esemény-összefoglalóval (a kötet végén). E két hagyományos válogatás között kaptak helyet a szakmai-ismeretterjesztő írások, amelyeket szerzőik publikációs felhívásunkra küldtek be.

A gazdag és változatos választékra tekintettel, olvasóink idén is biztosan találnak számukra érdekes témákat a cikkek között, remélhetőleg nem is egyet! Betekintést nyerhetnek a magyar űrműszerek talán legismertebbike, a Pille dózismérő napjainkban is folytatódó sikertörténetébe. Ugyancsak „első kézből” értesülhetnek a magyar közreműködés részleteiről a 2018-ban indított nagyszabású európai-japán bolygókutató űrszonda, a Merkúr felé tartó BepiColombo programjában. A Naprendszer kutatásával kapcsolatban szó esik a kisbolygók infravörös spektroszkópiai vizsgálatának laboratóriumi előkészítéséről, valamint az égitestek felszínének korbecsléséről becsapódási kráterek vizsgálata alapján. Utána is bolygórendszerek, de sokkal távolabbiak kerülnek szóba, a legfrissebb űrcsillagászati eredmények fényében. Végül két cikk jóvoltából visszatérünk a Föld közelébe. Először a „közeli világűrbe” indított magyarországi ballonkísérletekről olvashatnak, majd a 2018-as európai versenyen különdíjat kiérdemelt magyar CanSat csapat mutatkozik be. Mindkét utolsó cikkünk egyben felhívásként is felfogható. Olyanok figyelmét szeretnék felkelteni, akiknek kedve van bekapcsolódni a ballonrepülésekbe, esetleg diákként vagy tanárként szívesen foglalkoznának „kólásdobozba” rejtett minimúholdak építésével.

Könyvünket a Külgazdasági és Külügyminisztériumtól kapott támogatás segítségével tudtuk elkészíteni és eljuttatni olvasóinkhoz, amiért köszönetünket fejezzük ki. A 2018-as év újdonsága volt, hogy májustól az új kormányzati struktúrában a külgazdasági és külügyminiszter lett a Kormány űrtevékenységért felelős tagja, aki novemberben Ferencz Orsolya személyében űrkutatásért felelős miniszteri biztost nevezett ki a szakmai feladatok magas szintű összefogására.

Kiadványunk azzal a céllal is készül, hogy ha valaki évek vagy akár évtizedek múlva leemeli a polcra – vagy megtalálja és elolvassa elektronikus változatát –, akkor hű képet alkothasson arról, mi történt 2018-ban a nemzetközi és hazai űrkutatásban. Őrizzék tehát meg! Mint az előző években, úgy most is hasznos időtöltést kívánok az Űrtan Évkönyv új kötetének lapozgatásához, olvasásához.

Budapest, 2019. március

A szerkesztő

Válogatás az űrkutatás 2018-as eseményeiből

Összeállította: Frey Sándor

Összeállításunkban az Űrvilág internetes hírportál (www.urvilag.hu) anyagaiból válogattunk. Az eredeti cikkek szerzői Both Előd, Frey Sándor és Németh Péter. Az év további érdekes űreseményeiről, eredményeiről az Űrvilág 2018-as archívumában található mintegy 500 cikkben olvashatnak az érdeklődők.

2018. január

Electron rakéta. Még mindig egy teszt – stílszerűen így nevezte a Rocket Lab cég a második új-zélandi startkísérletét az Electron nevű rakétájával. Most, január 20-án teljes volt a siker. Az Electron rakéta legelső indítására 2017. május 25-én került sor, az Új-Zéland északi szigetének keleti partvidékén kialakított starthelyről. Akkor nem jártak teljes sikerrel. Az *Ez egy teszt* elnevezésű repülés valóban szolgáltatott értékes tesztadatokat, de a célul kitűzött alacsony Föld körüli pályát végül nem sikerült elérni. Az első fokozat rendben működött, a második fokozat is beindult, az orrkúp pedig rendben levált, mielőtt – mintegy 4 perccel a felemelkedés után – egy a földi követőhálózattal kapcsolatos hiba miatt a biztonsági eljárásokat követve meg kellett szakítani a rakéta működését.

Az akkori indítás során nem volt hasznos teher a rakétán. A mostaninál már felkerült az Electronra három kis műhold, a Planet cég egy Dove Pioneer (Flock-2) földmegfigyelő űreszköze és Spire Global cég két Lemur-2 műholdja. Mindkét amerikai vállalat CubeSatokból álló, kiterjedt műholdflotta kiépítésén fáradozik. Ennek keretében eddig számos alkalommal indították kis űreszközeiket különféle nagyobb rakéták elsődleges hasznos terhei mellett, amolyan potyautasként. A Rocket Lab fő célja a kis teljesítményű, gyorsan előkészíthető Electron rakétával épp az ilyen megrendelők kiszolgálása lenne. Így a kisműholdas üzemeltetőknek nem kéne mások által lekötött, esetenként halasztásokat szenvedő, a végső pálya megválasztásában is rugalmatlan lehetőséget kínáló startokra hagyatkozniuk.

2018-ban az Electron rakétával még két, immár a rendszeres üzem részének számító indítást végeztek Új-Zélandról, november 11-én és december 16-án.

Internet a világűrben.

Szakértők várakozása szerint 2018 (és 2019) az áttörés ideje lehet mindazon cégek számára, amelyek a globális, űr-alapú internetszolgáltatás létrehozásáért versengenek. Várakozások szerint a műholdas



gyors internetszolgáltatás alapvetően változtathatja meg a világhálózathoz való hozzáférést és az internetezési szokásokat, lehetőségeket. A legfontosabb, hogy az alacsony vagy közepes Föld körüli pályán (LEO, MEO) keringő műholdokról biztosított szolgáltatás hozzáférést biztosít az internethez azon mintegy 4 milliárd embertársunk számára, akiknek jelenleg erre még nincs technikai lehetőségük. Ha elég nagy sávszélességet sikerül biztosítani, akkor a szolgáltatás versenyképes lehet a földi szolgáltatásokkal, ahol az optikai szálak hálózata kiépítése horribilis költségekkel jár. A számításba veendő cégek közül három (SpaceX, Samsung és Boeing) a nagy és ismert vállalatok közé tartozik, a többiek (OneWeb, Telesat LEO, SES O3B, Iridium Next és LeoSat) pedig az (egyelőre) kevésbé ismertek közé, amelyek azonban jelentős szerepet játszhatnak a verseny felgyorsításában.

A számítások szerint a műholdas konstellációval létrehozandó szolgáltatásban 4600 olcsón gyártható, alacsony Föld körüli pályára állított műholddal terabájt/sec adatátviteli sebesség érhető el. Ez 5 milliárd felhasználóval és felhasználónként havonta 200 gigabájt adatforgalommal számolva havonta világszerte 1 zettabájt, azaz 1 milliárd terabájt adatforgalmat jelent. Az előrejelzés szerint 2028-ra általánossá válik a havi 200 GB adatfelhasználás, így a cégnek egy évtized áll rendelkezésére a mikroműholdas hálózat kiépítéséhez.

A SpaceX már tavaly augusztusban regisztráltatta saját maga számára a Starlink márkanévet „vezeték nélküli, szélessávú kommunikációs szolgáltatásra”. A tervük az, hogy 2019-től kezdődően 4425 műholdat állítanak Falcon-9 rakétaikkal alacsony Föld körüli pályára, a rendszer teljes kiépítését 2024-re tervezik. A későbbiekben a rendszert további 7500 műholddal egészítenék ki, amelyek a szolgáltatás sebességének gyorsítása érdekében még alacsonyabb pályákon keringenének. (A probléma nagyságának érzékeltetésére: a GPS rendszer mindössze 31, MEO pályán keringő műholddal biztosítja a szolgáltatást, illetve

jelenleg összesen mintegy 1700 műhold kering a Föld körül.) A cég hatalmas előnye versenytársaival szemben, hogy saját hordozórakétával rendelkezik, a pályára állításokat tehát „önerőből” megoldhatják.

A OneWeb cég az első tíz kísérleti műholdját már 2018 elején pályára szeretne volna állítani (ez 2019-re tolódik), majd fél évvel később megkezdhenék a 720 darab LEO műholdból álló rendszer teljes kiépítését. Második lépésben, a 2020-as évek közepéig további 900 műholdat állítanának az előzőeknél valamivel magasabb pályára. A Boeing a hírek szerint az Apple-lel szándékozik együttműködni: olyan műholdas hálózatot hoznának létre, amelyik jelentős előretörést jelentene az iPhone-ok számára. A tengeri navigációra és a repülésbiztonságra fókuszáló Iridium Next 2019 elejére végez új rendszere kiépítésével. 2018-ban négy alkalommal összesen 35 új generációs műholdat állítottak pályára Falcon-9 rakétákkal.

2018. február



Az első Falcon Heavy rakéta.

Floridából február 6-án elindították legelső próbarepülésére a SpaceX nehézrakétáját. Elon Musk cége eredetileg már 2013-ra tervezte, de mostanra tényleg megvalósította, hogy a jelenleg használatban álló hordozórakéták mindegyikénél nagyobb tolóerejű új hordozóeszközt kipróbálja. A Falcon Heavy

startja a Kennedy Űrközpont 39A indítóállásából történt. A rakéta testének nagy részét a Falcon-9-ről jól ismert első fokozat, plusz két másik, oldalsó segédtrakétaként működő hasonló fokozat alkotta. Ez utóbbiak már egyszer repültek egy-egy korábbi Falcon-9 start alkalmával, 2016 májusában és júliusában. A SpaceX szándékai szerint leválásuk után Cape Canveral területére tértek vissza épségben, függőleges helyzetben. A középső darab visszahozatalára valamivel később került volna sor, egy a starthelytől nem messze, az Atlanti-óceán vizén úszó platformra. Ezt a fokozatot azonban nem sikerült kellőképpen lefékezni, így az a kijelölt célt elvétele, nagy sebességgel az Atlanti-óceán vizébe csapódott, és emiatt darabokra tört.

A rakéta orrkúpja alatt most nem hasznos, hanem a szó szoros értelmében haszontalan teher volt. Az indítási kísérlet kockázatos voltára tekintettel szóba sem jöhetett normális űreszköz. Ha már így alakult, nem egy egyszerű nehezék, hanem Elon Musk meggyipiros Tesla Roadster elektromos sportautója repült. Az autót Nap körüli, akár a Mars távolságáig elérő pályára állítani igazán értelmetlen volt, viszont figyelemfelkeltésnek – Musk mindkét cége, a SpaceX és a Tesla reklámozásának – tökéletesen megtette. Ahogy az a bejelentés is, hogy az autó hangszóróiból állítólag David Bowie Space Oddity című száma szól – habár a belehelyezett, a SpaceX fejlesztette űrruhába öltöztetett bábun (alias Starman) kívül senki nem hallgatta, a világűr légtelen terében pedig amúgy sem terjed a hang... (A félreérthető sajtónyilatkozatok és leegyszerűsített hírek miatt érdemes megjegyezni, hogy a Tesla nem megy a Marshoz, nem közelíti meg, pláne nem száll le a bolygóra, csak olyan elliptikus pályára kerül a Nap körül, amelynek távoli pontjában elérheti, sőt meghaladhatja a Marsénak megfelelő távolságot a Naptól mérve.)

A 2011 áprilisában bemutatott Falcon Heavy hordozórakéta a legoptimistább forgatókönyv szerint már 2013 év vége felé végrehajtotta volna az első felszállását, azonban több nehézség együttes hatása bő négy évvel későbbre halasztotta a hordozórakéta első indítását. A két legfontosabb ok közül az egyik az volt, hogy a kezdeti elképzelésekkel ellentétben gyakorlatilag egy teljesen új középső rakétafokozatot kellett tervezni hozzá, mivel a Falcon-9 rakéta első fokozata komolyabb módosítások nélkül csupán a két oldalsó segédtrakéta szerepére bizonyult alkalmasnak, főként a Falcon Heavy felszállása során a több irányból felépő extrém terhelés miatt. Ennek az újratervezésnek az eredményeképpen a Falcon Heavy sokkal inkább tekinthető egy önálló hordozórakétának, mint a Falcon-9 megnövelt változatának. A másik fő ok pedig az volt, hogy a Falcon Heavy több mint félmilliárd dolláros fejlesztési költségeit a SpaceX-nek saját magának kellett kigazdálkodnia, az űripari magáncég nem számíthatott külön állami támogatásra ezzel a projekttel kapcsolatban.

2018. március

Úton a GOES-S. Amerika új geostacionárius meteorológiai holdja egy Atlas-5 rakétával startolt március 1-jén, az Egyesült Államok nyugati vidékeit és a Csendes-óceán térségét figyeli majd. A GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) sorozat S jelű tagja a legújabb generáció második képviselője, a 2016 végén indított GOES-R (GOES-16) után. A mostani műhold pályára kerülve a betűjelzés helyett a GOES-17 megjelölést kapta. Az 5211 kg tömegű űreszköz tervezett működési élettartama legalább 15 év. Gyártója a Lockheed Martin, üzemeltetője a NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), az amerikai Nemzeti Éghajlati és Adatközpont. Miután a műhold elért a geostacionárius pályán a számára kijelölt helyre, akkor több hónapos beüzemelést követően az amerikai GOES időjárási műholdak nyugati pozíciójából, 137° nyugati hosszúság fölül végzi megfigyeléseit.

A GOES műholdak adatait az időjárás napi előjelzésének segítésére és az éghajlat változásának kutatására alkalmazzák. A műholdakon hat különböző műszeregyüttes kapott helyet. Ezek nem csak a Földet, de a naptevékenységet és bolygónk környezetét (az űridőjárást) is figyelik. A 16 különböző látható és infravörös hullámsávban érzékeny fő műszer, az ABI (Advanced Baseline Imager) képeinek térbeli felbontása és az egymás után készíthető felvételek közötti idő rövidegsége tekintetében is sokkal fejlettebb a korábbi GOES holdak képességeivel összehasonlítva.



Az 1975 óta indított GOES műholdsorozat tagjai alapvető szerepet játszanak az időjárás előjelzésében Amerikában. A legújabb típus két további képviselője, a T és U jelű 2020-ban és 2024-ben indulhat. Az operatív megfigyeléseket végző holdak mellett a még működőképes régebbiek tartalékként szolgálnak. A négy új generációs műhold elkészítése és felbocsátása és üzemeltetése 11 milliárd dolláros projekt.

A beüzemelés közben kiderült, hogy a GOES-17 fő műszerével komoly probléma adódott. Az ABI hűtése nem működött megfelelően. A detektor kb. 60 K-es (-213°C -os) hűtésére az infravörös sávba eső összesen 13 hullámhosszon történő észlelé-

sekhez van szükség, így lehet biztosítani a Földről érkező hősugárzás kellő érzékenységgel történő feltérképezését. Hűtés nélkül – amit most a működési idő kb. felében nem tudnak megfelelően biztosítani – viszont lényegében alkalmatlanná válik az ABI az éjszakai megfigyelésekre, ami óriási veszteség. Mivel éjjel a látható fény tartományába eső 3 csatorna nem használható, a felhőzet, a ciklonok alakulása nem követhető a légkörben. A GOES-17 fedélzetén repülő további műszerek rendben üzemelnek. A Harris Corporation által fejlesztett ABI – amely képeinek segítségével a meteorológusok meg tudják különböztetni a felhőket, ciklonokat, ködöt, az erdőtüzeket és más jelenségeket – azonban a meteorológiai műhold legfontosabb berendezése. Az ilyen geostacionárius pályáról készített műholdképekkel találkozhatnak egyébként a tévé nézők is az időjárás-jelentésekben. Az azonos felépítésű és műszerezettségű GOES-16 esetében semmi gond nincs az ABI hűtésével.

A szakemberek megpróbálják kitalálni, mi lehet a baj, és helyreállítani – vagy legalább javítani – az ABI működését a GOES-17 fedélzetén. Ha ez nem sikerül, akkor az időjárás-előrejelző modellszámításokat kell majd úgy átalakítani, hogy a lehető legjobban hasznosíthassák a képességeiben erősen korlátozott műszerrel mérhető adatokat. Jelenleg még a régebbi szériából való, 2010-ben pályára állított GOES-15 teljesít szolgálatot a nyugati (GOES-West) pozícióban. Ezen kívül még a közel 9 éves GOES-14 is működőképes, bevethető tartalékként áll rendelkezésre. A GOES-17 problémája tehát nem veszélyezteti rövid távon az időjárás-előrejelzést az Egyesült Államokban, viszont visszavetheti a szolgáltatások jövőbeli fejlődését.

Űripari tesztközpont Csillebércen. Megnyílt a Magyar Tudományos Akadémia (MTA) Energiatudományi Kutatóközpont (EK) új űrtechnológiai tesztlaborja. Megrázó fogadtatás, hőhullámok és elviselhetetlen üresség – ezzel a címmel számolt be honlapján az MTA a magyar űrszakma számára nagy jelentőséggel bíró eseményről.

Magyarország csatlakozása az Európai Űrügynökséghez (ESA), a civil űripar erősödése és a mikroműholdak világának robbanásszerű fejlődése minden eddigénél több űrtechnológiai teszt elvégzését teszi szükségessé. Ezért jött létre az MTA EK új tesztlaborja, melyben a legtöbb vizsgálatot és a szerelési feladatokat egy helyen lehet elvégezni. A tesztlaborban saját fejlesztésű eszközök vizsgálata mellett ipari megrendeléseket is fogadnak.

A laboratórium központja egy ISO 7 szabvány szerinti tisztatéri környezet, ahol az európai űrszabványok előírásainak megfelelően lehetséges űreszközök szerelési munkálatait elvégezni. Ezzel közvetlen összeköttetésben található a termo-vákuum és a vibrációs tesztlabor, melyek biztosítják az űreszközök alapvető tesztjeinek elvégzését. A laboratóriumban találhatóak továbbá űreszközök fejlesztésére alkalmas elektronikai fejlesztő helyiségek is. A termo-vákuum tesztlaborban az űreszközöket nagy vákuum és szélsőséges hőmérsékleti viszonyok esetére vizsgálják az erre a célra szolgáló tesztberendezésekkel, míg a vibrációs laborban egy hazánkban kiemelkedően nagy teljesítményű rázógép segítségével a felbocsátás során fellépő erőket szimulálhatják. Hibás működés esetén a vizsgált űreszköz visszavihető a tisztatéri környezetbe, ahol ismét szétszerelhető és a hiba forrása megkereshető. A labor ilyenfajta komplexitása lehetővé teszi, hogy egy űreszköz végső integrációját, majd alapvető tesztelését egy helyen lehessen végrehajtani, ezzel pedig jelentős költségeket és fejlesztési időt lehet megspórolni. Ilyen képességekkel rendelkező hazai űrtechnológiai tesztközpont, mely egyben megfelel az űripari szabványoknak is, eddig nem létezett.

2018. április

Tienkung-1: vége. Április 1-jéről 2-ára virradó éjjel belépett a légkörbe és megsemmisült a Tienkung-1 (Tiangong-1) kínai űrállomásmodul. Az esemény előzetesen már lázban tartotta a média erre fogékony részét, mivel a közel 8 tonnás űreszköz 2015 decembere óta irányítatlanul keringett, egyre alacsonyabban húzódó Föld körüli pályán. Magyarországon is élénk érdeklődés kísérte a csak bizonytalanul előre jelezhető időpontú légkörbe lépést. A legtöbb híradásban persze elfelejtették megemlíteni, ami a modul pályahajlásából következően biztosan ismert volt: a mi földrajzi szélességünkön nem eshet le egyetlen darabja sem – még akkor sem, ha valamilyen alkatrész túléli a zuhanást, és nem teljesen enyészik el a levegőben felforrósodva.

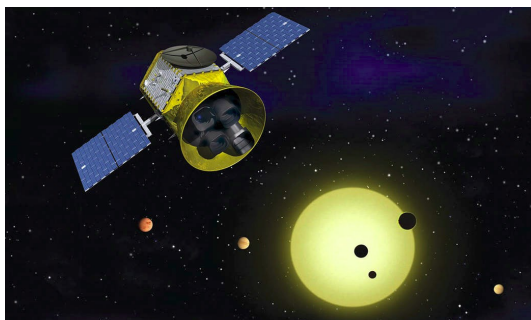
A nagyméretű, alacsony pályán irányítatlanul keringő űreszközök sűrű légkörbe való belépésének időpontját nem csak hónapokkal, de hetekkel, napokkal, sőt órákkal előbb sem könnyű megbízhatóan megjósolni. Ahogy közeledik az időpont, az előrejelzések természetesen egyre pontosabbá válnak. De tekintettel arra, hogy ilyen alacsonyan a műholdak – vagy ebben a mostani esetben a kínai űrállomásmodul – mindössze másfél

órán belül megkerülik egyszer az egész Földet, a légkörbe lépés idejének viszonylag kis bizonytalansága is azt jelenti, hogy a pontos földrajzi hely legfeljebb utólag derül ki. Sok esetben még akkor sem, hiszen nagy a valószínűsége, hogy az esemény lakatlan terület fölött következik be. A bizonytalanságok fő oka, hogy a fékezést okozó felsőlégkör sűrűsége nem pontosan ismert és változó, illetve az űreszköz forog, bukdácsol a pályáján, így mindig más keresztmetszetét mutatja a haladás irányára merőlegesen. A végső stádiumban aztán a nagy test feldarabolódásának menete sem jósolható meg. A Föld felszínét mindenestre túlnyomó részt óceánok borítják, és a szárazföldek területe is többnyire lakatlan. Így nagyon kicsi az esélye annak, hogy emberekben kárt tegyenek a lezuhanó űreszközök esetleg a felszínig is elérő darabjai. Erre az űrkorszak több mint hat évtizede alatt nem is volt példa.

Az Amerikai Légierő megerősítette, hogy a kínai űrállomás-modul április 2-án, magyar idő szerint 2:16-kor a Csendes-óceán déli része, lakatlan vidék fölött semmisült meg. Furcsa véletlen folytán a helyszín végül nagyon közel volt ahhoz, ahol a nagyméretű űreszközöket működési idejük végeztével általában bevezetik a légkörbe, amennyiben még irányíthatóak maradnak. Valójában ez történt volna a Tienkung-1-gyel is, ha nem szakad meg vele korábban a kapcsolat.

A Tienkung-1 2011-es felbocsátása az azóta már további eredményeket elért kínai űrállomásprogram első jelentős gyakorlati lépése volt. Három űrhajó látogatta meg, a Sencsou-8 (Shenzhou-8) személyzet nélkül, a Sencsou-9 és -10 már űrhajósokkal.

Repül a TESS. A NASA csillagászati műholdja a SpaceX Falcon-9 rakétájával állt pályára. A TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) magasan húzódó Föld körüli pályáról a csillaguk előtt átvonuló exobolygók okozta periodikus fényváltozásokat kutatja. A nevezetes Kepler-űrtávcsőhöz hasonlóan tranzitmódszerrel vizsgálja majd a csillagaik fényében apró változást (elhalványodást) okozó, átvonuló exobolygókat. Az új űrtávcső célpontjai viszonylag fényes, tőlünk mérve kb. 200 fényév távol-



ságon belüli csillagok. A cél földi és űrtávcsöves kiegészítő mérések bevonásával a legalkalmasabb exobolygó-jelöltek tömegének pontos meghatározása, esetleg légkörük tulajdonságainak vizsgálata. Az új űrtávcső legfontosabb tudományos berendezését négy nagy látószögű ($24^\circ \times 24^\circ$), 16,8 megapixeles CCD kamera adja, amelyek a 600 és 1000 nm közötti hullámhossztartományban érzékenyek. A program tervezett időtartama egyelőre 2 év, amit a kutatók reményei szerint meghosszabbíthat majd a NASA.

A TESS tudományos programjában az MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpontja (CSFK) Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézetének munkatársai is részt vesznek. A műhold a fő feladata, az exobolygók keresése mellett – sűrű időközönként végzendő pontos fényességméréseinek köszönhetően – más asztrofizikai programok végrehajtására is alkalmas lesz, elsősorban különféle típusú változócsillagok kutatására. A műhold 13,7 napos (a Hold keringési ideje felének megfelelő) periódussal, 108 ezer és 376 ezer km között változó magasságú ellipszispályáról végzi majd pontos fotometriai méréseit. A begyűjtött adatait akkor sugározza majd a földi központba, amikor pályáján a legközelebb kerül bolygónkhoz. A NASA 337 millió dolláros, az Orbital ATK cégnél épített, 350 kg tömegű műholdja eddig még sosem alkalmazott, a Holdhoz képest 2:1 rezonanciájú pályán kering. Amikor földtávolban van, akkor a Hold a pályáján 90 fokkal mögötte vagy előtte tartózkodik. A TESS pályasíkja jelentősen eltér a Hold keringési síkjától, hogy a Föld és a Hold minél kevésbé zavarja a megfigyeléseket.



Bridenstine a NASA élén. Minimális szavazattöbbséggel elfogadta Donald Trump elnök jelöltjét a Szenátus, így James (Jim) Bridenstine lett a NASA történetének 13. kinevezett vezetője. Még tavaly szeptemberben jelölte az oklahomai republikánus képviselőt Trump elnök az amerikai űrhivatal élére. Politikai huzavonák miatt végül hét és fél hónapon át váratott magára a kinevezés törvényhozási jóváhagyása.

Bridenstine személye ellen a jelölésének nyilvánosságra kerülése után több kifogás is felmerült, még republikánus körökben is. Az egyik, hogy nincs szakmai gyakorlata és szakirányú képesítése a hivatal hatáskörébe tartozó területeken. A másik, hogy korábban politikusként kétségeit hangoztatta a klímaválto-

zásnak az emberi tevékenységgel való összefüggésével kapcsolatban. (Erről meghallgatásán azt mondta, hogy a tudományos módszerekkel végzett kutatásokra szükség van.) Végül április 19-én a Szenátusban a lehető legkisebb többséggel, 50:49 arányban Bridenstine megkapta a kinevezéséhez szükséges szavazatokat. Az eset különleges, hiszen a NASA legtöbb korábbi vezetőjét egyhangúlag vagy kevés ellenszavazattal választották meg. Bridenstine rövid közleményében megköszönte a bizalmat, és külön köszönetet mondott Donald Trump elnöknek, valamint Mike Pence alelnöknek – aki egyben a Nemzeti Űrtanács vezetője is – a jelölésért. Kifejezte elkötelezettségét az elnök űrprogramja mellett, amely az Egyesült Államok vezető szerepének biztosítását tűzte ki célul.

Elindult a Sentinel-3B. Az európai Copernicus földmegfigyelő program legújabb űreszköze az oroszországi Pleszeckből egy Rokot hordozórakétával állt alacsony poláris pályára, április 25-én. A felbocsátást az ESA rendelte meg, amely a műhold megépítéséért és pályára állításáért felelt. Maga a Copernicus program, amelynek a mostani Sentinel immár a hetedik dedikált műholdja, az Európai Unió finanszírozásában valósul meg.

A Sentinel-3B egy műholdpáros második tagja. Nevében a 3-as szám a Copernicus program összetett feladatot ellátó, az óceánok, a szárazföld, a jégtakaró és a légkör vizsgálatára is alkalmas sorozatára utal. Azonos felszereltségű társa, a Sentinel-3A több mint két évvel ezelőtt, 2016. február 16-án indult – ugyaninnen, ugyanilyen hordozóeszközzel. A Sentinel-3 műholdpáros tagjainak fedélzetén egy közepes felbontású, több (összesen 21) hullámhossz-tartományban érzékeny optikai kamera, egy a felszínhőmérséklet mérésére alkalmas infravörös sugárzásmérő, egy mikrohullámú sugárzásmérő, és egy az apertúraszintézis elvén működő radaros magasságmérő (altiméter) repül. A műholdak 815 km magas, közel a Föld pólusai fölött elhaladó pályán követik egymást. A végső konfigurációban a B jelű űreszköz 140°-kal marad le az A jelűtől. Kezdetben azonban a két Sentinel-3 hold sokkal közelebb kering majd egymáshoz. A mintegy négy hónaposra tervezett tesztperiódus célja a már két éve működő és a frissen felbocsátott műholdon levő műszer-együttesek pontos kalibrációja.

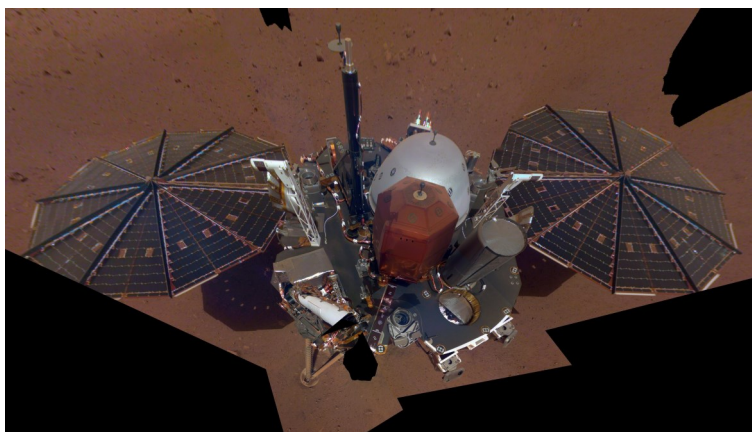
Ha véget ér a Sentinel-3B beüzemelése és kalibrációja, adatai ugyanúgy bekerülnek majd a Copernicus szabadon hozzáférhető adatbázisába, mint a program más műholdjainak adatai. A Sentinel-3 különféle alkalmazásai közül kiemelésre érde-

mes a tengervíz felszíni hőmérsékletének és a vízszint változásainak mérése, az időjárás-előrejelzési modellszámítások segítése, a tengerek szennyezettségének felmérése. A szárazföldek fölött a Sentinel-3 adatokat például a felszínborítás, a növényzet, a városi hőszigetek, az erdőtüzek vizsgálatára lehet alkalmazni.

A Sentinel-3B felbocsátásával teljessé válik a harmadik műholdpáros is, hiszen a radaros Sentinel-1 és az optikai-infravörös távérzékelő Sentinel-2 már mind az A, mind a B jelű műholdjával a felhasználók rendelkezésére áll.

2018. május

Úton a Mars felé az InSight. Amerika legújabb marsi űrszondája május 5-én Kaliforniából startolt egy Atlas-5 rakétával, és november 26-án sikeresen landolt az Elysium-síkság területén. A NASA Discovery programjának tizenkettedik, InSight (Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport) nevű szondája a vörös bolygó geológiai és szeizmológiai kutatására készült. Az eredeti elképzelések szerint már jó két évvel ezelőtt startolt volna a Mars felé, de technikai okokból nem sikerült elkészülni az egyik fő tudományos berendezésével. Így kénytelenek voltak kivárni vele a következő kínálkozó indítási időszakot, amikor a Föld és a Mars bolygók egymáshoz viszonyított pálya menti helyzete kedvező az űrszonda energiatakarékos eljuttatása szempontjából.



A Lockheed Martin fővállalkozásában gyártott, 721 kg starttömegű InSight odaérkezését és leszállását követően „lecövekelt” a Mars felszínén, ugyanis nem rendelkezik kerek-

kel és a mozgás képességével. Ehelyett műszereivel a bolygó mélyébe enged betekintést. Nem ez lesz az első marsi leszállóegység az űrkutatás történetében, de eddig még soha nem vizsgálták ilyen alaposan a bolygó felszín alatti rétegeit és belső felépítését. Eddigi tudásunkat a Marsról olyan űreszközökkel szereztük, amelyek vagy szó szerint a „felszínt kapargatták”, vagy a bolygó körüli pályáról végeztek méréseket és készítettek felvételeket. A most is aktív Curiosity például fúrásokat is végzett, de ezek legfeljebb néhány centiméteres mélységig hatoltak. Az InSight három különböző típusú mérésével szolgál majd adatokkal a Mars belső szerkezetéről. Egyrészt figyelni fogja a Mars szeizmikus aktivitását, bolygórendések vagy meteorbecsapódások hatását. Másrészt kb. 5 m-es mélységig méri a hőmérséklet változását. Végül a szonda rádióadójának, mint a felszínen rögzített viszonyítási pontnak a pontos pozíciómérései nyomán a bolygó keringéséről, forgástengelyének imbolygásáról, így közvetve a belső szerkezetéről nyújt információt.

A marsrendések, a bolygó szeizmikus aktivitása megfigyelésére a SEIS (Seismic Experiment for Interior Structure) műszer szolgál, amelyet francia vezetéssel fejlesztettek – ennek a késedelmes elkészítése vezetett egyébként a program halasztásához. Korábban, az 1970-es évek közepén az amerikai Viking-1 és -2 szondákkal megkísérelték ugyan a rendések mérését a Marson, de nem jártak sikerrel. A szeizmométerek a leszállóegységek tejetén kaptak helyet, a szondákat a szél mozgatta, így a mérések nem voltak megbízhatók. A Föld rengéseit elsősorban a kérget alkotó kőzetlemezek elmozdulásai okozzák. A Marson nem működik a lemeztektonika, a várakozások szerint az észlelhető rendések a kéreg repedéseivel, a vulkánokkal, vagy a felszínbe becsapódó meteorokkal hozhatók majd összefüggésbe. Mindenestre minden egyes rengés a kutatók számára mintegy „megvilágítja” a bolygó belsejét, a szeizmikus hullámok elemzéséből következtethetnek a bolygó szerkezetére és rétegeire.

A német irányítással készült HP3 (Heat Flow and Physical Properties Package) berendezés a felszín alatti rétegek hővezetéséről szolgál majd adatokkal. Akár 5 m-es mélységbe is lefúrhat, miközben pontos érzékelőivel 10 cm-enként méri majd a hőmérsékletet.

Az InSight rendszeres időközönként kibocsátott X-sávú rádiójeleit a NASA mélyűri követőhálózatának (Deep Space Network, DSN) nagy, 70 m-es átmérőjű antennáival figyelik. A RISE (Rotation and Interior Structure Experiment) nevű kísérlet keretében végzendő mérésekből akár néhány centiméteres pontos-

sággal meg tudják állapítani az adó helyét a Marson. Ebből pedig a Mars mint bolygó tengely körüli forgásának változásaira tudnak következtetni, ami összefüggésben van a Mars köpenyének, illetve legbelső magjának a kiterjedésével, szilárd vagy folyékony voltával.

A három említett fő tudományos berendezés mellett a szondát felszerelték például meteorológiai méréseket végző műszerekkel, kamerákkal és egy lézersugarakat visszaverő sarokreflektorral is. Ez utóbbi passzív berendezés még a távoli jövőben, már a szonda működési élettartamán jóval túl is lehetővé teszi a pontos lézeres távmérések végrehajtását Mars körüli pályáról. Az InSight aktív küldetését egyébként 2 évre (kb. egy marsi éven át működőre) tervezik, de nyilván reménykednek benne, hogy ennél tovább bírja.

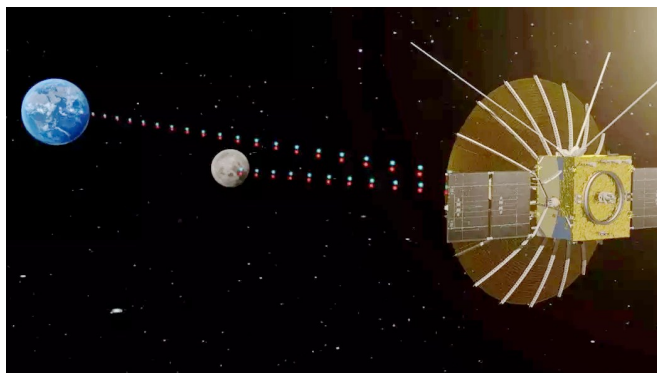
Az InSight adatai nyomán a kutatók remélik, hogy többet tudhatnak meg a Föld-típusú vagy más néven kőzetbolygók belső felépítéséről a Naprendszerben, sőt távolabb. Eddig igazából csak a saját Földünkről állnak rendelkezésre részletes adatok. A Marssal tehát „megduplázódik” a minta, habár – tekintettel az elmúlt években más csillagok körül felfedezett rengeteg exobolygóra – még ez sem számít majd túlságosan nagynak. Az exobolygók részletes geológiai tanulmányozása azonban nem megoldható, így a pontosabb modellezésükhöz jól jöhet majd az, amit a Marsról tanulunk.

Most először indultak apró, a CubeSat szabvány szerint épült űreszközök a Föld körüli pályán túlra. A két Mars Cube One (MarCO) feladata az volt, hogy az InSight leszállásakor adatokat közvetítsenek a földi irányítók felé. Tekintettel az eddigi számos sikertelen próbálkozásra és a marsi sima leszállás bonyolultságára, a szakemberek számára a folyamat közben keletkezett adatok rendkívül fontosak.

Az InSight leszállóegység felépítése a NASA sikeres Phoenix szondájáén alapul, amely a bolygó északi poláris vidékén szállt le 2008-ban. A leszállás módja – hővédő pajzsos, ejtőernyős, majd rakétás fékezés – is azonos lesz. Az InSight tudományos programja nem igényelt speciális helyszínt, így az Elysium-síkságon (Elysium Planitia) a leszállóhely kiválasztása gyakorlati szempontok szerint történt. Az egyenlítő közelsége garantálja, hogy minden évszakban kellő napfény éri az energiatermelő nap-elemeket. A sík, nagyobb szikláktól mentes terep pedig lecsökkentette a leszálláskori bonyodalmak valószínűségét. Végül a felső rétegek viszonylagos puhasága lehetővé teszi a hővezetést mérő HP3 szondának kellő bemélyesztését.

Holdi adatátjátszó szonda. A kínai Csüecsiao (Queqiao) a Hold túlsó oldalán való leszállásra tervezett társa előtt indult, hogy majd közvetíthesse annak adatait a Földre. Az űrbeli reléállomás a Csang'e-4 (Chang'e-4) különleges programját készíti elő, amelynek keretében Kína az űrkutatás történetében először űrszondát juttat a Hold tőlünk sosem látszó oldalára. Mint közismert, égi kísérőnk kötött keringést végez a Föld körül, vagyis tengely körüli forgásának és keringésének periódusideje megegyezik. Így az egyik oldala (legalábbis az a része, amelyet a napfény éppen megvilágít) a Földről állandóan látszik, míg a másik sohasem. A Hold túlsó oldalát először a szovjet Luna-3 űrszonda mai szemmel nézve kezdetleges fényképein pillanthatta meg az emberiség, 1959-ben.

A Csang'e-4 később, decemberben indult egy leszálló egységgel és egy kis holdjáróval, és 2019. január elején hajtott végre sima leszállást a Hold túloldalán. Az elrendezés nem véletlenül hasonlít a Csang'e-3-ra és a Jütu (Yutu) roverre, amelyek 2013-ban érkeztek az égitestre – akkor még a Hold innenső oldalán. A kínai holdprogram 4-es számú szondája a 3-ason alapul, de tudományos műszerezettsége eltérő. A programban ezúttal külföldi együttműködő partnerek berendezései is helyet kapnak. A kijelölt leszállóhely a magyar származású Kármán Tóдорról elnevezett Von Kármán-kráter területe.



Mielőtt azonban elindult a Csang'e-4, biztosítani kellett, hogy az irányítók kapcsolatban tudjanak maradni vele és az adatai eljuthassanak a Földre. Mivel a Hold túlsó oldala közvetlenül nem látható, egy reléállomást juttatnak a Föld-Hold rendszer L_2 Lagrange-pontja környékére, a Hold áttelleges oldalától 65 ezer km távolságra. Ez a Csüecsiao, amely egy Hosszú Mene-telés-4C rakétával indult Hsziangból (Xichang), május 20-án. Az adatátjátszó űrszonda a leszálló egységgel és a holdjáróval

X-sávú, a földi követőállomásokkal S-sávú rádiós kommunikációt végez majd. Tervezett működési élettartama 5 év, így adott esetben akár egy következő leszálló szondát is kiszolgálhat még a Hold túlsó oldalán.

A holdi adatátjátszó szondával együtt két kisebb, egyenként 45 kg tömegű űreszköz is elindult. A Lungcsiang-1 és -2 (Longjiang-1 és -2, más jelöléssel DSLWP-A1 és -A2) szondák a Hold körül elnyúlt ellipszispályára kerülnek. Egyrészt rádióinterferométeres megfigyelések céltárgyai lesznek, másrészt rádióamatőrök vehetik adásukat a Földön. (Egyikőjük később meghibásodott.)

Maga a Csüecsiao nem csak egyszerű adattovábbító feladattal repül, de saját tudományos megfigyeléseket végez. A fedélzetén helyet kapott a holland együttműködésben épült NCLE (Netherlands-China Low-Frequency Explorer) kísérlet. Ez rendkívül alacsony, 30 MHz körüli rádiófrekvencián vizsgálja majd az égbolt rádióforrásait. Ez az a tartomány, amely a Föld felszínéről nem figyelhető meg, mivel a légkör felső rétege, az ionosféra nem engedi át az ennyire alacsony frekvenciájú rádióhullámokat. A berendezéssel így úttörő jelentőségű mérések végezhetnek, amelyek előkészíthetnek egy későbbi komolyabb alacsony frekvenciás rádiócsillagászati űrprogramot. Az NCLE antennája csak valamikor 2019-ben nyílik ki, a kísérlet tehát azután indul, hogy a Csang'e-4 végez elsődleges küldetésével, három hónapot töltve a Hold felszínén. A Csüecsiao számára a leszálló szondával való kapcsolattartás biztosítása a kiemelt feladat.

Öt Iridium, két GRACE. Május 22-én Kaliforniából távközlési és a Föld nehézségi erőterét kutató műholdak indultak „társbérletben” egy Falcon-9 rakétával. A hasznos teherben egyrészt az Iridium mobil távközlési cég öt új generációs Iridium Next holdja kapott helyet. A sorozat korábbi tagjait is Falcon-9 rakétákkal állították pályára, eddig öt alkalommal 10–10 példányt. Ezúttal az orrkúp alá a másik öt Iridium Next helyett az amerikai (NASA) és német (GFZ) együttműködésben épült GRACE Follow-On (FO) műholdpárost helyezték el. A kísérlet a rendkívül sikeres, nemrég azonban végleg befejeződött GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) utódja, tudományos programjának folytatója lesz. A GRACE FO holdak is kötelékben, egymást 220 km-es távolságban követve keringenek majd a Föld körül alacsony, közel 500 km magas, majdnem pontosan poláris (89°-os hajlásszögű) pályán. Egymástól való távolságukat a GPS mellett nem csak a GRACE-nél alkalmazott mikrohullámú mód-

szerrel, de újszerű lézeres távméréssel is meghatározzák. A két műhold mint próbatest mozgásából a Föld gravitációs potenciáljára, annak finom változásaira tudnak következtetni a kutatók. A tudományos programban a geofizikai alkalmazások mellett a jégtakaró, a gleccserek, az óceáni áramlások, a nagyobb tavak és folyók, a talaj víztartalma évszakos és hosszabb távú változásait tudják követni, a jelenségek pedig összefüggenek a földi éghajlat változásával. A GRACE FO méréseik pontossága a várakozások szerint jó egy nagyságrenddel meghaladja majd az eredeti GRACE párosét. A küldetés tervezett élettartama 5 év (de az eredeti GRACE-é is ennyi volt, mégis közel háromszor tovább bírta).

Rogozin a Roszkosmosz élén.

Dmitrij Rogozin Igor Komarovot váltja az orosz űrtevékenységet vezető állami vállalat élén. Komarov 2015 óta töltötte be a Roszkosmosz vezetői pozícióját, amikor a korábbi



szövetségi űrügynökséget 100%-os állami tulajdonú vállalattá szervezték át. A negyedik elnöki ciklusát kezdő Vlagyimir Putyin által a Roszkosmosz élére frissen kinevezett Dmitrij Rogozin az elmúlt hat évben miniszterelnök-helyettesi posztot töltött be az orosz kormányban, s ebben a minőségében ő felügyelte a védelmi ipart és az űrszektor. A Roszkosmosz szervezeti átalakításának kormányzati levezénylése és az orosz űrszektor konszolidálása mellett Rogozin neve összefonódott a távol-keleti Vosztocsnij űrközpont építésével. Ezt a projektet jelentős költségtúllépések és késések fémjelezték az elmúlt években.

2018. június

Három űrhajós és egy csomag Pille. Bajkonurból egy orosz, egy amerikai és egy német űrhajóssal elindult a Nemzetközi Űrállomás (ISS) felé a Szojuz MSZ-09 űrhajó. Magyar sugárdózis-mérő műszert is visznek magukkal. Az űrhajót egy Szojuz-FG hordozórakéta állította pályára a kazahsztáni Bajkonurból, június 6-án. A Szojuz MSZ-09 parancsnoka a 43 éves orosz Szergej Prokopjev, aki most indult első űrrepülésére. Ugyancsak újonc az amerikai Serena Auñón-Chancellor (42). Az Európai Űrügynökség (ESA) képviselőjében a német Alexander Gerst (42)

tart az ISS-re, ő korábban már végrehajtott egy fél éves programot az űrállomáson. Mindhárman az ISS 56. számú állandó személyzetéhez csatlakoznak. Gerst az ISS következő személyzetváltása után az 57. legénység parancsnoka lett – az ESA űrhajósai közül másodikként irányítva az űrállomáson dolgozókat. Gerst kutatási programja az ESA-nál a Horizons (látóhatárok) nevet kapta. Benne több mint 50 európai kísérletet hajtanak végre az egyedülálló súlytalansági „laboratóriumban”, az ISS fedélzetén.

A Szojuz MSZ–09 repülésének magyar vonatkozása, hogy vele repült az ISS-re az MTA EK által fejlesztett és elkészített Pille dózismérő rendszer – immár a harmadik. Az új Pille kiolvasó a 2003 óta a Zvezda modulban szolgálatot teljesítő kiolvasó egységet fogja leváltani. A csomag újabb öt darab Pille dózismérőt is tartalmaz, így a fedélzeten használt Pille dózismérők száma 17 darabra nő. A Pille legelső változatának a fejlesztése éppen 40 évvel ezelőtt kezdődött. (A Pille részletei és története iránt érdeklődőknek ajánljuk mostani Évkönyvünk egyik, a fejlesztésben részt vevő szakemberek által írt cikkét.)

Porvihar miatt elnémult az Opportunity. A veterán marsjáró alig kap napfényt, így nem tud elektromos energiát termelni: az óráján kívül mindent lekapcsolt. A NASA Opportunity marsjárója már 14 évvel tovább működik, mint az eredetileg tervezett 90 napos üzemideje a Marson. Már csak ezért is nagyon hozzáért a földi irányítók szívéhez, akik most aggodalommal követték végig, ahogy az elmúlt időszakban rohamosan csökkent a marsi légkör átlátszósága. A vihar első jeleit május 30-án észlelték, azóta gyors ütemben került a por a marsi légkörbe, a jelenség kiterjedt is vált a bolygón. A szakemberek optimisták, szerintük a porvihar elültével újra bejelentkezik majd a múlt hét elején elhallgatott Opportunity. De már az eszköz korából adódóan is csak akkor lélegeznek majd fel, ha végül újra fogják majd a rover rádióüzeneteit. (Ez 2019. februárjáig sem történt meg, a NASA befejezettnek nyilvánította a küldetést.)

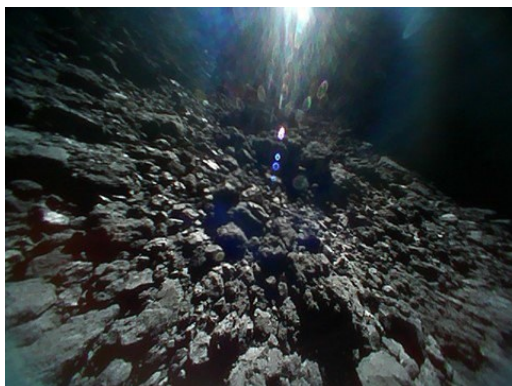
A vihar kezdetekor a napelemek 645 Wh energiát termeltek egy nap alatt. Két nappal később ez lement 345 Wh-ra, majd a következő napon 133 Wh-ra. Június 8-án fel kellett függeszteni a tudományos programot, két nap múlva pedig az Opportunity utolsó üzenete alapján csupán 22 Wh volt a napi energiatermelés. Ilyen alacsony értéknél az űreszköz biztonsági üzemmódba kapcsol, minimalizálja a fogyasztását. Minden berendezés, a rádióadó is kikapcsol, egyedül a fedélzeti óra jár tovább. Az energiatakarékos üzemmódban a fedélzeti számítógép időnként el-

lenőrzi az akkumulátorok töltöttségét, és csak akkor éleszti fel a rendszereket, ha a töltés elegendően nagy.

A 2018-as porvihar meglehetősen heves, lényegében éjszakai sötétség borult a tájra, ahol a marsjáró dolgozik. Míg a 2007-es globális porvihar esetén 5,5-es optikai mélységet mértek, most ez az érték a 11-et is elérhette június 6-án. A Mars más, távolabbi területén dolgozó, energiáját radioaktív termoelektromos generátorral előállító újabb NASA-rover, a Curiosity munkáját a mostani porvihar nem hátráltatta.

Célhoz ért a Hayabusa-2.

A japán űrszonda június 27-én megközelítette célpontját, a Ryugu kisbolygót, amelyet először tüzetesen megvizsgál, majd minztát hoz belőle a Földre. A Hayabusa-2 2014 decemberében indult el a földközeli kisbolygó meglátogatására, de egy évvel később visszatért bolygónk közvetlen közelébe. Az akkori gravitációs lendítő manőver állította végül arra a pályára, amelyen most megközelítette a Ryugu nevű kisbolygót.



A szonda megkezdte a tudományos megfigyeléseit és az égitest feltérképezését a majdani mintavétel helyének meghatározására. A mostani randevú a Földtől 280 millió km-es távolságban történt.

A Hayabusa-2 a távérzékeléssel végzett megfigyelésain túl először két MINERVA-II (Micro-Nano Experimental Robot Vehicle for the Asteroid) robotot juttatott az égitest felszínére, szeptember végén. Az egységek átmérője kisebb, mint egy tányéré, 17 cm. A hengeres alakú testek magassága 7 cm, tömegük alig haladja meg az 1 kg-ot. Lebocsátásukkor a Hayabusa-2 anyaszonda 55 m-re közelítette meg a Ryugu felszínét. A kis egységeket úgy tervezték, hogy miközben kameráik dolgoznak, a felszín elérése után visszapattanjanak. A közeledés sebessége kb. 30 cm/s volt. A kisbolygón a felszíni nehézségi gyorsulás mintegy 80 ezerszer kisebb, mint a Földön, így ott nem nehéz „ugrálni”.

Október elején sorra került egy európai építésű leszállóegység, a MASCOT (Mobile Asteroid Surface Scout) leengedése is. A cipősdoboznyi méretű MASCOT fedélzetén kamera és tudomá-

nyos mérőműszerek voltak. Egy harmadik MINERVA-II robot pedig 2019-ben érheti el a Ryugu felszínét. Ha minden jól megy, a mintahozó küldetés 2019 decemberében hagyja el a Ryugu környezetét és a begyűjtött értékes felszíni anyagot 2020-ban juttatja el a Földre.

2018. július

ESA üzleti inkubátorház nyílt Budapesten. A létesítmény ünnepélyes megnyitójára július 2-án került sor az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpontjában. Az eseményt megtisztelte jelenlétével Johann-Dietrich Wörner, az ESA főigazgatója, aki beszédében hangsúlyozta az űrkutatásban kifejlesztett eszközök, anyagok és módszerek társadalmi-gazdasági hasznosításának fontosságát. Magyarország 2015 óta az ESA teljes jogú tagja. Hazánk belépésével 2016 végén új taggal bővült az ESA technológia transzfer hálózata is, amely egész Európában azon dolgozik, hogy az űrtechnológiai fejlesztéseket más, nem űripari területeken, így a mindennapi életben is hasznosíthassuk. Egy következő fontos lépésként most megnyitották a létesítményt, amely egyben az MTA üzleti inkubátorháza is.

A 2000-es évek elejétől az ESA Technológia Transzfer és Üzleti Inkubációs Iroda (Technology Transfer Programme Office, TTPO) olyan vállalkozásokat keres, amelyek innovatív ötletekkel állnak elő az űrtechnológiák alkalmazása terén, vagy olyan alkalmazások fejlesztésében, amelyek új termékeket és szolgáltatásokat hoznak létre nem űrkutatási területen. Az európai űrprogramok támogatásaként született számos technológiai újítás kulcsfontosságúnak bizonyult a földi piacok számára. Az űrből a földi környezetbe átültetett megoldások erősítik Európa tudásbázisát és versenyképességét, új start-up vállalkozások alapításához vezetnek, munkahelyeket és gazdasági növekedést eredményeznek. Az ESA üzleti inkubátorházainak célja, hogy munkahelyeket teremtsen és fejlessze a tagállamok regionális gazdaságát az ESA BIC programon keresztül. A cél az űrtechnológia földi hasznosításának elősegítése. A magyarországi üzleti inkubátorház – amely része az ESA európai hálózatának – évente 5, űrkutatáshoz kapcsolódó induló (vagyis 5 évnél nem régebben alapított) vállalkozásnak nyújt pályázati úton támogatást, 5 éven keresztül. (Vagyis összesen 25 vállalkozás lehet a program kedvezményezettje.) A projektek 50 ezer eurós vissza nem térítendő pénzbeli támogatása mellett helyszínt, üzletfejlesztési támoga-

tást és a hálózat kiterjedt kapcsolatrendszerét nyújtják a nyertes cégeknek. Segítenek a befektetők, hitellehetőségek felkutatásában, rendezvényeket, tréningeket szerveznek. A pénzt a cégek felhasználhatják befektetői bemutatkozáshoz való felkészülésükre, az első prototípus megalkotására, illetve üzleti terveik kidolgozására.

Négy Galileo műhold. Tara, Samuel, Anna és Ellen – e négy nevet viseli az európai Galileo navigációs műholdrendszer július 25-én, egy Ariane-5 rakétával a francia guyanai Kourou indítóhelyről egyszerre indított négy legújabb tagja. (A Galileo műholdakat évekkal ezelőtt különböző európai országokban rendezett gyermekrajzversenyek győzteseinek keresztnévei után nevezték el. A mostaniak a szlovén, szlovák, finn és svéd gyerekekre utalnak.)

A mostani volt a harmadik start, amelynek során egyszerre négy műhold állt pályára az Ariane-5 rakéta erre a célra átalakított ES jelű változatával. Ebben a formájában utoljára használták az európai nagyrakétát. A Galileo további műholdjainak startját ugyanis a jelenleg még fejlesztés alatt levő Ariane-6 hordozórakétákra bizzák majd. A Galileo korábbi indításaikor két-két üreszköz jutott egyszerre közepes magasságú Föld körüli pályákra, orosz gyártmányú, de a dél-amerikai Kourou űrközpontból indított Szojuz rakéták segítségével. Összességében a mostani volt a tizedik Galileo start, ez 26 különböző műholdat jelent. Közülük a 2011-ben és 2012-ben felbocsátott első négy tesztműholdra (IOV, In-Orbit Validation) már a végleges konstellációban is számítottak, a teljes kiépítés fázisában (FOC, Full Operational Capability) a mostaniakkal együtt 22 Galileo műhold indult. (Kettő közülük nem érte el a kijelölt pályát.)

A Galileo műholdakat az Európai Bizottság megbízásából az ESA irányítása alatt építették és indították. A gyártó űripari konzorcium vezetője a német OHB Systems cég, a hordozórakétát a francia Arianespace szolgáltatta. A jól ismert és elterjedt amerikai GPS-hez hasonló feladatot ellátó, de polgári irányítás alatt működő európai Galileo 2016 decemberében indította kezdeti hely- és időmeghatározó szolgáltatását. A teljes kiépítettség eléréséhez 30 pályán levő (a globális lefedettséget biztosító 24 működő, plusz 6 működőképes tartalék) műholdra lesz szükség. Ezek kb. 23 ezer km magas körpályákon, három 56°-os hajlásszögű pályasíkokban lesznek elhelyezve. A Galileo navigációs rádiójeleinek használatára már ma is világszerte több mint 100 millió vevőberendezés alkalmas. A mostani start fordulópont

a rendszer történetében: még a szükséges tartalékok nélkül, de már globális szolgáltatásra készvé válik a Galileo.

2018. augusztus

Folyékony víz a Mars felszíne alatt. A szenzációs felfedezést az európai Mars Express űrszonda MARSIS radarjával tették. A „tó” a Mars déli pólusvidékén lehet. Hogy a Mars valamikor a régmúltban bőségesen rendelkezett folyékony vízzel, azt mára már számos bizonyíték alapján állíthatjuk. A bolygó felszínén kiszáradt folyómedreket fényképeztek a Mars körül keringő űrszondák. A keringő és leszálló űreszközök olyan ásványok jelenlétét mutatták ki, amelyek vizes környezetben keletkeztek. De a bolygó 4,6 milliárd éves története alatt drasztikusan megváltozott az éghajlat, a folyékony víz többé nem maradhat meg a felszínen az ott uralkodó körülmények mellett. Így a kutatók a felszín alá „néztek”. A folyékony vízre utaló jeleket az ESA Mars Express szondájának egyik egyedi berendezésével, a MARSIS (Mars Advanced Radar for Subsurface and Ionosphere Sounding) radarral vélték megtalálni. A Mars Express 2003 júniusában indult és 2018. december 25-én volt a 15 éves évfordulója, hogy a Mars körüli pályára állt.

A MARSIS két nagy antennáját csak 2005-ben nyitották ki. A radarberendezés korábbi eredményei szerint jelentős vízjégretegek húzódnak a bolygó felszíne alatt. Hogy lehet ott folyékony víz is a sarki jégsapkák alatt, azt régóta feltételezik a kutatók, de most sikerült rá az eddigi legjobb mérési bizonyítékot találni. Az eredményekről beszámoló tudományos közlemény a Science folyóiratban jelent meg.

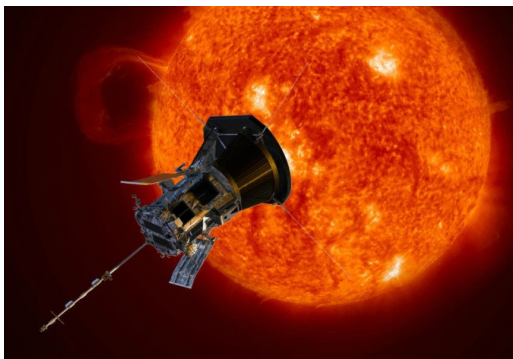
A jelenséget igazából a Földről is ismerjük: például az Antarktisz jégpáncélja alatt is vannak tavak. A nyomás növekedésével a víz olvadáspontja csökken. A Marson ráadásul a víz sőtartalma is nagy lehet, ami segít abban, hogy folyékony maradjon jóval 0 °C alatt is. A MARSIS adataival dolgozó kutatók kitartásának és új adatelemzési módszerek kifejlesztésének köszönhető, hogy a 2012. május és 2015. december között gyűjtött radar-mérések alapján sikerült felismerni egy kb. 20 km kiterjedésű zónát, ahonnan különösen erős radarvisszhangot detektálnak, amit folyékony víz jelenlétével magyaráznak. A jég- és porrétegek mintegy 1,5 km-es mélységig váltogatják egymást a déli pólusvidék ezen területén. Ezek alatt húzódik a feltételezett víztest, aminek a vastagsága minimum többször tíz centiméter kell le-

gyen, különben a berendezéssel nem tudták volna detektálni. A felszín alatti rétegeket feltérképező MARSIS működési elve, hogy az űrszondáról lebocsátott radarimpulzusok visszaverődését detektálja. A jel erősségéből a visszaverő felület anyagára, a futási idejéből pedig a réteg mélységére lehet következtetni.

Mivel a tanulmányban csak egy viszonylag kis kiterjedésű vizsgált régióról van szó, ahol a kb. másfél kilométer mélységben meghúzódó vízréteget találták, nem lehetetlen elképzelés, hogy máshol is lehetnek ilyenek a Mars felszíne alatt. A kutatók igazából egyéb helyeken is találtak már hasonló gyanús jeleket, de ezeket nehéz volt pályáról pályára reprodukálni, hiszen a mintavételezés, a felbontás sokszor változott. Épp a megbízható detektálás esélyének növelésére találtak ki új működési módot a MARSIS számára, amivel finomabb térbeli felbontást is el tudtak érni. A sokszor megismételt mérések vezettek a most publikált eredményre, ami – ha az adatok értelmezése helytálló – túlzás nélkül hatalmas lépés a Mars kutatásában és az esetleges ottani életfeltételek létére vagy nem létére vonatkozó vizsgálatokban.

Űrszonda, amely „megérinti a Napot”.

Elindult a NASA legújabb tudományos küldetése, a Parker Solar Probe. Az űreszköz augusztus 12-én egy Delta-4 Heavy hordozórakétával startolt a floridai Cape Canaveral Légitámaszpontról. A nagyteljesítményű rakétára azért volt szükség, mert a Földtől indulva Nap közelébe



jutni nem könnyű egy űrszondával. (A Delta-4 Heavy tolóerejét jelenleg csak a nemrég első repülését végrehajtó Falcon Heavy haladhatná meg, de évekkel ezelőtt, amikor kiválasztották a hordozóeszközt, az még csak a fejlesztés fázisában volt.) Sőt a kezdeti impulzus sem elég a vállalkozás teljesítéséhez, így a Parker Solar Probe útján a következő állomás a Vénusz lesz. Pályáját a belső bolygósomszédunk mellett október 2-án végrehajtandó gravitációs hintamanőverrel módosítják először (később még hat hasonló művelet következik). A szonda az első lendítő manőver után november 5-én jut első alkalommal a Nap közelébe. Ezzel kezdetét veszi egy 24 keringésből álló, 7 éven keresztül tartó sorozat, amely alatt egyre közelebb és közelebb kerül az űrszonda

központi csillagunkhoz. Egyébként már az első, idei napközelség is rekord a maga kb. 24 millió km-es távolságával: korábban, 1976 áprilisában az amerikai-német Helios-2 jutott 43 millió km-re a Naphoz.

Utolsó napközelsége alkalmával, 2025-ben a Parker Solar Probe 6 millió km-es távolságban repül el a Nap felszíne (pontosabban a fotoszférája) fölött. Ez a Nap és a Föld távolságának mindössze kb. 4%-a. Olyan közel lesz, hogy valójában a naplégkör forró külső részén, a napkoronán halad keresztül. A szonda túlélését fejlett hővédő rendszere hivatott biztosítani. Ennek feladata, hogy a fedélzeti műszereket legfeljebb 30 °C-os hőmérsékleten tartsa.

A Parker Solar Probe három fő tudományos célja a napkorona fűtési mechanizmusának kutatása, a töltött részecskékből álló napszél keletkezési körülményeinek vizsgálata és a koronakitörések okának felderítése. A tudományos kérdésekre adott válaszok nem csak a Nap vizsgálata szempontjából érdekesek, de támpontokat adhatnak a kutatóknak a távolabbi csillagok működésének jobb megértéséhez is. Nem is beszélve az űridőjárás jelenségeiről, amelyek itt a Földön és közvetlen környezetünkben kihatással lehetnek technikai civilizációnk mindennapjaira is. Az űrszonda a nevét Eugene Parkerről kapta, aki 1958-ban megjósolta a napszél létezését. A projekt összköltsége 1,5 milliárd dollár.

Pályán az európai „szeles műhold”. Az Aeolus Francia Guyanából állt alacsony Föld körüli pályára egy Vega hordozórakétával. Az ESA földmegfigyelő műholdja, az innovatív módszerrel a szelek sebességének mérésére készült Aeolus augusztus 22-én startolt a Kourou űrközpontból. A nevét Aioloszról, a szelek görög istenéről kapó űreszköz az ESA Earth Explorer műholdsorozatának tagja.

Az Aeolus fedélzeti tudományos műszere az Aladin (Atmospheric Laser Doppler Instrument), amely a lidar elvén működik: 355 nm-es hullámhosszú ultraibolya lézerimpulzusokat bocsát ki. A légköri aeroszlokról visszaverődő jeleket nagy (1,5 m átmérőjű) távcsőve segítségével detektálja, a jelek futási idejéből az adott légréteg távolságára, az eredeti hullámhossz Doppler-eltolódásából pedig a sebességére lehet következtetni. Az egész Földet heti ismétlődéssel tudják újra és újra felmérni. A műhold a légkör alsó kb. 30 km vastag rétegéről szolgál információval. Ha az újszerű módszer beválik, a földi légkörben fújó szeleket most először tudják majd az űrből, globális mértékben,

közel valós időben adatokat szolgáltatva feltérképezni. Az Aeolus ambiciózus programját nem kevesebb mint 16 éve készítik elő a szakemberek.

A szélmérő műhold egyedi hozzájárulást ad majd a föld-megfigyelő műholdak már működő flottájának méréseihez. Adatait a klímaváltozás tanulmányozásához és a rendszeres időjárás- és légszennyezettség-előrejelzések pontosításához is használják majd. Az Aeolus 320 km-es magasságú, 97° hajlásszögű (kvázi-poláris) napszinkron pályára kerül. Ez azt jelenti, hogy pályái megtétele során az Egyenlítő fölött mindig ugyanabban a helyi időben, a nappali és az éjszakai félteke határvonalán repül el. A szélméréseket az éjszakai oldal irányában végzi, míg energiatermelő napelemeit állandóan éri a Nap sugárzása.

Az Aeolus tervezett működési élettartama legalább 3 év. Alapesetben minden egyes pálya megtétele után, másfél óránként az adatait a távol északon, a Norvégiához tartozó Spitzbergakon telepített követőállomásra (Svalbard) sugározza le a műhold.

Lyukas Szojuz. Apró lyuk keletkezett az ISS Rasszvet moduljához csatlakozó Szojuz MSZ-09 űrhajó falán. Augusztus 30-án az űrállomás belső légnyomásának kis mértékű csökkenését észlelték a földi irányítók. Mivel az űrhajósok éppen



aludtak, és nem forogtak közvetlen veszélyben, inkább hagyták őket tovább pihenni. A tervezett időben történő ébresztés után aztán megkapták a feladatot, hogy keressék meg a nyomáscsökkenés okát. Végül meg is találták: a júniusban érkezett Szojuz űrhajó orbitális kabinjának falán egy 2 mm átmérőjű lyuk keletkezett, amin keresztül a világűrbe szökött a levegő. Ez a modul az, amely szükség esetén életteret biztosít az űrhajósoknak, amíg az ISS-t megközelítik a Föld körüli pályán. (Visszajövetelükkor nem itt, hanem a visszatérő kabinban tartózkodnak az utasok, az orbitális modul pedig leválik és megsemmisül a sűrű légkörben.)

Azóta sem teljesen világos, mitől keletkezett a lyuk a Szojuz űrhajó falán. Először egy kis mikrometeorit vagy egy mesterséges eredetű űrszemétdarab nagy sebességgel való becsapódására gyanakodtak, de a lyuk szemrevételezésével úgy tűnt, mintha

fűróval keletkezett volna. Közben a levegő szivárgását természetesen meg kellett állítani. Az űrhajósok először egy Kapton ragasztószalaggal „foltozták be” a pici lyukat. Később a földi irányítók javaslatára egy epoxigyantába áztatott szövetdarabbal pótolták az első ideiglenes tömítést. A művelet sikerült, a levegővesztés megszűnt. Az űrhajósok tehát biztonságban voltak, az ISS belső légnyomását pedig a normális értékre növelték, a legutóbbi Progressz teherűrhajó által felszállított levegőtartály tartalmát igénybe véve.

Az orosz Roszkoszmosz szakemberei megkezdték az eset kivizsgálását. A Szojuz MSZ–09 utasai végül december 20-án tértek vissza a Földre. Ekkor az orbitális modul megsemmisült, de előtte egy szokatlan űrséta során két orosz űrhajósnak sikerült kívülről is szemügyre venni és dokumentálni, miután széttrancsírozták fölötté a szigetelő borítást.

2018. szeptember

Magyarok a Hold körül. No nem emberek, hanem mérőműszerek, de így is szenzációs a hír, hogy az MTA EK munkatársai bekapcsolódhatnak a NASA Orion űrhajója Hold körüli repülésének programjába. Az Űrdozimetriai Kutatócsoport passzív dózismérő detektoraival meghívást kapott a NASA készülő új űrhajójának első, egyelőre emberek nélkül végzendő repülésének tudományos programjában való részvételre. A Hold körüli próbarepülésére (Exploration Mission–1, EM–1) várhatóan 2020-ban kerül sor. Az Orion EM–1 küldetés közel három hétig tartó Hold körüli repülést követően tér vissza a Földre.

A csoport munkatársai hasonló detektorokkal már 2001 óta részt vesznek a Nemzetközi Űrállomáson végzett kozmikus sugárzási és dózismérésekben. A Német Repülési és Űrkutatási Központ (DLR) vezetésével 2009-ben indult DOSIS, valamint 2012-től DOSIS-3D program keretében végzett vizsgálatok az európai Columbus modul dózistérképezését szolgálják. A magyar szakemberek a kezdetektől fogva részt vesznek a programban, amely a tervek szerint egészen az ISS üzemidejének végéig, azaz 2024-ig folytatódik.

Az eredményes DOSIS-3D együttműködésnek köszönhetően az MTA EK meghívást kapott a NASA MARE (MATROSHKA AstroRad Radiation Experiment) kísérletében való részvételre. A kísérletben az űrhajósok helyére egy-egy antropomorf – azaz emberszerű – női fantomot helyeznek el, melyeket különféle passzív

és aktív dózismérőkkel látnak el a fantom felszínén és annak belsejében. Az egyik fantom az izraeli StemRad cég által fejlesztett AstroRad sugárvédelmi mellényt fogja viselni, így annak árnyékolási képességeit éles küldetésben is vizsgálhatják.

ICESat-2: új jégmérő műhold. A NASA földmegfigyelő mesterséges holdjának neve, az ICESat-2 egy betűszó, a teljes név Ice, Cloud, and land Elevation Satellite-2, vagyis a jégtakarót, a felhőzetet és a szárazföldi felszín magasságát mérő műhold. Az első három kezdőbetű azonban ugyancsak kiadja az angol ice, vagyis jég szót, utalva az űreszköz legfontosabb feladatára. A NASA 1 milliárd dolláros földmegfigyelő műholdjának nevében a 2-es szám pedig arra utal, hogy a 2003 és 2010 között sikeresen működött ICESat küldetésének folytatására készítették.

Az ICESat-2 szeptember 15-én startolt a kaliforniai Vandenberg Légitámaszpontból. A hordozórakéta egy Delta-2 volt. Egy különleges alkalomról volt szó: az igen megbízható rakéta utoljára repült, többet nem gyártanak belőle, kivonják a használatból. 1989 óta, vagyis közel 30 éve állt az űrkutatás szolgálatában, korábban nem kevesebb mint 154 alkalommal indítottak vele űreszközöket.



Az ICESat-2 majdnem pontosan a pólusok fölött húzódó, 92°-os hajlásszögű, kb. 500 km magas pályáról végzi majd méréseit. Így akár 88°-os északi, illetve déli földrajzi szélességig képes feltérképezni a sarkvidéki jégtakarót. A pálya pontosan 91 napos visszatérési időt biztosít ugyanazon felszíni pontok fölé. A jég változásaira vonatkozó műholdas adatok, amelyeket az ICESat-2 nyújt majd a szakembereknek, kulcsfontosságúak a klímaváltozás kutatása szempontjából. Segítenek megbecsülni azt is, hogy mekkora tengerszint-emelkedés várható a jég olvadásának következtében.

Az időközben történt műszaki fejlődés lehetővé tette, hogy az elődjéhez képest az ICESat–2 még pontosabb lézeres magasságméréseket végezzen. Hasonló céllal működő műholdja híján a NASA repülőgépről végzett mérési kampányok (Operation Ice Bridge) segítségével hidalta át az adathiányos éveket. Ezek a mérések igazolták, hogy az első ICESat által 2009-ig követett trend, az Antarktisz és Grönland jégtakarójának általános fogyatkozása a partvidékek mentén később is folytatódott, sőt helyenként fel is gyorsult. Ugyanakkor a műholdas módszer előnye az egységes lefedettség és a sűrűbb időbeli mintavétel. A kutatások jelentőségét érzékelteti, hogy az Antarktisz és Grönland területén található jégbe van fagyva bolygónk édesvízkészletének mintegy kétharmada. Ha mind elolvadna – amiről azért egyelőre nincs szó –, több tíz méterrel emelkedne meg a világóceán szintje.

Persze a jég már ennél sokkal kisebb mértékű olvadása is hatással van a földi klímát szabályozó komplex, jelenleg sem teljesen értett folyamatokra, mint például az óceáni áramlási rendszerekre. Az olvadás következtében emelkedő tengerszint pedig szigetországokat és a partok mentén épült településeket veszélyeztethet a jövőben. Ugyancsak műholdas mérések alapján – a TOPEX/Poseidon és a Jason sorozat – jóvoltából tudjuk, hogy 1993 és 2017 között az átlagos tengerszint-emelkedés 77 mm volt.

Az ICESat–2 műholdat a Northrop Grumman Innovation Systems (korábbi nevén Orbital Sciences) építette, starttömege 1515 kg. Hajtóanyagkészlete akár 10 éves működéshez is elegendő lehet. Az elsődleges küldetés egyelőre 3 évre szól, az esetleges folytatásról később dönthet a NASA. ATLAS (Advanced Topographic Laser Altimeter System) nevű fő műszere a NASA Goddard Űrközpontjának – a technikai nehézségek miatt két évet csúszott – fejlesztése. Az ATLAS másodpercenként tizezernyi lézerimpulzust küld a felszín felé, a visszavert és a műhold fedélzetén detektált jelek futási idejéből számítják ki a felső jégfelszín távolságát. A jelek kibocsátása és detektálása kb. 3 ezredmásodperc alatt zajlik le. A műszer pontossága lehetővé teszi akár évente fél centiméteres felszínváltozás kimutatását is.

A hetedik japán teherűrhajó. A HTV–7 szeptember 22-én indult a Nemzetközi Űrállomás felé egy H–2B hordozórakétával, Tanegashima szigetéről. A Japán Űrügynökség (JAXA) teherűrhajó-sorozatában (HTV, H–2 Transfer Vehicle, más néven Kounotori, magyaros írásmóddal Kónotori; jelentése fehér golya) ez a mostani a 7. számú példány. Az előző, HTV–6 jelzésű teher-

űrhajó 2016 és 2017 fordulóján járt az ISS-nél. A HTV-k Japán hozzájárulásának egyik fő elemét jelentik az ISS programjához. A közel 10 m hosszú, 4,4 m átmérőjű, hengeres testű HTV tömege rakomány nélkül 10 és fél tonna. Hermetikusan zárt, nyomás alatt levő rakterében 4,5 tonnányi, külső részén további 1,5 tonnányi hasznos terhet képes magával vinni az ISS-re. A HTV-eket a szigetországban tervezték és építették. Mintegy 6 tonnás kapacitásával ez a jelenleg elérhető legnagyobb teherszállító űrhajótípus. A HTV-7 fedélzetén, a hermetizált raktérben a megszokott ellátmány (az űrhajósoknak szánt élelmiszerek és használati tárgyak) mellett helyet kaptak kísérleti berendezések és minták. Három apró japán CubeSat is bekerült a rakományba, ezeket később az űrállomás fedélzetéről állítják majd önálló pályára. A HTV-7 külső rakodótérben utaztak fel az ISS régi akkumulátora-inak cseréjére szolgáló új Li-ion egységek, összesen hat darab.

A teherűrhajó magával vitte a HSRC (HTV Small Re-entry Capsule) nevű eszközt is. Ez a kis kapszula a program befejezése idején kapott szerepet, épségben szeretnék volna visszahozni a felszínre. A japán teherűrhajók – megpakolva az űrállomáson már feleslegessé vált dolgokkal – általában a Csendes-óceán déli része fölött lépnek a sűrű légkörbe, ahol megsemmisülnek. A HSRC miatt most ezt a műveletet a Csendes-óceán északnyugati részénél hajtották végre novemberben. A kis egységet mintegy 300 km magasságban, távirányítással kibocsátották a megsemmisülés előtt álló HTV-7-ből. A 3D-nyomtatású fűvókákkal felszerelt, összesen 20 kg tömeg befogadására alkalmas kapszula, belsejében néhány, az ISS-en előállított kísérleti mintával a vízbe érkezett le, ahonnan egy hajó fedélzetére emelték, majd repülőgéppel szállították tovább.

2018. október

Szojuz MSZ-10: sikertelen start. Október 11-én Bajkonurból elindult a Nemzetközi Űrállomásra a legújabb orosz űrhajó, ezúttal csak két utassal a fedélzetén – de nem érték el a Föld körüli pályát. A Szojuz MSZ-10 parancsnoka az orosz Alekszej Ovcsinyin, társa az amerikai Nick Hauge volt. Mindketten az ISS 57. számú állandó személyzetéhez csatlakoztak volna. Bár a Szojuz űrhajók három személyesek, az orosz Roszkoszmosz korábban úgy döntött, hogy takarékosági okokból két űrhajós helyett csak egyet küld az űrállomásra. A fő ok, hogy az új orosz tudományos kísérleti modul (Nauka) indítása tovább késik, így az űr-

hajós nem is tudná elvégezni, amire kiképezték, hiszen még nincs hol végrehajtania a kísérleteket.

Az általában igen megbízható, az emberes Szojuz űrhajók felbocsátására szolgáló orosz Szojuz-FG hordozórakéta ezúttal nem teljesítette a feladatát. Ovcsinyin és Hauge végül a kazahsztáni Dzseszkazgan közelében, a starthelytől kb. 400 km-re, kényszerleszállással fejezték be balul sikerült űrrepülésüket.

Október végére le is zárult a Roszkoszmosz vizsgálata. A Szojuz MSZ-10 repülését a földről való felemelkedést követő 119. másodpercben kellett megszakítani, amikor az első fokozatot alkotó négy segédrakéta egyikének leválása nem úgy történt meg, ahogy kellett volna. A kiürült egység nekiütközött a Szojuz-FG második fokozatának, sérülést okozva annak alján, destabilizálva az egész szerkezetet. Ez automatikusan aktiválta a mentőrendszert.

A Szojuz űrhajó vészhelyzetek kivédésére szánt rendszerei szerencsére jól működtek. Az esemény ritkaságára jellemző, hogy legutóbb 1983-ban volt vészhelyzet a Szojuz korabeli változatával, akkor tűz ütött ki a startállásban. Vlagyimir Tyitov és Gennagyij Sztrekalov akkor 17g terhelést kellett elszenvedjenek, miközben a mentőrendszer eltávolította kabinjukat a rakéta tetejéről. A mostanihoz hasonló incidens egy esetben, 1975-ben történt. Akkor a rakéta második és harmadik fokozata nem vált el. Vaszilij Lazarev és Oleg Makarov akkor közel 1600 km-rel arébb, az Altáj-hegységben ért földet, ugyancsak szerencsésen. A Szojuz programjának két halálos kimenetű balesete 1967-ben, illetve 1971-ben nem az indításhoz, hanem a Földre való visszatéréshez köthető. A balsikerű októberi start felborította a Szojuz űrhajók következő repüléseinek és az ISS-en folyó munka menetrendjét is.

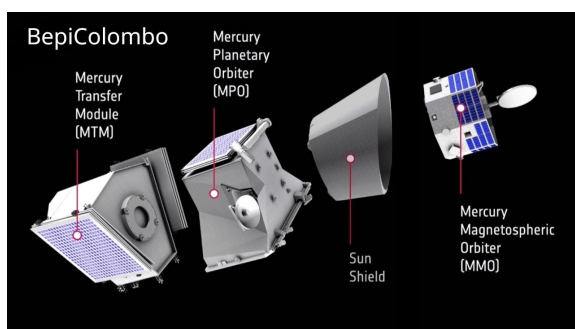
Úton a BepiColombo. Francia Guyanából elindult hosszú és kalandos útjára az európai és japán együttműködésben – és magyar részvétellel – készült „dupla” Merkúr-szonda. A BepiColombo egy Ariane-5 hordozórakétával startolt a Kourou űrközpontból, október 20-án. Az űrszonda célpontja a Merkúr. A Naprendszer legbelső bolygója körül 2025-ben áll majd pályára két külön egység, az európai MPO (Mercury Planetary Orbiter) és a japán Mio (másik nevén Mercury Magnetospheric Orbiter, MMO). Mind az európai, mind a japán Merkúr-szonda elkészítéséből és tudományos programjából magyar mérnökök és kutatók is kivették a részüket. (Ennek részleteiről egy külön cikkünkben olvashatnak.)

A mintegy négy tonna tömegű, négy részből álló űreszköz a tervek szerint bonyolult pályát követve, 2025. december 5-én érkezik meg a Merkúr-hoz. A szükséges hajtóanyag-mennyiség minimalizálása miatt tart

ilyen sokáig az út: a mérnökök kilenc gravitációs hintamanővert is beleiktattak az útvonalba, melyek újabb és újabb lendületet adnak a szondának. A hintamanőverek elméleti megalapozását Giuseppe (Bepi) Colombo (1920–1984) olasz matematikus és asztrofizikus fektette le, akiről a szondát elnevezték. A manőverek a BepiColombo esetében előbb a Föld, majd kétszer a Vénusz, végül hat alkalommal a Merkúr gravitációs terét használják ki. A Merkúr körüli pályára állás után a tervek szerint a küldetés egy évig fog tartani, amit remélhetőleg sikerül meghosszabbítani még egy évvel.

A Naphoz legközelebbi bolygót eddig csak két NASA űrszondának, a Mariner-10-nek és a MESSENGER-nek sikerült megközelítenie (de csak ez utóbbi állt pályára a Merkúr körül). A Naphoz ilyen közel nem csupán a napsugárzás erős (a Merkúr Naphoz közeli oldalán a Földön mérhető besugárzási energiának több mint tízszeresét kitevő a terhelés), de a szonda rendkívüli hőmérséklet-ingadozásnak is ki van téve: a bolygó napsütötte oldalán a hőmérséklet a 430 °C-ot is eléri, míg az árnyékos oldalon –180 °C-ra hűl le.

Az ESA irányítása alatt valósul meg a Merkúr megközelítése az egymáshoz rögzített MMO, MPO szondák, az MTM (Mercury Transfer Module), valamint egy napárnyékoló (Sunshield) rendszerrel. A Merkúrhoz érve az egységek szétválnak, az űrszondák önálló irányítással állnak Merkúr körüli pályákra.



A Kepler vége. A NASA nevezetes űrtávcsövének elfogyott az üzemanyaga, 9 év működés után nem tudnak már több megfigyelést végezni vele. Az elsősorban exobolygók (vagyis távoli csillagok körül keringő bolygók) felfedezésére és vizsgálatára épített, rendkívül sikeresnek bizonyult űrtávcső 2009 márciusában állt pályára. Ami az exobolygókat illeti, a Kepler ún. tranzit módszerrel dolgozott, vagyis a bolygó elhaladásakor a mögötte levő csil-

lag fényében bekövetkező apró fényességcsökkenést mérte. A precíz fényességméréseknek azonban más fontos csillagászati alkalmazásai is voltak, akár a változócsillagok, akár a Naprendszer égitestjeinek kutatásában.

A Kepler a NASA Discovery programjának tizedik küldetése volt, elfogadásáról 2001 végén döntöttek. Abban az időben még száz alatt volt az ismert exobolygók száma. Hogy ilyen égitestek valóban léteznek, azt csak az 1980-as évek végétől tudták bizonyítani a csillagászok. Az akkori megfigyelési módszerek korlátaiból adódóan csak ún. forró Jupiterek, vagyis a csillagukhoz rendkívül közel, rövid periódussal keringő óriásbolygók váltak ismertté. Az általunk ismert élet hordozására az ilyen bolygók nem alkalmasak. A Keplertől azt remélték, hogy kisebb méretű és a csillaguktól távolabb keringő exobolygókat is felfedezhetnek vele. Mire 2009-ben az űreszköz pályára állhatott, már 300 körül járt az ismert exobolygók száma, közöttük immár a Neptunuszhoz hasonló méretűekkel is.

A Kepler beváltotta, sőt túl is teljesítette a hozzá fűzött reményeket: túlzás nélkül állítható, hogy forradalmasította az exobolygó-kutatás területét. (Exobolygókkal kapcsolatos újdonságokkal évkönyvünk külön cikkben is foglalkozik.) Az űrtávcső, fedélzetén egy 1,4 m tükörátmérőjű és 0,95 m-es nyílású Schmidt-távcsővel és a fókuszsíkban elhelyezett 42 CCD-detektorral a Hattyú és a Lant csillagképek irányában kijelölt kb. 100 négyzetfokos égterületet tartotta folyamatos megfigyelés alatt. Ebben az irányban egyrészt a Tejútrendszer sok csillaga látszik, másrészt a technikai korlátozások figyelembe vételével hosszú időn át tartó, zavartalan megfigyelésükre kínálkozott alkalom. Az űrszonda Nap körüli, 371 nap keringési idejű, a Földet követő pályára került.

A Kepler első bolygófelfedezéseit már 2010 januárjában bejelentették, ezek – a start óta eltelt rövid időre tekintettel – még forró Jupiterek voltak. 2011 végén kapta szárnyra a hírnév a Kepler-22b nevű bolygót, amely az első „szuperföld” volt, egy Naphoz hasonló csillag ún. lakhatósági zónájában keringve. (A kicsit félrevezető lakhatósági zóna kifejezés nem jelent mást, mint hogy a csillagtól való adott keringési távolságban elvileg megfelelők a körülmények a folyékony halmazállapotú víz jelenlétéhez.) 2014-ben meglett a Kepler-186f, egy a Földéhez hasonló méretű, egy M típusú vörös törpecsillag körül a lakhatósági zónában keringő bolygó is.

Az űrtávcső elsődleges programját 3 és fél évesre tervezték, de lehetőség volt a hosszabbításra. 2012 júliusában a Kepler térbeli helyzetének stabilizálására szolgáló négy lendkerék egyike meghibásodott. A kijelölt égterület megfigyeléséhez három is elegendő volt, de a következő elég hamar, már 2013 májusában felmondta a szolgálatot. Ezzel lehetetlenné vált az eredeti küldetés folytatása, de a felhasználók közösségével együttműködve az űrtávcső irányítói kitalálták a K2 nevet kapott programot. Ez lényegében ugyanannak az űreszköznek egy más típusú, a megmaradó lehetőségeket kihasználó „újraélesztése” volt. Az űrteleszkóp 83 napos időszakokon át tudott egy-egy adott területet vizsgálni.

A K2 küldetés 2014 májusában indult. További, szükségképpen rövidebb keringési idejű exobolygókat fedeztek fel ez idő alatt, de változatos csillagászati alkalmazásai voltak az adatainak. Akkoriban 2017–2018-ra tervezték a K2 végét, és az előrejelzés helytállónak bizonyult. A huszadik K2-kampányt megkezdtek ugyan, de már tudni lehetett, hogy nagyon kevés hajtóanyag maradt, így a továbbiakban nem tudják irányban tartani az űrteleszkópot. Legutoljára október 19-én került automatikusan biztonsági üzemmódba a Kepler-űrtávcső, a NASA október 30-án hivatalosan is lezárta a programot. Az eddig begyűjtött adatokkal a kutatók természetesen továbbra is dolgoznak, így még jó ideig várhatók tudományos eredmények a Keplertől.

A jelenleg ismert exobolygó-rendszerek száma október végén meghaladta a 3800-at, ezek közül 633-ban több bolygó is található. Az eredeti Kepler-küldetés nyomán 2327 exobolygó vált ismertté, a K2 termése 354 volt. Mivel az exobolygók felfedezéséhez az átvonulásokat mutató fénygörbéken túl további megerősítő mérésekre van szükség, ezek a számok még tovább növekednek majd. Közel 3000 jelöltet tartanak még számon a csillagászok, s egy részükről be fog igazolódni, hogy valóban bolygók. Függetlenül a konkrét számoktól, a Kepler felfedezései megmutatták, hogy a csillagok körüli bolygórendszerek igen elterjedtek. Becslések szerint a Tejútrendszer minden csillagára jut átlagosan egy bolygó.

2018. november



Miniszteri biztos az űrkutatás élén. November 1-jei hatállyal Ferencz Orsolyát űrkutatásért felelős miniszteri biztossá nevezte ki a külgazdasági és külügyminiszter. Május óta Magyarországon az új kormányzati struktúrában a külgazdasági és külügyminiszter a Kor-

mány űrkutatásért felelős tagja. A miniszteri biztos feladatkörébe tartozik, hogy gondoskodjon az űrkutatási tárgyú szerződések, a szükséges szabályozás kidolgozásával, a szerződések előkészítésével, egyeztetésével kapcsolatos feladatok ellátásáról. Felügyeli továbbá az űrkutatás fejlesztésére vonatkozó stratégiák, szakpolitikák összehangolását és megvalósítását, képviseli a Kormányt a hazai és nemzetközi űrkutatási szervezetekben és fórumokon, és tudományos-szakmai irányítást gyakorol az Űrkutatásért Felelős Főosztály tevékenysége felett. Ferencz Orsolya az ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék Űrkutató Csoportjának tudományos főmunkatársa. Szakterületei az elektromágneses hullámterjedés, a Föld és más égitestek elektromágneses környezetének vizsgálata, a magnetoszféra és az űridőjárás vizsgálata, whistlerkutatás.

Bealkonyult a Dawnnak. Űrtörténelmi rekordok, elsőségek, űrtechnikai bravúrok és lélegzetelállító képek után november 1-jén véget ért a NASA Dawn (Hajnal) szondájának 11 éves küldetése. Az űrszonda 2007 szeptemberében indult a kisbolygóöv két égitestje, a Vesta és a Ceres felé. A Hubble-űrtávcső jóvoltából már hozzávetőleges képet lehetett alkotni arról, milyen lehet a két aszteroida felszíne, de a nagy távolság miatt a legjobb felvételek is elmosódottak voltak. A Dawn 2011–12-ben a Vesta körül keringett, ahol krátereket, kanyonokat és hegyláncokat fényképezett le, majd 2015-től a Ceres következett, kriovulkánokkal és titokzatos fehér foltokkal, amelyek később sólerakódásoknak bizonyultak.

A Dawn küldetését többször is meghosszabbították, miközben meghökkentő eredmények születtek a fő kisbolygóöv két „óriásáról” (a Ceres és a Vesta együttes tömege a fő kisbolygóövben található összes anyag 45%-át teszi ki). Mostanra lassan el-

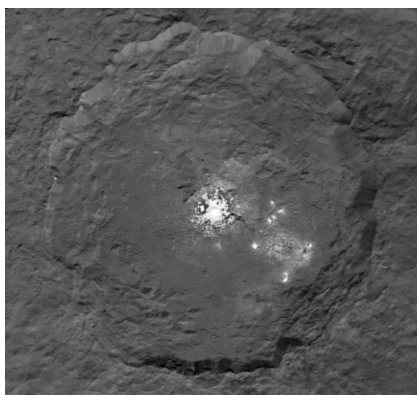
fogyott az űrszonda stabilizálásához szükséges hidrazin üzemanyag. Ha megszűnik a helyzetstabilizálás (a szonda pörgettyűi már korábban elromlottak, így azóta csak a fűvókák működtetésével lehetett stabil helyzetben tartani), akkor a kommunikációs antenna nem irányítható a Föld felé, így megszűnik a rádiókapcsolat. A napelemek sem fordulnak a Nap felé, így az energiaellátás is megszűnik, és a műszerek sem a Ceres felszíne felé fordulnak. A szonda természetesen még sokáig a Ceres körül fog keringeni, csak éppen hírt nem kapunk róla.

A műszaki eredmények közül mindenképpen a legfontosabb, hogy a Dawn volt az első űrszonda, amelyik pályára állt a fő kisbolygóöv nem is egy, hanem két aszteroidája körül. Ez volt az első űrszonda, amelyik egymás után két idegen égitest körül keringett. Ezt a különleges pályát és az ehhez szükséges manőverező képességet és kitartást a szonda ionhajtóműve tette lehetővé, egyúttal bizonyítva az ionhajtóművek létjogosultságát az űrkutatásban. Ionhajtóműve segítségével a Dawn 2011-ben érte el a Vestát, amelyet 14 hónapig a kisbolygó körül keringve vizsgált. Onnan több mint két évig tartó utazással érte el második célpontját, a Cerest, ahol 2015 óta gyűjti az adatokat. A Dawn méréseinek köszönhetően a kutatók bepillantást nyertek a Naprendszer korai időszakába, ami egyébként a küldetés fő célja volt (ezért is kapta a szonda a Hajnal nevet).

A Naprendszer hajnalának vizsgálatát a Dawn a 4,5 milliárd éves Vestánál kezdte. Feltérképezte az „igazi” bolygókra hasonlító kisbolygó krátereit. Kiderült, hogy északi félgömbjét a vártnál sokkal több nagy becsapódás érte, ami arra enged következtetni, hogy annak idején az eddig feltételezettnél több nagyméretű test lehetett jelen a fő kisbolygóövben. A Vesta más meglepetéseket is tartogatott. Bár technikailag kisbolygónak minősül, ennek ellenére felszíne geológiai értelemben gazdagnak és változatosnak bizonyult, amelyen a bolygókéhoz hasonló geológiai folyamatok mennek végbe. A később Rheasilviának elnevezett nagy, több mint 500 km átmérőjű és 19 km mély medence közepén emelkedő hegy a Hubble-űrtávcső képein is kivehető.

A Dawn térképezése nyomán kiderült, hogy a hegycsúcs kétszer olyan magas, mint a Mount Everest, így az Olympus Mons után ez a Naprendszer második legmagasabb hegye. Találtak egy másik nagy becsapódásos medencét is (Veneneia), amelyet részben eltakar a fiatalabb, „mindössze” 1 milliárd éves Rheasilvia. Emellett a felvételeken akkora kanyonokat találtak, amelyek mérete a Grand Canyonéval vetekszik, a legnagyobb 465 km hosszú és 4 km mély. A Dawn mérései azt is bebizonyí-

tották, hogy a Vesta a Földre hulló meteoritok egyik gyakori típusának fő forrása. A Vesta felszínén víztartalmú ásványokat is kimutattak, amelyeket az illékony anyagokban gazdagabb, a külső Naprendszerből érkező aszteroidák és üstökösök hozhattak a Vestára.



A Ceresen is meglepő felfedezéseket tett a Dawn. Mindenekelőtt a kutatók megtalálták az egykor az égitestet borító óceán kémiai nyomait. A feltűnő, világos foltokról kiderült, hogy sólerakódások, amelyek főleg nátrium-karbonátot tartalmaznak. Az anyag a kéreg alól előtörő, sós lavyakkal került a felszínre. Bebizonyosodott, hogy nemcsak az óriásbolygók jeges holdjain, például az

Enceladuson és az Európán lehettek valaha (sőt talán vannak jelenleg is) óceánok, hanem az úgynevezett törpebolygókon is, amelyek közé a Ceres is tartozik. A Dawn adatainak elemzéséből az derült ki, hogy a Ceres felszíne alatt most is előfordulhat folyékony víz, továbbá az égitest egyes területei még a közelmúltban is geológiailag aktívak voltak. Az egyik legmeglepőbb felfedezés az Ernutet-kráterhez kötődik, ahol nagy mennyiségben találtak szerves molekulákat, bár ez nem jelenti azt, hogy ezek a molekulák szükségszerűen biológiai folyamatokban jöttek létre. Elképzelhetőnek tartják, hogy a szerves anyag a Ceres belsejéből került a felszínre.

A NASA a Dawn esetében is követi a bolygóvédelmi eljárásokat, ezért a szondát olyan pályára állították, amelyen még évtizedekig a Ceres körül fog keringeni. Minthogy a Ceresnek nincs érdemleges légköre, ezért a szonda nem fékeződik, csak a gravitációs perturbációk módosíthatják pályáját.

A harmadik MetOp. Az alacsony pályás európai időjárási műholdak sorozatának harmadik tagja, a MetOp-C egy Szojuz rakétával indult Francia Guyanából, a Kourou űrközpontból, november 7-én. A közel 4,1 tonnás műhold végleges pályáját a Szojuz ST-B rakéta Fregat-M végfokozata segítségével alakították ki. A kb. 820 km magasan húzódó poláris (98,7°-os hajlásszögű) napszinkron pályára kerülő műhold építését és indítását az ESA koordinálta, az üzemeltetés és az adatok hasznosításának feladata pedig az európai műholdas meteorológiai szervezet (European

Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites, EUMETSAT) feladata lesz.

A sorozat első tagja, a MetOp-A még 2006 októberében, a második MetOp-B 2012 szeptemberében állt Föld körüli pályára, ahol – tervezett élettartamukon túl – azóta is rendben működnek. A legújabb műholddal biztosítható a mérések sorozatának folytatása abban az esetben is, ha az előregedő űreszközök előbb-utóbb már felmondják a szolgálatot. A MetOp műholdak segítségével a hőmérsékletre, a levegő páratartalmára, a légkör egyes összetevőire, az óceánok feletti szél sebességére vonatkozó adatokat gyűjtenek. Ezt az időjárás-előrejelző modellszámításokhoz és hosszabb időtávon a klíma változásának kutatásához tudnak hasznosítani.

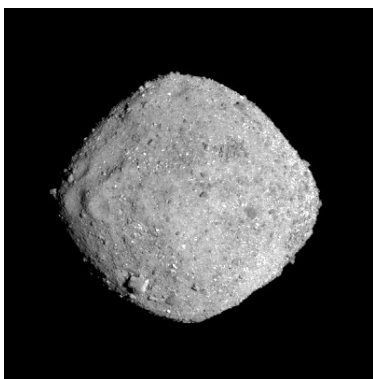


Az alacsony pályás MetOp holdak adatai jól kiegészítik a európai geostacionárius időjárás-műholdaknak, a Meteosat sorozat tagjainak az adatait. Az EUMETSAT együttműködik más nemzetközi meteorológiai szervezetekkel, például az amerikai NOAA-val a műholdas mérési adatok cseréjében. A pontos időjárás-előrejelzéseknek jelentős, sokszor nehezen számszerűsíthető társadalmi és gazdasági haszna van. Tanulmányok kimutatták, hogy az első két MetOp műhold révén a rövid, egy napos időtávú előrejelzések pontossága 27%-kal javult. A MetOp-C belépésével a rendszer működése várhatóan a 2020-as évek végéig biztosított. A még távolabbi jövőre gondolva már tervezik a MetOp következő generációját is, amely három műholdpárosból fog állni. Az első páros (MetOp-SG-A és -B) várhatóan a 2020-as évtized első éveiben indul.

Beidou műholdak Kínából. A kínai navigációs műholdrendszer 2018-ban rekordszámú, 18 új műholddal gyarapodott. November 18-án az év utolsó Beidou indítása páros volt, két közepes magasságú pályára szánt kínai navigációs hold állt pályára Hszi-csangból (Xichang) egy Hosszú Menetelés-3B rakétával. A legmodernebb Beidou-3 sorozatba tartozó űreszközök jelzése M17 és M18. Más számozással ezek a Beidou-42 és -43 műholdak.

A mostaniakhoz hasonló, közepes (kb. 21,5 ezer km-es) magasságú pályára kerülő műholdból ebben az évben ez volt a nyolcadik páros. Kína célja, hogy a 35 működő műholdból álló teljesen kiépített, a felhasználók számára globális lefedettséget kínáló rendszerük 2020-ra elkészüljön. Ennek érdekében 2019-ben is folytatódnak a startok, az ígéretük szerint legalább hat új műholdat bocsátanak fel. A 35 műhold zöme, 27 darab kering majd közepes pályákon, három különböző, az Egyenlítőhöz képest 55,5°-os hajlásszögű pályasíkokban. Öt másik Beidou hold geoszinkron, három pedig 55,5°-os hajlásszögű geostacionárius pályáról sugározza navigációs rádiójeleit, a felszín felett 36 ezer km-es magasságból.

2018. december



Megérkezett célpontjához az OSIRIS-REx. Az amerikai kisbolygókutató űrszonda megközelítette a Bennu kisbolygót, amelyet közelebbről megvizsgál és végül anyagmintát is hoz róla a Földre. A NASA OSIRIS-REx (Origins, Spectral Interpretation, Resource Identification, Security, Regolith Explorer) űrszondája több mint két éve, 2016. szeptember 9-én startolt. Egy évvel később, 2017 szeptem-

berében egy gravitációs hintamanőver erejéig visszaérkezett a Föld közvetlen közelébe. Ezzel célpontja, a Nap körül a bolygónkéhez közeli pályán keringő 101955 Bennu (korábbi ideiglenes jelölésével 1999 RQ₃₆) kisbolygó felé vette az irányt. Nemrég, augusztusban, 2,2 millió km távolságból már hazaküldte első felvételét a Bennuról, amelyen a kisbolygó még pontszerűnek látszott. Azóta egyre jobb és részletgazdagabb képek készültek a közel 500 m átlagos átmérőjű, 14 napos periódussal forgó, furcsa „szögletes” alakú égitestről.

A Bennu egy tipikus C típusú, szén-tartalmazó szilikátos összetételű kisbolygó, az Apollo-csoportba tartozik. A C típusú kisbolygók alkotják a kis égitestek legnépesebb osztályát, a becslések szerint a háromnegyedét. A Bennu kutatása két szempontból is nagyon érdekes. Egyrészt a Naprendszer keletkezésének időszakából származó, ősi anyagot őriz. A felszínét borító, szerves vegyületekben gazdag rétegből vett minta tanulmányozása révén a kutatók remélik, hogy közelebb jutnak a bolygórendszer keletkezésének, sőt talán az élethez szükséges „építőkövek” Földre kerülésének a megértéséhez is. Másrészt a Bennu azok közé a kisbolygók közé tartozik, amelyek néhány évszázadon (évezreden?) belül nagyon kicsi valószínűséggel ugyan, de akkor keresztezhetik a Föld pályáját, amikor bolygónk is épp ott van. Ezért a róla szerzett ismeretek végső soron bolygónk védelmében is hasznosulhatnak az utókor számára.

Az OSIRIS-REx a következő mintegy 500 napot a kisbolygó közelében a mintavételt előkészítő vizsgálatokkal tölti. Először jól körülnéz, távérzékelési módszerekkel felméri a terepet, majd a kutatók az adatok alapján kiválasztják a tervezett mintavétel-hez alkalmas felszíni pontot. Magára a mintavételre – legalább 60 gnyi anyag „felporszívózására” – a tervek szerint 2020 közepén kerül sor. Az űrszonda 2021-ben indul vissza a Bennu mellől, és a mintát tartalmazó kapszulát 2023. szeptember 24-én szállítja le a Földre. Ha mindez sikerül, ez lesz az első amerikai űrszonda, mely egy kisbolygóról származó anyagot hoz haza elemzésre.

ESEO és 63 másik. Egy seregnyi, a Rubik-kockától a hűtőszekrényig terjedő méterű kisebb műholdat állítottak pályára Falcon-9 rakétával. A SpaceX hordozórakétájának startjára december 3-án került sor a kaliforniai Vandenberg Légitámaszpontból. Az SSO-A (SmallSat Express) nevű repülést a seattle-i Spaceflight Industries cég szervezte, amely azzal foglalkozik, hogy egyszerre több kisebb műhold pályára állításához rakétaindításokat foglaljon le a világ minden táján. A névben az SSO a napszinkron pálya (sun-synchronous orbit) rövidítése. A mostani hasznos teherben 49 nanoműhold (CubeSat) és 15 valamivel nagyobb méretű mikroműhold kapott helyet. Érdekesség, hogy amerikai hordozórakétával ilyen nagy számú „társbérló” még sosem utazott. (Orosz, indiai rakétákkal ugyanakkor már több is.)

A sok között számunkra kétségtelenül a legfontosabb és legérdekesebb az Európai Űrügynökség (ESA) oktatási-képzési céllal épített diákműholdja, az ESEO (European Student Earth Orbiter) volt. Az ESA Academy irányításával történt műhold-

fejlesztés, -építés és -tesztelés meglehetősen hosszú, az ezredfordulóig visszanyúló múlttal rendelkezik. Egy évtizeddel az eredetileg tervezett start után az akkori diákok egy részéből már fiatal (űrkutatási) szakember lett. A munka azonban nem állt meg, így elkészülhetett az 50 kg-os mikroműhold. Nyolc ESA-tagország (az Egyesült Királyság, Észtország, Hollandia, Lengyelország, Magyarország, Németország, Olaszország, Spanyolország) tíz egyeteme és intézete vette ki részét a munkából. Az ESA számításai szerint a kezdetektől mintegy 600 egyetemi hallgató dolgozott a megvalósításon. Így a program igazából már azelőtt elérte elsődleges célját, az űripari szakembergárda kinevelésének elősegítését, mielőtt egyáltalán felbocsátották volna.

Az ESEO működése szempontjából alapvető fontosságú központi energiaellátó rendszer a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen (BME) készült. Ugyancsak a BME hallgatói fejlesztették a naptevékenység és a földi ionoszféra kapcsolatát vizsgáló Langmuir-szondát, egy plazmadiagnosztizáló műszert. A háromtengelyű szilícium detektoros űrdoziméter, a TRITEL pedig az MTA Energiaszervezet Kutatóközpont (EK) Űrdozimetriai Kutatócsoportjának munkája. Az űreszközzel egyrészt kipróbálják az olasz SITael cég eddigi legkisebb műholdplatformját, egy sor újszerű műszaki megoldást, másrészt a tervek szerint legalább fél éven át vizsgálják vele a Föld környezetét, közel 600 km magas poláris pályán. Amatőr rádiósok számára is sugároznak adást, és egy mikrokamera is helyet kapott a fedélzeten. Három követőállomását is egyetemek működtetik.

Úton a Hold felé a kínai szonda. A Csang'e-4 a második leszálló űreszköz Kínából a Holdhoz, az égitest tőlünk sosem látható oldalára szeretnék juttatni – az űrkutatás történetében először. December 7-én startolt egy Hosszú Menetelés-3B rakétával, a déli Szecsuan tartományban fekvő Hsziangból. Ugyanezen az indítóhelyen kezdődött Kínának a Hold kutatását célzó űrprogramja a Csang'e-1 űrszonda 2007-es startjával. Ez több mint egy éven át az égitest körüli pályáról végezte megfigyeléseit, feltérképezte a Holdat, majd végül a felszínébe csapódott. A Csang'e-2 2010 októberében állt pályára – mint a sorozat összes többi tagja, ez is Hsziangból. Eredetileg az első szonda tartalékának épült, annak feladatait folytatta. Még részletesebb méréseket végzett, nagyobb felbontású képeket készített a Hold körüli pályáról, a majdani leszállóhelyek kijelöléséhez szükséges információt gyűjtött. Dolga végeztével, mintegy ráadásként a Holdtól messze irányították, és 2012 vége felé „meglepetés-közelképeket”

készített a Toutatis kisbolygóról, alig több mint 3 km-es távolságból – miközben a Földtől 7 millió km-re tartózkodott.

A módszeresen felépített, egyre ambiciózusabb szondákat felvonultató kínai holdprogram következő lépése a Csang'e-3 indítása volt, szinte pontosan 5 évvel ezelőtt, 2013. december 1-jén. Az űreszköz sima leszállást hajtott végre a Holdon, és egy kis holdjárót (Jütu, Yutu) is magával vitt. Ez 1976, a szovjet Luna-24 óta az első ember készítette eszköz volt, amely ilyen leszállási műveletet hajtott végre. Bár a rover idő előtt meghibásodott és így nem tudott akkora távolságot megtenni, amekkorát reméltek tőle, az egy helyben maradó leszállóegység és a holdjáró műszereivel végzett mérések is sikeresek voltak.

A most indított Csang'e-4 programja valójában a 3-as számú szonda sikerén alapul. Az űreszköz építéséhez alapvetően a Csang'e-3 tartalék példányát vették alapul. Ugyanúgy egy leszállóegységet és egy holdjárót tartalmaz, de a tudományos műszerezettségét megújították. Az igazi „nagy dobás” azonban az, hogy az űreszköz a Hold túlsó oldalán éri majd el az égitest felszínét. Ezt eddig még soha egyetlen holdi űreszközzel nem kísérelték meg. Az árapályerők miatt bolygónk egyetlen holdja kötött keringést végez a Föld körül. Ez azt jelenti, hogy a tengely körüli forgásának periódusa megegyezik a keringési periódusával: miközben megkerül bennünket, a Föld felé mindig ugyanazt az „arcát” mutatja.



A Hold túlsó oldalát nem csak a szemünk és a távcsöveink elől rejti el a Hold kötött keringése. Az ott tartózkodó űreszközzel a közvetlen rádiós kapcsolattartás is lehetetlen. Ezért a Csang'e-4 sikeres programjának egyik alapfeltétele, hogy működjön egy adatátjátszó űrszonda, amely képes az információ-továbbításra a Hold túlsó oldala és a Föld között. Erre szolgál a májusban elindított Csüecsiao, amely a Föld–Hold rendszer L_2 Lagrange-pontja környékén, a Holdtól 65 ezer km távolságra állomásozik.

A Csang'e-4 kijelölt leszállóhelye a Von Kármán-kráter, amely a Déli-sarki Aitken-medence területén fekszik. Ez egy hatalmas, idős, becsapódásos eredetű medence (átmérője 2600 km, mélysége 13 km), ahol a Hold mélyebb rétegeinek geológiai vizsgálata is lehetővé válik. Az űrszonda tudományos feladatai

közé tartozik többek között a felszíni hőmérséklet folyamatos mérése, a közetek összetételének meghatározása, de például a kozmikus sugárzás, a napkorona vizsgálata, sőt alacsony frekvenciás rádiócsillagászati mérések végzése is. Ez utóbbihoz épp a Hold túlsó oldala és az égítést árnyékoló hatása teremti meg az ideális feltételeket, hiszen bolygónk környezetében bárhol más-hol közbeszólna a civilizációs eredetű rádiós háttérzaj.

A Csang'e-4 már újév után, 2019. január 3-án hajtotta végre sima leszállását a Hold túloldalán, így eredményeiről bővebben a jövőre megjelenő 2019-es Űrtan Évkönyvben számolunk majd be.

Új mérföldkő a GPS történetében. Pályára állt a jól ismert és világszerte használt amerikai navigációs rendszer legújabb műhold-generációjának első képviselője. A GPS (Global Positioning System) Block 3 sorozatának első tagja (GPS 3A-01) egy Falcon-9 hordozórakétával jutott a világűrbe, december 23-án. Ez egyúttal egy másik elsőség is, hiszen a SpaceX rakétája most először indított ilyen nemzetbiztonsági szempontból kiemelkedő jelentőségű űreszközt közvetlenül az Amerikai Légierő (U.S. Air Force) megrendelésére.

Az egyelőre 10 műholdból állóra tervezett Block 3A sorozat megépítésére a Lockheed Martin kapott megrendelést. További legfeljebb 22 űreszközt (Block 3F) is ők gyárthatnak majd, ezek 2026-tól indulhatnak. A Block 3A első hatos sorozatából 5 műhold pályára állítására a SpaceX nyerte el a megbízást. A több mint félmilliárd dollárba került műhold mintegy 20 ezer km magas, 55°-os hajlásszögű pályán működik majd. A következő GPS Block 3 műhold várhatóan jövő nyáron, egy Delta-4 rakétával indul. A starttal meg szeretnék várni a most felbocsátott új generációs űreszköz összes ellenőrzésének végét. A harmadik Block 3 hold ismét Falcon-9-cel indul, 2019 decemberében. A további startok kevesebb mint fél évente követhetik egymást, de ez még függ a műholdak tényleges üzembe állításának tempójától, a régebbi űreszközök elhasználódásától, így a menetrendet még nem véglegesítették.

A GPS rendszert a becslések szerint a Földön élő lakosság jelentős része, mintegy 4 milliárd ember használja valamilyen formában navigációra és időmeghatározásra. Legalábbis ennyi lehet a vevőberendezések száma. Nehéz a pontos számot megbecsülni, hiszen a rendszer olyannyira elterjedt – a járműnavigációtól kezdve az okostelefonokon át a banki tranzakciók pontos időbélyeggel való ellátásáig –, hogy túlzás nélkül kijelent-

hető: modern társadalmunk a megszokott formájában nem is működne nélküle. Az sem véletlen, hogy más nagyhatalmaknak – Oroszországnak, Kínának és Európának – saját globális műholdas navigációs rendszere van.

A mostani start során nem csupán a szokásos frissítésről van szó a műholdrendszer esetében, amelynek a korábban pályára állított tagjai a véges élettartamuk miatt egy idő után cserére szorulnak. A jelenleg 31 működő űreszközt számláló GPS további fenntartására immár a zavarásnak még jobban ellenálló, még biztonságosabb szolgáltatást nyújtó Block 3 műholdakat indítanak. A navigációs rádiójelek erősségét nyolcszorosára növelték, és a GPS Block 3 holdak megkezdik a polgári felhasználásra tervezett új L1C jelek sugárzását. Így a többi globális navigációs rendszerrel, például a Galileóval való kompatibilitás is javul. Jó időbe beletelik még ugyanakkor, amíg a felhasználók a fejlesztésekből javulást érzékelnek, hiszen egy fecske nem csinál nyarat, a Block 3 sorozat további tagjai nem egy-két éven belül váltják fel a régebbi GPS műholdakat.

Újdonságára való tekintettel a most felbocsátott GPS műhold előtt hosszú hónapos tesztek állnak. Ha mindennek vége lesz, a rendszer F jelű pályasíkjának 6. számú pozíciójában működő elődjének feladatát veszi át, SV74 jelzéssel. A leváltandó SV43-as régi GPS műhold egyébként a Block 2R sorozat második darabjaként indult, több mint 21 évvel (!) ezelőtt, jócskán túlteljesítve 7 és fél évesre tervezett eredeti aktív élettartamát. Az új Block 3 széria tagjainak névleges élettartama 15 év.

2018 a számok tükrében. Néhány érdekes statisztikai adat a világ idei űrtevékenységéről – a teljesség igénye nélkül. Az összefoglaló élére Kína kívánczik, az ázsiai országból 39 indítást hajtottak végre. Ez sokkal több, mint Kína eddigi éves rekordja, a 2016-ban elért 22 start. Még érdekesebb, hogy az indítások számában sikerült lefőzniük a hagyományosan vezető világhatalmakat, az Amerikai Egyesült Államokat (34 start) és Oroszországot (19 start). Az orosz összesítésbe beleértendő a kazahsztáni Bajkonurból, illetve a francia guyanai Kourou űrközpontból orosz rakétákkal végzett indítások is, ahogy az amerikaiakhoz hozzászámoltuk az új-zélandi területről, de az amerikai magánfejlesztésű Electron rakétákkal történt műholdfelbocsátásokat. Egy-egy kínai és orosz start is sikertelen volt, de ez a sorrenden nem változtat.

Európa neve mellett 8, Indiáé mellett 7, Japáné mellett pedig 6 start áll a 2018-as űrindítások táblázatában. Csupán a rakéta-indítások száma persze nem jellemzi hűen egy adott ország, űrügynökség vagy akár magánvállalat űrtevékenységének súlyát, hiszen léteznek kisebb és nagyobb űreszközök, alacsony pályára kerülő nanoműholdak és bolygóközi űrszondák is, amelyeket nem igazságos egy kalap alá venni.

Érdemes kiemelni az indítási számokból a SpaceX 2018-as teljesítményét. Elon Musk cége nem kevesebb mint 20 alkalommal használta Falcon–9 rakétáját, és nagy médiafigyelem mellett bemutatkozott a Falcon Heavy nehézrakéta is. Mint látható, a SpaceX egymaga teljesítette az amerikai űrindítások több mint 60%-át, és 2018-ban több startot hajtott végre, mint minden orosz hordozórakéta együttvéve.

Ha azt kérdezné valaki, hogy hány különböző űreszköz hagyta el a Föld felszínét, a válasszal már nagyobb bajban lennénk. Könnyű volna számba venni a Nemzetközi Űrállomás felé indított személyszállító és teherűrhajókat, a nagyobb műholdakat és űrszondákat, de szinte reménytelen munka volna pontosan összesíteni, hogy a rengeteg kisebb nano- és mikroműholdból mennyi került a világűrbe. Vannak olyanok, amelyek nem is rögtön, hanem később, például az ISS fedélzetéről önállósulnak. Egy biztosnak látszik: 2018-ban minden eddiginél több ilyen apróság jutott Föld körüli pályára – sőt a Marsot is elérte két, az InSight űrszondával együtt indított CubeSat –, és ez a tendencia az előrejelzések szerint folytatódik az elkövetkező években.

Figyelemre méltó, hogy utoljára 1990-ben volt az ideinél nagyobb számú űrindítás a világon. A 2000-es évek közepén elért minimum (évi 50 körüli start) után a növekedés többé-kevésbé egyenletes volt, de 2018-ban mintha ehhez a trendhez képest is megnövekedtek volna a számok. A következő egy-két év adatai mutatják majd meg, hogy ez egy felgyorsuló aktivitás kezdeteként vonul-e be az űrtörténelembe, vagy csupán egy egyedi kiugrás volt.

Az indítóhelyek „versenyében” 17–17 starttal fej fej mellett végzett az élen a floridai Cape Canaveral katonai bázis és a NASA Kennedy Űrközpontjának együttese, valamint a kínai Hszicsang. Sokszor végeztek még indításokat a kínai Csiucsüanból (15), és Kourou sem maradt le nagyon (11).

Pille 40 – egy korszakokon átívelő történet

Hirn Attila, Apáthy István, Csőke Antal, Deme Sándor

Magyar Tudományos Akadémia
Energiatudományi Kutatóközpont

2018-ban volt 40 éve annak, hogy a legismertebb hazai, űrben használt műszer, a Pille fejlesztése megkezdődött. A berendezés első példányát Farkas Bertalan vitte magával a Szaljut-6 űrállomásra. Különböző változataival azóta valamennyi állandóan lakott űrállomás fedélzetén végeztek méréseket, sőt az amerikai űrsikló fedélzetére is eljutott. Jelenleg a Nemzetközi Űrállomás (ISS) orosz szegmensében a szolgálati dozimetriai rendszer részeként üzemel. A történet pedig közel sem ért véget. Legutóbb 2018 nyarán jutott fel a Pille legújabb példánya, hogy az ott már 15 éve folyamatosan és megbízhatóan működő rendszert leváltssa. A tervek szerint a rendszer egészen az űrállomás élettartamának végéig, azaz legalább 2024-ig fogja szolgálni az orosz űrhajósokat az ISS fedélzetén. A rövid történeti áttekintés után a 2018. év fejleményeit, valamint a rendszer legújabb fejlesztéseit mutatjuk be.

Bevezetés

Mint minden sugárveszélyes munkahelyen, a Föld körül keringő vagy éppen a Föld körüli térséget elhagyó űrhajók, űrállomások fedélzetén is mérni kell a sugárzás dózisát, vagyis a dózisterhelést. Az űrhajósokat munkájuk során folyamatosan éri a galaxisunkból és a Napból érkező nagyenergiás, főként protonokból és nehezebb, teljesen ionizált atommagokból álló sugárzás. Ez a sugárzás a Föld felszínén mért, természetes eredetű háttérsugárzás intenzitásánál több mint két nagyságrenddel is nagyobb lehet, ráadásul az űrhajósokat nem csak munkavégzés közben, hanem pihenőidejük alatt is éri. A földi gyakorlatban sugárveszélyes munkahelyeken alkalmazott éves dóziskorlátok esetükben nem használhatók, mivel azokat garantáltan túllépnék; ehelyett az űrhajósok nemétől és életkorától függő életpálya dóziskorlátokat definiáltak az egyes űrügynökségek. Ezen korlátokat úgy határozták meg, hogy az ionizáló sugárzás okozta rosszindulatú daganatok kialakulásának kockázata az elfogadhatónál (jellemzően 3%) nagyobb mértékben ne növekedhessen meg. Ahhoz, hogy egy űrhajós dolgozhasson az űrállomáson, bizonyítani kell azt, hogy az űrhajós az életpálya dózist még nem érte el, illetve a soron következő küldetésére elegendő „tartalék”

áll rendelkezésre. Ez azt jelenti, hogy folyamatosan mérni kell annak a sugárzásnak a dózisát, ami őt éri. A világűrben az űrhajósokat érő sugárzás meglehetősen összetett, és a részecskék energiája több nagyságrendet átölel, ezen felül az űrállomások fedélzetén időben és helytől függően is jelentős mértékben változhat. A sugárzás egy része magában az űrhajó anyagában (sőt az űrhajós testében) keletkező másodlagos sugárzás. Ennek a nagyon összetett sugárzásnak a mérésére számos technikai megoldás létezik; a Pillénél ezek egyikét, a termolumineszcens dózismérést használjuk.

A termolumineszcens (TL) tulajdonsággal rendelkező, megfelelően adalékolt kristályos anyagok szerkezetükben az őket érő ionizáló sugárzás energiájával arányos energiát raktározhatnak el. Ez az energiamennyiség később, a kristályt felfűtve fény formájában felszabadul. A TL detektorok kalibrációjának ismeretében, a fény mennyiségét megmérve az elnyelt dózistra következtethetünk. Ezt a folyamatot kiolvasásnak nevezzük. A kiolvasás során a detektorokban tárolt dózisinformáció törlődik, így a detektor többször is felhasználható.

Az első Pille rendszerek

Már a 60-as, 70-es években használtak TL dózismérőket az űrhajósok dózisének nyomon követésére. Akkoriban az űrhajósok a magukkal vitt dózismérőket a küldetésük végeztével kiértékelésre visszahozták a Földre, ahol a kiértékelés meglehetősen nagyméretű, -tömegű és -fogyasztású kiolvasókkal történt. Ezen földi kiértékeléshez intézetünk elődje, a Központi Fizikai Kutatóintézet (KFKI) is szállított saját fejlesztésű berendezést annak a moszkvai intézetnek, amelyik az űrhajósok dozimetriájával foglalkozik. Ennek a megoldásnak egyik nagy hátránya, hogy az űrhajósok dózisát csak utólag, a teljes küldetésre vonatkozóan lehet meghatározni, így az nem alkalmas rövid időn belüli változások vizsgálatára, és az űrállomás dózistérképezésére (az annak egyes helyein jelentkező dózisterhelés összehasonlítására) is csak jelentős bizonytalanság mellett használható.

A Pille története 1978 nyarán egy telefonhívással kezdődött. A szovjet kollégák afelől érdeklődtek, lehetséges volna-e, hogy az első magyar űrhajós repülésére a földi berendezést is kifejlesztő KFKI Sugárvédelmi Osztálya egy fedélzeti termolumineszcens dózismérő rendszert készítsen. Ez a meglévő, laboratóriumi berendezéshez képest közel 20–30-szoros térfogat-, tömeg- és fogyasztáscsökkentést követelt, valamint azt, hogy az eszköz megfelelően a felbocsátás és a világűrben való üzemelés szigorú köve-

telményeinek (gyorsulás, vibráció, termikus környezet, elektromágneses zavarok, stb.). A kérésre a válasz igen volt. Néhány hét elteltével a magyar űrhajós tudományos programját előkészítő szovjet delegáció – magyarországi látogatása során, ezúttal már hivatalosan is – ugyanezzel a kéréssel fordult a KFKI főigazgatójához, azzal a kiegészítéssel, hogy a műszerrel 9 hónap alatt el kell készülniük! Szabó Ferenc főigazgató – a szakemberekkel egyeztetve – vállalta a rendkívül szoros határidőt, és a fejlesztői gárda teljes támogatását (alkatrészek speciális úton történő beszerzése, kiemelt műhelyhasználat) is biztosította. A munka mind a mechanikai, mind az elektronikai és dozimetriai fejlesztést magába foglalta.

A dózismérő rendszer tetszőleges számú dózismérőből és egy kiolvasó berendezésből áll. Műszaki megoldásként ún. búra dózismérők készültek; ezeknél minden egyes dózismérő (érzékelő) egy axiális kivezetőkkel ellátott, belül vákuumra szívott átlátszó üvegbúra, melyben a – BME által fejlesztett és gyártott – TL kristályok kis fűtőlapkára vannak ragasztva. Az üvegbúrákat a könnyű kezelhetőség érdekében tollszerű foglaltba, ún. kulcsba szerelik. Kiolvasásnál az űrhajós a kulcsot a kiolvasó készülékbe helyezi, ahol a kristályszemcsék felfűtése automatikusan megtörténik, a berendezés az általuk kibocsátott igen kis fénymennyiséget megméri, azt átszámítja dózissra, ami azután a kijelzőről leolvasható. A műszer végleges változata végül a kért határidőre elkészült és a teszteken gond nélkül megfelelt, majd átadásra került a szovjet partnernek.

Farkas Bertalan és Valerij Kubaszov a korábban tervezett 1979 májusa helyett 1980. május 26-án, magyar idő szerint 20:20-kor indult el a világűrbe a Szojuz-36 űrhajó fedélzetén, hogy csatlakozzon a Szaljut-6 űrállomáshoz. Farkas Bertalan gazdag tudományos kísérletcsomaggal érkezett a Föld körül keringő laboratóriumba. Ezek egyike volt a Pille rendszer, amely megalapozta, hogy kutatóintézetünk, illetve Magyarország az el-

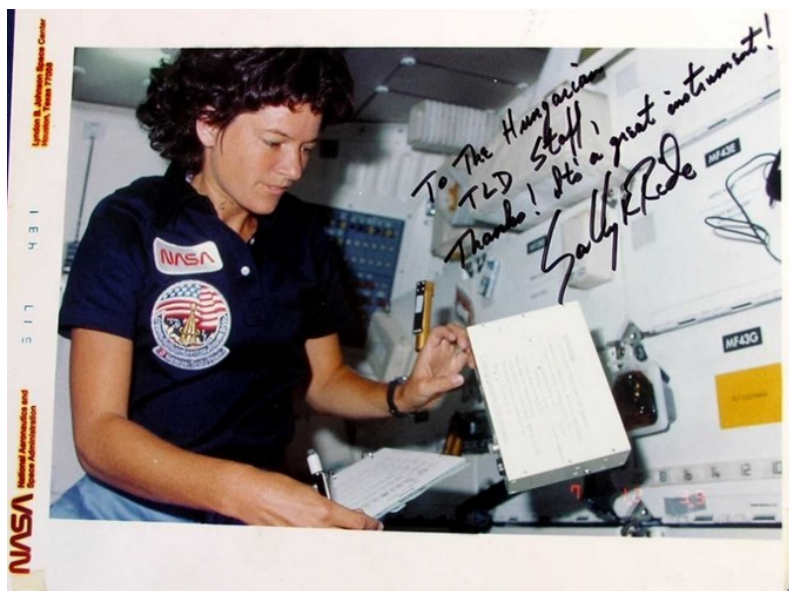


*1. ábra: Farkas Bertalan űrhajós
1980-ban, a Szaljut-6 űrállomás
fedélzetén végez méréseket
a Pille rendszerrel.
(Fotó: MTI)*

következő évtizedekben is fontos szerepet töltsön be a nemzetközi együttműködésben megvalósuló űrdozimetriai célú kutatásokban.

Farkas Bertalan repülését követően a Pille a Szaljut-6 űrállomás fedélzetén maradt. A Szaljut-7 űrállomásra így egy újabb Pille rendszer készült, ahol már az új típusú, saját tervezésű, párhuzamos kivezetésekkel rendelkező, máig is használt, Tungssram gyártású, végleges bűrákat alkalmazták. A rendszert az 1983. március 2-án startoló, Kozmosz-1443 jelű teherűrhajóval juttatták az űrállomásra.

1982 őszén, a Nemzetközi Asztronautikai Kongresszus alkalmával Sally Ride amerikai űrhajós is Budapestre látogatott, ahol megismerkedett a Pillével. A magyar dózismérő rendszer annyira megtetszett neki, hogy jelezte, szívesen végezne méréseket vele a világűrben. A 80-as évek elején, a csillagháborús terv időszakában ez eléggé problémás feladatnak tűnt. Végül mégis sikerült elérni, hogy a Challenger-6 (STS-41G) küldetés alkalmával a Pille egy akkumulátoros változatát magával vigye az űrsikló fedélzetére és ott 1984. október 5-13. között méréseket végezzen vele.



2. ábra: Sally Ride NASA-űrhajós 1984-ben, a Challenger űrsikló fedélzetén végez méréseket a Pille rendszerrel. (Fotó: NASA)

1986-ban aztán újabb űrtörténelmi különlegességre került sor. A Pillét, csupán néhány egyéb berendezés társaságában átszállították a Szaljut-7 űrállomásról egy másik, újonnan épült űrállomásra, a Mirre. Az átszállításra 1986 júniusában a Szojuz T-15 űrhajóval került sor. Ezen felül, az 1987. március 3-án startolt és két nappal később a Mirhez csatlakozó Progressz-28 teherszállító űrhajó további 16 Pille dózismérőt juttatott fel az űrállomás fedélzetére. A rendszer ezt követően katonai kezelésbe került, és a Pillének nyoma veszett. Az első generációs, még kis integrálású áramkörökkel épített Pille elektronikájának fejlesztői pedig időközben kiléptek a KFKI-ból.

A mikroprocesszoros Pille

Egy kisebb szünet után, a 90-es évek elején a KFKI AEKI Űrelektronikai Kutatócsoportban (a mai MTA EK Űrdozimetriai Kutatócsoport elődjében) – a BL-Electronics Kft.-vel együttműködésben – egy új, mikroprocesszoros Pille változat fejlesztése kezdődött meg. A dózismérő, valamint a mechanikai felépítés alapjai nem változtak, a gépészeti és dozimetriai tervezők személye is változatlan maradt. Ugyanakkor a jelentős elektronikai fejlesztésnek köszönhetően tovább nőtt a rendszer érzékenysége és pontossága, könnyebbé vált a kezelhetősége. A dózismérő egységbe (kulcsba) épített memória csipnek köszönhetően lehetővé vált a dózismérők automatikus azonosítása, a kiolvasóba helyezhető szabványos, cserélhető memóriakártya segítségével pedig a mérési eredmények és paraméterek automatikus tárolása. Egy, a kiolvasóban folyamatosan tartott dózismérő automatikus kiolvasása révén akár tízperces időfelbontású adatsorokat is lehetett mérni. A kiolvasó készüléket közvetlenül számítógéphez lehetett csatlakoztatni.

A mikroprocesszoros Pille első példánya (Pille'95) a Progressz-M28 fedélzetén jutott el 1995 júliusában a Mir űrállomás fedélzetére, ahol az Euromir'95 küldetés keretében Thomas Reiter ESA- és tiszteletbeli magyar űrhajós 1995. szeptember 5. és 1996. február 29. között elvégezte a Mir dozimetriai feltérképezését, valamint nagy időfelbontású méréssorozatot is végzett a Pillével.

A NASAMir4 küldetés keretében a Pille'96 rendszer jutott fel 1997. január 15-én az Atlantis űrsiklóval ugyancsak a Mir űrállomásra. Jerry Linenger és Michael Foale NASA-űrhajósok – a rutinméréseken felül – elvégezték az űrséta járulékos dózisa-nak meghatározását, amihez az új űrruhák készítésénél dózismérőink elhelyezésére külön zsebeket alakítottak ki. Űrséta alatt

az asztronauták az űrállomáson belüli kontrollméréssel összehasonlítva 3–4-szeres dózist kaptak. Ciblijev orosz űrhajós – saját kezdeményezésre – azt is kimérte, hogy az űrállomás fedélzetén a dózisterhelés éppen hálóhelyén a legmagasabb. Ennek oka az, hogy az űrhajósok alvóhelyét általában közvetlenül az űrállomás viszonylag vékony fala mellett alakítják ki, ahol a műszerek, berendezések járulékos árnyékoló hatása nem érvényesül. A kozmonauta ezek után azonnal hálóhelyet változtatott.

Sajnos egy, az űrállomást 1997. június 25-én ért műszaki baleset következményeképpen mindkét (az ESA ill. a NASA által használt) Pillénk a Mir sérült és lezárt Szpektr moduljában rekedt, ahonnan egyetlen műszert se tudtak a későbbiekben kihozni.

Időközben az „új” Pille földi pályafutása is megkezdődött: Pakson két hordozható, akkumulátoros példányt állítottak az atomerőmű tágabb környezete sugárzásmonitorozásának szolgálatába.



3.ábra: Jim Voss amerikai űrhajós 2001 júniusában a Pille rendszerrel végez méréseket. (Kép: NASA)

Pillék a Nemzetközi Űrállomáson

A Mir űrállomást időközben felváltotta a közel húsz nemzet közreműködésével felépült Nemzetközi Űrállomás (ISS, International Space Station). A NASA, az ESA, valamint az Orosz Űrkutatási Ügynökség (RKA) is nagyfokú érdeklődését fejezte ki egy termolumineszcens dózismérésen alapuló operatív sugárvédelmi ellenőrző rendszer iránt az ISS fedélzetére, mely a Pille berendezésen alapul. A nemzetközi együttműködési szerződések aláírása nyomán – Magyarországnak az űrállomáshoz való hozzájárulása-

ként – intézetünk a fenti berendezést kifejlesztette, és az igényelt darabszámban elkészítette. Alapvetően megváltoztattuk az új kiolvasó ún. kezelői felületét, így használata még egyszerűbbé vált. A mérési adatok, melyeket eddig csak memóriakártyán hozhattak le kiértékelés céljából a Földre, távadatközléssel is lejuthatnak az űrállomásról.

A rendszer első példánya (Pille'97), a NASA-val együttműködésben már a második ISS-küldetés alkalmával feljutott annak Destiny moduljába. A Discovery űrsikló 2001. március 8-án vitte fel a rendszert, hogy azzal a biológiai kísérletek számára biztosítsanak dozimetriai adatszolgáltatást.

A NASA költségvetésének megkurtítása sajnálatos módon a biológiai labor kiépítésének elhalasztásához vezetett. Az ESA dózistérképezési programja (DOSimetry MAPping, DOSMAP) keretében ugyan 2001. május 3. – augusztus 9. között a Pillével közel 1700 mérési adatot gyűjtöttek, ezt követően azonban a rendszerrel további méréseket az ISS fedélzetén nem végeztek. Majd 10 évvel később, 2011. július 21-én, az utolsó űrrepülőgépes küldetés alkalmával az Atlantis hozta vissza a Pillét és dózismérőit a Földre, amely 2017-ben került vissza Magyarországra, a fejlesztőkhöz. A ma is hibátlanul működő rendszer a KFKI környezetmonitorozó hálózatának részeként üzemel tovább.

A moszkvai Orvosbiológiai Problémák Intézetével együttműködésben ugyanakkor egy másik Pille rendszer is feljutott 2003. július 29-én az ISS-re (Pille-MKSZ), a Progressz-12 teherűrhajó fedélzetén. Az új rendszer már nem csak mint kísérleti berendezés, hanem mint a fedélzeti és személyi dozimetria szolgálati berendezése került az ISS Zvezda moduljába. A rendszer beüzemelését a 7. ISS-küldetés során Jurij Malencsenko végezte el 2003. szeptember 22-én. A detektorokat azóta is rendszeresen használják dózistérképezésre és űrséták alatt, valamint a nagyobb sugárzást létrehozó napkitörésekkor személyi dózismérésre.

A Pillét ugyanakkor időről időre továbbra is használják kísérleti célú vizsgálatokra. 2006–2009 között például az ESA Matrjoska-II kísérletében az űrállomás belsejében elhelyezett antropomorf (emberszerű) fantom felszínén végeztek vele méréseket. Charles Simonyi magyar származású űrturista első repülése során (2007. április 7–21. között) a Pillével számos olyan mérést hajtott végre, amelyeket a hivatásos űrhajósok idő hiányában nem tudnak elvégezni, pl. személyi dózismérés a hálóhelyen, a kiolvasások utáni maradék dózis mérése. Önként vállalt feladatokat a második repülése (2009. március 26.–április 8.) alatt is végzett: négy új dózismérőt juttatott fel, melyek fedélzeti

keresztkalibrációját is elvégezte. Kimérte a Pille kiolvasó önárnyékolását, valamint további méréseket végzett a hálójelen. Később, 2010 júniusa és novembere között egy érdekes kísérlet-sorozatban vehettünk részt a Pille dózismérőivel. Az úgynevezett vízfüggöny (protective water curtain) kísérletben a fedélzeten tárolt, de tisztálkodásra még fel nem használt nedves higiéniai kendőket és törülközőket tartalmazó csomagok sugárzásárnyékoló hatását mérték meg az űrállomás egy kevésbé árnyékolt részén. Az eredmények azt mutatták, hogy a vízfüggöny akár negyedével is csökkentheti az űrhajósok sugárterhelését az árnyékolt térben.

A rendszer üzemeltetésének 15 éve során körülbelül 60 ezer mérési adatot gyűjtöttek az orosz űrhajósok. Fontos emellett kiemelni, hogy az űrséták során valamennyi űrügynökség (orosz, amerikai, európai, japán, kanadai) űrhajója a Pillét használja személyi dózisának mérésére.

Időközben az MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézet Űrdozimetriai Csoportja és a BL Electronics Bt. együttműködésében kifejlesztésre került egy – részben a Pille technológiáján alapuló – hordozható, földi, kereskedelmi célú TL dózismérő rendszer is, a PorTL, amely az űrbéli technológiák földi hasznosulásának egy kiváló példája. A PorTL a DOSMAP kísérlet NASA-s társkutatójának javaslatára és az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság (OMFB) anyagi támogatásával készült. A fejlesztés befejezése és néhány példány elkészítése után a gyártást és értékesítést átvette az AEMI Atomenergia Mérnökiroda Kft. A rendszert felhasználják kutatóhelyeken (DESY: Deutsches Elektronen-Synchrotron, DLR: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, NASA, ELI: Extreme Light Infrastructure), az oktatásban (BME, ELTE) és nukleáris létesítmények környezet-ellenőrző szolgálatainál (paksi atomerőmű, KFKI telephely).

Egy újabb Pille 2018-ban

A 2003 óta megbízhatóan szolgálatot teljesítő Pille rendszer szavatossági ideje időközben lejárt, így az orosz fél szükségesnek látta a rendszer lecserélését. Kutatócsoportunk így a 2003-ban feljuttatott kiolvasóval megegyező új berendezést és további 8 dózismérő kulcsot (ebből ötöt űrállomás fedélzeti, hármat pedig földi használatra) gyártott le és adott át az orosz kollégáknak. Az elkészült berendezés az átadási teszteket követően, 2018. június 6-án a Szozuz MSZ-09 űrhajó fedélzetén indult útjára, a Nemzetközi Űrállomásra.

Szergej Prokopjev űrhajós 2018. július 16-án kapcsolta be először az új Pille kiolvasót az új a céllal, hogy azon ellenőrző teszteket hajtson végre. Két héttel később, július 30-án Oleg Artyemjev elvégezte az első fedélzeti keresztkalibrációs méréseket a régi és az új kiolvasó egységgel, valamint az előtte közel



4. ábra: A legújabb Pille berendezés.
(Kép: MTA EK)

ugyanabban a pozícióban besugárzott régebbi és az újonnan felvitt Pille dózismérőkkel. (Az űrállomás egyes pontjai között jelentős eltérés mutatkozhat a mért dózisokban annak függvényében, hogy a dózismérőket mennyire árnyékolják le a közeli szerkezeti elemek, illetve az egyéb műszerek, berendezések). Pár hétig így egyszerre két Pille kiolvasó is üzemelt a Zvezda modulban, a fedélzeten használt Pille dózismérők száma pedig ezzel a korábbi 12-ről 17-re emelkedett! A beüzemelés, illetve az első fedélzeti keresztkalibráció eredményei azt mutatják, hogy az új Pille rendszer megfelelően működik.



6. ábra: Két Pille kiolvasó (balra a régebbi és jobbra a 2018 júniusában felvitt új készülék) végez méréseket egymással párhuzamosan a Nemzetközi Űrállomás ugyanazon pontjában. A közeli felvételen az látszik, hogy az új kiolvasóval az egyik régebbi Pille dózismérő kiolvasása sikeresen megtörtént. A dózismérő még a kiolvasóban van, a kijelzőn pedig már látható is a Pille által mért dózis. (Fotók: RKK Enyergija/Roszkoszmosz)

Pille küldetés	Űreszköz	Pályamagasság	Működési (tartózkodási) idő	Dózismérők száma
Pille	Szaljut-6	200–300 km	1,5 év	16
Pille	Szaljut-7	300–400 km	3 év	16
Pille'S	STS-41G / Challenger-6	300–400 km	8 nap	8
Pille	Mir űrállomás	300–400 km	4 év	16
Pille'95	Mir (EuroMir-95)	300–400 km	5 hónap	6
Pille'96	Mir (NASAMir4)	300–400 km	5 hónap	8
Pille-ISS	ISS Destiny	330–420 km	3 hónap (10 év)	50
Pille-MKSZ	ISS Zvezda	330–420 km	15 év	12–17

Az eddigi Pille küldetések

A Pille jövője

A Pille fejlesztése 40 évvel ezelőtt kezdődött, de a történet itt közel sem ér véget! Orosz partnereink jelezték, hogy a Pille rendszert egészen az űrállomás üzemidejének végéig, vagyis legalább 2024-ig üzemeltetni kívánják.

Az elmúlt időszakban – az újonnan feljuttatott Pille rendszer legyártása és bemérése mellett – újfajta Pille dózismérő fejlesztésébe is fogtunk. A korábbi dózismérő kulcsok helyett a bűra egy kisméretű, vékony falú hengeres patronba került. Ily módon sikerült a dózismérők tokozásának árnyékolását jelentős mértékben lecsökkentenünk. Ennek űrséták során van szerepe, amikor az űrhajósok szemét és végtagjait csak kismértékben védi az űrruha a kozmikus sugárzástól. Annak érdekében, hogy a jelentős átalakítás ellenére a dózismérőket a Pille kiolvasó átalakítása nélkül is lehessen használni, egy ún. univerzális kulcsot fejlesztettünk, melybe a patronokat behelyezve az űrhajósok a kiolvasásokat a szokásos módon végezhetik. Mivel az egyedi kalibrációs adatokat tároló chip a dózismérő patronban foglal helyet, a kiolvasó azokat továbbra is automatikusan felismeri.

A kisméretű dózismérő patronok további előnye, hogy segítségével antropomorf fantomok belsejében is méréseket végezhetünk. Néhány éven belül várható, hogy az orosz Enyergija vállalat a német DLR-rel együttműködésben feljuttatja a

Matrjoska–III fantomot az ISS fedélzetére. A Matrjoska–III kísérlethez már el is készítettük az új típusú Pille dózismérő patronok behelyezésére szolgáló tartószerkezet prototípusát, melyet a cikk írásakor az orosz kollégák tesztelnek.

Az elmúlt évtizedek alatt számos csoport próbálkozott a világban a Pilléhez hasonló műszer kifejlesztésével, de egyikük sem járt sikerrel. Így a Pille továbbra is az egyetlen olyan úrkvalifikált dózismérő rendszer, melynek segítségével TL dózismérők az emberes űrhajók és űrállomások fedélzetén kiolvashatók.

A Magyar Tudományos Akadémia Energiatudományi Kutatóközpontban emellett számos egyéb dózismérő rendszert fejlesztünk, illetve a korábbi fejlesztéseket is használják a Nemzetközi Űrállomás fedélzetén. Nyomdetektorokat és TL detektorokat tartalmazó detektorcsomagjainkkal, valamint a TRITEL félvezető detektoros rendszer segítségével a mért dózisok mellett a sugárzási tér további jellemzőiről is fontos információkhoz jutunk. A NASA új Orion űrhajójának első, egyelőre emberek nélkül végzett Hold körüli próbarepüléséhez kapcsolódóan – passzív dózismérő detektoraival – csoportunk is meghívást kapott a programban való részvételre. Legutóbb pedig a RadMag műszer fejlesztése kezdődött el az űridőjárás vizsgálatára, amely egy újabb magyar műhold, a RADCUBE fedélzetén fog kozmikus sugárzási és mágneses tér méréseket végezni a 2020-as évek legelején.

Köszönetnyilvánítás:

Az új Pille kiolvasó gyártása és tesztelése, valamint a legújabb, kis önárnyékolású Pille dózismérők fejlesztése a Magyar Kormány támogatásával valósult meg (szerződésszámok: IKF/375/2015-NFM_SZERZ, IKF/694/2017-NFM_SZERZ).

Irodalomjegyzék

- [1] Akatov Yu.A., Arkhangelsky V.V., Aleksandrov A.P., Fehér I., Deme S., Szabó B., Vágvölgyi J., Szabó P.P., Csőke A., Ránky M., Farkas B. (1984): Thermoluminescent dose measurements on board Salyut type orbital stations. *Advances in Space Research*, 4, 77
- [2] Apáthy I., Deme S., Fehér I., Akatov Yu.A., Reitz G., Arkhanguelski V.V. (2002): Dose measurements in space by the Hungarian Pille TLD system. *Radiation Measurements*, 35, 381
- [3] Apáthy I., Bodnár L., Csőke A., Deme S., Fehér I. (2006): PorTL – a földre szállt Pille, *Híradástechnika*, 2006/4, 23

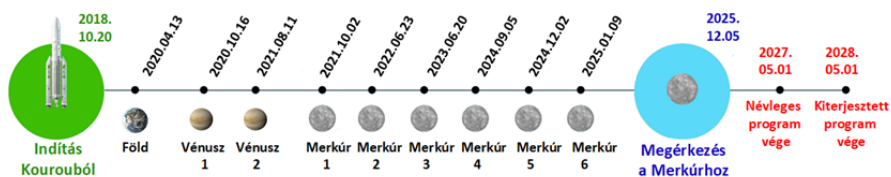
- [4] Apáthy I., Akatov Yu.A., Arkhangelsky V.V., Bodnár L., Deme S., Fehér I., Kaleri A., Padalka I., Pázmándi T., Reitz G. Sharipov S. (2007): TL dose measurements on board the Russian segment of the ISS by the “Pille” system during Expedition–8, –9 and –10. *Acta Astronautica*, 60, 322
- [5] Deme S. (1981): A Pille története, avagy hogyan lett az elefántból bolha. *Fizikai Szemle*, 1981/1, 32
- [6] Deme S., Apáthy I. (1999): Újra felszáll a Pille. *Fizikai Szemle*, 1999/3, 80
- [7] Fehér I., Deme S., Szabó B., Vágvolgyi J., Szabó P.P., Csőke A., Ránky M., Akatov Yu.A. (1981): A new thermoluminescent dosimeter system for space research. *Advances in Space Research*, 1, 61
- [8] Szántó P., Apáthy I., Deme S., Hirn A., Nikolaev I.V., Pázmándi T., Shurshakov V.A., Tolochev R.V., Yarmanova E.N. (2015): Onboard cross-calibration of the Pille-ISS Detector System and measurement of radiation shielding effect of the water filled protective curtain in the ISS crew cabin. *Radiation Measurements*, 82, 59

A BepiColombo űrprogram

Szalai Sándor¹, Kecskeméty Károly¹, Steinbach Péter^{2,3}

¹MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont, ²ELTE Űrkutató Csoport,
³MTA–ELTE Geológiai, Geofizikai és Űrtudományi Kutatócsoport

2018. október 20-án hajnalban sikeresen indították a BepiColombo összetett űrszondát az ESA legnagyobb, Ariane–5 rakétájával Kourou-ból a Napunkhoz legközelebbi bolygóhoz, a Merkúrhez. A program tervezése 2005-ben kezdődött és több jelentős áttekintés után készült el a szonda, melynek a Merkúrhez érkezése 2025. december 5-ére várható. A BepiColombo két keringő egységet (orbitert) foglal magába, melyek a terv szerint egy évig fogják kutatni a Merkúr szilárd és olvadt vas-szulfid magját, felszínét, mágneses terét és a bolygót körülvevő igen ritka légkört. A hosszú idejű utazás oka az indítási energia korlátja, aminek ellensúlyozására a Giuseppe (becenevén Bepi) Colombo olasz matematikus és mérnök közel fél évszázada kidolgozott ötlete alapján az útba eső bolygók gravitációs terének felhasználásával gyorsítják a szondát. Az ő tiszteletére lett a program neve BepiColombo. A hét évig tartó Merkúr-megközelítés 9 gravitációs gyorsítással, valamint ion- és kémiai hajtóművek segítségével valósul meg (1. ábra).



1. ábra: Az útutazás gravitációs gyorsításainak időrendje. (Forrás: ESA)

Az összetett űrszonda átrepülése a Merkúrhez az ESA irányításával történik. Ennek során 18-szor kerüli meg a Napot az ESA fejlesztésű MTM-mel (*Mercury Transfer Module*) egymáshoz rögzített MPO (*Mercury Planetary Orbiter*, ESA) és a japán készítésű MMO (*Mercury Magnetospheric Orbiter*, JAXA), kiegészülve egy Nap sugárzását árnyékoló egységgel (védőpajzs). Az átrepülés a két hatalmas (42 m²) napelemtáblával (2. ábra) rendelkező MTM egység irányításával történik. A két napelemtábla 15 kW teljesítménye nemcsak a szonda elektronikájának működését szolgálja, de a gyorsítást szolgáló 4 ionhajtóművet is működteti.

Az MTM egységen még 24 kémiai – pályakorrekciót és a fékezést szolgáló – segédrakéta van. A Nap közelsége azt a veszélyt rejti magában, hogy egy esetleges irányítási hiba miatt a Nap hatalmas gravitációja nem kívánt, korrigálhatatlan irányba téríti el.

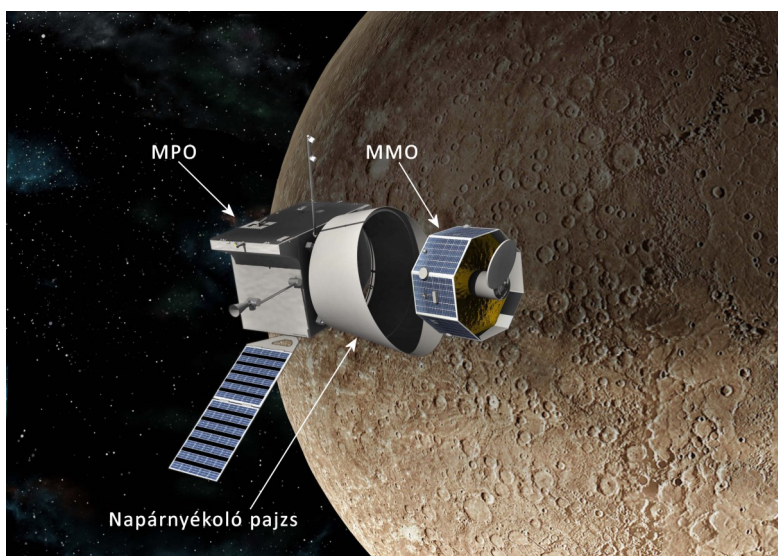


2. ábra: Az MTM egyik napelemtáblájának a szerelése. (Forrás: ESA)

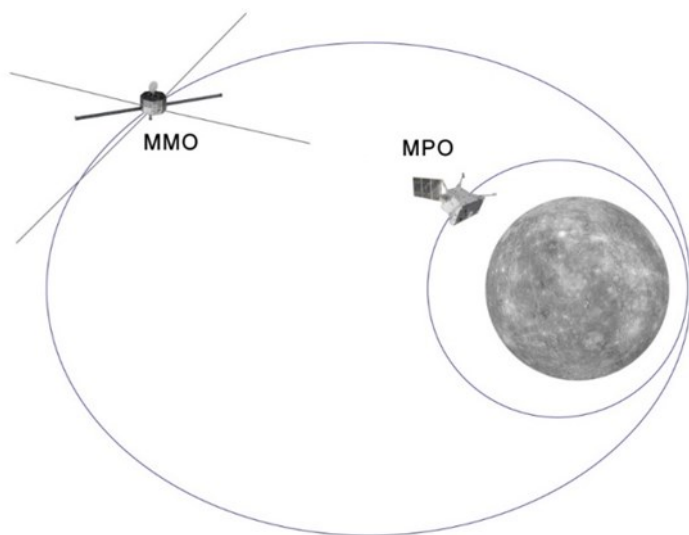
Az MTM egység az indítás után mintegy fél órával rádiókapcsolatot létesített, majd 12 óra múltán képeket küldött a Földre. A tudományos műszerek tesztelése is megkezdődött néhány nap elteltével, a SERENA rendszer december 15-én került sorra. A magyar tervek szerint készült PICAM műszert a nagyfeszültség kivételével bekapcsolták és az elvárásoknak megfelelően működött. A nagyfeszültség tesztelésére 2019 júliusában kerül sor.

Az összeszerelt négy egység (MTM, MPO, védőpajzs és MMO) az átrepülés alatt 9 milliárd km-t tesz meg és legnagyobb sebessége 60 km/s lesz, a Földtől való legnagyobb távolsága 240 millió km. Az indításkor a négy egység tömege összességében 4100 kg volt, ami az 1400 kg pályakorrekciós üzemanyagot is tartalmazta. Az MTM 1100 kg, az MPO 1200 kg, a védőpajzs 145 kg tömegű (a 20 kg-os, MMO-t felpörgető és kilövő egységgel) valamint a 255 kg-os MMO. A Merkúrhoz érve az egységek szétválhatnak (3. ábra).

A Merkúrnál a két tudományos űrszonda már egymástól független irányítással (ESA és JAXA), azonos sarki pályasíkokban áll különböző ellipszispályákra (4. ábra). Az MPO-n a 11 tudományos berendezés tömege 85 kg, a MMO-on pedig az öt tudományos kísérlet eszközei együtt 45 kg tömegűek. Az önálló telemetriai kapcsolatuk a Földdel az MPO esetében 50 kbit/s, az MMO-nál pedig 5 kbit/s átviteli sebességű.



3. ábra: A Merkúr közelében szétváló egységek; az MTM már korábban leválik.
(Forrás: ESA)



4. ábra: Az MMO és MPO szondák pályái. (Forrás: ESA)

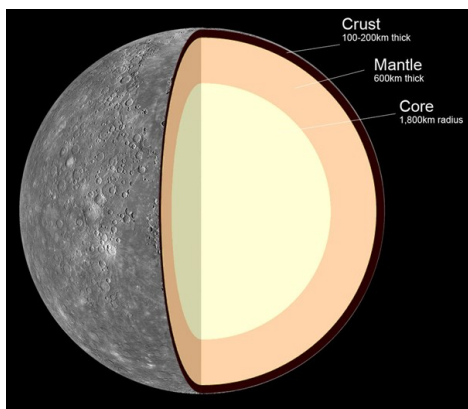
Az MMO elnyúlt sarki pályán kering majd (590 km x 11640 km), keringési ideje 9,3 óra, a Nap irányára merőleges tengely körüli forgással stabilizált (4 s). A 3 tengelyre stabilizált MPO pályája közepesen elnyúlt (480 km x 1500 km), keringési ideje 2,3 óra.

Merkúr: az egyik legnehezebben elérhető célpont a Naprendszerben

A Naphoz legközelebbi bolygót eddig csak két NASA űrszondának, a Mariner-10-nek és a MESSENGER-nek sikerült megközelítenie. A bolygót azért nehéz elérni, mert ugyan a Merkúr pálya menti sebessége nagyobb, mint a Földé, paradox módon mégis fékezni kell az űrszondát. Erre szolgálnak a hintamánőverek, az ionhajtómű ehhez nem elég, csak a bolygó körüli pályára álláshoz szükséges. Ilyen közel a Naphoz a napsugárzás erős, a Merkúr Naphoz közeli oldalán a Földön mérhető besugárzási energiának több mint tízszeresét kitevő a terhelés (napközben 14 kW/m^2). Emiatt a szonda rendkívüli hőterhelésnek is van kitéve: a bolygó napsütötte oldalán a hőmérséklet a kb. 430 Celsius-fokot (700 K) is eléri, míg az árnyékos oldalán mintegy $-180 \text{ }^\circ\text{C}$ -ra (90 K) hűl le.

A római mitológiában az istenek hírvivőjéről, Mercuriusról (a görögöknél Hermész) elnevezett bolygó több szempontból is különleges. Létezése ősidők óta ismert, hiszen ha nehezen is, de szabad szemmel a Merkúr is látható a Földről. A Nap erős árnyékolása miatt a bolygó 88 napos keringési ideje 3:2 arányú rezonanciában áll 59 napos tengelyforgási idejével. Még érdekesebb, és bolygórendszerünk keletkezésének megértése szempontjából is fontos, hogy akárcsak a Vénusznak, sem holdja, sem gyűrűje nincs.

Mit tudunk a Merkúrról?

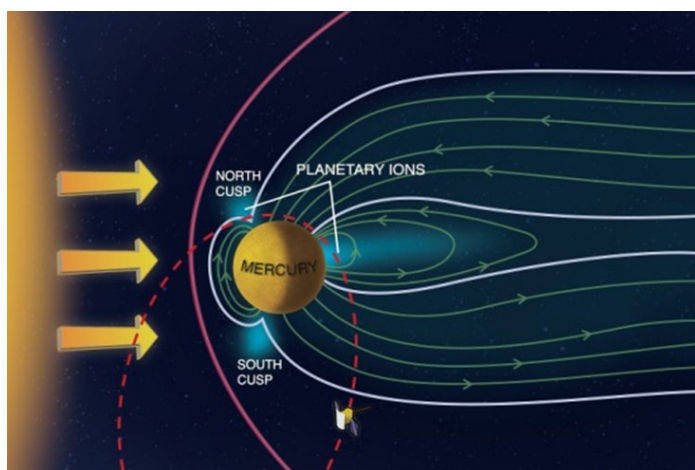


5. ábra: A Merkúr bolygó belső szerkezete. Crust = kéreg, Mantle = köpeny, Core = mag. (Forrás: Wikipedia)

A NASA MESSENGER űrszondája a 2011 és 2015 között lezajlott látogatása során már sok titkát feltárta a bolygónak: például hogy a felszínén észlelt, a Holdéhoz hasonló meteoritkráterek és esetleges vulkanikus síkságok mellett a sarkok közelében vízjég található, amely a feltételezett koránál fiatalabbnak tűnik. A bolygó pontos tömegét és ezzel belső szerkezetét pedig a Mariner-10 pályamérései alapján derítették fel: a mérések felfedték, hogy a 4800 km át-

mérőjű bolygó térfogatának 70%-át a fémes mag teszi ki (5. ábra), amely arányaiban a legnagyobb fémmag egy bolygó esetében a Naprendszerünkben. A vékony köpeny és kéreg nagy részét a bolygó feltehetően az elszenvedett ütközések során veszítette el.

A mag többségben vasból és kénből áll, a belső régiókban szilárd, a mag külső részében folyékony állapotban, ezeket szilikátokból álló köpeny veszi körül. A mag a dinamóeffektus révén mágneses teret hoz létre, amelynek nagysága a földinek csupán 1%-a, viszont elegendően erős ahhoz, hogy a napszélben akadályt képezve azt eltérítse, és kis méretű magnetoszférát hozzon létre (6. ábra). Az így létrejött, döntően dipólus jellegű mágneses tér erősen aszimmetrikus, az északi oldalon megközelítőleg háromszor erősebb, mint a délin. A bolygó körül igen ritka és nagyon változékony atmoszféra alakult ki, amelynek annyira kicsi a sűrűsége (a felszíni nyomás 14 nagyságrenddel kisebb a Merkúr felszínén, mint a Földön), hogy a ritka ütközések miatt nem viselkedik gázként, emiatt inkább exoszférának nevezzük. Az exoszférát többségében a molekuláris oxigén mellett hidrogén, hélium, illetve a felszínből a mikrometeorok és a napszél által kiszakított fém (elsősorban nátrium) atomok alkotják.



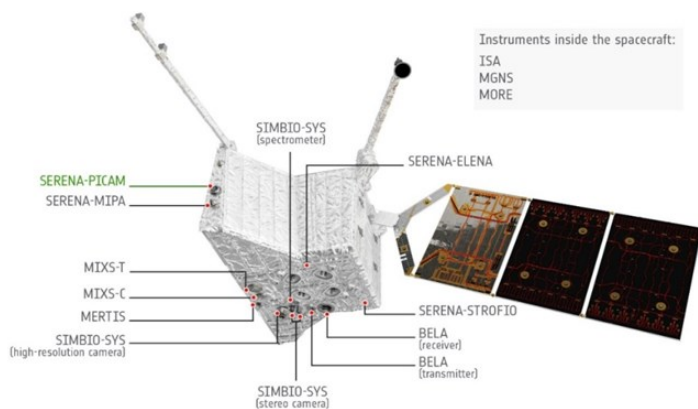
6. ábra: A Merkúr magnetoszférája. Feliratok: North Cusp = északi kürtő, South Cusp = déli kürtő, planetary ions = bolygó eredetű ionok. (Forrás: NASA)

A napszél a mágneses tér miatt csak a sarki kürtőkben éri el a felszínt. Az erős fénynyomás hatására a Nappal ellentétes oldalon igen hosszú, több mint 20 millió km-es, Na, Mg, K és Ca atomokból álló csóva alakul ki. A semleges atomok ionizációjával, pickup folyamattal, ill. a felszín bombázásával ionok is létrejönnek: elsősorban Na^+ és vízcsoport ionok. A Merkúr magneto-

szférájában észlelhetők a földihez hasonló mágneses viharok és mágneses erővonal összecsatlódási események is, amelyek a földinél tízszer gyorsabban mennek végbe. Az is gyakran előfordul, hogy a Napból érkező koronakitörések eltorzítják a mágnesoszférát.

Megválaszolandó kérdések

A Mariner-10 és a MESSENGER korábbi mérései révén több lényeges kérdés merült fel, amelyeket csak újabb helyszíni mérések válaszolhatnak meg. Alapvető kérdés a Naprendszer kialakulása előtti szoláris felhő összetétele, és az, hogy milyen folyamat során alakult ki a bolygórendszerünk. A Naprendszerünk kialakulásának megértésében segíthet annak a tisztázása, hogy miért magasabb a Merkúr sűrűsége (a Földet leszámítva), mint a többi kőzetbolygóé? Milyen arányban szilárd, illetve folyékony a Merkúr magja? Tektonikusan aktív-e a bolygó? Mi a belső mágneses tér eredete? Miért nem észlelhető vas a bolygó exoszférájában? A sarki kráterek állandó árnyékban lévő mélyén valóban vízjég, vagy kén található? Hogyan alakul ki a bolygó exoszférája, ott milyen fizikai és kémiai folyamatok zajlanak? Pontosan hogyan hat kölcsön a napszél a bolygó mágneses terével? Lehet-e pontosítani a Merkúr perihélium-vándorlásának értékét a relativitáselmélet tesztelése céljából?



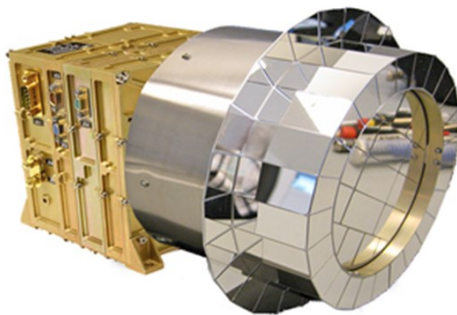
7. ábra: Az MPO egységen lévő műszerek elhelyezkedése. (Forrás: ESA)

A Mercury Planetary Orbiter műszerei

1. Magasságmérő, BELA (*BepiColombo Laser Altimeter*)
2. Rugós gyorsulásmérő, ISA (*Italian Spring Accelerometer*)
3. Magnetométer, MPO-MAG (*MPO Magnetometer*)
4. Infravörös spektrométer, MERTIS (*Mercury Radiometer and Thermal Infrared Spectrometer*)
5. Gamma- és neutron-spektrométer, MGNS (*Mercury Gamma-ray and Neutron Spectrometer*)
6. Képalkotó röntgen-spektrométer, MIXS (*Mercury Imaging X-ray Spectrometer*)
7. Rádiófrekvenciás műszer, MORE (*Mercury Orbiter Radio-science Experiment*)
8. Ultraibolya spektrométer, PHEBUS (*Probing of Hermean Exosphere by Ultraviolet Spectroscopy*)
9. Semleges és ionizált részecske analizátor, SERENA (*Search for Exosphere Refilling and Emitted Neutral Abundances*)
10. Sztereókamera látható tartományra, ill. spektrométer látható és infravörös tartományra, SIMBIO-SYS (*Spectrometers and Imagers for MPO BepiColombo Integrated Observatory System*)
11. Röntgen- és részecske-spektrométer, SIXS (*Solar Intensity X-ray and Particle Spectrometer*)

Az olasz vezetésű SERENA műszeregyüttes négy érzékelőből áll:

1. ELENA (*Emitted Low-Energy Neutral Atoms*): a Merkúr felszínéről távozó semleges gázokat méri a 20 eV ÷ 5 keV tartományban.
2. STROFIO (*STart from a ROTating Field mass spectrOmeter*): a semleges részecskék analizátora, az exoszféra gáz összetevőit méri.
3. MIPA (*Miniature Ion Precipitation Analyser*): ion monitor, amely a felszíni plazma folyamatok láncolatát vizsgálja.
4. PICAM (*Planetary Ion CAMEra*): iontömeg-spektrométer, amely fényképezőgépként működik a töltött részecskék számára, hogy tanulmányozza a felszíni ionizációs folyamatok láncolatát. A PICAM műszer fejlesztését a grazi intézet (Institut für Weltraumforschung – IWF) fogta össze.

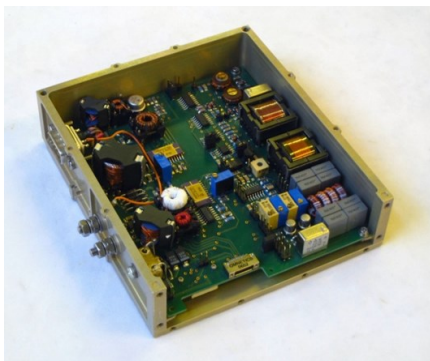


8. ábra: A PICAM műszer fényképe.
(Forrás: IWF)

A magyar kutatók a PICAM iontömeg-spektrométer fejlesztésében vettek részt. Az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont mérnökei fejlesztették ki a Planetáris Ion Kamerát működtető alacsony feszültségű tápegységet, valamint a MPO űrszonda szimulátorát, az SGF Kft. bevonásával.

A PICAM tulajdonképpen iontömeg-spektrométer, amely ionokat detektálva teljeség-kameraként működik töltött részecskék számára, az űrszonda által ki nem takart térszögben. Az ionkamera kísérlet célja, hogy tanulmányozzuk azoknak a folyamatoknak a láncolatát, amelyek révén a felszínről semleges kirepülő atomok végül ionizálódnak és kölcsönhatásba lépnek a napszéllel. A PICAM ionkamera mérni fogja az alacsony, 100 eV és 3 keV közötti energiájú ionok beesési irányát, az energia/töltés és tömeg/töltés arányokat, igen jó felbontással a Merkúr ritka atmoszférájában. Ezzel a PICAM meg fogja tudni határozni az ionok tömegösszetételét, energia- és szögeloszlását a Merkúr plazmakörnyezetében. Ezen keresztül megérthetjük a magnetoszférában lezajló folyamatok részleteit.

A fedélzeti elektronika megalkotása a BepiColombo fejlesztői számára komoly kihívást jelentett, hiszen a szondán időnként több mint 300 °C hőmérséklet is felléphet. A mérnökök a műszerek e magas hőmérsékletre való felmelegedését kívülről különleges, többrétegű borítással próbálják megakadályozni. A műszereken belül keletkező hőt pedig megfelelő hőelvezetésekkel az űrszonda árnyékban lévő oldalára vezetik el.



9. ábra: A kifejlesztett tápegység minősítő példánya.
(Forrás: Wigner FK)

A PICAM alacsonyfeszültségű tápegysége

Az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont által fejlesztett tápegység minősítő példányának fényképe a 9. ábrán látható. A tápegység állítja elő a PICAM elektronikájához szükséges fix +1,5 V, +3,3 V, +5 V, ± 12 V és +24 V, illetve az ionok energia szerinti szétválasztását szolgáló két tartományban is folyamatosan változtatható feszültségeket: ± 2 V $\div$ ± 25 V, ± 15 V $\div$ ± 100 V.

A fenti feszültségeket galvanikusan leválasztva kellett létrehozni, hogy esetleges hibája a fedélzet többi egységének működését ne korlátozza. A PICAM öt különbö-

ző példányához (laboratóriumi, mérnöki, minősítő, repülő és tartalék) kellett a tápegységből a PICAM bemérései során egyre pontosabb követelmények szerinti példányt szállítani.

A földi ellenőrző berendezés

A földi ellenőrző berendezés (*Electrical Ground Support Equipment* – EGSE) az űrszonda elektromos jeleit szimulálja, hogy a szondára szerelés előtt mind a fejlesztés, mind a kalibrálás fázisában tesztelni lehessen a PICAM berendezést. Biztosítani kell a fedélzeti 28 V-os tápfeszültséget, valamint szimulálni a vezérlő és adatgyűjtő buszt. A szondán a SpaceWire buszrendszert alkalmazzák, amely az ESA által kifejlesztett fedélzeti kommunikációs szabvány. Ez a szabvány viszonylag kis energiafogyasztás mellett nagy adatátviteli sebességet biztosít. A szabvány a fizikai és az adatkapcsolati rétegeket rögzíti. A PC-104-es szabványú beágyazott processzor buszához fejlesztettünk SpaceWire illesztőegységet.

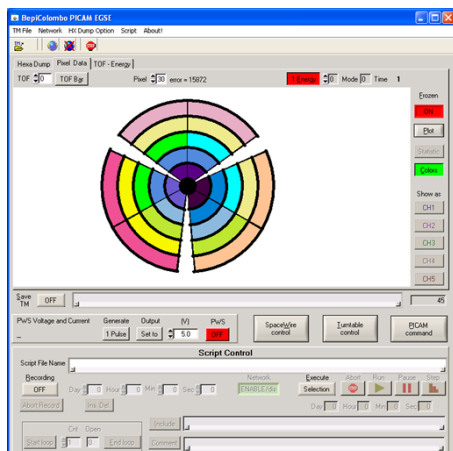


10. ábra: A PICAM bemérését szolgáló jelszintű szimulátor. (Forrás: SGF Kft.)

A kifejlesztett EGSE két egységben valósult meg: a jelszintű szimulátor (10. ábra) egy beágyazott processzor alapú egység, amelyen valós idejű LINUX operációs rendszer fut. Ez Ethernet kapcsolaton keresztül kommunikál a kereskedelmi forgalomban beszerezhető PC-vel, amely a grafikus kezelői felületet (11. ábra) biztosítja. A grafikus kezelői felület útján vezérlik a mérnökök és a kutatók különböző üzemmódokba a PICAM szenzort, a szolgálati információt, és ezen keresztül jelenítik meg a tudományos mérési adatokat különböző formákban. A gyakran használt parancsok nyomógombok segítségével, továbbá összetett parancsszekvenciák is előre elkészített fájlból kiadhatók.

A szolgálati telemetria csomagok külső leíró fájl dekódolása révén „olvasható” formában jelennek meg. A PICAM szenzor

beméréséhez a BepiColombo szonda adatgyűjtő és vezérlő rendszerét szimuláló földi ellenőrző berendezést az SGF Kft. fejlesztette, két példányt kellett szállítani. A PICAM műszer SpaceWire adatforgalmának monitorozására alkalmas jelszintű szimulátor módosított változata is elkészült.



11. ábra: A 6 érzékelő beütésszámával arányos színes megjelenítés.
(Forrás: SGF Kft.)

A Mercury Magnetospheric Orbiter (MMO)

A Merkúr környezetének feltárásában két körülmény meghatározó. Az űrszondás (Mariner-10, MESSENGER) méréseket megelőző planetológiai modellekkel ellentétben a bolygónak van – jó közelítéssel dipól – mágneses tere. A Merkúrt a napszélből származó, illetve a felszínéről kilökött, és fotoionizálódott, majd a mágneses térben becsapdázódott ún. pick-up ionok és plazma közeg veszi körül. Bár a mágneses tér momentuma a földinél négy

nagyságrenddel kisebb és a plazmakörnyezet ritkább annál, hogy ionizált, állandó légkörről beszélhetnénk, a Merkúr anizotrop plazmája a Földével rokon jelleget mutat, a környezetünkben ismert fizikai folyamatok, jelenségek nagy csoportja várható és vizsgálандó a Merkúrnál. Ezek eredményei a bolygó kutatási célon túl a földi környezet működésének, a napszél-magnetoszféra kölcsönhatás dinamikájának jobb megértését is segíti.

A BepiColombo kisebbik, japán irányítással megvalósult MMO szondája műszerezettségében, tudományos programjában a Merkúr környezetében kulcsszerepet játszó magnetoszféra vizsgálatára fókuszál. Ezt tükrözi az elnyújtott ellipszis pálya, ami a bolygótalan napszélben és a magnetoszféra több régiójában, meridiánsíkban lehetővé teszi a bolygó környezet vizsgálatát (ld. a 4. és 6. ábrákat).

Az MMO szonda öt tudományos kísérlete:

1. Háttér mágneses tér mérések (MGF, *Magnetic Field Investigation*): osztrák kísérlet, az MPO-MAG-gal azonos, tartórúdra szerelt fluxgate és platformra szerelt magnetométerekkel, 64 Hz maximális sávszélesség.

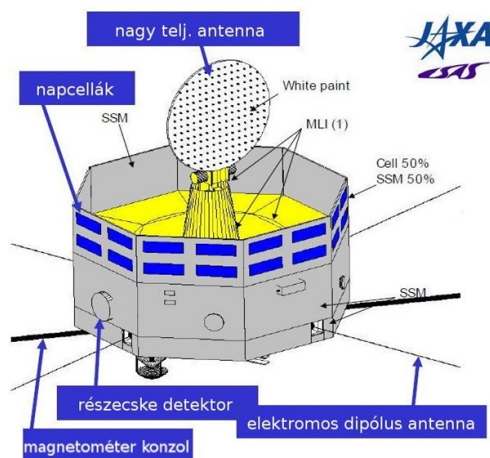
2. Energikus összetevők mérése (MPPE, *Mercury Plasma Particle Experiment*): hat szenzor a plazma energikus komponenseinek detektálására és egy az energikus semleges atomok észlelésére.
3. Spektrális képalkotás légköri Na-összetevőkről (MSASI, *Mercury Sodium Atmosphere Spectral Imager*): a bolygó felszíne felé irányított, a Na D2 emissziós vonalára kalibrált spektrométer.
4. Por monitorozása (MDM, *Mercury Dust Monitor*): üstökös- és kisbolygóeredetű porok sűrűség-, momentum- és iránymérése.
5. Plazma hullámmérések (PWI, *Plasma Wave Investigation*): széles frekvenciasávban előforduló (várható) hullámjelenségek vizsgálata több független, elektromos és mágneses komponenst mérő szenzor adatából – magyar tudományos részvétellel (ld. lentebb).

A közegvizsgálatokban bevett *in situ* részecskemérések és a nélkülözhetetlen magnetométeres adatok rögzítése mellett az MMO-n van a Merkúr kutatásának történetében először hullámmérés, a mágneses térrel átjárt plazmában terjedő villamos jelek regisztrálása (PWI). Az űrszonda tengely körüli forgása (15 fordulat/perc) a szondát stabilizálja, és biztosítja, hogy pl. a hullámmérés csúcstól csúcsig 32 méteres dipól elektromos antennakábele rögzített pozícióban, kifeszítve legyen.

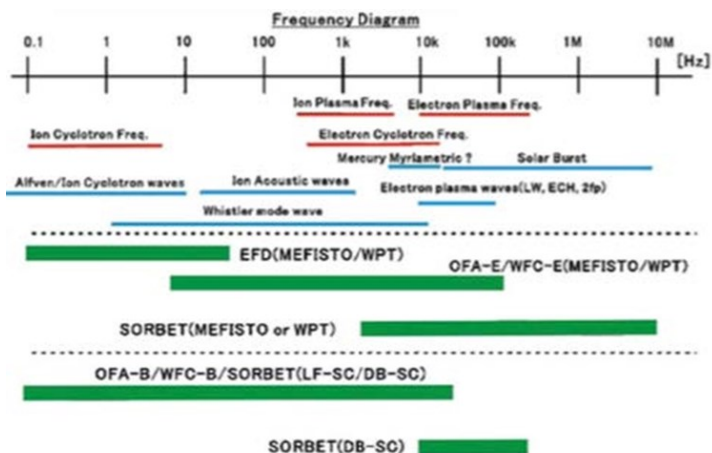
A részecskemérések jellemzően nagyenergiájú (hipotermális, szupratermális, relativisztikus) összetevőket detektálnak. A Merkúrnál is számbeli többséget alkotó hideg plazmáról jobbára mesterségesen gerjesztett, vagy a közegben terjedő természetes keltésű elektromágneses jelekből nyerünk ismeretet. Emellett a hullámkísérletek döntően nem *in situ*, hanem nagyobb régiók folyamatait leképező mérések. A Merkúrról már rendelkezésre álló fizikai képek és modellek alapján megalapozottan gondolhatjuk, hogy a dinamikusan viselkedő napszél-magnetoszféra kölcsönhatás révén, széles spektrumon találkozunk hullámjelenségekkel, így pl. lökéshullámnál fejhullámmal, erővonal rezonanciával, pulzációval, erővonal átkötődést kísérő gyorsítások emissziójával, hullám-részecske kölcsönhatások indukált emisszióival. Az MMO PWI kísérlet több, párhuzamos hullámmérést fog egybe, a szenzorok a bolygó körül várható hullámjelenségek minél teljesebb regisztrálását célozzák. E hullámjelenségek tulajdonságai (pl. frekvenciasáv, jelszerkezet, időbeni hossz), vagy előfordulásuk helye, ideje (a magnetoszféra melyik régiójában, milyen napszél- és más környezeti paraméterek mellett) ma még csak modellezhetők földi párhuzam alapján. A PWI szenzorok frekvenciaátfogása ennek megfelelően kellően tág.

A Merkúrnál a Nap extrém besugárzása miatt a fedélzeti elektronika, benne a tároló, feldolgozó és telemetria egységek teljesítménye, a disszipálható hő erősen korlátozott. Bár a közegről értékes információt hordozó hullámjelenségek nagy számban vannak jelen a bolygó környezetében, azok teljes körű fedélzeti jelfeldolgozásához, vagy az off-line kiértékelést lehetővé tevő tömeges földi lesugárzáshoz szükséges kapacitás nem áll rendelkezésre az MMO-n. Ennek az ellentmondásnak a tompítására, a korlátozott lehetőségek ellenére a tudományosan értékes, kinyerhető információ maximálására tett javaslatot a japán félnél az ELTE Űrkutató Csoport és a BL-Electronics Kft. közösen a BepiColombo előkészítés kezdeti fázisában, amit az akkor még ISAS, később JAXA befogadott.

A PWI szoftverrendszerében szereplő ISDM (*intelligent signal detection module*) a szenzorok jelét, nyers adatformáit elemzi és értékeli. Az időtartományú jelalakokból központi FFT egység számít spektrum vektor sorozatot, amit átad az ISDM-nek, az algoritmus ezeken azonosít és paraméterez előre definiált jeltípusokat. A szoftvert a fejlesztés fázisában a priori ismeretek (pl. földi ismert jelenségek, jeltípusok) és modellszámítások (gerjesztés, jelterjedés merkúri viszonyok között) alapján kellett hangolni (működési paraméterek beállítása), tesztelni és végül a PWI környezetbe implementálni. Az ISDM elsődleges kimenetként az előre meghatározott jeltípusok, osztályok adatfolyamon megjelenését detektálja, főbb paramétereit szolgáltatja (intenzitás, kiterjedés időben és frekvenciában). Több spektrum vektort időben átfedő jelenségnél az anizotróp plazmában terjedéskor jellemző,



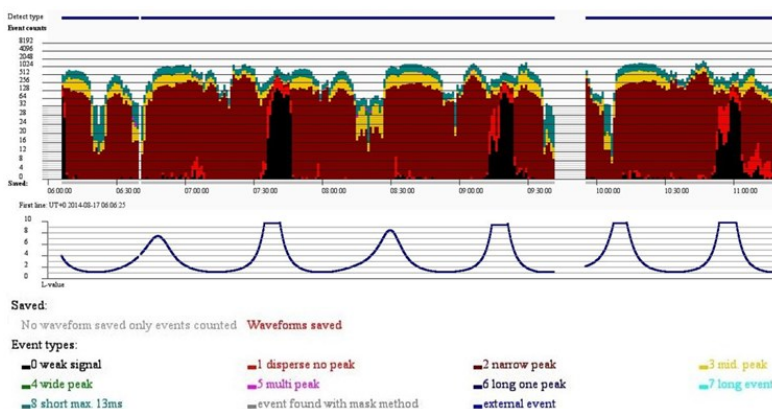
12. ábra: A forgásstabilizált, nyolcszögletű BepiColombo MMO szonda külső szerkezeti rajza. (Forrás: JAXA)



13. ábra: A BepiColombo MMO PWI kísérletben szereplő egységek (Mefisto/ WPANT, Sorbet) szenzorjai frekvenciaátfogása és néhány várható hullámjelenség frekvenciasávja (Forrás: JAXA)

karakterisztikus frekvencia változását is leköveti, ami a közegről és a terjedésről fontos ismeretet jelent. Ez a kimenet a teljes hullámformánál lényegesen kisebb, kezelhető adatmennyiség, kisebb információtartam árán.

A Föld környezetében végzett mérések tapasztalata alapján a vizsgálandó plazmafizikai jelenségek általában párhuzamosan jelennek meg részecske- és hullámmérés regisztrátumokban. A korlátos fedélzeti erőforrások miatt a műszerek, kísérletek optimális idejű ki- és bekapcsolása kiemelt jelentőségű – mérjen, amikor indokolt, és ne kössön le erőforrást, ha nem.



14. ábra: Az ISDM fedélzeti alkalmazása az előre definiált hullámjelenségek (osztályok) gyakoriságának változását mutatja alacsony Föld körüli műholdpálya mentén. (Relek/Vernon, forrás: BL-Electronics Kft.)

Az ISDM az elsődleges funkcióján túlmenően a fenti eseménydetektálással a teljes MPO-MMO kettős kísérleteinek indításához, megfelelő időben triggereléshez ad bemenő adatot, a két szondán koordinált méréseket tesz lehetővé.

Az ISDM algoritmus tesztelése nem csak szintetikus adatokon történt, hanem sikerrel működött már az orosz irányítással megvalósult Csibisz-M és Relek/Vernon földi mikroműholdakon, éles fedélzeti alkalmazásban, ahol az önálló hullámkísérletet a magyar (BL-Electronics Kft. és ELTE fejlesztésű) SAS3 fedélzeti eszköz biztosította.

Irodalomjegyzék

- [1] <http://sci.esa.int/bepicolombo/>
- [2] <https://www.cosmos.esa.int/web/bepicolombo/serena>
- [3] <http://sci.esa.int/bepicolombo/59287-bepicolombo-mpo-science-instruments/>
- [4] <http://www.isas.jaxa.jp/en/missions/spacecraft/current/mmo.html>
- [5] Orsini S., Livi S., Torkar K., Barabash S., Milillo A., Wurz P., Di Lellis A.M., Kallio E., and the SERENA team (2010): SERENA: A suite of four instruments (ELENA, STROFIO, PICAM and MI-PA) on board BepiColombo-MPO for particle detection in the Hermean environment. *Planetary and Space Science*, 58, 166
- [6] Kasaba Y., Bougeret J.-L., Blomberg L.G., Kojima H., Yagitani S., Moncuquet M., Trotignon J.-G., Chanteur G., Kumamoto A., Kasahara Y., Lichtenberger J., Omura Y., Ishisaka K., Matsumoto H. (2010). The Plasma Wave Investigation (PWI) onboard the BepiColombo/MMO: First measurement of electric fields, electromagnetic waves, and radio waves around Mercury. *Planetary and Space Science*, 58, 238
- [7] Szalai S., Sulyán J., Szalai L. (2007): Űrszondák új fedélzeti adatátviteli szabványa, *Elektronet*, 2007/5, 32
- [8] Sulyán J., Szalai L., Lipusz Cs., Szalai S. (2008): BepiColombo űrszonda adatgyűjtő és vezérlő rendszere, *Híradástechnika*, 2008/4, 24

Meteorit ásványok infravörös elemzése a Hera űrszonda támogatásához

Skultéti Ágnes

MTA CSFK Földrajztudományi Intézet

Bevezetés

A földközeli kisbolygók veszélyes becsapódásaik lehetősége miatt érdekesek [1], emellett közeli és űreszközzel könnyen elérhető kutatási célpontok is [2]. Az ESA Hera űrszondája [3] a Didymos kettős kisbolygót tervezi meglátogatni, amelyet előtte a NASA DART küldetése „meglő”, tesztelven a becsapódás következményeit egy esetleges jövőbeli kisbolygó-eltérítés céljából. A becsapódás után érkezik a Hera és elemzi a következményeket (1b. ábra).

A Hera küldetés esetében tervezett infravörös detektor a kisbolygó felszíni törmelékanyagáról szóródó infravörös sugárzást elemzi. A detektor pontos megtervezéséhez azonban tudni kell, hogyan néznek ki a különféle meteoritok infravörös színeképei [4]. Sok kisbolygó mintája itt a Földön is elérhető meteoritok formájában – noha nem tudjuk pontosan, melyik kódarab melyik kisbolygóról származik, elemzésük mégis fontos támpontot adhat ahhoz, hogy miként tervezzük egy űrszonda műszerét. A meteoritok anyaga változatos, részben típusaik szerint [5, 6], emellett a becsapódásoktól ásványaik sokkolt állapotban lehetnek [7, 8], egyedi színképi jellemzőket mutatva. Különféle egyéb átalakulási nyomokat is megfigyelhetünk rajtuk [9] – mindezek a kisbolygók színképet is befolyásolhatják.

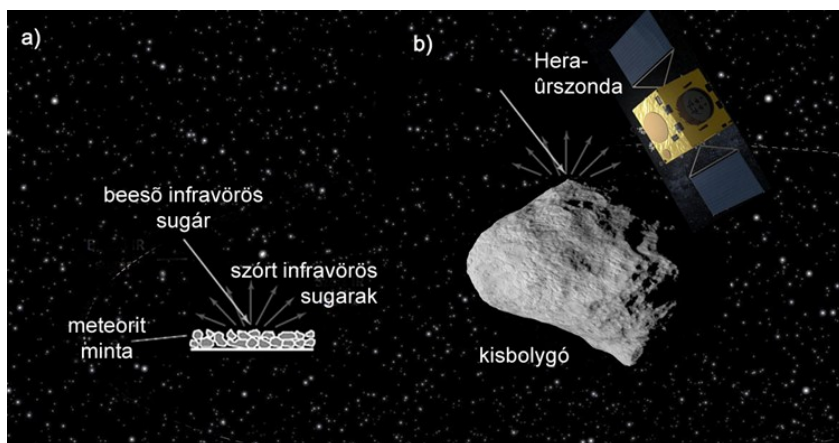
DRIFTs módszertan

Az infravörös (IR) tartomány a látható spektrumtartomány végétől a mikrohullámú tartományig terjed ($14000\text{--}20\text{ cm}^{-1}$), mely $14000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$ között a közeli infravörös (NIR), $4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$ között a közép infravörös (MIR), míg $400\text{--}20\text{ cm}^{-1}$ között a távoli infravörös tartományra osztható. Az analitikai kémia és ásványhatározás számára ebből a $200\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ ($650\text{--}1300\text{ cm}^{-1}$) közötti „ujjlenyomat” tartomány a legfontosabb, itt mutatkoznak a meteoritok ásványainak fontos vonalai.

A diffúz reflexiós infravörös Fourier-transzformációs spektroszkópia (DRIFTs) bonyolult folyamat, amelynek háttérében részt vesz abszorpció, transzmisszió, reflexió és szórás. A DRIFTs infravörös színkép (spektrum) elsősorban kvalitatív

analitikai célokat szolgál, azonban kvantitatív analitikai információt is hordoz. Az infravörös színekép a vizsgált anyagok különböző kötéseire, atomcsoportjaira jellemző abszorpciós sávokat tartalmaz, de a sugárzást szóró részecskék alakja, keménysége, kompaktáltsága, refraktív indexe, reflektivitása és elnyelése is befolyásolja a mérést.

A DRIFTs egység az IR fényt a mintatartóra fókuszálja. A fény kapcsolatba lép a minta részecskéivel és visszaverődik azok felületéről, diffúz szóródással, ami a minta fölött félkörben oszlik el (1a. ábra). A külső tükör a szórt sugárzást a spektrométer detektorába irányítja, és a detektor rögzíti az IR nyaláb változását, mint interferogram jelet, ami ezután használható a spektrum létrehozására. A háttér begyűjtése az IR mátrixból történik. A minta durva felszínén a sugárzás minden irányban reflektálódik. Ahhoz, hogy kellő mennyiségű diffúz sugárzás jusson a detektorhoz, egy optikai tükörrendszer szükséges [10–14]. Ez lehetővé teszi az IR sugárzás mintára való fókuszálását és a diffúz reflexiók (DR) sugárzás egy részének begyűjtését [15].



1. ábra: Az infravörös sugárzás és a minta kölcsönhatása (a), és fantáziarajz ennek megfigyeléséről (b). (Forrás: ESA, ScienceOffice.org)

A DRIFTs analízist számos tényező befolyásolja, többek között a minta szemcsemérete, hőmérséklete, kémiai összetétele, fizikai állapota és a beeső IR hullámhossz.

- Ideális esetben a szemcseméretnek kisebbnek kell lennie, mint a beeső IR fény hullámhossza (közepes IR tartományban $<5\text{--}10\text{ }\mu\text{m}$). A reflexió a szemcseméret növekedésével csökken, a kisebb átlagos szemcseméret ($<10\text{ }\mu\text{m}$) szebb spektrumot ad, kisebb csúcsszélességgel a nagyobb átlagméretű szemcsékhez ($>90\text{ }\mu\text{m}$) képest [13].

- A hőmérséklet szintén befolyásolja a reflektancia spektrumában a csúcsok pozícióját, szélességét és intenzitását. A hőmérséklet növekedésével a csúcsok kiszélesednek, intenzitásuk csökken, néhányan magasabb hullámhossz felé mozdulnak el, míg más csúcsok eltűnnek [16].
- A kémiai összetétel változásával a minta spektrumában egyes csúcsok eltűnnek, mások megjelennek. A meteoritokban gyakori olivin és piroxén ásványok esetén a vas (Fe^{2+}) tartalom növekedésével bizonyos csúcsok gyengébbé válnak, csökken a csúcsok reflektanciája és változás tapasztalható egyes csúcsok pozíciójában [17, 18].
- A becsapódásoktól sokkolt minták (magas nyomás/hőmérséklet hatására torzult kristályszerkezettel rendelkeznek) kevesebb spektrális változást mutatnak, habár a csúcsok intenzitása a sokkhatás mértékének növekedésével csökken [19]. A kristályos belső szerkezettel rendelkező minták spektruma jóval élesebb, mint az amorf szerkezetű minták esetén [20].

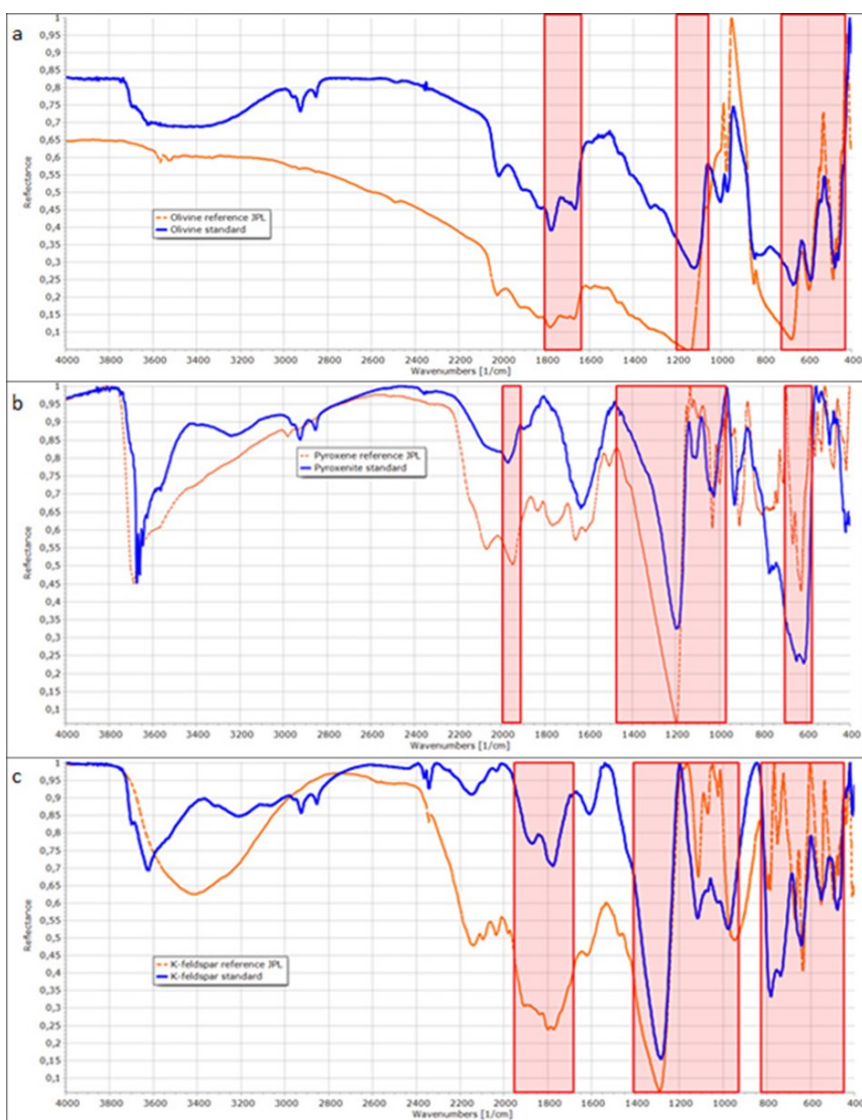
Vizsgált minták és műszerek

Az MTA CSFK Földrajztudományi Intézetében Kereszturi Ákos vezetésével végzett munkánk során eddig három, meteoritokban gyakori szilikát ásvány tiszta, referencia mintáit: olivin ($\text{Fe,Mg}_2\text{SiO}_4$), piroxén ($\text{Fe,Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$) és földpát (KAlSi_3O_8), illetve meteorit porok (NWA 869, Allende) reflektancia színeképét elemeztük. Az NWA 869 meteorit egy breccsás L3-6 típusú meteorit, mely a normál kondritok osztályába tartozik, míg az Allende egy CV3 szenes kondrit típusú meteorit.

Méréseinkhez a diffúz Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópia módszerét alkalmaztuk. A műszer fizikailag három egységből épül fel, melyek a következők: egy Vertex 70 Fourier-transzformációs infravörös spektroszkóp, egy Praying Mantis diffúz reflektancia egység, és egy folyékony nitrogénnel hűtött, alacsony hőmérsékletű reakciókamra.

Eredmények

A vizsgált meteorit ásványok reflektancia színeképeiben az adott ásványra jellemző csúcsok mutatkoznak (2. ábra), melyek csúcspozíciója a vizsgált ásványok esetén az 1. táblázatban látható.



2. ábra: Vizsgált meteorit ásványok reflektancia spektruma sötétebb színnel (4000–400 cm^{-1}), referencia spektrumok világosabb színnel a NASA JPL spektrális adatbázisból. A téglalapok az egyes ásványok karakterisztikus csúcsait jelölik (a) olivin, (b) piroxén és (c) földpát ásvány esetében

Ásványok	Karakterisztikus csúcsok (cm⁻¹)
Olivin	1800–1600, 1100s, 700–400
Piroxén	2000, 1200s, 1100w, 1000, 600–700
Földpát	1800–1600, 1300s, 1100–900, 800–500

1. táblázat: A vizsgált meteorit ásványok (olivin, piroxén, földpát) karakterisztikus csúcsai

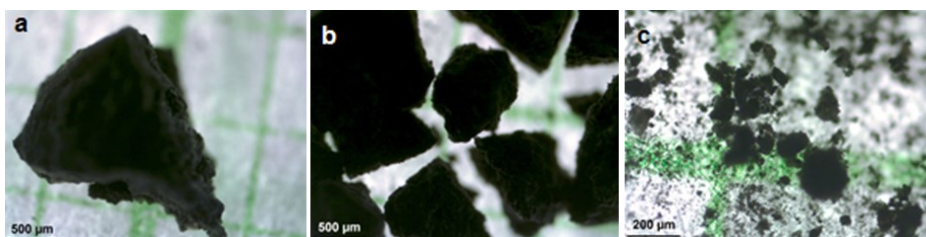
Az általunk vizsgált ásványok reflektancia színeképei jó egyezést mutatnak a NASA JPL adatbázisból származó olivin, piroxén és földpát színeképekkel (2. ábra). Ennek megfelelően tehát a Földtani és Geokémiai Intézet FTIR műszeréhez kapcsolt új DRIFT egység megfelelően üzemel, és megbízható spektrumokat tud rögzíteni.

Az NWA 869 meteorit reflektancia színeképének elemzésével a meteorit ásványos összetétele mellett kisbolygókra is releváns ásványi összetétel becsülhető. A vizsgált meteorit fő alkotói közé tartoznak a gyakori olivin, piroxén, földpát mellett az egykori vizes környezetre utaló agyagásványok, karbonát, vas-oxid és -hidroxid, illetve az ősi eredetű spinel, troilit és kromit.

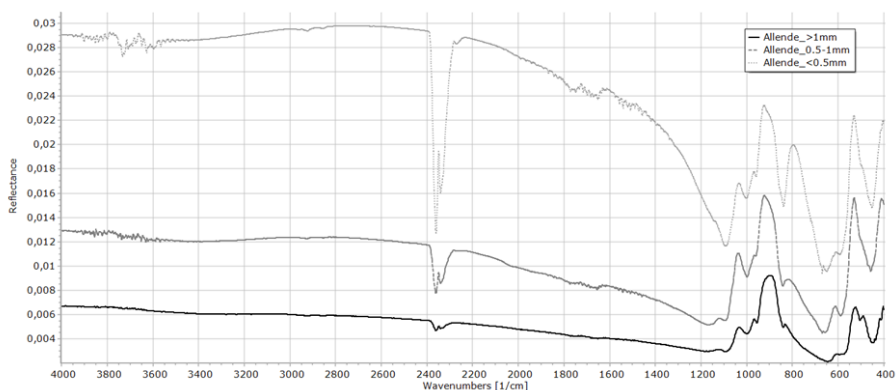
Minta	Ásvány	DRIFTs csúcsok (cm⁻¹)
NWA 869	Piroxén	1023, 970, 916, 864, 679, 667, 528, 488
	Olivin	840, 613, 602, 507
	Spinel	679, 507
	Földpát	1084, 952, 727, 645, 565, 538, 472, 434
	Agyagásvány	1139, 916, 538, 472
	Karbonát	1445
	Troilit	613, 538, 455
	Vas-oxid, -hidroxid	904, 538, 442, 409
	Kromit	667, 409

2. táblázat: Az NWA 869 meteorit ásványos összetétele, jellemző csúcsai

Elvégeztük a különböző szemcseméretű (>1 mm, 0,5–1 mm, <0,5 mm) Allende meteorit porminták (3. ábra) DRIFTs elemzését (4. ábra), hogy a minta szemcseméretének a színekpre való hatását vizsgáljuk. Az elemzett mérettartomány sok kisbolygó felszínén is jellemző lehet az ott előforduló porban, néhány megfigyelés alapján.



3. ábra: Eltérő szemcseméretű Allende meteorit porminták
a) >1 mm b) 0,5–1 mm c) <0,5 mm optikai képe



4. ábra: Különböző szemcseméretű (>1 mm, 0,5–1 mm, <0,5 mm)
Allende meteorit porminták reflektancia spektruma (4000–400 cm⁻¹)

Megfigyeléseink alapján a minta szemcseméretének csökkenésével a reflektancia nő, a színek minősége és felbontása javul (4. ábra). A szemcseméret változásával egyes csúcsok pozíciójában elmozdulás tapasztalható, míg bizonyos csúcsok eltűnnek, mások megjelennek a színekben.

Konklúzió

A meteorit ásványok földi infravörös spektroszkópos mérése lehetővé teszi az egyes ásványok megbízható azonosítását a rájuk jellemző reflektancia színek csúcsai alapján. A gyakori meteorit ásványok (olivin, piroxén, földpát) egyedi színekének ismerete megkönnyíti a többféle ásványt tartalmazó meteoritok színeinek értelmezését, összetételének meghatározását. A reflektancia színek több tényezővel szembeni érzékenysége (a minta szemcsemérete, hőmérséklete, fizikai állapota, kémiai összetétele) lehetővé teszi egy mért, ismeretlen minta néhány tulajdonságának becslését is – avagy egy adott tulajdonság ismeretében a pontosabb színkép értelmezést.

Természetesen egy kisbolygó felszínéről visszavert infravörös sugárzás értelmezése bonyolultabb, mint egy-egy meteorit színekének a megértése. A kisbolygókon ugyanis egyszerre többféle szemcseméret lehet jelen, és az ásványok a különféle sugárzások hatására részben át is alakultak, kristályszerkezetük torzult, hibák kerültek bele – a laboratóriumi színekhez képest sokkal nehezebb a megértésük. Ugyanakkor az így szerzett adatok, ismeretek és tapasztalatok felhasználhatók a tervezett detektorok sávjainak kijelölésében, és a kisbolygók felszíni regolitját vizsgáló űrszondák fejlesztéséhez. Mindez a munka pedig viszonylag szerény ráfordítással végezhető, ha megfelelő laboratóriumi műszerparkunk van, tehát fontos lehetőséget biztosít az űrtevékenységbe való bekapcsolódásra a szerényebb műszaki kapacitású országoknak is.

Ezt a kutatási projektet az ESA NEOMETLAB programja és a H2020 Excellence of Strategic R&D projekt keretében az NKFIH GINOP-2.3.2-15-2016-00003 pályázata támogatta.

Irodalomjegyzék

- [1] Kereszturi Á., Sárneczky K. (2003): Célpont a Föld? – Kisbolygók a láthatáron. Magyar Csillagászati Egyesület, Budapest
- [2] Bowles N.E. et al. (2018): CASTAway: An asteroid main belt tour and survey. *Advances in Space Research*, 62, 1998
- [3] Michel P. et al. (2016): MarcoPolo-R: Near-Earth Asteroid sample return mission selected for the assessment study phase of the ESA program cosmic vision. *Acta Astronautica*, 93, 530
- [4] Kereszturi Á. et al. (2017): Analyzing Raman–Infrared spectral correlation in the recently found meteorite Csátalja. *Spectrochimica Acta Part A*, 173, 637

- [5] Mészáros M. et al. (2014): A new classification of Nyirábrany, an ordinary chondrite from Hungary. *Meteorites*, 3, 17
- [6] Van Schmus W.R., Wood J. A. (1967): A chemical-petrologic classification for the chondritic meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 31, 747
- [7] Gyollai I. et al. (2017): Shock-induced alterations in the recently found H chondrite Csátalja meteorite and its implications. *Central European Geology*, 60, 173
- [8] Nagy Sz. et al. (2012): Shock and thermal annealing history of the ALH 77005 Martian meteorite: a micro-Raman spectroscopic investigation. *Central European Geology*, 55, 33
- [9] Gucsik A. et al. (2017): Luminescence Spectroscopical Properties of Plagioclase Particles from the Hayabusa Sample Return Mission: An Implication for Study of Space Weathering Processes in the Asteroid Itokawa. *Microscopy and Microanalysis*, 23, 179
- [10] Mitchell M.B. (1993): Fundamentals and Applications of Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform (DRIFT) Spectroscopy. In: Urban M.W., Craver C.D. (eds.), *Structure-Property Relations in Polymers*, Advances in Chemistry Series, 236 (13), American Chemical Society, p. 351
- [11] Korte E.H. (1990): Infrarot-Spektroskopie diffus reflektierender Proben. In: Günzler H. et al. (eds.), *Analytiker Taschenbuch*, Vol. 9., Springer, p. 91
- [12] Fraser D.J.J., Griffith P.R. (1990): Effect of Scattering Coefficient on Diffuse Reflectance Infrared Spectra. *Applied Spectroscopy*, 44, 193
- [13] Fuller M.P., Griffith P.R. (1978): Diffuse Reflectance Measurements by Infrared Fourier Transform Spectrometry. *Analytical Chemistry*, 50, 1906
- [14] Kortüm G., Delfs H. (1964): Reflexionsspektrometrische messungen im infraroten spektralgebiet. *Spectrochimica Acta*, 20, 405
- [15] Drochner A., Vogel G.H. (2012): Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform Spectroscopy: an In situ Method for the Study of the Nature and Dynamics of Surface Intermediates. In: Schäfer R., Schmidt P.C. (eds.), *Methods in Physical Chemistry*, 1st Edition, Wiley, p. 445
- [16] Armaroli T. et al. (2004): Diffuse Reflection Infrared Spectroscopy (Drifts): Application to the in Situ Analysis of Catalysts. *Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP*, 59, 215

- [17] Chihara H. et al. (2002): Compositional dependence of infrared absorption spectra of crystalline silicates. I. Mg-Fe pyroxenes. *Astronomy and Astrophysics*, 391, 267
- [18] Koike C. et al. (2003): Compositional dependence of infrared absorption spectra of crystalline silicate. II. Natural and synthetic olivines. *Astronomy and Astrophysics*, 399, 1101
- [19] Johnson J.R. et al. (2001): Thermal Infrared Spectroscopy of Experimentally Shocked Anorthosite and Pyroxenite. 32nd LPSC, abstract 1195
- [20] Koike C. et al. (2000): Absorption spectra of Mg-rich Mg-Fe and Ca pyroxenes in the mid- and far-infrared regions. *Astronomy and Astrophysics*, 363, 1115

Égitestek felszíni korának becslése becsapódásos kráterek alapján

Steinmann Vilmos

ELTE Természetföldrajzi Tanszék – MTA Csillagászati
és Földtudományi Kutatóközpont Csillagászati Intézet

Bevezetés

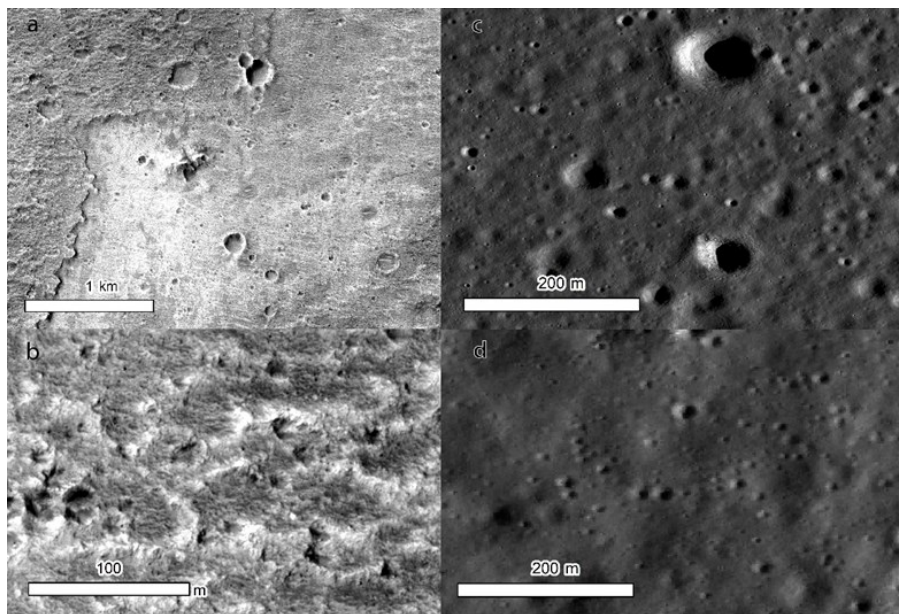
A technika fejlődésével egyre jobb minőségű képeket és domborzati, valamint színekpi adatokat kapunk más égitestek felszínéről, mint például a Holdról vagy a Marsról. Az ilyen információk sok érdekességet felfednek az adott égitestről, kérdésekre adnak választ és meg több kérdést vetnek fel. A megnőtt számítógépes kapacitás széleskörű lehetőséget biztosít ezek elemzésére, részben a térinformatikai szoftverek segítségével [1], amelyekkel nagyobb területre készített statisztikai elemzésekkel akár a múlt éghajlati változásaira is rámutathatnak a Marson [2, 3]. A tisztán tudományos kérdések mellett alkalmazott jellegű feladatok is felmerülnek, például a tervezett leszállóhelyek kiválasztásánál [4] és az ott várható felszíni viszonyok becslésénél [3]. Fontos kérdés, hogy milyen idős a bolygó vagy a felszínének egy szelete. Az egyszerű kérdésre bonyolult a válasz. Sok lehetséges közelítés létezik a korbecslésre, ezek közül most a kráterek alapján történő kormeghatározást mutatjuk be. A Naprendszerben megszámlálhatatlan aszteroida kering, amik időként beleszapódnak más égitestekbe. Ezek a becsapódásnyomok hosszú ideig megmaradnak a felszínen, így kiváló kiindulópontját képezik a korbecslésnek.

Műholdképek és jellemzőik

Mik is kellenek ahhoz, hogy meghatározzuk egy felszín korát a kráterek alapján? Először is el kell döntenünk, hogy mekkora területet szeretnénk vizsgálni. A vizsgálni kívánt területtől és kráterek méretétől függ, hogy melyik űrszonda melyik képalkotó eszközének felvételeit kell használnunk – a képek többsége ingyenesen hozzáférhető [10]. A kép kiválasztása előtt fontos megnézni, hogy Nap beesési szöge (INC) mekkora volt a felvétel készítése közben. Ha túl magas, akkor „kiégeti” a felszín képét, ha túl alacsony, akkor az árnyékok miatt szinte semmi sem látszik. A legjobb ilyen szög 70 és 80 fok között mutatkozik.

A Hold felszínének vizsgálatához a Lunar Reconnaissance Orbiter Camera (LROC) kis (NAC) és nagy (WAC) látószögű ka-

meráját szokták használni. Előbbi maximálisan 1 méter/pixel felbontású (ahol egy pixel nagysága a valóságban 1 m hosszú és 1 m széles), míg utóbbi 100 m/px felbontású. A Mars esetében több kamera képéből is válogathatunk: a Mars Reconnaissance Orbiter űrszondán a High Resolution Imaging Science Experiment (HiRISE) felbontása akár 25 cm/px is lehet, viszont kis területet fed le, míg a Context Imager (CTX) felbontása 6 m/px, de sokkal nagyobb területet fed le.

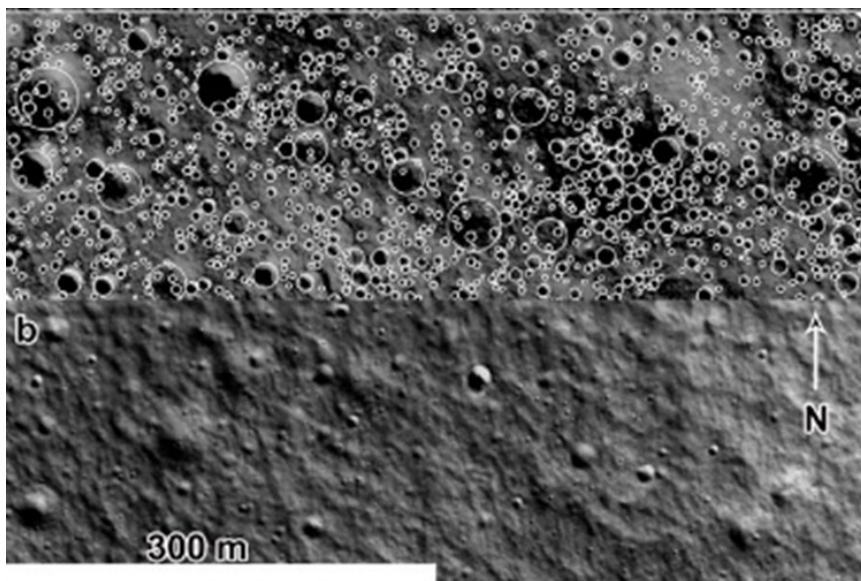


1. ábra: Két példa az űrszondák által készített képekre és felbontásukra. A HiRISE (a;b) a Mars felszínéről akár 25 cm-es felbontású képet is tud rögzíteni. A Holdról (c;d) a LROC NAC egysége készít jó minőségű képeket

A korbecslés alapjai

A korbecsléshez a leggyakrabban használt térinformatikai szoftverek az ArcMap, CraterTool és a CraterStat. Az Arcmap és a CraterStat önálló szoftverek, míg a CraterTool egy beépülő modul az ArcMap-ben. Az ArcMap az ESRI cég által fejlesztett vezető geoinformatikai (GIS) szoftver, amihez hozzá kell adnunk a CraterTool beépülő modult. A modul segít célirányosan kijelölni és exportálni a kártereket. A modulban létre tudunk hozni speciális terület (poligon-AREA) és kráter (poligon-CRATER) *.shp (vektoros, tehát vonalakból álló) formátumot, amik tartalmazzák a szükséges speciális adatokat (terület km²-ben, kráterek mérete és koordinátái). Miután megtörtént a terület és a kráterek kijelö-

lése (2. ábra) és elmentettük a kész vektoros állományt, lehetőségünk van exportálni a lemért adatainkat. Az exportálást a modul több *.scc állományba végzi, ami egy speciális kiterjesztés. Ezt kell beolvasnunk a CraterStat szoftverbe, melynek futtatásához szükségünk van egy segédsoftverre, az IDL Virtual Machine-re, ami a megjelenítő grafikus felületet adja.

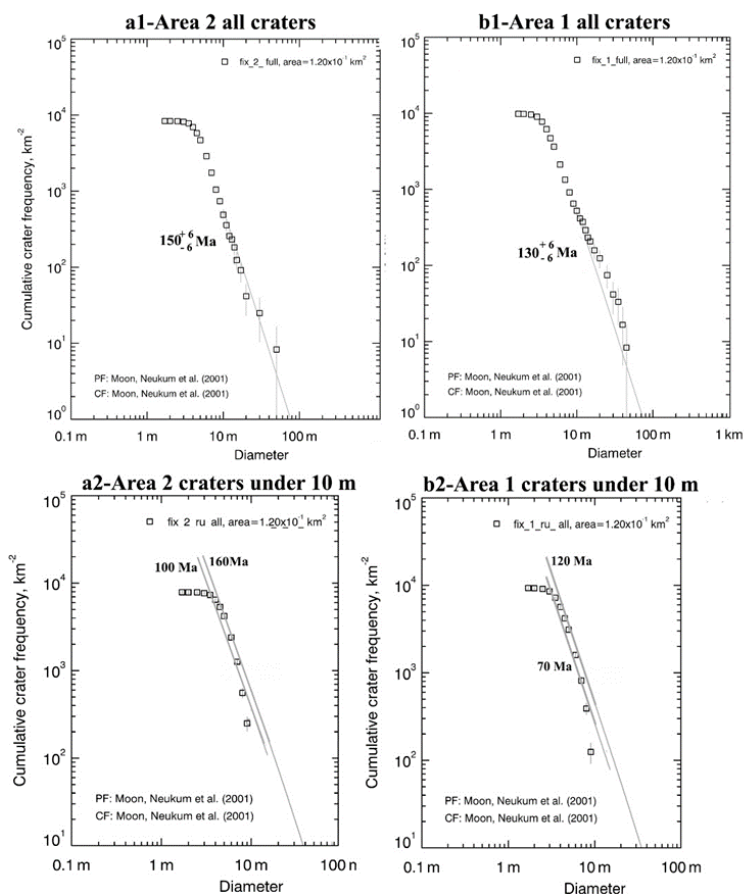


2. ábra: Egy holdi terület (lent) és a rajta digitalizált kráterek körvonalai (fent)

A CraterStat szoftverben több égitesten (pl. Merkúr, Hold, Vénusz, Mars, Phobos) lehetőség van különböző koradatok kinyerésére, mivel mindezek vetületi rendszerét ismeri a szoftver. Az adatok importálása után ki kell választanunk, hogy milyen keletkezési (Production Function, PF) és kronológiai (Chronology Function, CF) egyenletet kívánunk alkalmazni a krátereket illetően [7], az eltérő méretű krátereket létrehozó becsapódások gyakorisága ugyanis más és más, valamint mindez a Naprendszer fejlődése során is módosult: kezdetben sokkal gyakrabban és nagyobb becsapódások történtek, mint az utóbbi 2–3 milliárd évben.

Többféle lehetőség is van arra, hogy automatikusan vagy kézi úton becsüljük meg a kráterek gyakoriságából adódó felszíni kora (3. ábra). Ha az automatikus megoldás, kumulatív és Poisson-eloszlást használhatunk, de kézzel is illeszthetünk görbét. A legmegfelelőbb illesztés esetében a kor egyenese jól illeszkedik

az elméleti izokronokkal (azonos korú pontokat összekötő vonalakkal). Természetesen ha tágitjuk a kráter méretkategóriát, több izokron is illeszthető, mivel a különböző méretű kráterek eltérő kort képviselnek, hiszen a nagyobb kráterek nehezebben pusztulnak el, ezért idősebbek.



3. ábra: Példa a kézi korillesztésre a Hold egy tetszőleges kiválasztott területén.
A ferdén balra lefelé futó pontsor az izokronok futási irányát jelzi
(Kereszturi et al. 2019, megjelenés alatt)

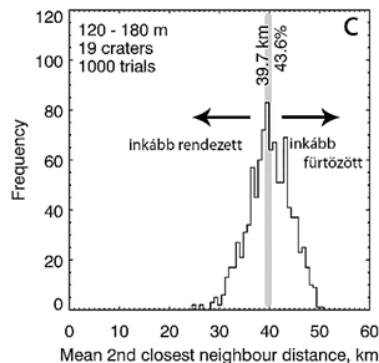
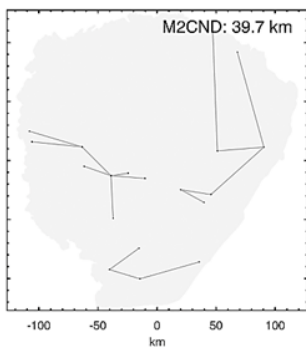
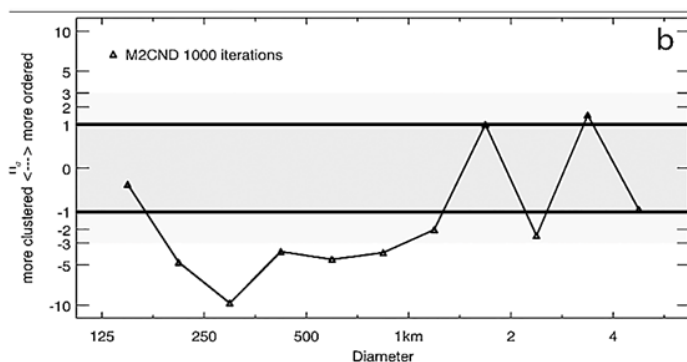
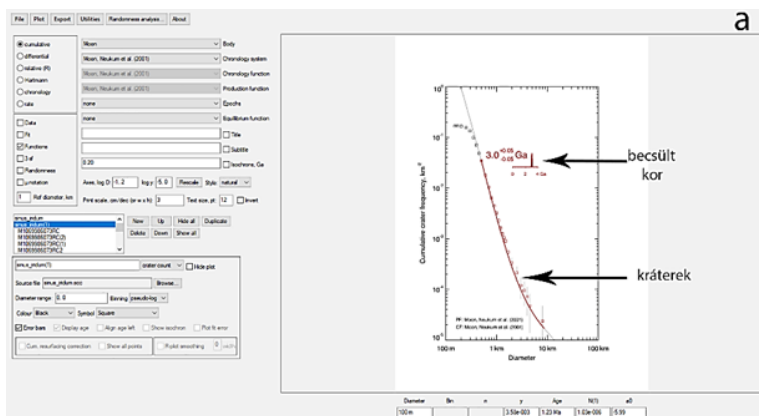
A fentiek szerint nyert adatokkal a Microsoft Excel program segítségével további elemzések végezhetőek el. Az adatokat a már említett ArcMapból kell exportálnunk *.txt (szöveges) vagy *.dbf (táblázatos) formátumba. Az Excel programra a nagy mennyiségű adat miatt van szükség, ami nem csak megkönnyíti, hanem meg is gyorsítja munkát a statisztika (átlag, minimum, maximum, szórás stb.) vagy a diagramok készítése során.

Az elmaradhatatlan térképek

Ha a vizsgált terület heterogén és ezért nagy különbségek mutatkoznak benne, akkor térképi anyagot is készíthetünk a lemért krátereink adataiból az alap szoftverrel, vagy a Surfer programmal. Egyszerű, területre levetített darabszám térkép készítésére az ArcMapben hozzunk létre egy tetszőleges méretű poligonokból álló hálót a Fishnet eszköz segítségével, számoltassuk meg az egyes poligonokban lévő krátereket, alakítsuk át pont típusú vektorrá, majd adjuk hozzá az egyes pontok koordinátáit. Ezután az exportált és formázott Excel fájlt Surferben interpolálhatjuk. A kapott *.grd (grid, vagyis rácsos) állomány könnyen megjeleníthető ArcMapben. Az ilyen térképeken láthatóvá válnak olyan eltérések (a fenti esetet alapul véve) a kráterek számában és térbeli elhelyezkedésében, amik például kráterláncolatokat mutatnak – ezek pedig egy közeli becsapódáskor kilökött, majd visszahullott törmelékek okozta másodlagos kráterek is lehetnek.

A véletlenség vizsgálata

A vizsgált kráterek eloszlását legkomplexebb módon számszerűsítő értékek a CraterStat szoftveréből érhetők el, a véletlenség valószínűségének vizsgálata [6] (randomness analysis) alapján. A vizsgálat során a kijelölt összes krátert elemzi az algoritmus egy általunk meghatározott számú iteráció (ismétlés) alapján a második legközelebbi szomszéd távolságán (M2CND) és az második átlagos legközelebbi szomszéd közötti eltérés (SDAA) alapján. A szimuláció végeredménye egy grafikon, amin az egyes kráterátmérő-osztályokhoz tartozó kráterek elrendezettségi valószínűsége látható, illetve egy *.txt állomány a számszerű adatait tartalmazza a grafikonoknak. Egy adott kráterosztályba tartozó kráterek eloszlását akkor tekintjük véletlenszerűnek, ha azok valószínűségi értéke (n sigma) a nullához közelít, ekkor az értékek 1 és -1 között változnak ideális esetben. A diagramon pedig akkor tekintünk egy krátercsoportot véletlenszerűnek, ha a szürke sáv a hisztogram csúcsán, vagy annak közelében helyezkedik el (4. ábra, C kép). Az M2CND esetében, ha nem véletlenszerű, akkor lehet „fürtözött” vagy „rendezett” – ezen esetekben a krátergyakoriságból becsült kor nem igazán megbízható. Ezzel a módszerrel tovább lehet finomítani a korábban említett kráterkor görbénket, úgy, hogy csak azokra a kráterosztályokra illesztjük rá az egyenest, amelyek véletlenszerű eloszlást mutatnak.



4. ábra: A CraterStat szoftver (a) és a véletlen valószínűség vizsgálati eredmény (b, c). Látható, milyen jól illeszkedik a korgörbe (a) a krátereket jelölő négyzetekre. A két fekete vonal által lehatárolt terület mutatja, melyik kráterátmérő-tartományok eloszlása véletlenszerű (b). A Gauss-görbe (c) a szürke vonallal mutatja, hogy a kráterek milyen távolságban helyezkednek el egymástól

Mire jó a korbecslés?

Az égitestek felszínének kráterstatisztikai elemzés alapján becsült kora fejlődéstörténetük különböző időszakainak eseményeire utal. A legnagyobb kráterek [8] az ősi Naprendszerben születtek, segítségükkel sikerült például kideríteni, hogy kb. 3,7 milliárd évvel ezelőtt egy intenzív bombázási időszak erejéig átmenetileg újra felerősödtek a becsapódások a Naprendszerben. De a kráterstatisztikai elemzések segítségével lehet az egykori marsi folyóvízi aktivitást datálni, avagy az asztrobiológiai szempontból [9] érdekes korú üledékes területeket kijelölni.

Köszönetnyilvánítás

A munka megszületését az MTA CSFK Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézete, valamint a H2020 Excellence of Strategic R&D projekt keretében az NKFIH GINOP-2.3.2-15-2016-00003 pályázata támogatta.

Irodalomjegyzék

- [1] Kereszturi Á. et al. (2014): Domborzat alapú felszín elemzés és morfológiai korreláció a Mars északi síkságára. Geomatikai Közlemények, 17, 93
- [2] Kapui Zs. et al. (2018): Fluvial or aeolian grains? Separation of transport agents on Mars using Earth analogue observations. Planetary and Space Science, 163, 56
- [3] Orgel Cs. et al. (2018): Gridmapping the Northern Plains of Mars: A New Overview of Recent Water- and Ice-Related Landforms in Acidalia Planitia. Journal of Geophysical Research, JE005664
- [4] Ettahri M.A. et al. (2018): Topographical and Morphological Analysis of Mawrth Vallis to Target ExoMars Rover Mission. 49th LPSC, abstract 2448
- [5] Séjourné A. et al. (2018): Grid-mapping the northern plains of Mars: using morphotype and distribution of ice-related landforms to understand multiple ice-rich deposits in Utopia Planitia. Journal of Geophysical Research, JE005665
- [6] Michael G.G. et al. (2012): Planetary surface dating from crater size–frequency distribution measurements: Spatial randomness and clustering. Icarus, 218, 169
- [7] Neukum G. (1983): Meteorite Bombardment and Dating of Planetary Surfaces, NASA TM-77558
- [8] Hargitai H., Kereszturi Á. (2015): Encyclopaedia of Planetary Landforms, Springer
- [9] Domagal-Goldman S.D. et al. (2016): The Astrobiology Primer v2.0. Astrobiology, 16, 561
- [10] <http://ode.rsl.wustl.edu/moon/>

A Kepler, a K2 és a TESS küldetések érdekes tranzitbolygói

Futó Péter

Debreceni Egyetem, Ásvány- és Földtani Tanszék

2019-ben épp 400 éve annak, hogy Johannes Kepler (1571–1630) a két bolygómozgási törvényének 1609-es közreadása után 1619-ben Harmonices Mundi (A világ harmóniája) című művében közölte a harmadik törvényszerűség leírását is, amelyet 1618. május 15-én alkotott meg. Négy évszázad múltán pedig már a neves tudósról elnevezett bolygókereső űrtávcső által végzett mérések vonatkozó eredményeit is analizálhatjuk Kepler harmadik törvényének fényében. A Kepler-űrtávcsővel végzett mérések, felfedezések egy évtizedes múltra tekintenek vissza, több ezer exobolygó megtalálását köszönhetjük ezeknek. Az exobolygók utáni kutatás kiegészült, illetve folytatódik a NASA 2018. április 18-án Föld körüli pályára állított új generációs tranzitkereső űrtávcsővel, a TESS-szel (Transiting Exoplanet Survey Satellite).

A közel öt évig, 2014 februárjától 2018 augusztusáig, 19 megfigyelési kampány keretében működtetett K2 küldetésnek több mint háromszáz, létezésében megerősített exobolygó felfedezését köszönhattük. A Keplerrel végzett megfigyelések teljes időszakában pedig 2600-nál is több exobolygót azonosítottak.

A NASA legújabb, TESS elnevezésű fotometriai űrtávcsőve hivatalosan 2018. július 25-én kezdte meg működését. Elsődleges feladata az exobolygók tranzitmódszerrel történő keresése viszonylag közeli fényes csillagok körül. Az M típusú vörös törpecsillagok megfigyelésére több figyelem jut majd a TESS működése során, mint az előző bolygókereső programok során [1].

A tranzit barna törpétől a bolygóóriásokig

Az EPIC 201702477b jelű objektum egy rendszeres tranzitokat mutató, hosszú periódusú (40,737 nap), excentrikus pályán ($e=0,2281$) mozgó barna törpe, amelyet eredetileg a K2 1-es kampánya során figyeltek meg, mint bolygójelöltet. A későbbi, pontosabb radiálissebesség-mérések révén derült ki, hogy valóban egy a bolygóknál nagyobb tömegű égitestről van szó. A 66,9 Jupiter tömegű és 0,757 Jupiter átmérőjű objektum [2] az eddig talált legkisebb sugarú az ismert barna törpék között. Az ismert tranzitos barna törpék populációja tömegük alapján nagy

és kis tömegű barna törpékre osztható fel, aminek alapján az EPIC 201702477b a nagy tömegűek közé sorolható. A barna törpe talán legfőbb érdekessége, hogy átlagsűrűsége a legnagyobb az eddig ismert bolygók, szubsztelláris objektumok és fősorozati csillagok között.

Óriásbolygó-rendszerek

A felfedezett tranzitbolygós rendszerek között akadnak olyanok, melyekben több óriásbolygó is található, ezek az óriásbolygó-rendszerek (giant planet systems). Ebben a megközelítésben Naprendszerünk szintén az óriásbolygó-rendszerek közé tartozik, sőt a Jupiteren és a Szaturnuszon kívül még két jégóriás – az Uránusz és a Neptunusz – is megtalálható benne. Két szubszaturnusz méretű bolygót is ismerünk a Kepler-108 rendszerben. A b jelű bolygó átmérője 77,2%-a a Jupiterének [3], ami a Szaturnusz átmérőjének 94,78%-át jelenti. A c bolygó átmérője pedig 0,73 Jupiter-átmérő, ez a Szaturnusznak a 89,6%-a. A rendszer központi csillagának tömege a Napénak 87%-a, sugara pedig annak 2,192-szerese, valamint felszíni hőmérséklete hasonló a Napéhoz: 5854 K.

Felfúvódott óriás gázbolygók

A K2 11-edik kampánya során megfigyelt fiatal, mintegy 2,55 milliárd éves F-színképtípusú, EPIC 229426032 katalógusjelű csillagot mindössze alig több mint két és fél nap alatt, 0,037 csillagászati egység (CSE) távolságban körbejáró b jelű óriásbolygó tömege 1,6-szerese, sugara pedig 1,65-szorosa a Jupiterének [4]. Átlagsűrűsége 0,44 g/cm³, ami a Jupiter hasonló paraméterének csupán 35,6 százaléka. Ennek alapján az EPIC 229426032b egy ún. erősen felfúvódott gázbolygó (highly-inflated gaseous planet).

Szuperföld-rendszerek

A megfigyelési adatok tanúsága szerint a szuperföldek a leggyakoribb bolygótípust képviselik galaxisunkban, a Tejútrendszerben. Sok bolygórendszerben a különböző bolygótípusok mellett nem egy, hanem több, ebbe a bolygóosztályba tartozó planéta is található. Sőt vannak olyan multiplanetáris rendszerek is, melyek az eddig ismert tagok közül többségében vagy kizárólag szuperföldeket hordoznak, ezek az úgynevezett szuperföld-rendszerek (super-Earth-systems). Sok bolygórendszerben találhatók szuperföld kategóriájú bolygótestek a központi csillag erős közelségében, ahol több esetben is egy napnál rövi-

debb periódusidővel keringenek. Ezek a forró szuperföldek (hot super-Earths), melyek kialakulására az elfogadott modellek között egy egészen egyszerű és valószínű forgatókönyv is szerepel. Ennek értelmében a forró kőzetbolygók (legalábbis egy részük) egykori, a csillaguk extrém közelségébe vándorolt óriásbolygók magjai lehetnek, melyek a közeli csillag árapályerőinek hatására veszítették el gázburkukat. A gázóriások migrációjuk során az ún. Roche-határon belülré kerülhettek, ahol a csillag gravitációjából eredő árapályerők nagyobbak, mint a bolygó saját gravitációs megtartó ereje. A gáztömegét elveszíti a bolygó, míg a kőzetmag árapályerőkkel szembeni ellenálló képessége nagyobb, így az marad vissza. A csupasz kőzetmag aztán idővel a Roche-határon kívülre vándorol a gáztömeg elvesztése miatt, s a folyamat során új típusú planétává átalakult égitest rövid periódusú, kör alakú pályán kering tovább a csillag körül [5].

A mintegy 99 fényévre lévő GJ 9827 (K2-135) katalógusjelű csillag bolygórendszere a legközelebbi a Kepler és K2 küldetések során eddig felfedezettek közül. A rendszer három ismert bolygójának mindegyike a szuperföldek tömegkategóriájába esik, közülük kettő lehet ténylegesen Föld-típusú (K2-135b és K2-135c) viszonylag kis átlagsűrűséggel, míg a harmadik inkább minineptunusz jellegű (K2-135d) [6]. A planéták tömege, sugara a Föld tömegének és sugarának egységében kifejezve, valamint az átlagsűrűsége a következő: 3,74 $M_{\oplus}$, 1,62 $R_{\oplus}$, 4,81 g/cm³ (K2-135b); 1,47 $M_{\oplus}$, 1,27 $R_{\oplus}$, 3,87 g/cm³ (K2-135c); 2,38 $M_{\oplus}$, 2,09 $R_{\oplus}$, 1,42 g/cm³ (K2-135d).

Az EPIC 220194953, vagy más jelöléssel K2-148 egy néhány napos periódusidejű tagokból álló multiplanetáris szuperföld-rendszer, melynek három ismert bolygója van. A K2-155 (EPIC 210897587) a K2 13-adik kampányában monitorozott fémszegény M-törpe, amely körül három ismert szuperföld méretkategóriájú, 1,55, 1,95 és 1,64 $R_{\oplus}$ sugarú bolygó kering 6,34, 13,854 illetve 40,68 napos periódussal [7].

Az EPIC 211964830 katalógusjelű M2-spektráltípusú törpecsillag családja szintén multiplanetáris rendszer, mivel legalább két ismert bolygót tartalmaz. Mindkét exobolygó (b: 2,231 $R_{\oplus}$, c: 2.668 $R_{\oplus}$) [8] úgynevezett meleg szubneptunusz kategóriájú (warm sub-Neptune), s összetételük alapján is valószínűleg átmeneti típust képviselhetnek a szuperföldek és a Neptunusz-jellegű bolygók között. A rendszer egyik érdekessége, hogy a Praesepe nyílt csillaghalmazban (M44) található, a Rák csillagkép irányában látszó égterületen, melyet a K2 küldetés 16-odik megfigyelési kampánya során monitorozott a Kepler-űrtávcső. A hal-

mazon belül, a sűrűbb elhelyezkedés következtében, a csillagok gravitációs kölcsönhatásaik révén égitestek kerülhetnek át egyik formálódó bolygórendszerből a másikba. Ilyen események történhetek akár Napunk és családja kialakulásának és fejlődésének korai fázisában is, mivel csillagunk szintén halmazban született.

A TESS űrtávcső első megerősített exobolygó felfedezése a π Men (HD 39091) c. Az 59,6 fényévre lévő, G0V színképtípusú, a Napnál valamivel nagyobb tömegű és fiatalabb, közel három-milliárd éves anyacsillag rendszerének legbelső bolygója egy forró szuperföld, melynek keringési távolsága mindössze 0,06839 CSE. A szuperföldek kategóriájába sorolható bolygó tömege 4,82 földtömegnek adódott, míg átmérője 2,14-szerese bolygónkénak [9], amely paraméterek alapján valószínű, hogy vastag légköre van. A π Mensae rendszerében még egy ismert planéta (b), egy szuperjupiter (10,02 M_{Jupiter}) is található, mely távolabb a csillagtól, mintegy 3,1-szeres Nap–Föld távolságban kering. A TESS első felfedezései között szerepel egy fényes, közeli, K 4,5-színképtípusú törpecsillag, a HD 21749 36 napos periódusidővel keringő szubneptunusz kategóriájú bolygója, melynek sugara 2,84-szerese, tömege pedig 23,2-szerese Földünkének [10].

Érdekes összefüggést találtak a Torontói Egyetem kutatói a szuperföldek és a külső óriásbolygók Nap-szerű csillagok körüli előfordulása között, mind földi bázisú radiálissebesség-mérések adatainak, mind pedig a Kepler-adatoknak a statisztikai vizsgálatakor. Eredményeik szerint az ún. hideg jupiterek háromszor gyakoribbak olyan rendszerekben, amelyek szuperföldre(ke)t is tartalmaznak, mint egyéb esetekben [11]. Az olyan bolygórendszerek pedig, mint a sajátunk is, ahol létezik hideg jupiter, azonban nincsenek szuperföldek, meglehetősen ritkának számítanak (~1%). Továbbgondolva ezt a tényt, ha adott feltételek mellett a lakhatósági zónában (habitable zone, HZ) keringő szuperföldek akár alkalmasabbak is lehetnek az élet hordozására, mint a Föld méretű HZ-bolygók, akkor a hideg jupiternek a belső bolygók esetében megnyilvánuló, életet „védelmező” szerepe még fokozottabban előtérbe kerül.

Föld méretű bolygók

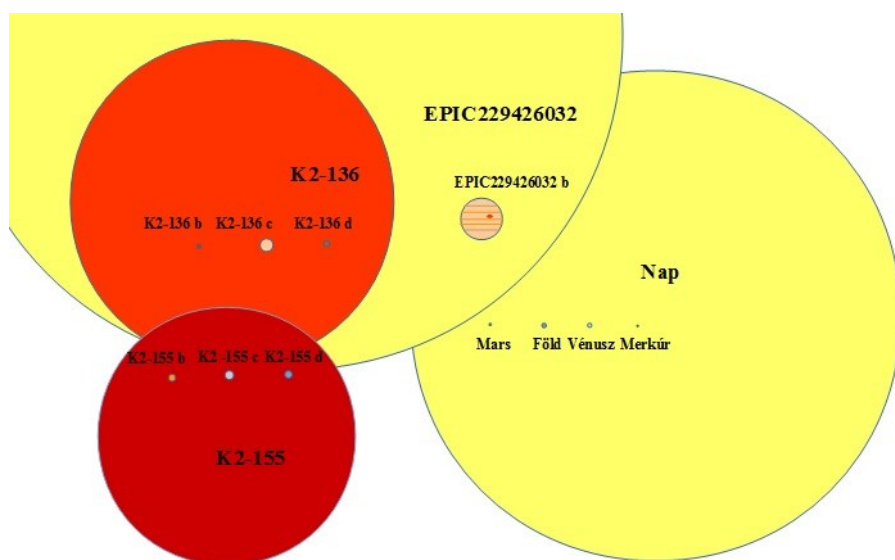
A szakirodalom a 0,8–1,25 földátmérő közötti exobolygókat sorolja a Föld méretű kategóriába. A Föld méretű planéták között vannak a sajátunkhoz tömegben is hasonló és vannak viszonylag nagy átlagsűrűségű, a szuperföldek tömegkategóriájába tartozó bolygók is.

A K2 fénygörbék analizisével, fiatal csillaghalmazokban és csillagkeletkezési régiókban történő keresés során, a 13. megfigyelési kampány (C13) keretében három tranzitbolygót is azonosítottak a Hyadok csillaghalmazban a fiatal, hozzávetőleg 800 millió éves, kései K-színképtípusú, EPIC 247589423 (K2-136) katalógusjelű csillag körül. A legbelső, egyben legkisebb, b jelű planéta sugara ($0.99 R_{\oplus}$) [12] közelít a Földéhez. A K2-136b az elsőként egy csillaghalmazban talált Föld méretű exobolygó, valamint egyike a néhány ismert fiatal, bolygónk sugarához közelítő méretű planétának.

A K2-137 egy a K2 tizedik kampánya során megfigyelt, 310 fényévre lévő vörös törpecsillag. A körülötte keringő K2-137b jelű, rendszeres tranzitokat mutató exobolygó periódusideje mindössze 4,3 óra, sugara pedig a Földének mintegy 89%-a [13].

A K2-229b jelű exobolygó sugara 1,165-szer, míg tömege 2,59-szor nagyobb, mint Földünké [14]. A bolygó extrém közelségben, 0,012 CSE távolságban, mindössze 14 óra alatt járja körbe K-színképtípusú, aktív csillagát, melynek intenzív csillagszele és flertevékenysége erodálhatja a bolygó légkörét. Átlagsűrűsége alapján ez a Föld méretű planéta valószínűleg nagy méretű fémes maggal és relatíve vékony szilikátköppennyel rendelkezik, s a felszínén uralkodó extrém körülmények, a nagy forróság miatt életre alkalmatlan lehet. Az anyacsillagnak további ismert kísérői is vannak, ám mindegyik nagyobb méretű és tömegű a legbelső tranzitbolygónál.

A Napnál idősebb, a Lant csillagkép irányában megfigyelhető Kepler-62 jelű csillag körül két olyan szuperföld is kering, melyek pályája a lakható zónába esik. Méretük ugyan 40 (Kepler-62f), illetve 60 (Kepler-62e) százalékkal haladja meg a Földét, és bár nem tudjuk biztosan, de adott esetben a szuperföldek még akár alkalmasabb feltételeket is biztosíthatnak az élet kifejlődéséhez és hosszú távú fennmaradásához, mint a Föld méretű kőzetbolygók. A kedvezőbb feltételek közé tartozik például a nagyobb tömeg következtében intenzívebb geodinamika és hosszabb távú geológiai aktivitás, valamint a jobb légkör-megtartó képesség. Ezeket a planetáris testeket „szuperhabitábilis” (superhabitable) jelzővel illetik a szak- és ismeretterjesztő irodalomban. A szuperhabitábilis jelző pedig természetesen nem csupán exobolygókra, hanem az adott esetben a kedvezőbb feltételeket biztosító exoholdakra is illeszthető.



1. ábra: A felfedezett exobolygók és csillagaik méreteinek összehasonlítása a Nappal és közetbolygóival

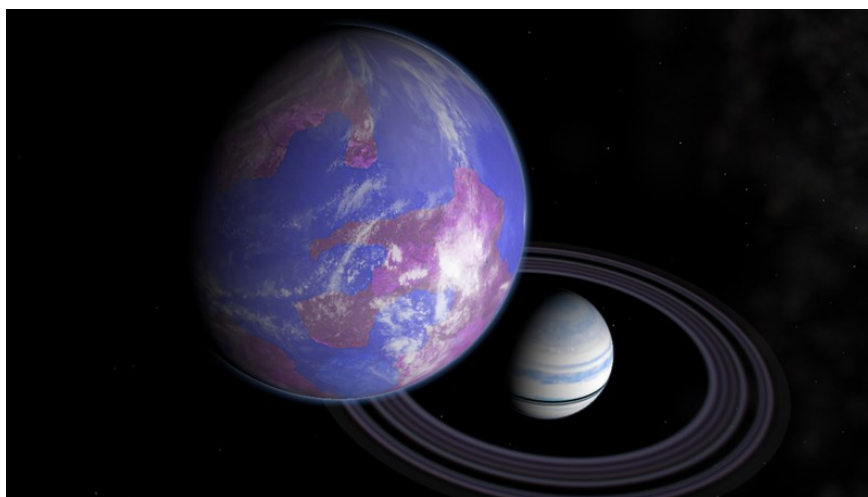
Exoholdak a lakhatósági zónában

A Kepler-űrtávcső adatai között eddig több mint száz olyan létezésében megerősített gázóriás szerepel, amely csillaga lakhatósági zónájában kering. Az élet utáni kutatás szempontjából ebben még nincs semmi különleges, hiszen az óriás gázbolygókön uralkodó körülmények nem teszik lehetővé az élet – legalábbis általunk ismert – formáinak kialakulását. Azonban ezeknek a HZ-gázóriásoknak lehetnek olyan holdjaik, amelyek már megfelelő potenciállal rendelkeznek az élet megszületéséhez és hosszú távú fennmaradásához [15]. Érdekességgéppen megjegyzendő, hogy a Kepler által talált HZ-óriásbolygók között tutatjával megtalálhatók a 6–12 Jupiter tömegű óriások [16], melyek körül már egy földtömeget elérő holdak is kialakulhattak. A Kepler által felfedezett cirkumbináris (kettőscsillag körül keringő) bolygók között gázóriások is találhatók, ezeknek is létezhetnek olyan nagy méretű holdjaik, melyek szintén alkalmasak az élet hordozására [17].

Sok különösen érdekes felfedezést tapasztalhattunk meg az űrtávcsöves fotometriai mérések révén, de a tudósokat még most is és ezután is érhetik meglepetések. Ugyan nem HZ-bolygó körül keringő exohold, de mindenképpen említésre méltó a Kepler-1625 jelű csillag bolygója körüli objektum esete. Egy, a bolygó

detektálását később követő megfigyelés során a Hubble-űrtávcsővel végzett mérés adatainak értékelésekor a kutatók nagy méretű kísérő jelenlétére utaló jelet találtak a többszörös Jupiter tömegű Kepler-1625b fénygörbéjén. Az adatok alapján végzett modellezés eredményei szerint az exohold-jelölt tömege és mérete a Neptunuszéhoz hasonló lehet [18].

A HZ-óriásbolygókat kísérő holdak adott esetben nagyon kedvező feltételeket biztosíthatnak az élet számára, ugyanis például nem csupán a csillagtól részesülhetnek energiabesugárzásban, hanem az óriásbolygóról visszaverődő sugárzás révén is. Geológiai aktivitásuk pedig még kisebb tömeg esetén is viszonylag hosszú ideig fennmaradhat az anyabolygó gravitációja általi, folyamatosan megvalósuló árapályfűtés mellett.



2. ábra: Elképzelt Föld-szerű exohold egy Szaturnusz-szerű exobolygó körül.
(Forrás: NASA Ames Kutatóközpont)

Összegzés

Az újonnan felfedezett szuperföld-rendszerek további megerősítést jelentenek abban a megfigyelésben, hogy a szuperföld kategóriájú égitestek képviselik a leggyakoribb típust az exobolygók világában. A temérdek adatot szolgáltató tömeges felfedezések forradalmasították a csillagászatot és az exobolygó-kutatást, rendkívüli távlatokat nyitva meg a kutatók előtt. Ennek köszönhetően a Kepler-űrtávcső küldetése a tudományos célú űrkutatás egyik legeredményesebb vállalkozásának bizonyult. A folytatást jelentő TESS-szel végzett mérések összessége remélhetően szintén kiemelkedően sikeres program lesz az exobolygók felfedezése terén.

Irodalomjegyzék

- [1] Frey S. (2018): Kezdődhet az újabb bolygóvadászat (www.urvilag.hu, 2018.07.29.)
- [2] Bayliss D. et al. (2017): EPIC 201702477b: A Transiting Brown Dwarf from K2 in a 41 day Orbit. *Astronomical Journal*, 153, 15
- [3] NASA Exoplanet Archive (exoplanetarchive.ipac.caltech.edu)
- [4] Soto M.G. et al. (2018): EPIC229426032b and EPIC246067459b: discovery of a highly inflated and a 'regular' pair of transiting hot Jupiters from K2. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 478, 5356
- [5] Juhász Á. (2018): A pokoli lávavilág egykor forró Jupiter lehetett? (www.csillagaszat.hu, 2018. 02. 06.)
- [6] Prieto-Arranz J. et al. (2018): Mass determination of the 1:3:5 near-resonant planets transiting GJ 9827 (K2-135). *Astronomy and Astrophysics*, 618. A116
- [7] Hirano T. et al. (2018): K2-155: A Bright Metal-Poor M Dwarf with Three Transiting Super-Earths. *Astronomical Journal*, 155, 124
- [8] Livingston J.H. (2019): K2-264: a transiting multiplanet system in the Praesepe open cluster. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 484, 8
- [9] Huang C.X. et al. (2018): TESS Discovery of a Transiting Super-Earth in the Π Mensae System. *Astrophysical Journal Letters*, 868, L39
- [10] Dragomir D. et al. (2019): The longest period TESS planet yet: a sub-Neptune transiting a bright, nearby K dwarf star. ar-Xiv:1901.00051
- [11] Zhu W., Yu W. (2018): The Super Earth–Cold Jupiter Relations. *Astronomical Journal*, 156, 92
- [12] Mann A.W. et al. (2018): Zodiacal Exoplanets in Time (ZEIT). VI. A Three-planet System in the Hyades Cluster Including an Earth-sized Planet. *Astronomical Journal*, 155, 4
- [13] Smith A.M.S. et al. (2018): K2-137b: an Earth-sized planet in a 4.3-h orbit around an M-dwarf. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 474, 5523
- [14] Santerne A. et al. (2018): An Earth-sized exoplanet with a Mercury-like composition. *Nature Astronomy*, 2, 393
- [15] Szegedi-Elek E. (2018): 121 gázóriás lakható exoholdakkal? (www.urvilag.hu, 2018. 06. 14.)
- [16] Hill M.L. et al. (2018): Exploring Kepler Giant Planets in the Habitable Zone. *Astrophysical Journal*, 860, 67
- [17] Hamers A.S. et al. (2018): Stability of exomoons around the Kepler transiting circumbinary planets. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 480, 3800
- [18] Teachey A., Kipping D.M. (2018): Evidence for a large exomoon orbiting Kepler-1625b. *Science Advances*, 4, eaav1784

Hazai közeli világűr ballonkísérletek 2017–2018 folyamán

**Hegedüs Tibor¹, Jäger Zoltán¹, Goda Zoltán²,
Papp László³, Szing Attila⁴**

¹Szegedi Tudományegyetem Bajai Obszervatóriuma

²Nemzeti Közszerológati Egyetem Vízstudományi Kar, Baja

³Magyar Rádióamatőr Szövetség (MRASZ), HG8LXL, Csongrád

⁴StratoLab Kutató, Fejlesztő és Innovációs Kft., Budapest

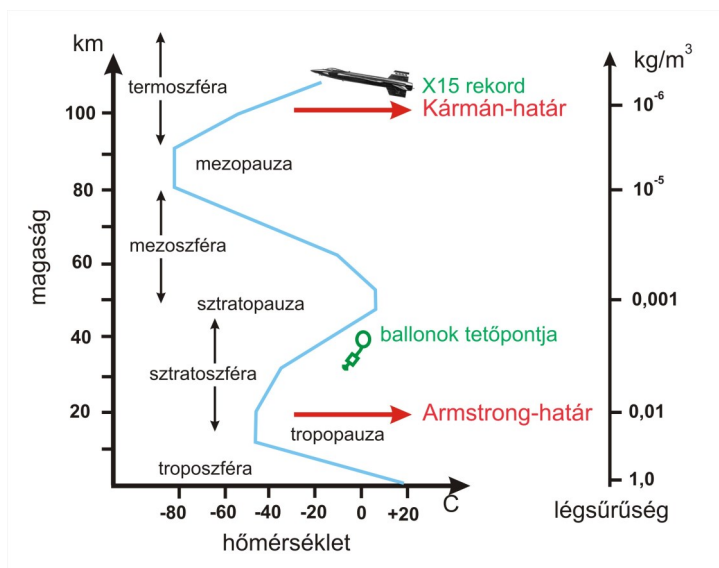
A világűr „határa”

A kívülálló érdeklődő nagyközönség számára ma is meghatározó kérdés: a földfelszínről elemelkedve vajon mekkora magasságig beszélhetünk légkörrel, és hol kezdődik a világűr? Egyáltalán meg lehet ezt pontosan mondani? Ez a kérdés világszerte ismert és nagyra becsült fizikusunkat, Kármán Tódort (1881–1963) is nagyon izgatta. Minthogy a világűrbe történő kijutás kísérletei a 1930-as évekre már ténylegesen egyre nagyobb magasságokba jutottak el, egyre több mérési adat vált elérhetővé, és egyre több tudás gyűlt össze Földünk atmoszférájának magassági elrendeződéséről. Végül Kármán egy remek gyakorlati definíciót alkotott meg, amellyel sikerült élesen elhatárolnia a világot két részre: addig nevezzük légkörnek, amíg a leesés nélkül a Földet körülkerülő, a közegellenállás legyőzésére semmiféle meghajtást, avagy üzemanyag-felhasználást igénybe nem vevő „jármű” nem képes egy teljes kört sem leírni, és rövidesen lezuhan – felette beszélhetünk világűrrel. Ezt Kármán számításokkal meg is határozta, és a mai napig az ő nevét is viseli: ez a Kármán-határvonal. Ez, azaz a világűr határa nagyjából a 100 km körüli magasságban van (ez kicsit változik, évszakoktól, a naptevékenység szintjétől függően). Felette űreszközök népesítik be bolygónk környezetét, az alatta lévő tartomány járható be relatíve egyszerűbb repülő szerkezetekkel. Érdekes történelmi tény, hogy az űrkutatás hajnalán nagyon próbálgatta a két egymással versenyző világbirodalom a Kármán-határvonal környékét: az USA 1963-ban egy X-15-ös hiperszónikus „rakéta-repülőgéppel” 108 km magasságot ért el¹, az oroszok pedig valamivel később

¹ Pilótája Joseph A. Walker volt; tulajdonképpen a repülés felső szakaszán járművét egy szabadesésű rakétatestnek tekinthetjük, különösebb aerodinamikai irányíthatóság nélkül.

alig e magasság felett keringő, ember nélküli műholdkísérletet hajtottak végre, aerodinamikai irányítással. A műhold igazi célja máig sem ismert, de tény, hogy jónéhány keringést megtett, majd a Kármán-határ átlépése után röviddel gyorsan lefékeződött, és lezuhant.

A légkör fizikai tulajdonságai még a Kármán-határ alatt is közelítőleg ugyanazok több tíz kilométerrel alacsonyabban is – még ha alkalmatlanná is teszik ezt a tartományt az űrhajózás szempontjából. Ezért műszaki-technikai szempontból a légkör legsűrűbb, időjárási jelenségekkel is átszőtt tartományához képest célszerűnek tűnik még ezt a tartományt is elkülöníteni. De vajon hol húzzuk meg ennek alsó határát? Sok szempontot lehetne figyelembe venni, de megmaradva az űrhajózás kérdéseinél, az vált általánosan elfogadottá, hogy onnantól kezdve „űrszerűek” a viszonyok, ahol a magassággal csökkenő légnyomás mellett a víz forráspontja eléri a helyi hőmérsékletet. Efölött a magasság fölött az ember csak speciális védőöltözetben képes életben maradni. Ezt nevezik Armstrong-határnak, és kb. 19 km magasságnál húzódik. Az Armstrong-határ és a Kármán-határ közötti tartományt általánosan közeli világűrnek (angolul: near space) nevezik.

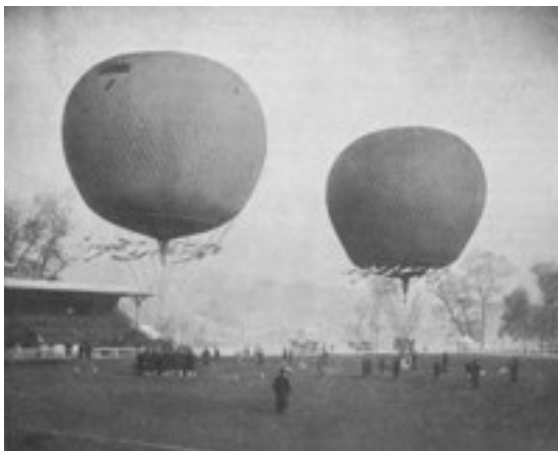


1. ábra: A légkör közelítőleges szerkezete

Hazai előzmények

A fölöttünk lévő magasságok meghódítása nem tudományos okokból indult, hanem az ember repülési vágya hajtotta. Mindenki ismeri kisiskolás tanulmányaiból a Montgolfier-testvérek első hőlégballonos repülését (1783), amellyel kb. 1600–2000 m magasságot értek el. A fedélzeten utazó emberrel megvalósult ballonos repülés következő említésre méltó rekordja a mai utasszállító repülőgépek utazómagasságát meghaladó magasságot (11 887 m) elért Henry Coxwell és James Glaisher (1862) nevéhez fűződik. Glaisher az alacsony légnyomás és hőmérséklet miatt el is ájult a repülés során – így világossá vált, hogy nagyobb magasságokat speciális védőöltözet nélkül nem hódíthat meg az ember. A légkör valódi vastagsága, és fizikai/kémiai tulajdonságainak a magassággal történő változása ekkortájt vált a tudományos érdeklődés tárgyává. Dokumentáltan egy francia tudós, Jules Richard volt az első, aki precíz műszerekkel felszerelt ballont juttatott fel, 15 240 m magasságot elérve (1893). Az egyre szaporodó hasonló kísérletek alapján rövidesen felfedezték a sztratoszférát (Léon Teisserenc de Bort, 1899). A jelenlegi dokumentált ballonos magassági rekordot Japánban állították fel 2002-ben, 53 km magasságba juttatva egy hélium töltésű polietilén ballont.

Magyarországon 1902. május 1-jén szállt fel az első gázballon (Turul), és 4000 m magasságot ért el repülése során. A léghajózásra alakult Magyar Aero-klub már indulásakor is egyik céljául tűzte ki a tudományos kutatást („...nevezetesen részt vesz a nemzetközi meteorológia munkálataiban...”). Természetesen erősen katonai érdekltség hajtotta ezeket az emberes repü-



2. ábra: A „Meteor” és „Turul” gázballonok

léseket – azonban a repülőgépek gyors fejlődése hamar kiszorította a légtérből a ballonokat. A Magyar Királyi Meteorológiai és Földmágnességi Intézet 1913. január 3-án bocsátotta fel az első önműködő magaslégkör-kutató ballonját (ballonszondát). A ballon 14,3 km-es magasságig emelkedett. 1928-ban még történt

említésre méltó magyar ballonos repülés (Hungária gázballon). A mai napig általánosan használt automata (rádiós meteorográffal felszerelt) ballonokat is ekkortájt fejlesztették ki, és kezdték rendszeresen használni (Molcsanov, 1928).

Magyarországon a rendszeres ballonos légkörszondázás 1953-ban indult meg, hidrogén töltésű ballonokkal. Ezek rutinszerűen 30–35 km magasságig tudnak emelkedni, ott szétdurranak. A meteorológusokat a légkör állapotjellemzői igazán csak 15–20 km-ig érdeklik, a rádióon lesugárzott adatok kinyerése után a sokszor 100–200 km-re is elsodródó ballonról lehullott műszeresomagot már sorsára hagyják. Korábban (az 1980-as években) szinte minden vidéki állomásról indítottak „pilot” szondákat (éjszaka laposelemhez rögzített kis izzólámpával), de ez már megszűnt. A főbb állomásokról (Budapest, Szeged) naponta kétszer (00:00 és 12:00 UTC-kor) indítanak DFM09 és RS41 rádiószondás ballonokat.

Mint oly sok minden, az átlagember számára ez a technika is elérhetetlen volt a szocializmus ideje alatt – részben az ára, részben a vasfüggönyös elzártság miatt. A rendszerváltozás után még több mint egy évtizednek kellett elteltie ahhoz, hogy először is az információk elérhetősége, majd az eszközök olcsóbbá és bárki számára történő hozzáférhetővé válása után végre a szándék is kialakuljon a civil szférában. Az első ilyen dokumentált kísérlet az első magyar építésű műhold, a Masat-1 fejlesztői csapata (BME) által elvégzett rádiókommunikációs teszt célú repülés volt, amelyet még az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) bonyolított le a felkérésükre (2009. szeptember 22.). Az első valóban egyéni kezdeményezésű, saját kivitelezésű hasonló repülés Mucs Béla rádióamatőr (HA4BM) nevéhez fűződik (2010), a tudományos-technológiai célú repülések kezdete pedig Hegyi Norbert egyetemi hallgató szervezésében a Vega Csillagászati Egyesülethez (2011. október 31.). Az ebből kinőtt Pannon Közeli Világűr Projekt még néhány repülést élt meg, többek között az időközben megalakult Időkép Kft. megrendelésére már bérindítást is. Csoportunk Hegyi Norbert és a Vega Csillagászati Egyesület kísérleteibe bekapcsolódva tanulta ki a ballonozás módszertanát, amiért ezúton is köszönetünket fejezzük ki.



3. ábra: Hegyi Norbert és a Vega Csillagászati Egyesület ballonindítása 2013. március 17-én

Rutinszerű közelivilágűr-repülések a Délvidéken

A sztratoszférába emelkedő ballonos technológiában tudományos, innovációt serkentő, valamint a fiatalság számára a természet- és műszaki tudományok irányába orientáló látványos alkalmazások lehetőségét látva, a bajai csillagvizsgáló munkatársai (dr. Hegedüs Tibor, Jäger Zoltán és Szing Attila) a maguk környezetében is találtak érdeklődőket, ami alapján hamar megszerveződött egy új bajai csapat: Bagóczki Csanád (maga is gyakorlott ultrakönnyű repülő), Goda Zoltán (amatőr légkőroptikus), ifj. Balaton György és Szkladányi Ákos (ekkor tájt BME egyetemi hallgatók). Megkeresték a hazai APRS rendszer fenntartóit, és a Bajához legközelebbi rádióamatőröket, akik a távközlési tapasztalatot és segítséget hozták a csoportba (Nagyapáti István HA8UT, Kiskunhalas; Takács István HG8GL, Kiskunfélegyháza; és Papp László HG8LXL, Csongrád, aki még jelenleg is a csoport aktív tagja). A korábbi Pannon Közeli Világűr Projekt tagjaiból még egy ideig tanácsadóként, közreműködőként részt vett az új csoport munkájában dr. Csizmadia Szilárd és dr. Csák Balázs, valamint néhány eszközzel a Vega Csillagászati Egyesület (ezek az eszközök az egyik repülés során végül megsemmisültek).

A csoport a kezdetektől fogva hasznos, publikálható tudományos mérések céljából kezdte meg kísérleteit, azonban érthető okokból az első években a technológia megismerése, a rutin megszerzése volt a feladat. Az alábbi táblázatban összefoglaljuk a csoport eddigi 4 évének aktivitását:

dátum	megnevezés	start-hely	visszaérkezés	magasság	fő cél	megjegyzés
2014.05.07.	Stratolab -1	Alsónyék	Jánoshalma	33 km ?	tanulás, film	begyűjtéskor helyi „affér”
2014.05.21.	Stratolab -2	Baja	Baja/Csávoly	33 km ?	tanulás, fotók	elveszett, ill. megsemmisült
2014.05.27.	-	É 46,625 K 24,831 (Erdély)	É 46,923 K 24,468 (Erdély)	21 km ?	know-how átadás	telemetry csak 10 km alatt
2014.08.25.	Stratolab -3	É 46,201 K 18,184	É 46,095 K 19,249	24284 m	tesztrep fotózás	akcelero-méter, 3 független
2014.09.27.	-	É 46,624 K 24,832 (Erdély)	Marita (Erdély)	33120 m	tesztrep film	Sapientia Egyetem csoport segítése, biológiai kísérlet
2015.06.13.	Stratolab -4	Dávod	Bácsbokod	33589 m	tesztrep fotózás	dupla redund. telemetry+hő
2015.06.23.	Stratolab -5	Töttös	Pörböly	34118 m	tesztrep mérés	akcelero-méter, OMSZ szonda
2016.06.17.	Stratolab -6	Baja	Kecske-mét	32594 m	tesztrep mérés	új onb. logger, OMSZ szonda
2016.08.25.	Stratolab -7	Csongrád	?	?	rek-lám-repülés	Rádióamatőr Országos Találkozó
2017.06.26.	Stratolab -8	Szedres	Feketity (Srb)	28014 m	tesztrep mérés	FEDAT OMSZ szonda

dátum	megnevezés	start-hely	visszaérkezés	magasság	fő cél	megjegyzés
2018.02.09.	Stratolab-9	Gödöllő	Bp - Sikátorpuszta	25 km ?	bérindít.	csak minimál konfiguráció
2018.06.20.	DAMBAL-1	Tompa	Palánk Szekszárd	35451 m!	első tudományos k.	FEDAT + sugárzásmérő Újvidéki Egyetem
2018.07.25.	DAMBAL-2	Balotaszállás	Mélykút közelében	29465 m	rutin repülés	FEDAT + RC Cloud ICs
2018.09.28.	Stratolab-10	Baja	Szatymaz	35217 m	nyilv. látvány indítás!	FEDAT + sugárzásmérő Újvidéki Egyetem

Műszaki alapok

A csoport fennállása óta kínai (Hwoyee márkájú) latex ballonokat használ a műszercsomag szállítására. Leggyakrabban az 1600 és 2000 g-os modellek repültek, de kipróbáltunk kisebbeket is (1000 és 1200 g). A töltőgáz valamennyi indításnál hidrogén volt, amit a Messergáz támogatásával, kedvezményesen vásárolunk². A gondola, azaz a küldetések során a ballonhoz kapcsolt hasznos teher tároló konténere minden alkalommal 4 cm falvastagságú, ragasztott hungarocell doboz, amelyet Szegeden készítenek. Tapasztalatunk szerint 60 km/h-s becsapódás esetén is megóvjá a beltartalmat, sőt, maga a doboz is épségben kibírja (átlagos talajra eséskor; betonra ejtést még nem próbáltunk ki). A visszatérést segítő ejtőernyő az Internetről beszerezhető tervek alapján egyikünk (Goda Z.) saját készítése. Sok korai pró-

² Mint ismeretes, a hidrogén igen veszélyes, ezért a felbocsátás mindig nagy körültekintést igényel. Héliumot természetesen biztonságosabb lenne használni, de ára kb. ötször annyi!

bálkozás kedvezőtlen tapasztalata alapján (a szétrobbant ballon hatalmas maradék gumilebernyegei feltekeredhetnek az ernyő kötélzetére zuhanáskor, annak kinyílását teljesen lehetetlenné téve) 2017-től kezdve a SOSA (Szlovák Űrkutatási Egyesület) által tervezett és gyártott leválasztó modult (terminátor) használunk. Ez a robbanást követő hirtelen nagy gyorsulást érzékelve az ernyőt és az alatta lévő hasznos terhet elválasztja a ballon maradékától. A használat után újraélesztésre vissza kell küldelnünk, de e cikk írása pillanatában már 2 db ilyen modul várja a mindenkori használatba vételt, így ma már akár postafordultányi időnként lehetne indításokat tervezni, ill. egyidejűleg akár kettőt. Bizonyos alkalmazásoknál erre is szükség lehet.



4. ábra: A ballonrobbanás pillanata

A hasznos teher a törvényileg előírt 2,5 kg össztömeget nem haladhatja meg. Többek között emiatt, valamint a sztratoszférabeli viszonyok miatt (alacsony külső hőmérséklet, rendkívül alacsony légnyomás) az űreszközökre tervezett műszerekhez igen hasonló követelményeket kell teljesíteni a fedélzeti eszközök elkészítésénél. Általában dupla, sőt a fontosabb repüléseknél tripla redundanciát alkalmazunk a telemetria adatok lesugárzására: egy az APRS rendszer frekvenciáján működő rádióadót, egyik szerzőnk (Papp L.) és Illés József OM3BC saját fejlesztésű „RS41 tracker” adatcsomag-formáló elektronikájával³, és egy

³ A hazai APRS hálózat egyik kisebb fejlesztéseként, a Baja közelébe tervezett visszatérések biztosítása céljából telepítettünk a bajai víztoronnyra is egy APRS node-ot (Papp L.).

GPS-t is tartalmazó mobilkommunikációs eszközt – illetve újabban egy harmadik, független pozícióadat-forrást másik szerzőnk (Jäger Z.) által fejlesztett FEDAT (fedélzeti adatgyűjtő) egység jelenti, egy mikro-rádióadóhoz kötve. A tápellátásra többféle akkumulátortípust kipróbáltunk – a gondola dobozának jó hőszigetelése miatt a mínusz 50 °C alatti külső hőmérsékletek esetén sem szokott a belső hőmérséklet 0 °C alá süllyedni (az elektronikai egységek által termelt hő fűtése elegendőnek mutatkozik), így nem kell jelentősebb kapacitáscsökkenéssel számolnunk. Természetesen a doboz belső és külső hőmérsékletét folyamatosan monitorozzuk a repülések során⁴. Mindezek persze csupán az értékes beltartalom leesés utáni megtalálását segítő, illetve tudományos mérések esetén a kapott adatok térbeli pozícióhoz történő kötését lehetővé tevő minimális alapot jelentik. Ezek után jöhet a lényeg – azonban a telemetriával az engedélyezett tömeg nagyjából felét már el is használtuk. Általában egy fullHD-s GoPro kamera és/vagy egy programozható kis Canon fényképezőgép szolgál a repülés közbeni felszínfotózásra, avagy a rendszer egésze viselkedésének filmezésére (több alkalommal felfelé irányított kamerával filmeztük a ballon felfúvódását, szétrobbanását, ill. az ejtőernyő működését). A „maradék” 20–25 dkg szolgál valamilyen célműszer számára.



5. ábra: A Balaton és a Duna kb. 31 km magasságból

⁴ Több, eBay-ről beszerezhető szenzort kipróbáltunk, de sajnos a sztratoszféra viszonyai közepette a legtöbb felmondja a szolgálatot, ill. teljesen pontatlan értékeket mér.

Az eddigi repülések során mindössze egy kis pordetektor, valamint az Újvidéki Egyetem fizikusainak sugárzásdetektora jelentette az első tudományos méréseket. A jövőben további saját műszerek kifejlesztéssel kívánunk újabb érdekes irányokban kísérleteket kezdeni, és természetesen a komolyabb esetekben fel kell áldozni a fotók és filmek készítését, hogy tömeget takarítsunk meg a műszerek számára.

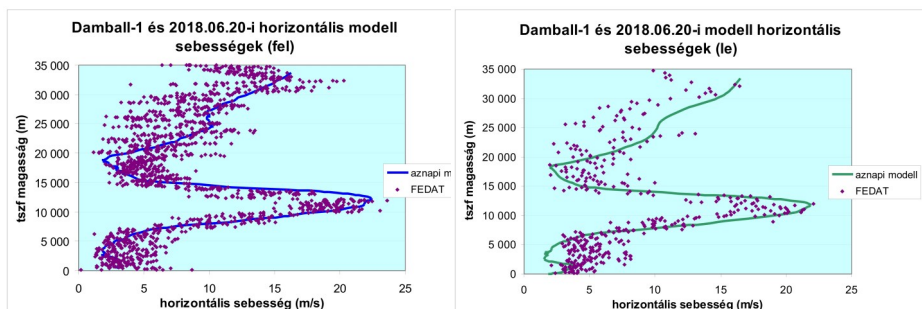
2017–2018 közelivilágűr-repüléseinek eredményeiből

Bár közelebbi szakmai kapcsolataink eddig is figyelemmel kísérték, ill. nagyjából ismerték tevékenységünket, ám addig nem akartuk a szélesebb körű nyilvánosság elé tárni munkánkat, amíg nem értünk el az alapok tekintetében egy bizonyos biztonsági szintet. Ma már biztonsággal állíthatjuk, hogy a konténerbe helyezett, akár nagyobb értékű eszközöket is épségben vissza tudjuk hozni – és azt is sikerült igazolni, hogy akár külső megrendelői igényeknek is eleget tudunk tenni. Pár ábra és kép erejéig bemutatjuk eddigi tapasztalatainkat, néhány mérésünket, amelyek 2017–2018 során gyűltek össze, és értékelhető módon szemléltetik az ebben a technológiában rejlő potenciált.

Pozícióadatok. A fedélzeten elhelyezett GPS szenzorok adatát (az idő és a földrajzi koordináták is ezektől származnak) Open Trackerek gyűjtik és formálják az APRS rendszer⁵ földi antennáira lesugárzott adatcsomagokká, előre beállított (felprogramozott) sűrűségben. Túl gyakori adatközlést nem enged meg az APRS, olyankor figyelmeztető üzenetet küld vissza, ill. egyszerűen letiltja a csomagokat. Általában 20 másodpercenkénti adatközlést alkalmazunk, ez alatt nagyjából 100 m-t emelkedik a ballon komplexum. Természetesen néha a fedélzeti adóantenna földi átjátszó antennákhoz képesti szerencsétlen pozíciója miatt, vagy más okból egy-egy csomag tartalma hiányosan, netán sérülten dekódolódik, vagy ki is maradhat. Így egy tipikus repülés során nagyjából felfelé menetben 300, lefelé jövetben kevesebb mint 100 pozícióadatunk válik elérhetővé – és ami fontos: real time, azaz azonnal, a repülés folyamán. Ez lehetővé teszi a követést, és a begyűjtő csoport felkészülését, a várható célterület közelébe mozgását. A későbbi alkalmazásokhoz ezekből az adatokból

⁵ Az APRS az Automatic Position Reporting System rövidítése, ami egy 1997-ben kitalált nyomkövető rendszer, világszerte kamionok, repülőgépek, stb. követésére szolgáló polgári alkalmazás. Európában 144,800 MHz VHF, és 432,500 MHz UHF frekvencián működik.

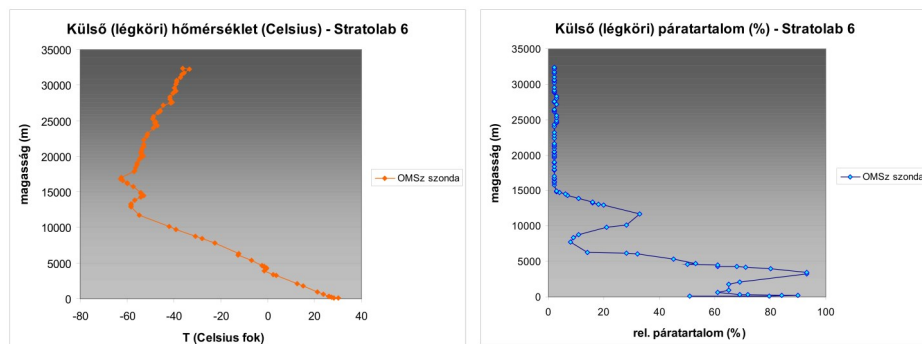
közvetlenül a horizontális irányú szelek erősségére és irányára lehet következtetni. Ennél nagyobb mennyiségű adat a megtalálás után, a FEDAT egység tárolójából nyerhető.



6. ábra: A DAMBAL–1 repülés fedélzeti adatgyűjtője csaknem 9300 db eredeti adatának öt adatonkénti átlagolásával adódó horizontális sodródási sebesség értékeinek ábrázolása, a felszín feletti magasság függvényében

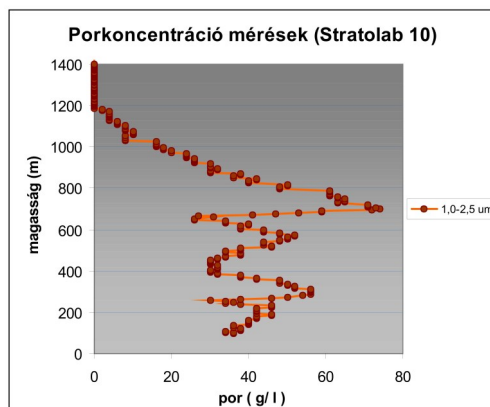
Itt jegyzendő meg, hogy a modell értékek forrása mindenhol az általunk használt, a ballonos repülést támogató angliai honlap (<http://habhub.org>) tapasztalatunk szerint igen korrekt és jól működő előrejelző programja. Időközben saját repülési modellt is fejlesztettünk (Jäger Z.), de a ballon szétrobbanásának számítása még egyik modellben sem megoldott.

Meteorológiai és porkoncentráció adatok. Az előző példák igazából „passzív” adatok, olyan értelemben, hogy ezekre mindenféle tudományos cél nélkül is szükség lenne, a műszer-csomag begyűjtése miatt – tehát egyfajta „melléktermékek”. Bár a meteorológiai szervezetek is ilyen ballonsodródási adatokból nyerik a különböző légköri rétegek horizontális sebességvektorait, tehát vé-



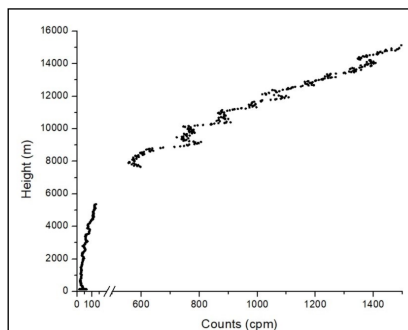
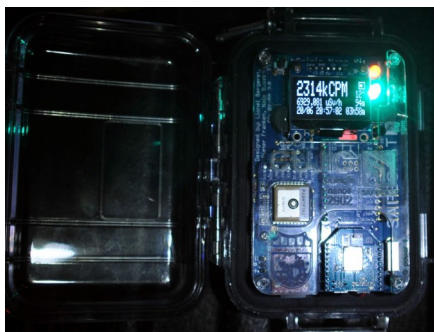
7. ábra: A gondolára függesztett meteorológiai szonda által mért hőmérséklet és relatív páratartalom a magasság függvényében

gűl is már egy produktum. Jóval érdekesebb „aktív” adatsor pl. az OMSZ jóvoltából rendelkezésükre bocsátott, kalibrált meteorológiai szenzorok esetén nyerhető. Erre mutatunk példát az előző oldalon a 7. ábrán.



8. ábra: PMS7003 szenzorral mért első porkoncentráció mérésünk. Nagyobb magasságokban ez a detektor (működési elvéből következően) nem használható

Sugárzási dózis mérések. Ezt a témát a VoBaNISTA kódnevű, Interreg HU-SRB/1602/31/0197 számú pályázati együttműködés keretében az Újvidéki Egyetem Természettudományi Karának fizikusai (dr. Dusan Mrdja vezetésével) indították el. Az első mérések biztatóak, bár az eddigi két tesztrepülés eredményei alapján a választott detektor zárófóliája nem bírja a vákuumot, a repülés során a második alkalommal beszerelt erősebb fólia is elhasadt.



9. ábra: A dózismérő (esti visszaérkezéskor is működő állapotban) és a mérési sorozat: az első kísérleti repülés (DAMBAL-1) mért dózisa a magasság függvényében



10. ábra: Ballonindítás diákokkal 2018. július 25-én

Folyamatban lévő fejlesztések, jövőbeli tervek

2019-ben Lang Ágota tanárnő vezetésével soproni középiskolai diákok csoportja által kifejlesztett, autonóm működésű „info cseppekre” alapuló „műmeteorit” kísérletre készülünk. Emellett szintén a meteorok kutatásának témájába tartozó célokból szlovák űrkutatók által kifejlesztett nagy fényteljesítményű LED villogó gúlára alapuló éjszakai repülés is tervben van. Dr. Ságodi Ibolya tanárnő vezetésével pedig szekszárdi diákok fogják a segítségünkkel a légkörbeli poreloszlást vizsgálni. Komolyabb kutatás-fejlesztési célkitűzésekkel idén harmadik alkalommal szándékozunk OTKA pályázathoz csatlakozni. Az OMSZ-szel is folyamatosan egyeztetünk az együttműködés elmélyítése érdekében.

A ballonos repülések már eddig is megmutatták, hogy nagy érdeklődés kíséri ezeket, főleg a fiatalok képzeletét mozgatja meg. Ezt a jövőben még inkább igyekszünk kihasználni, és nagyközönségi „látvány-indításoktól” sem zárkozunk el. Az első ilyen próbálkozásunk 2018. szeptember 28-án a Kutatók Éjszakája keretében nagy érdeklődést és sikert hozott. Szegedről is sokan látták a ballon látványos felrobbanását 35 km magasságban. Készült velünk, a ballonozásról például egyetemi felvételire orientáló film is, de egyes speciális termékeket gyártó cégek, civil szer-

vezetek is reklámlehetőségeket látnak a közeli világűr elérésében. Céges csapatépítésnek is tárgya lehet egy közös ballonindítás és csomagbegyűjtés – ugyanis bármilyen jó telemetria-adatközlés is van, a begyűjtéskor rendkívüli körülményekkel, problémákkal találkozhatunk, amik megoldásához találékonyság, ügyesség, fantázia is kell.

A magaslégköri ballontechnika előnyei és hátrányai

Előnyei:

- relative olcsó áron juttathatunk műszereket közel űrszerű körülmények közé, ezzel speciális anyagokat, műszereket tesztelhetünk
- számtalan még kiaknázatlan alkalmazást rejt magában (a gazdaság különböző területei számára adhat használható adatokat)
- a ballonos repülések során szerezhető vezérléstechnikai és távközlési tapasztalatok számtalan más területen is kamatoztathatók
- látványos, akár önmagában is bemutatható oktatási-ismeretterjesztési program lehetőségét kínálja (kb. 3 óra alatt lezajló esemény)

Hátrányai:

- „passzív” (azaz nem irányítható), és nehezen stabilizálható eszköz, a tetszőleges, vagy éppen hetekkel korábban kitűzendő indítási helyszín és idő esetén bizonytalan megvalósíthatóságu
- ugyanezen okokból maga a pontos repülési pálya (ill. a fedélzeti műszerekkel elvégezhető mérések helye) is eléggé bizonytalan
- a fenti okokon felül a hasznos teherre nézve még egy 2,5 kg-os felső korlát is tovább szűkíti a szóba jöhető célkitűzéseket
- jó telemetria esetén is magas a kockázata a fedélzeti eszközök elvesztésének vagy megsemmisülésének

Mindezek figyelembe vételével csoportunk tovább folytatja a kísérleteket. Várjuk olyan diákok, tanárok, kutatók jelentkezését, akiknek van kész, vagy legalább megtervezett műszere, amely kipróbálásra, repülésre vár. Csapatunk és a hozzánk kapcsolódó háttérpari cégek is szívesen működnének együtt újabb ötletek megvalósításán, magaslégköri ballonnal tanulmányozható kérdéseken.

A szerzők köszönetüket nyilvánítják ki valamennyi támogatónak, aki bármilyen mértékben is segítette munkánkat – különösen az AstroTech, a Messer Hungarogáz és a StratoLab Kft-nek, valamint az Országos Meteorológiai Szolgálat több munkatársának.

Irodalomjegyzék

Mészáros Róbert (2013): Meteorológiai műszerek és mérőrendszerek. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest

<http://ballon.hu/tortenet/>

<http://cubesat.bme.hu/>

<http://en.wikipedia.com>

<http://met.hu>

<http://vcse.hu/megerintettuk-a-vilagurt-siker-es-magaslegkorig-ballonkiserlet-2011-oktober-31-en/>

Miniműhold egy kólásdobozban

**Illyés András¹, Dudás Levente², Szathmáry Melinda³,
Gschwindt András²**

¹BME Gépészmérnöki Kar mechatronikai mérnök szak

²BME Villamosmérnöki és Informatikai Kar Szélessávú

Hírközlés és Villamosságatan Tanszék

³Piarista Rend Magyar Tartománya



Az Európai Űrügynökség (ESA) által minden évben megrendezésre kerülő CanSat miniműholdas versenyen 2018 nyarán a HunSat csapata különdíjas lett.

Mi is az a CanSat?

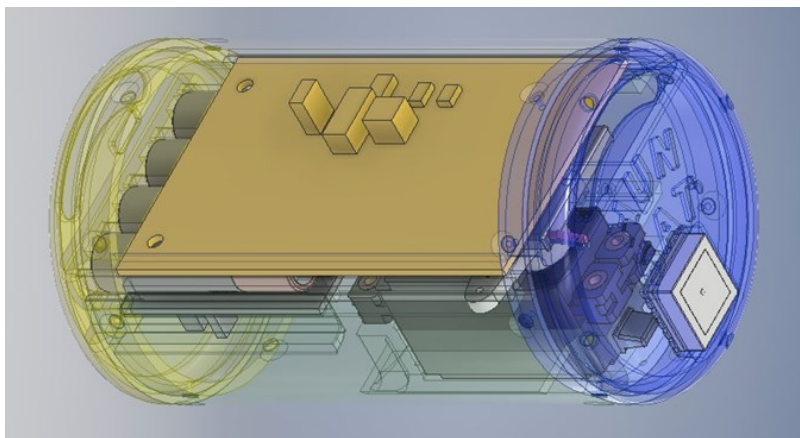
A CanSat egy italosdoboz méretű és formájú műholdszimuláció. A résztvevő csapatok egy kisméretű műholdat készítenek el, amivel különböző küldetéseket hajthatnak végre. A versenyen a résztvevőknek a műhold minden részét, az energiaellátást, a szenzorokat, kommuniká-

ciós egységét kell megtervezniük és el kell készíteniük a megadott feltételeket figyelembe véve. Különbféle szabályok vannak, például a doboz magasságát, átmérőjét, tömegét, vagy épp a rádiózásra használható sáv szélességet, illetve egyéb fontos paramétereket illetően. A CanSatünk háromdimenziós modellként az 1. ábrán látható módon nézett ki.

A műholdakat egy rakétával juttatják körülbelül 1000 m-es magasságig. Tehát a szerkezetek pályára nem állnak, mégis hasonló feladatokat kell elvégezniük, mint valódi társaiknak. A csapatok kötelező feladata, hogy valós időben kommunikáljanak az eszközükkel, méréseket végezzenek azzal (hőmérséklet és nyomás mérése a kötelező), majd biztonsággal földre juttassák az egységüket. A verseny során mért adatokból egy előadást is kell tartaniuk a résztvevőknek.

A HunSat csapat története – akkor még nem ezen a néven – 2016 őszén kezdődött. Cseh Domonkos, Dessewffy Domonkos, Fehér Balázs, Illyés András és Tomka Benedek határozta el, hogy egy meteorológiai ballonos kísérletet hajtanak végre.

Így alakult meg a Piaristák az Űrben csapat, hiszen a csapattagok a budapesti Piarista Gimnázium diákjai voltak akkoriban. Csapatunk munkájáról közösségi oldalunkon igyekeztünk hírekkel ellátni minden érdeklődőt [1], valamint egy, a készült videofelvételekből vágott videót is közzétettünk [2]. Ezáltal tulajdonképpen egy BEXUS [3] projekttel foglalkoztunk. A projekt teljesebb ismertetése, a mért adatok kiértékelése a Természet Világa XXVII. Diákpályázatán II. díjas cikkünkben olvasható, a folyóirat 2018. októberi számában.



1. ábra: A HunSat csapat CanSatjének 3D-s modellje

Felkészülés az ESA CanSat versenyre

E kísérletünk után a BME VIK Szélessávú Hírközlés és Vilámoságtan Tanszékről (SZHVT) keresett meg minket Gschwindt András, a korábbi Masat-1 és az aktuális SMOG-1 és ATL-1 műholdas projektek vezetője, hogy megtudja, lenne-e kedvünk az ESA CanSat versenyére építeni egy miniműholdat. Természetesen volt. Kissé átszerveződve, Cseh Domonkos, Dessewffy Domonkos, Illyés András és Tomka Benedek részvételével kezdtük meg a munkát 2017 szeptemberében céljaink összeírásával és a folyamat egyre pontosabb megtervezésével. Egy részletes pályázati anyagot nyújtottunk be az ESA felé, akik rábólintottak terveinkre és így mi lehettünk a versenyen a Magyarországot képviselő csapat (2. ábra).

Az ESA CanSat versenyén indulva új célokat tűztünk ki magunk elé:

- Jobb csapattá szerettünk volna válni: kis csapat voltunk és nagy munkára vállalkoztunk, de minden feladatot igyekeztünk jól beosztani és közösen megoldani.

- Az előző projekt után is részben ismertük, hogy kinek mik az erősségei és gyengeségei: ezeket még jobban fel szerettünk volna térképezni.
- A versenyben természetesen a lehetséges legjobb helyen szerettünk volna végezni. Különdíjunkra nagyon büszkék vagyunk.



2. ábra: A HunSat csapat

A legnagyobb munka a spektrumanalizátoros mérés és a jól működő telecommand és rádió, valamint az irányított leszállás kidolgozása volt. Mind a spektrum analízálása, mind az irányított leszállás a jövőbe mutató, úttörő innováció: egyrészt a feleslegesen kisugárzott elektromágneses hullámok intenzitását lehetne csökkenteni a jövőben a megfelelő feltérképezésük után, illetve az irányított leszállást az űrszemetet jelentő miniműholdak Földre való visszajuttatásához az első lépésnek gondoljuk. Fontos volt számunkra az is, hogy újabb csapatokat keressünk, találjunk és segítsük őket.

Projektünkben a pályázat pozitív elbírálása után elindult a megvalósítási szakasz. Támogatóink összegyűjtésének, honlapunk szerkesztésének fogtunk neki. Elektronikai ötleteket, tanácsokat, és oktatást a versenyen későbbi kísérőtanárunktól, a BME VIK SZHVT-ről ismert dr. Dudás Leventétől, a honlapunkkal kapcsolatos segítséget Hödl Emiltől kaptunk. (A csapatról bővebb információ a HunSat weboldalon [4] a Csapat menüben található, ahol mindenki írt magáról egy hosszabb bemutatkozást is.) A CanSat tokozásának megtervezése sem volt egyszerű, ebben a Neumann János Egyetem GAMF Karának fizikus-tanára, dr. Bagány Mihály látott el minket tanácsokkal. Fodor

Antaltól, az ugyanitt oktató tanár úrtól pedig az Autodesk Inventor tervezőprogram használatával kapcsolatos ismereteket sajátítottunk el. További szakmai támogatóinkat honlapunkon [4] a Csapat menüben soroltuk fel.

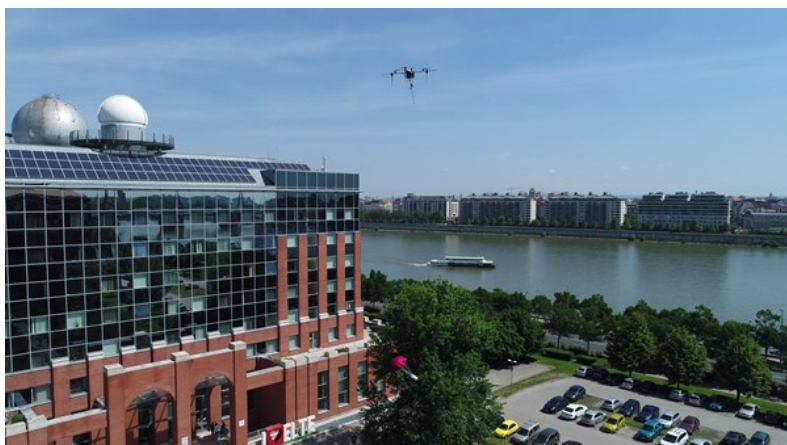
A kezdeti szakasz után, illetve részben párhuzamosan először a nyomtatott áramköri lapok és a tokozás megtervezésével kezdtünk el foglalkozni. Ezek elkészültét követte a programozás. A programozás során többször fény derült egyes szenzorok vagy az elektronika hibáira, amiket orvosolni kellett. A védelmet nyújtó dobozból is öt főverzió készült (és rengeteg alverzió kisebb módosításokkal), mire a végleges formát elértük (1. ábra). Lényegében egy folyamatos tervezés-építés-tesztelés-újratervezés ciklusban dolgoztunk. A laboros tesztek (szenzor és rádiók kalibrálása) mellett terepi tesztek (rádiós mérések, 3. ábra) és drónos ejtési tesztek (4. és 5. ábra) is végeztünk. Közvetlenül a verseny előtt végső tesztként egy gyrokopterből került kidobásra szerkezetünk.



3. ábra: Rádiós kommunikáció terepi tesztje a BME V1 épület és a Gellért-hegy között

E folyamatokat mind segítőink felajánlásával tudtuk elvégezni. Szerencsére több cég is látott fantáziát abban, amit csináltunk, így támogattak minket: utazásunk költségeit, valamint a fejlesztéshez kapcsolódó költségeket is állták. Szponzoraink megtalálhatóak weboldalunkon [4] a Támogatóink menüben.

Több meglepetéssel is szembe kellett néznünk a projekt során. Előzetes számításaink alapján azt gondoltuk, hogy viszonylag egyszerűen, néhány nap alatt fogunk tudni készíteni egy ejtőernyőt. Ez a folyamat végül háromhetes munka lett, többféle alakú és méretű ernyő készült el, mire az ideálisat megtaláltuk. Minden ilyen és ehhez hasonló váratlan esemény ellenére sikeresen elkészültünk azokkal a feladatokkal, melyeket mindenképp meg szerettünk volna valósítani a versenyig. Projektünk előrehaladásáról a honlapunkon [4] a Bejegyzések menü alatt találnak részletesebb információkat.



4. ábra: Drónos teszt az ELTE északi épületénél



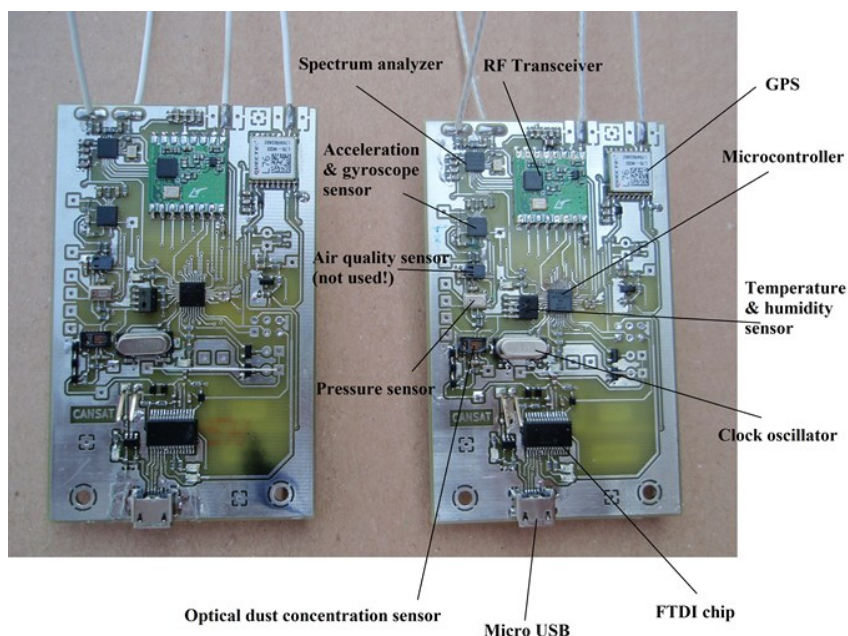
5. ábra: Nem minden drónos teszt sikerült elsőre jól... (ejtés 100 m magasból a Farkashegyi Repülőtéren)

Az elkészült főpanelünk a 6. ábrán látható. A fentebb részletezett mérési és kommunikációs feladatokat ez a panel látta el. Az irányított leszállás vezérlése külön panelen kapott helyet.

A verseny

Végül elérkezett a verseny ideje, amit az Azori-szigetek egy kisebb szigetén, a Santa Maria-szigeten rendeztek meg. Az első nap a teszteléseken (méret, tömeg, megfelelő rádiófrekvencia és sok más kritérium) sikeresen átmentünk elsőre, majd később a drónos ejtési tesztet (a mi CanSatünket valójában egy kisrepülőből dobták ki a nagy erejű szél miatt) is megfelelően végeztük el. Az első nap során egy előadást is tartottunk csapatunk munkájáról a zsűri számára.

Másnap következett a rakétával történő felbocsátás. CanSatünk jeleit a kiválóan vettük, minden adat megérkezett a műholdról a földi állomásunkra. A felbocsátást követő délutánt, estét, és az éjszakát is az adatok elemzésével és másnapi prezentációnk összeállításával töltöttük, amelyben a mért adatokról és következtetéseinkről kellett beszámolnunk az összes jelenlevő csapatnak és a zsűrinek. Ugyanezen a napon, a verseny zárónapján megkaptuk különdíjunkat technikai eredményeinkért. Ezt a különdíjat a verseny nyolc éves fennállása óta nem kapta még meg senki.



6. ábra: HunSat CanSat főpanele

A rádiós kommunikációnk kiváló működése, elektronikánk komplexitása (és ezzel együtt stabil működése) mellett az RF spektrum analízálásából származó adataink, a tokozás tökéletes működése és az irányított leszállással kapcsolatos eredményeink tükrében részesültünk e felettébb megtisztelő elismerésben. A döntőn átélt élményeinkről a döntő után frissen írt cikkünket az Űrvilágon olvashatják [9].

A CanSatünk építésével és a projekt lefolyásával kapcsolatban bővebben – a honlapunkon túl – a verseny során készített CanSat Final Reportban írunk. A jelentésünket a 2018-as verseny három legjobbja közé választották. Az ezzel kapcsolatos cikk és a jelentésünk is elérhető az ESA oldalán [10].

A folytatás

A csapat gondolkodott már lehetséges következő projekten. Az ESA-nak is sok egyéb pályázata van, amelyek már főként egyetemistákat céloznak meg. (Például meteorológiai ballonos versenyre is lehet jelentkezni – ebben nekünk már tapasztalatunk is van.) A verseny után még aktuálisabb témává vált, hogy új csapatokat keressünk. A megszerzett tapasztalatokat, tudást a következő CanSat csapatnak, jobb esetben csapatoknak szeretnénk továbbadni.

A BME-n működő Egyetemi Kozmosz Körrel [6] szeretnénk, ha lenne magyarországi CanSat verseny! Konzultációs alkalmakat kívánunk tartani a résztvevőknek, illetve egy kezdő szettet is a rendelkezésükre szeretnénk majd bocsátani. A verseny szervezését elkezdtük, reméljük, hogy többen is csatlakoznak majd hozzánk és egy igazi újdonságot tudunk elhozni a középiskolás diákoknak. Bízunk benne, hogy a Magyar Asztronautikai Társasággal is együtt tudunk működni. Örömrökre szolgál, hogy népszerűsítő munkánk nyomán idén öt csapatot sikerült találni, akik közül három nevezett is az ESA versenyére (másik két csapat az időből csúszott ki). Közülünk a GRLSat csapata lett a győztes, és képviselheti hazánkat a 2019-es versenyen. Gratulálunk nekik! (Bővebben az Űrvilágon olvashatnak róluk [8].)

Ha úgy érzed, kedvet kaptál arra, hogy egy CanSat-tal foglalkozz, részt vegyél az ESA versenyén, vagy csak érdekel a téma, akkor ne habozz felvenni velünk a kapcsolatot! A hunsat@gnd.bme.hu e-mail-címen és a +36 20 416 7277 telefonszámon is elérsz bennünket. Facebookon [5, 7] és a weben is [4, 6] megtalálhatóak vagyunk.

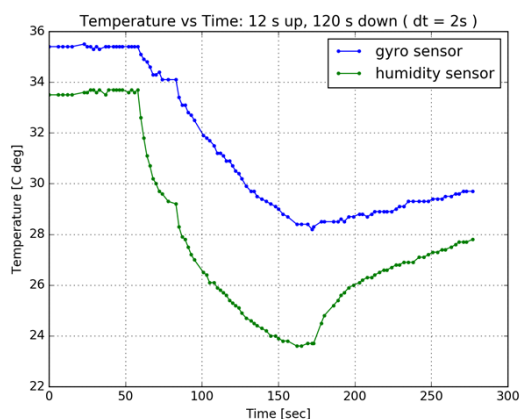
A mérési eredményekről

A verseny egyik fő célja természetesen a sikeres mérések végrehajtása volt, a csapatmunka fejlesztése és az űr szeretetének terjesztése mellett. Alább kísérleti eredményeinkről írunk részletesen.

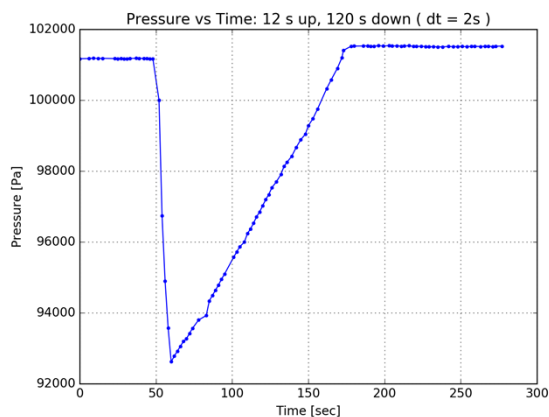
A mért adatokról naplófájlok a CanSat bekapcsolásától kezdve rendelkezésre állnak. A bekapcsolástól a felbocsátásig körülbelül fél óra telt el. Mérésünk szempontjából nem lényeges adatokról nem készült grafikon. Az elkészült grafikonok x tengelye ennek megfelelően tehát le van vágva: a rakétaindítást megelőző körülbelül 48 másodperc látható a grafikonokon. A grafikonok a leérkezést (körülbelül 170. másodperc) követően még hozzávetőlegesen három percnyi adatot mutatnak, hogy nyomon követhető legyen a különböző adatok alakulása, adott esetben a

felszíni értékre való beállása. Az alábbi grafikonok vízszintes (x) tengelye az időtengely. A verseny során készült eredeti grafikonok szerepelnek itt, ezért a feliratok angol nyelvűek.

Hőmérséklet. A páratartalom szenzorból és a gyorsulásmérő-giroszkóp kombinált szenzorból is vannak hőmérsékleti adataink. A giroszenzorban található egy mikrokontroller, míg a páratartalmat mérő szenzor számolás nélkül továbbítja az adatokat az I2C buszon. A mikrokontroller áramfogyasztása miatt természetesen fűt is. Ennek köszönhetően – a grafikonon nyomon követhető módon – a hőmérsékleti változásokra lassabban reagál, valamit már kezdettől fogva körülbelül 2 °C-kal magasabb hőmérsékletet mutat a giroszenzor hőmérője.



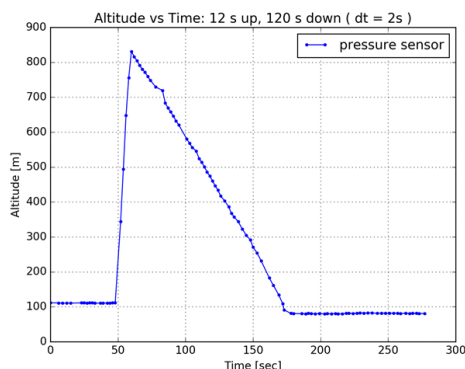
Nyomás és magasság. Mérési adataink voltak a nyomás alakulásáról is:



A nyomásadatokból a következő képlettel számoltunk magasságot:

$$h = - \frac{RT}{g} \ln \frac{P}{P_0}$$

(A képlet levezetése a CanSat Final Reportunk [10] 49–50. oldalán található.) Ezzel a képlettel a magasság–idő grafikonhoz jutottunk:

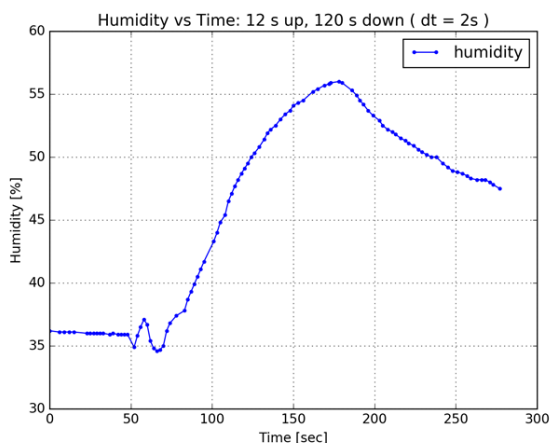


A nyomásadatot használtuk a CanSat magasságának megállapításához, mivel így jóval pontosabb eredményre jutunk, mintha a GPS által szolgáltatott magassági adatot vennénk figyelembe.

A CanSat mozgásáról lényeges információval szolgálnak ezek a diagramok. A fentebb említett adat, miszerint a rakétaindítás a 49. másodperc körül történt, kitűnően látszik a nyomás és a magasság grafikonokon – mivel a fentebbi képlettel egyszerűen át tudunk váltani a kettő között, ezért tulajdonképpen nem lényeges, hogy melyiket tekintjük ebben az esetben. Ezen adatok segítségével állapítottuk meg, hogy hol kell „elvágni” az x tengelyt, hogy csak a számunkra lényeges adatok szerepeljenek. Látszik továbbá az is – ez már a magassági diagramon –, hogy a CanSat körülbelül 840–850 m-es magasságig ment fel.

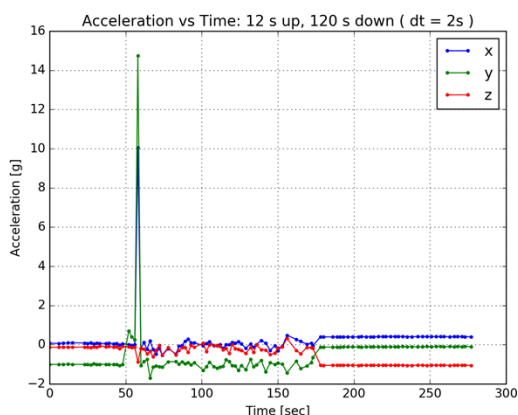
Afelől biztosak lehetünk, hogy a CanSat rakétából való kiesésének pillanatáról nem áll rendelkezésre nyomásadat. Ha lenne ilyen adat, akkor látnunk kellene a grafikonon egy nyomástüskét, mivel a CanSat úgy esik ki a rakétából, hogy a rakéta orrkúpja nyomás hatására kilöködik. Pontosabb magasságadatokat kaphattunk volna, ha a képletünkben a hőmérséklet változását is figyelembe vesszük.

Páratartalom. A páratartalomra vonatkozó adataink a következő grafikonon láthatóak:



A páratartalom grafikonon két kisebb ingadozás is megfigyelhető. Valószínűleg a szilárd hajtóanyag rakéta „motorjának” is szerepe van ebben, hiszen az égés során gázok, gőzök keletkeznek.

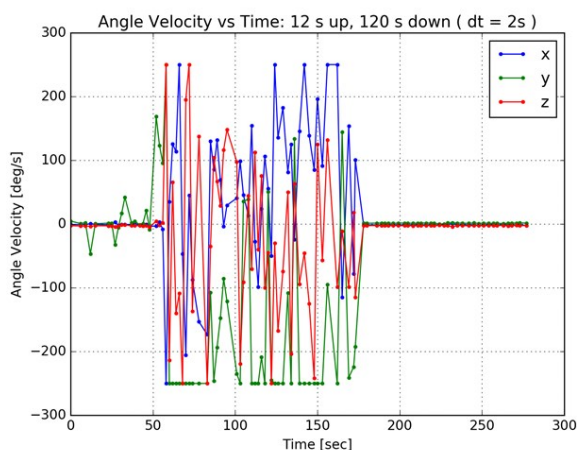
Gyorsulás. A gyorsulásadatok 1g-re normálva olvashatóak le az idő függvényében a következő grafikonról:



A grafikonon a gyorsulás értékek az x, y, z tengelyek mentén kerültek ábrázolásra. A felbocsátás előtt az x és z tengelyek mentén 0g, az y tengely mentén -1g érték olvasható le, ez azt jelenti, hogy a szenzoron meghatározott irányhoz képest fejjel lefele volt a CanSat a rakétában. Egy tűske látható a 60. másod-

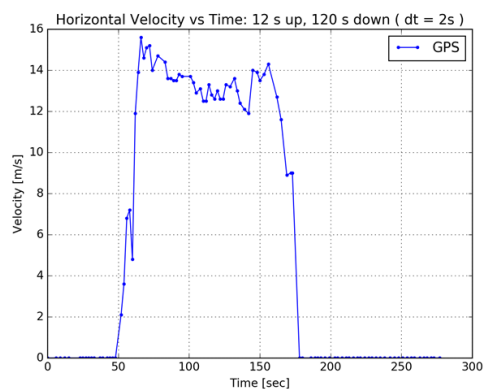
perc körül a grafikonon, amelynek csúcsa 15g körül van, ami hatalmas gyorsulás. A korábbi magassági grafikonból azonban kiderül, hogy ez nem lehetett a rakéta gyorsulása, hiszen az a 60. másodperc körül már pályájának tetőpontján volt. Tehát a rakéta gyorsulásának helyes értéket a korábban meghatározott 49. másodpercnél, pontosabban a 49–51. másodperc között tudjuk leolvasni: 2g értéket látunk. A körülbelül a 60. másodpercnél látható csúcs pedig a rakéta működési mechanizmusával magyarázható. A CanSat úgy jutott ki a rakétából, hogy annak orrkúpja elvált a rakétatesttől. Ezt a rakétán belül megnövekvő nyomás idézte elő – időzített módon. E nyomás hatására tulajdonképpen lerobbant a rakéta orrkúpja, és magával rántotta a közös bölcsőben ülő két CanSatet is.

Szögsebesség. A gyorsulásmérő szenzor egy giroszenzort is tartalmazott, amelyből szögsebességi adataink vannak.

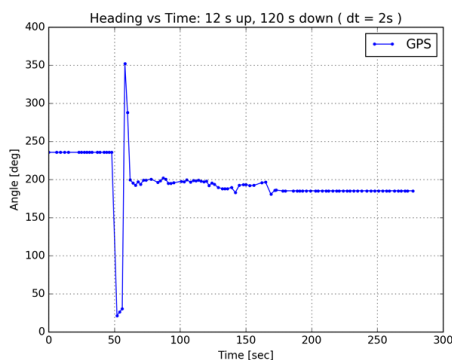


Az y tengelyen a mértékegység nem $^{\circ}/s$, mint ahogy az a grafikonon szerepel. A verseny idején a CanSat visszaérkezése délután 17 óra körül történt, az előadásunkkal – így a grafikonokkal – másnap reggel 8 órára kellett elkészülni, így ez a hiba akkor elkerülte figyelmünket. Valójában a szenzor által ± 8 biten tárolt adatok kerültek itt ábrázolásra, ez látszik is a grafikonon. Pontos adat közvetlenül nem olvasható le egy kalibrációs függvény ismerete nélkül, azonban valami mégis nagyon jól látszik: a szenzor tulajdonképpen kiakadt, nem tudott nagyobb forgási sebességet mérni. Ezért van a grafikon teteje „levágva”. Ez azt jelenti, hogy a CanSat igen nagy sebességgel pörgött a levegőben.

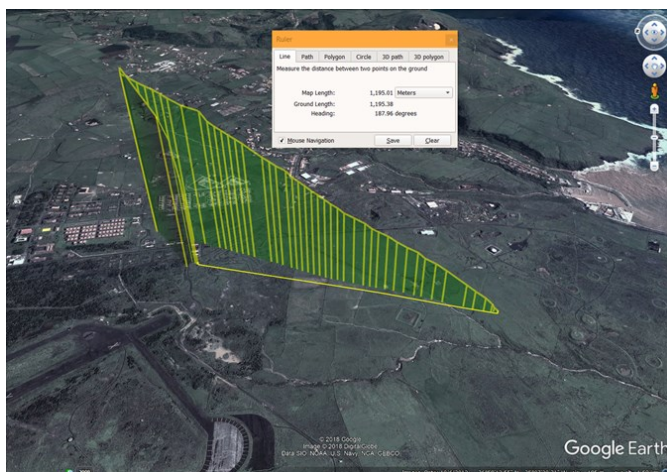
GPS adatok. A GPS-ből érkező adatok közül a GPGGA és a GPRMC mondatok adataival foglalkoztunk. A CanSat felszínhez képesti vízszintes sebességének nagysága a következőképpen alakult az időben:



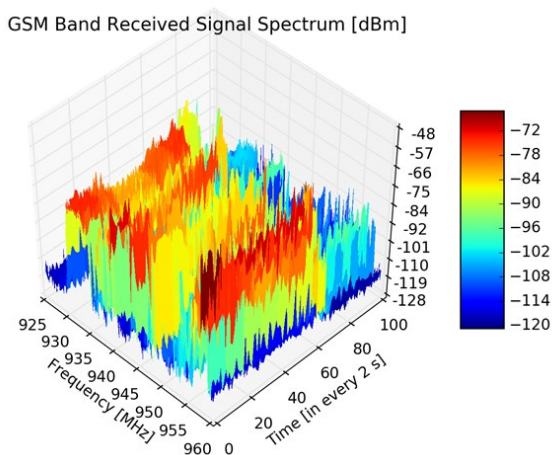
Láthatjuk, hogy a CanSat sebessége körülbelül 15,5 m/s-ig ment fel, ami majdnem 55,8 km/h-t jelent. Az Azori-szigeteken erős szél fúj az óceáni éghajlatnak köszönhetően, a CanSat-ünket is igen erősen vitte a szél. A GPS-ből származó másik érdekes adat az ún. heading. Rengeteg módja van a számításának és több névvel is illetik a hasonló mennyiségeket. Mi itt a következőt értjük alatta. A GPS adatok alapján két egymás utáni pontból számítható egy elmozdulásvektor. Ennek az északi iránnyal bezárt szögét nevezzük headingnek. Tehát 0° az északi irányt, 90° a keleti, 180° pedig a déli irányt jelenti. Fontos, hogy ez az irány nem egyezik feltétlenül a CanSat „orrának” irányával, hiszen az esés közben pörög-forog. (Az angol szakirodalomban található course talán a legjobb kifejezés az általunk itt definiált paraméterre.) A heading adataink grafikonon:



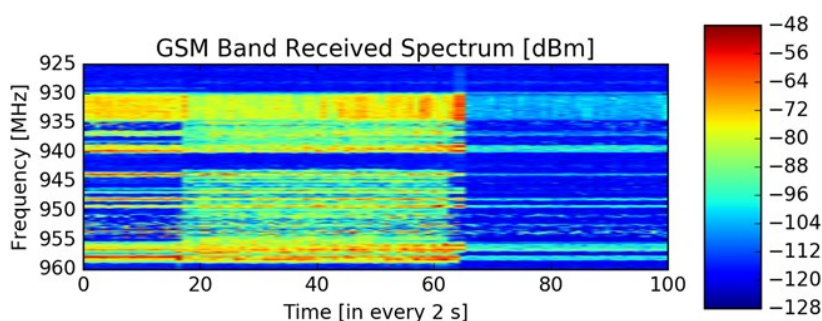
A felbocsátás során az irányokat tekintve kisebb zavart figyelhetünk meg, amely a felbocsátás után egy rövid ideig még folytatódik. Ezután a CanSat körülbelül déli irányba áll be és ezt az irányt tartja az esés során végig. Ez természetesen összhangban van a sebességadatokkal: erős északi szél fújt a felbocsátás idején. CanSatünk mozgása Google Earth programmal vizualizálva így nézett ki:



Irányított leszállás. A leszállást irányító program naplófájljai arról tanúskodnak, hogy a szoftver jól működött. A fentebb említett erős szél azonban fizikailag tette lehetetlenné CanSatünk számára, hogy irányítsa a landolást. A levegőhöz, mint közeghez képest nem tudott sebességet biztosítani a siklóernyő-gömbcsüveg hibrid ejtőernyőn, így a kormányzás nem volt lehetséges.



Spektrumanalizálás. CanSatünk fő mérési feladata a spektrumanalizátoros mérés volt. Műszerünk az E-GSM-900 sávban analizálta a downlink spektrumot, tehát azt a forgalmat, ami a toronytól a készülékek felé irányul. Háromdimenziós diagramon ábrázoltuk a teljesítmény frekvenciafüggését az időben. Teljes spektrumadatunk két másodpercenként született, így az időtengelyen egy beosztás itt már két másodpercet jelent. A mérés során másik frekvenciára való átálláskor tranziens jelenségek lépnek fel, ezért szükséges várni a mérés megkezdésével, így a teljes mérés tovább tart. A mérési eredményeket kétdimenziós grafikonon is ábrázoltuk, így még szemléletesebb:



Az ábrán látható vízszintes (időtengellyel párhuzamos) sávok a valóságban is különböző kommunikációs sávokat jelölnek. A spektrumadatok időtengelye a korábbiaktól eltérő a beosztáson kívül abban is, hogy nem ugyanott van a nullhely. A grafikon értelmezéséhez támpontot találhatunk a 18-as időérték körül. Egészen eddig viszonylag hasonló eredményeket látunk minden egyes mérésnél – azaz a grafikon frekvencia tengely menti (y irányú) metszetei hasonlóak. (Utóbbi közel azonos teljesítményértékeket jelent.) Az ezt követő néhány másodpercben viszont eddig igen kis teljesítménnyel fogható sávokban már nagyobb teljesítményt mérünk. Ekkor történt meg/éppen folyamatban volt a felbocsátás. (A „folyamatban volt” igen fontos, mivel teljes spektrum két másodpercenként van, a rakéta pedig körülbelül 12 másodperc alatt felért a maximális magasságig, tehát elmosódott képünk van csak a spektrumról a felfelé vezető út alatt.)

A CanSat ereszkedése közben kisebb és nagyobb teljesítmények váltakozását figyelhetjük meg több sávban is, ez a leglátványosabb a 930–935 MHz közötti sávban. Ezt a mintát az adótorony (antennájának) karakterisztikája okozza: esés közben

a CanSat a melléknyalábokon esik keresztül, majd a leérkezés előtt a főnyalábban is – ez a nagyon vörös terület a 65-ös osztás körül. Ez a főnyaláb a felszín felett kb. 30–50 m magasan fekszik.

Végül a leérkezés után ismét visszaesik a teljesítményszint. Ez annak köszönhető, hogy CanSatünk takarásba került az adótoronyhoz képest, mivel egy domb mögé érkezett le. (A magasság–idő grafikonon is megfigyelhető, hogy az indítási magassághoz képest lejjebb ér földet.) Feltevésünket, miszerint közel egy km-es magasságban is lehet telefonálni, igazoltuk. A sejtésünk az, hogy ez tíz km-es magasságokig is igaz a kontinens felett. Azt gondoljuk, hogy lehetne hatékonyabb antennákat tervezni, amelyekkel a feleslegesen kisugárzott energiamennyiség csökkenthető lenne.



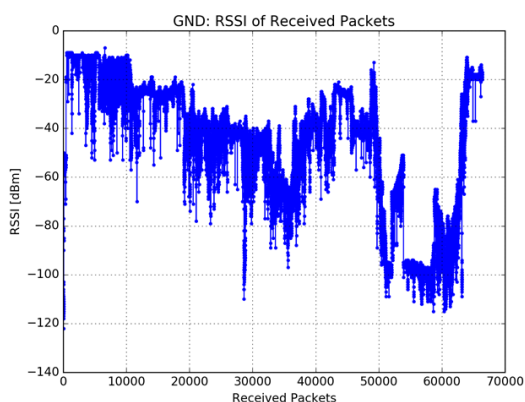
Műholdunk kommunikációja

A CanSatünk földi állomásunkkal (egy átalakított Raspberry számítógép) való kommunikációját is monitoroztuk. A következő grafikon a földi állomásra megérkezett csomagok teljesítményét mutatja. Az x tengelyen a csomagok száma látható, a 0 a bekapcsolás pillanata.

Adott típusú csomagok különböző időközönként jöttek le a földi állomásra. A spektrumadatok csak két másodpercenként, de egyéb mérési adataink ennél sűrűbben. Az ábrázolt, összesen mintegy 70 000 csomag körülbelül egy-másfél óra történéseit mutatja. *(Lásd a következő oldal tetején.)*

A rendszer telecommandra is képes volt, tehát parancsokat tudtunk küldeni a CanSatnek a földi állomásról. Ezt tesztelendő, a földi számítógép automatikusan véletlenszerűen generált üzeneteket küldött a CanSatnek, amikben ezen üzenetek visszaküldését kérte. A csomagok visszaérkeztek azok helyességét ellenőrizte a rendszer: 99%-ban helyesnek bizonyultak a visszatérő üzenetek.

50 000-es csomagszám körül vittük el a CanSatet a rakéta felbocsátásának helyszínére, körülbelül másfél kilométerre a földi állomásunktól. Látszik, hogy a jelszint erősen lecsökkent, leginkább csak yagi antennával voltak vehetőek a CanSat jelei. A felbocsátás során egyre magasabbra került a szerkezet és közvetlen rálátása lett a földi állomásra, így a teljesítmény folyama-



tosan nőtt: először ugrásszerűen, majd egy kicsit kevésbé meredeken (ívesnek mondható szakasz a grafikonon 52 000–55 000 között). A CanSat domb mögé érkezése miatt a rádiós kommunikáció jelszintje ismét lecsökkent. Ekkor volt szükség a yagi antennára újra, de az ereszkedés során folyamatos volt a vétel az egyszerű monopól antennánkkal is – ez az időtartam volt fontos a kísérlet szempontjából. Egy előreutató hibajavító algoritmus-sal is kódolva voltak a csomagok, valamint bithiba ellenőrzés is történt. A hibaellenőrzések alkalmával a program 99%-ban helyes csomagokat talált, jó impedancia illesztésű rádiónk kitűnően vizsgázott. A leérkezést követően a helyi csapat visszahozta nekünk CanSatünket – tökéletes állapotban.

Konklúzió

A kommunikációs rendszerünk – telecommand funkcióval, előreutató hibajavítással, 18 cm-es monopól antennával – kiválóan működött, ahogy az általunk tervezett és épített panel, valamint a tokozás is. Az irányított leszállás hardveres részén szívesen dolgoznánk a továbbiakban is. E szeles környezetben ez nem sikerült a várakozásoknak megfelelően. A saját készítésű ernyő ugyan nem volt elég irányítható, viszont gyorsan nyílt és optimális ereszkedési sebességet biztosított, tehát az alapfeladatát kitűnően ellátta.

A szabályzó kód alapvetően egy állapotgépet valósított meg, de a szabályzás során tanult is: korábbi fordulási adatokkal összevetve az aktuális adatokat következtetett a szél sebessé-



gére és irányára. Az ilyen tanuló rendszerek rendkívül sok lehetőséget hordoznak magukban, a későbbiekben érdemes lehet ezt továbbfejleszteni.

Legfontosabb mérésünk a spektrumanalizálás volt. Kimértük, hogy közel egy kilométeres magasságban is lehet telefonálni – holott repülőgéppel való felszálláskor már ennél alacsonyabb magasságban is megjelenik a telefonon a „Nincs szolgáltatás” felirat. Ez csupán egy szolgáltatói üzenet, nem a telefon méri, hogy van-e kellő jelszint a telefonáláshoz vagy nincs.

Örömmel foglalkozunk a témával a későbbiekben is, főleg az 5G rendszerek kapujában. Fontos, hogy minél kevesebb energiát sugározzunk ki feleslegesen: ez környezetszennyezés, de tulajdonképpen pénzpazarlás is.

Érdemes lehet a jövőben a mostaninál még univerzálisabban használható mérőrendszeren dolgozni.

Hivatkozások

- [1] <https://www.facebook.com/piaristakazurben/>
- [2] <https://www.youtube.com/watch?v=gn4tdMOOJIQ>
- [3] <http://rexusbexus.net/>
- [4] <https://gnd.bme.hu/cansat/>
- [5] <https://www.facebook.com/hunsatteam/>
- [6] <http://kozmosz.space/>
- [7] <https://www.facebook.com/BME.Kozmosz/>
- [8] http://www.urvilag.hu/amuk_a_vilagur/20181217_europai_cansat_donto_magyar_csapattal
- [9] http://www.urvilag.hu/amuk_a_vilagur/20180720_a_hunsat_csapat_beszamoloja_a_2018as_esa_cansat_dontorol
- [10] http://www.esa.int/Education/CanSat/Best_CanSat_final_reports_2018_Congratulations

A Magyar Asztronautikai Társaság 2018. évi tevékenysége – beszámoló

H-SPACE 2018 – Űr, zsúfolásig tele csodákkal

Idén negyedik alkalommal rendezték meg a H-SPACE konferenciát a Műegyetemen. A konferenciára a BME és annak Vilamosmérnöki és Informatikai Kara (VIK) kiemelt támogatásával, a BME Egyesült Innovációs és Tudásközpont (BME EIT) és a Magyar Asztronautikai Társaság (MANT) közös szervezésében került sor. A nemzetközi rendezvény több mint 200 résztvevője mintegy 20 előadást hallgathatott és tucatnyi poszttert tekinthetett meg angol nyelven az űrtevékenység égető tudományos, mérnöki, oktatási és ismeretterjesztési kérdéseiről.

A világ minden tájáról érkező magas színvonalú előadásokról Kovács Kálmánnak, a BME EIT igazgatójának és Bacsárdi Lászlónak, a MANT főtitkárának kitartó szervezőmunkája gondoskodott. A rendezvény kiemelt szerepét jól szemlélteti, hogy többek között a Nemzeti Fejlesztési Minisztérium Infokommunikációs Szabályozási és Szervezési Főosztály vezetője, Pócza András, a BME rektora, Józsa János, valamint a BHE Bonn Hungary Kft. űrtechnológiai igazgatója és egyben a MANT elnöke, Solymosi János nyitották meg köszöntő szavaikkal a konferenciát.

A tudományos és technikai előadások igen változatos és figyelemfelkeltő témákat érintettek, kezdve az orosz-magyar űrkapcsolatok új perspektíváitól, vákuumkamra minőség-ellenőrzésén és a Cassini-küldetés magyar részvételén és összegzésén keresztül, egészen az extrém rossz időjárási körülmények közt történő műholdas helymeghatározásig. Szó esett még olyan izgalmas és aktuális témákról is, mint például az antarktiszi asztronauta analóg-küldetések során végzett depressziómérések, a kvantumkommunikáció lehetőségei a világűrben, a legújabb zsebműhold, a SMOG-1 projektjének helyzete, illetve a 3D-nyomtatás távlatai az űrkutatásban és űrutazásban.



Ezekén túlmenően az oktatási és ismeretterjesztési szekcióban bepillantást nyerhettünk az űrtevékenység olaszországi, romániai és magyarországi oktatási lehetőségeibe, valamint az elhivatottság és költséghatékony kreativitás eredményeibe, ahol fontos kihangsúlyozni, hogy az egészen fiatal, iskolás korosztály munkájáról is beszélünk. Meg kell még említenünk, hogy ezek mellett az érdeklődők tájékozódhattak a közép-európai régió technológia transzfer pályázati lehetőségeiről is.

Tehát összességében elmondható, hogy a konferencia még ilyen rövid idő alatt is sikeresen lefedte az űrtevékenység teljes spektrumát, és mindenki hallhatott a maga számára érdekfeszítő újdonságokról. Mi sem mutatja jobban az elhangzottak aktualitását, relevanciáját és popularitását, hogy mind a közönség, mind az előadók tekintetében egyaránt igen fiatalos, 30–40 év közötti átlagéletkort tapasztalhattak a résztvevők, ami részben a tavaly ősszel alakult BME Egyetemi Kozmosz Kör önszerveződő hallgatói klub önkéntes szervezői segítségével is köszönhető.

Az eddigi események sikerére alapozva már megkezdődtek a jövő évi rendezvény szervezésének előkészületei, így minden remény szerint 2019-ben, az ötödik H-SPACE konferencián újra összegyűlhetnek hazánkban az űrtevékenység neves képviselői, hogy megosszanak egymással és a világgal minden fontos felfedezést és eredményt.

Ordasi András (Űrvilág)

Nemzetközi űroktatási konferencia Budapesten

Április 11–13. között rendezték a BME-n az Európai Űrügynökség (ESA) második űroktatási szimpóziumát. Az ünnepélyes megnyitó vendége volt és előadást tartott az ESA stratégiai igazgatója és egy európai űrhajós is. A konferenciát (2nd Symposium on Space Educational Activities) az ESA Oktatási Irodája a BME-vel közösen szervezte, a MANT közreműködésével.

Az első és eddig egyetlen hasonló témájú ESA konferencia 2015-ben volt az olaszországi Padovában. A cél fórumot teremteni egyetemi hallgatóknak, oktatóknak és űrkutatási szakembereknek, hogy bemutathassák és megvitathassák űrvonatkozású oktatási-képzési programjaikat, elképzeléseiket. A tapasztalatok cseréje, a szakmai kapcsolati hálók kialakulása hozzájárul az űroktatás fejlesztéséhez, a szakemberek következő generációinak minél hatékonyabb képzéséhez egész Európában. A szimpózium szakmai programja a felsőfokú (egyetemi) oktatásra fókuszált, ilyen témakörökben várták előadók jelentkezését is.

A három napos programban több szekcióban 50 szóbeli és közel 40 poszter előadás szerepelt. A mintegy 200 résztvevő Európa számos országából érkezett, közel kétharmaduk egyetemi hallgató vagy fiatal kutató. A MANT a hazai egyetemisták, fiatalok számára kedvezményes részvételi lehetőséget hirdetett.

„A kutatók és mérnökök következő generációja áll az Európai Űrügynökség sokrétű oktatási programjának középpontjában. Ezzel a már most is világszínvonalú európai tudományos közösség és munkaerő további fejlesztésére fordítjuk erőfeszítéseinket” – fejtette ki megnyitó előadásában Kai-Uwe Schrogl professzor, az ESA stratégiai igazgatója.

„Hazánkban is nagy hangsúlyt fektetünk a fiatalokra” – mondta Bacsárdi László, a szervezőbizottság elnöke, a MANT főtitkára. „Egy hét űrélmény szlogenrel nyáron egyhetes Űrtábort szervezünk középiskolásoknak, négy napos nyári Űrakadémiát egyetemi hallgatók számára, és év közben is számos programon keresztül hívjuk fel a fiatalok figyelmét arra, hogy az űrtevékenység a mindennapjaink szerves része.”



A szimpóziium másik nagy érdeklődéssel várt bevezető előadását Reinhold Ewald német ESA-űrhajós tartotta, aki a Nemzetközi Űrállomásnak, mint egyedülálló súlytalansági kísérletek végzésére alkalmas kutatólaboratóriumnak a szerepét hangsúlyozta.

(Űrvilág)

Játék és sport a világűrben – diákpályázatunk nyertesei

2018. április 28-án Budapesten, a Millenáris B csarnokában, a Felfedezők Napja rendezvény nagyszínpadán hirdettük ki ünnepélyesen a 2017/2018-as tanévre meghirdetett diákpályázatunk eredményeit. A díjakat a nyerteseknek Both Előd, a MANT alelnöke adta át. A nyerteseknek, de minden lelkes pályázónknak is gratulálunk az elvégzett munkájukhoz!

11–14 éves egyéni kategória

I. díj: Bogár-Szabó Mihály (Bányai Júlia Gimnázium, Kecskemét, felkészítő: Bogár-Szabó Ádám)

II. díj: Bakos Orsolya (Kókai Imre Általános Iskola, Temerin, felkészítő tanár: Giric Olivia)

III. díj: Sipos Áron (Balassi Bálint Nyolcévfolyamos Gimnázium, Budapest)

III. díj: Tóth Rebeka (Magdu Lucian Román Általános Iskola és Óvoda, Battonya, felkészítő: Machhour Julianna Stella)

11–14 éves csapat kategória

I. díj: Péjó Zalán, Tölli Máté (Gyömrői II. Rákóczi Ferenc Általános Iskola, Gyömrő, felkészítő: Szabóné Szócs Erika)

II. díj: Lovas Buda Máté, Lovas Emma Rózsa (Tóth Árpád Gimnázium, Debrecen, felkészítő: dr. Zonda Bence Csanád)

15–18 éves egyéni kategória

I. díj: Bogár-Szabó András (Friedrich Schiller Gimnázium, Pilisvörösvár, felkészítő: Bogár-Szabó Ádám)

15–18 éves csapat kategória

I. díj: Nagy Dávid, Schreck István János, Schreck László Kristóf (Pápai Weöres Sándor Általános Iskola, Pápa, felkészítő: Wenczel Marianna)

I. díj: Necseszán Boglárka Piroska, Necseszán Norbert Ferenc (Szent László Líceum, Nagyvárad, felkészítő: Necseszán Ferenc)

Tisztújító közgyűlés

Egyesületünk május 11-én 16 órai kezdettel tartotta meg éves beszámoló és egyben tisztújító közgyűlését Budapesten, az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karán. A közgyűlés ekkor még nem volt határozatképes. A meghívóban

foglaltaknak megfelelően a 16:30-ra újra összehívott közgyűlés már a megjelent tagok létszámától (47 fő) függetlenül határozatképesé vált. Ezt megelőzően egy előadást hallgathattunk meg Dudás Leventétől (BME Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék), Start előtt a SMOG–1 címmel.

A közgyűlés első napirendi pontjaként megemlékeztünk a nemrég elhunyt Magyar Béla űrhajósról, aki 2001 és 2006 között a MANT elnöke is volt. A napirendi pontok között szerepelt a 2017. évről szóló beszámoló, a gazdasági beszámoló, a közhasznúsági jelentés az Ellenőrző Bizottság jelentése. Ezeket a megjelentek egyhangúlag elfogadták. Ezután tiszteletbeli taggá választottuk a MANT leköszönő elnökét, Solymosi Jánost.

A közgyűlés második részében került sor az idén esedékes tisztújításra. A tisztújítást Almár Iván, a MANT örökös tiszteleti elnöke vezette. Az első körben az elnökre, a főtítkárra, az alelnökökre és a főtítkárhelyettesekre, valamint az Ellenőrző Bizottság tagjelöltjeire szavaztunk, a jelöltek neveit Székely Anna Krisztina, az Elnökség által előzetesen felkért Jelölőbizottság vezetője ismertette. Miközben a szavazatok összesámlálása zajlott, a közgyűlés megtárgyalta és elfogadta a 2018-as költségvetés tervezetét. A második választási körben azután az új Elnökség tagjaira lehetett szavazni.

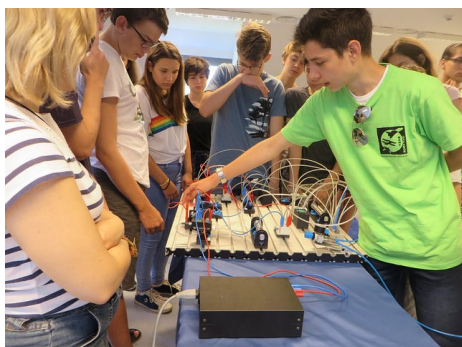
A MANT 2018-tól 2021-ig tartó ciklusra megválasztott tisztségviselőinek névsora a következő. Elnök: Both Előd, főtítkár: Hirn Attila, alelnökök: Bacsárdi László, Frey Sándor, Sik András, főtítkárhelyettesek: Horvai Ferenc, Milánkovich Dorottya, Kocsis Gábor, az Elnökség tagjai: Bérczi Szaniszló, Bodó Zsófia, Ordasi András, Schuminszky Nándor, Strádi Andrea, Szendrei Dániel, Szűcs Eszter, Tari Fruzsina, Trupka Zoltán, Vizi Pál Gábor. Az Ellenőrző Bizottság: Mihálka György (elnök), Kálmán Béla, Tátrallyay Mária Gabriella.

A közgyűlés végén sor került Alapszabály változtatására, a tisztújítással összefüggésben szükséges pontokon. A megválasztott tisztségviselők rövid bemutatkozására közgyűlést követően közzé tettük a MANT honlapján.

Ürtábor 2018, Zalaegerszeg

A MANT 2018. évi nyári ürtáborának helyszíne Zalaegerszeg, időpontja 2018. július 8. (vasárnap) – július 14. (szombat) volt. Az idei Ürtábor vezérfonala az amerikai Apollo holdprogram közelgő fél évszázados évfordulója volt. Az Apollo–8-ról és a hold-

programmal kapcsolatos más érdekességekről szakavatott előadók tolmácsolásában hallhattak az űrtábori résztvevők. De szóba került a holdi bányászat és a Hold, mint a majdani Mars-utazás „ugródeszkája” is. Megismerkedhettek a fiatalok az űrhajósokat a világűrben érő sugárterheléssel kapcsolatos kutatásokkal. A táboron átívelő projektfeladat a Holdfalu-koncepcióhoz kapcsolódott, a diákok 5 csapatban dolgoztak.



Az idei űrtábor partnere az Új Nemzedék Központ és a Vega Csillagászati Egyesület (VCSE) volt. A tábor támogatója az InnoStudió, a SpaceApps és az Űrvilág űrkutatási hírportál. A MANT űrtábori mentorprogramja keretében több táborozó diáknak mentorok vállalták át a részvételi díjukat. Magánszemélyek mellett

támogatást adott a Sárhegyi és társa ügyvédi iroda és a New Space Consulting Kft.

A tábor központja a zalaegerszegi Kaffka Margit Kollégium volt. 25 diák vett részt rajta, többen határainkon túlról (Kárpátalja, Erdély) érkeztek. Az előadásokon túl kirándulásokat is szerveztünk, például városnézést Zalaegerszegen, látogatást a Pannon Egyetem Mérnöki Kar Mechatronikai Képzési és Kutatási Intézetbe, a zalaegerszegi tesztpálya, a Magyar Olaj- és Gázipari Múzeum, a Göcseji Falumúzeum megtekintését. A VCSE jóvoltából megtekintettük hazánk első távvezérelt csillagvizsgálóját és Nap-bemutatót vettünk részt. Egy másik napon késő esti távcsöves bemutatót is részt vehettek az űrtáborozók.

A tábornak jelentős sajtóvisszhangja volt. Hétfőn délelőtt az M1 televízió élőben kapcsolta a táborunkat, csütörtökön a helyi Zalaegerszegi Televízió és az M2 Petőfi televízió is forgatott a táborról.

Bacsárdi László táborvezető

Űrakadémia 4.0

2018 augusztusának első hétvégéjén rendezték immár negyedik alkalommal a 18–35 év közötti fiataloknak szóló Űrakadémiát. A MANT és a Space Generation Advisory Council (SGAC) által közösen szervezett rendezvényen idén az űroktatás kérdés-

köre került terítékre. A mintegy huszonöt, űrtevékenységért lelkesedő vagy abban akár már egy ideje jártas fiatal több kerekasztal-beszélgetés során ismerhette meg hazai kutatók, egyetemi oktatók és ipari képviselők álláspontját egy lehetséges magyarországi űrképzés kapcsán, majd formálhatták meg ajánlásukat ennek és saját tapasztalataik fényében.

A négy napos rendezvényt Külgazdasági és Külügyminisztérium képviselőjében Horvai Ferenc, űrkutató, csillagász nyitotta meg. Ezt követték az esemény első felében azok a kötetlen kerekasztal-beszélgetések a szakértőkkel, amelyeken a résztvevők bepillanthattak az űroktatással kapcsolatos nehézségek kulisszatitkaiba. Az egyetemi szerepvállalás kérdéseinek megvitatásakor a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemet (BME) Kovács Kálmán, az Egyesült Innovációs és Tudásközpont (BME EIT) igazgatója és Csurgai-Horváth László, a Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék munkatársa, az Eötvös Lóránd Tudományegyetemet (ELTE) Lichtenberger János, a Geofizikai és Űrtudományi Tanszék munkatársa, az Óbudai Egyetemet (ÓE) pedig Földváry Lóránt, az Alba Regia Műszaki Kar munkatársa képviselte.

A magyarországi űripár szereplői közül Solymosi János, a BHE Bonn Hungary Elektronikai Kft. űrtechnológiai igazgatója, Horváth Gyula, a C3S Kft. ügyvezető igazgatója és Vizi Pál Gábor, az SGF Technológia Fejlesztő Kft. munkatársa által nyerhettek a jelen lévők hasznos információkat a hazai cégek munkaerő-igényeiről és a lehetséges, oktatásban nyújtott együttműködési kapacitásáról. Kutatói oldalról Opitz Andrea, az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpontjának munkatársa és Werner Norbert, az ELTE Atomfizikai Tanszékének munkatársa meséltek külföldi és hazai élményeikről, tapasztalataikról. A műszaki szekció szakértőiként Horváth Márk, az Óbudai Egyetem Mikroelektronikai és Technológiai Intézetének oktatója, Makkai Hunor (ThalesNano Zrt.), Vizi Pál Gábor (MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont) és Hurlony Tamás (BME ETT) nyújtottak hasznos útmutatást az űroktatás iránya tekintetében.

Ezen kívül az Európai Űrügynökség (ESA) European Space Operation Centre (ESOC) magyar munkatársait – Facskó Gábort, Jesch Dávidot, Varga Gábort, illetve Geda Mártont – is sikerült egy videóhívás erejéig elérnünk, akik a külföldi lehetőségeket vázolták fel a résztvevők számára, és hogy milyen területekre keresnek szakembereket az ESA berkein belül, illetve hogy milyen képességek lehetnek rendkívül hasznosak és előnyösek egy ottani állásra való jelentkezésnél.

Az űrtevékenység hazai és nemzetközi állásának alapos megismerése után a fiatalok kisebb csoportokban álltak neki a különböző kérdéskörök megvitatásának. Az igen intenzív szakmai diszkussziók során számos lehetőség merült fel, kezdve egy kétéves MSc képzéstől egészen az ennek előkészítését jelentő egyéb oktatási, ismeretterjesztési és űrtevékenységet népszerűsítő feladatokig, úgy mint például rövid nyári képzésekre, kiegészítő diplomákra való lehetőségek kialakítása. A résztvevők az ajánlást végső formájában még augusztus folyamán tervezik elkészíteni. Ezt többek között az októberben esedékes Űrkutatás Napján fogják ismertetni a hazai űrtevékenységben érdekelt szereplőknek.

A négy nap alatt végzett rengeteg munka mellett fakultatív kikapcsolódási lehetőségek is színesítették a programot. A csillagászati és űrtevékenységgel kapcsolatos kvízzjáték mellett a szerencsés időjárás révén csillagászati bemutatókra is volt lehetőség, sőt mi több, még a Nemzetközi Űrállomással is sikerült egy közös csoportképet készítenie a résztvevőknek. Összességében egy izgalmas, dinamikus és mindenképpen hasznos hétvégét tölthettek el Gödöllőn az űrért rajongó fiatalok.

A rendezvényről tudósított az M5 televízió Tudomány minden napra című műsora.

Ordasi András (urvilag.hu)

Űrkutatás Napja

2018 karácsonyán volt ötven éve annak, hogy az Apollo-8 űrhajósai személyében először közelítette meg ember egy másik égitest felszínét. A rendkívüli teljesítmény motorja az űrverseny volt. Kennedy elnök 1961 májusában, még az első amerikai űrhajós repülése előtt meghirdette programját, miszerint az ember még az évtized vége előtt eljut a Holdra. Bejelentését robbanásszerű fejlődés követte az űrkutatás és általában véve az űrtevékenység valamennyi területén. Amikor Frank Borman, Jim Lovell és Bill Anders elsőként haladtak el a Hold mellett, már lehetett tudni, hogy hamarosan valóban ember lép a Hold felszínére – erre alig több mint fél évet kellett várni. Azt persze nem sejtették, hogy az emberes holdutazások korszakának kezdete után néhány évvel a korszak végét is ér...

Az Apollo-8 küldetésének emblematikussá vált képe a „Földfelkelte”: a képen a Föld egy távoli, a Nap megvilágításából adódóan fázist mutató kék bolygónak látszik. Ez a kép különle-

gesnek, törekenynek mutatja bolygónkat, amelyet meg kell védenünk. Az űrtevékenység napjainkban a világűr megismerése mellett saját társadalmunk életkörülményeinek javítását, a technológiai modernizációt is szolgálja, eredményeit pedig mára már széles körben alkalmazzuk a gazdaságban, a mindennapi életben. A nemzetközivé szélesedő, gyorsan fejlődő űrtevékenységből a magyar kutatók és mérnökök is kivették a részüket.



A jubileum alkalmából és a Nemzetközi Világűr hét (október 4–10.) legnagyobb hazai eseményeként a MANT 2018. október 9-én a Magyar Tudományos Akadémia (MTA) Székházában tartotta az Űrkutatás Napja elnevezésű ismeretterjesztő rendezvényt, amelyre a szakma képviselői mellett minden érdeklődőt várt.

A rendezvény első szekciójában beszámoló hangzott el a magyar űrkutatás aktuális helyzetéről (Ferencz Orsolya), valamint a MANT tevékenységéről (Hirn Attila). Megemlékeztünk Magyarai Béla űrhajósról, egyesületünk volt elnökéről (Schuminszky Nándor). Az Apollo-8 repülését és annak magyarországi fogadtatását Almár Iván, a MANT örökös tiszteletbeli elnöke mutatta be. A szünetet követő előadásokban szó volt az európai BepiColombo Merkúr-kutató űrszondáról és a magyar közreműködésről (Steinbach Péter), a készülő, új magyar műholdakról (Géczy Gábor), a földmegfigyelés új korszakáról (Kristóf Dániel) és a Pille dózismérő történetének legújabb fejezetéről (Hirn Attila).

Kitüntetések 2018-ban

A Nemzetközi Asztronautikai Akadémia (International Academy of Astronautics, IAA) 1960-ban alakult meg, Kármán Tódor kezdeményezésére. Az ENSZ által 1996-ban elismert független nemzetközi szervezet célja az űrtevékenység fejlesztésének előmozdítása, és azon egyének szakmai teljesítményének elismerése, akik a tudomány és a technika űrkutatáshoz kapcsolódó ágaiban jelentőset alkottak.

Az IAA négy szekcióban (alaptudományok, műszaki tudományok, élettudományok, társadalomtudományok) választja tagjait. Az aktív tagok száma meghaladja az 1200-at, közel 80 országot képviselnek. Az Akadémia a nemzetközi tudományos együttműködés segítésére szimpóziumokat, tanácskozásokat szervez, kiadványokat jelentet meg.

2018-ban különleges elismerés érte Almár Iván csillagász-űrkutatót: az IAA tiszteleti tagjai közé választották. Almár Iván a MANT egyik alapítója és örökös tiszteletbeli elnöke. Olyan legendás nevek is szerepelnek az IAA új tiszteleti tagjainak névsorában, mint az Apollo-11 Holdra lépő űrhajósa, Buzz Aldrin, vagy az első űrsétát végrehajtó Alekszej Leonov. Korábban Magyarországról, de még térségünkben sem volt példa arra, hogy az IAA tiszteleti tagokat választott volna. Az elmúlt három évtizedben egyébként is csak meglehetősen kevesen részesültek ebben a megtiszteltetésben. A korábban választott tiszteleti tagok között szerepel például Valentyina Tyereskova, Neil Armstrong, Louis De Broglie, Jurij Gagarin és John Glenn.

Az IAA mérnöki tudományok szekciójában új magyar levelező tagot is köszönthetünk, Solymosi János, a BHE Bonn Hungary Kft. űrtechnológiai igazgatója, MANT korábbi elnöke és jelenlegi tiszteleti tagja személyében.

Puskás Tivadar-díjat kapott Bacsárdi László. Egyesületünk egyik alelnöke, korábbi főtitkára. május 16-án vehette át a Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesület (HTE) elismerését. A Puskás Tivadar-díj alapításának célja a távközlés, műsor-szórás, informatika, elektronika és tartalomkezelés fejlesztése terén kimagasló érdemeket szerzett személy kitüntetése.

Gábor Dénes-életműdíjban részesült Gschwindt András tagtársunk, a BME címzetes egyetemi docense. A díjat az űrtechnológia hazai fejlesztésében betöltött több évtizedes kiemelkedő szerepe, az Interkozmosz műholdak fedélzeti berendezései-

nek eredményes fejlesztése, az első hazai műhold, a Masat-1 létrehozásában és üzemeltetésében betöltött irányító szerepe, a felbocsátás előtt álló SMOG-1 műhold innovatív megoldásainak kidolgozása és integrálása terén végzett munkája miatt érdemelte ki.

Magyari Béla (1949–2018)

Magyari Béla 1949. augusztus 8-án Kiskunfélegyházán született. A helyi MHSZ repülőklubban kezdett vitorlázó gépen repülni. 1967 és 1971 között elvégezte a magyar és a szovjet repülőműszaki főiskolát is. 1972-ben lett a magyar légierő repülőtisztje, 1977-ben első osztályú vadászpilóta minősítést kapott. 1978-ban századosi rendfokozattal választották a magyar űrhajósjelöltek közé. A Szovjetunió és a szocialista országok Interkozmosz együttműködésének keretében a tagországok képviselői űrutazáson vehettek részt.



Végül két jelölt, Farkas Bertalan és Magyari Béla vett részt a felkészülésen a Moszkva melletti Gagarin Űrhajóskiképző Központban, 1978–80 között.

A Szovjuz-36 fedélzetén végül Farkas Bertalan jutott a világűrbe, szovjet társa Valerij Kubaszov volt. Magyari Béla és Vlagyimir Dzsanibekov alkotta a tartalék személyzetet. Magyari a repülés alatt az irányítóközpontban dolgozott. A repülést követően őrnaggyá léptették elő és megkapta a Magyar Népköztársaság Űrhajósa kitüntetését. Mérnökdoktori címet szerzett, a rendszerváltás után fejlesztőmérnökként dolgozott a honvédségnél. Tanított a Budapesti Műszaki Egyetemen és dolgozott a katonai felderítő hivatalnál. Később a Belügyminisztérium, majd Magyar Űrkutatási Iroda munkatársa volt, ahonnan 2006-ban nyugdíjazták. 2001-től hat éven át volt a Magyar Asztronautikai Társaság (MANT) elnöke.

Magyari Béla életpályájáról a MANT 2016-ban kiadott Tárguló határok című interjúkötetében is beszélt. Búcsúztatása 2018. május 11-én a Fiumei úti sírkertben, katonai tiszteletadás mellett volt. Egykori elnökünk, barátunk emlékét megőrizzük!

Tartalomjegyzék

Előszó	3
Válogatás az űrkutatás 2018-as eseményeiből	4
Pille 40 – egy korszakokon átívelő történet <i>Hirn Attila, Apáthy István, Csőke Antal, Deme Sándor</i>	46
A BepiColombo űrprogram <i>Szalai Sándor, Kecskeméty Károly, Steinbach Péter</i>	59
Meteorit ásványok infravörös elemzése a Hera űrszonda támogatásához <i>Skultéti Ágnes</i>	73
Égitestek felszíni korának becslése becsapódásos kráterek alapján <i>Steinmann Vilmos</i>	82
A Kepler, a K2 és a TESS küldetések érdekes tranzitbolygói <i>Futó Péter</i>	89
Hazai közeli világűr ballonkísérletek 2017–2018 folyamán <i>Hegedüs Tibor, Jäger Zoltán, Goda Zoltán, Papp László, Szing Attila</i>	97
Miniműhold egy kólásdobozban <i>Illyés András, Dudás Levente, Szathmáry Melinda, Gschwindt András</i>	112
A Magyar Asztronautikai Társaság 2018. évi tevékenysége – beszámolók	129
H-SPACE 2018 – Űr, zsúfolásig tele csodákkal	129
Nemzetközi űroktatási konferencia Budapesten	130
Játék és sport a világűrben – diákpályázatunk nyertesei	132
Tisztújító közgyűlés	132
Űrtábor 2018, Zalaegerszeg	133
Űrakadémia 4.0	134
Űrkutatás Napja	136
Kitüntetések 2018-ban	138
Magyari Béla (1949–2018)	139



Érdeklődők a MANT standjánál a Felfedezők Napján, 2018. április 28-án, a Millenáris B csarnokában (fent) és a Tudományok Fővárosa rendezvényen, 2018. szeptember 23-án, a budapesti Akvárium Klubban (lent). (Fotó: Trupka Zoltán)



A hátsó borítón: csoportkép az Európai Űrügynökség (ESA) második űroktatási szimpóziumának (2nd Symposium on Space Educational Activities) résztvevőiről. A nemzetközi konferenciát 2018. április 11–13. között a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen rendezték, a MANT közreműködésével. (Fotó: Gema Barnabás / BME)

