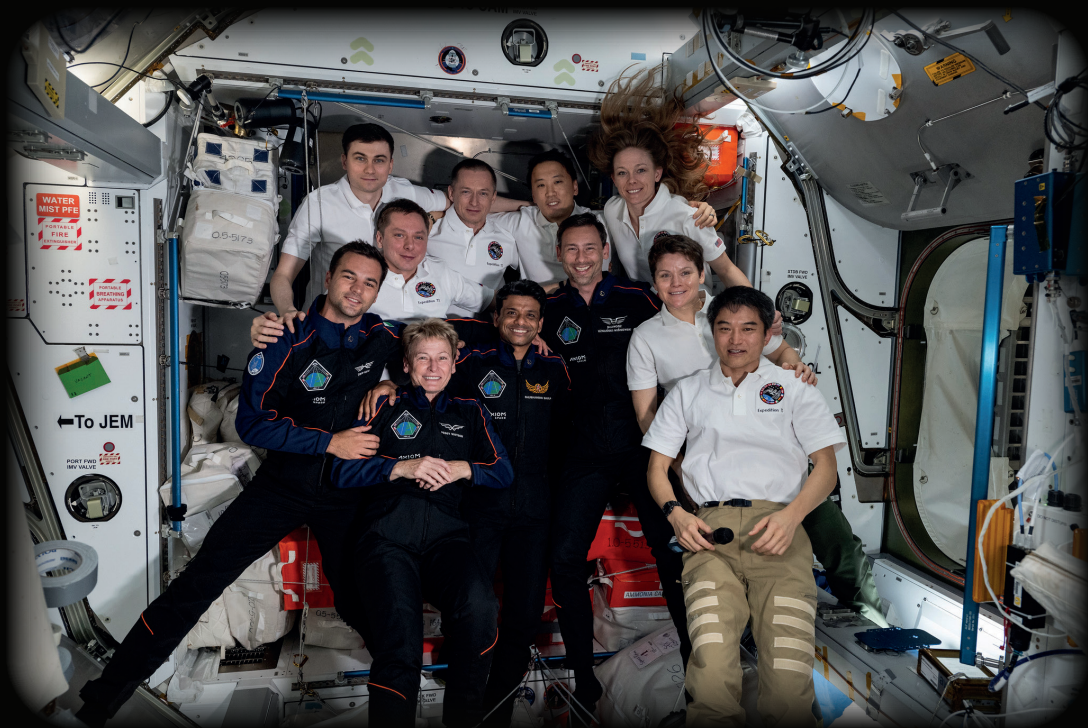


# Űrtan Évkönyv 2024-2025

Az Asztronautikai Tájékoztató 76-77. száma

Kiadja a Magyar Asztronautikai Társaság



# Űrtan Évkönyv 2024–2025

Az Asztronautikai Tájékoztató 76–77. száma

Kiadja a Magyar Asztronautikai Társaság

## **Űrtan Évkönyv 2024–2025**

*Az Asztronautikai Tájékoztató 76–77. száma*

Szerkesztette: *dr. Frey Sándor*

Kiadja: *a Magyar Asztronautikai Társaság*

*1044 Budapest, Ipari park u. 10.*

*www.mant.hu*

*Budapest, 2026*

Tördelés, grafikai szerkesztés: *Horváth Róbert*

Felelős kiadó: *Arnócz István főtítkár*

*Kézirat gyanánt*

*Borítókép: Hat ország 11 űrhajósának csoportképe a Nemzetközi Űrállomás (ISS) Harmony moduljában, 2025 júliusában – köztük a HUNOR Magyar Űrhajós Program keretében repült Kapu Tiborral, a második magyar kutatóűrhajóssal. Az első sorban, sötét ruhában az Axiom-4 személyzete, balról jobbra: Kapu Tibor, Peggy Whitson (USA), Shubhanshu Shukla (India) és Sławosz Uznański-Wisniewski (Lengyelország), valamint fehérben az ISS 73. állandó személyzetéből Anne McClain (USA) és Onisi Takuja (Japán). Háttul Alekszej Zubrickij, Kirill Peszkov, Szergej Rizsikov (Oroszország), Jonny Kim és Nichole Ayers (USA). (Forrás: NASA)*

*HU ISSN 1788-7771*

# Előszó

A Magyar Asztronautikai Társaság (MANT) ezúttal két évre, 2024-re és 2025-re összevonva adja ki hagyományos Űrtan Évkönyv sorozatának újabb kötetét.

De micsoda két év volt ez a magyar űrtevékenységben! Kétség sem férhet hozzá, hogy az utóbbi évtizedek legjelentősebb és egyben legnagyobb közérdeklődést kiváltó eseményének a HUNOR Magyar Űrhajós Program keretében végrehajtott űrrepülés bizonyult. Még 2024 májusában – történetesen Farkas Bertalan, az első magyar űrhajós indulásának 44. évfordulóján – derült ki, hogy mindenre kiterjedő, gondos kiválasztási folyamat után Kapu Tibort jelölték ki a következő magyar kutatóűrhajósnak, tartaléka pedig Cserényi Gyula lett. Alig több mint egy évvel később, 2025 júniusában, az Axiom-4 küldetés négyfős személyzetének egyik tagjaként aztán Kapu Tibor valóban elindult a Nemzetközi Űrállomásra. Az ott eltöltött 18 nap alatt bő kéttucatnyi magyar fejlesztésű kísérletet hajtott végre, nagy sikerrel.

Talán ki sem kellene külön emelni, hogy a hagyományosan szakmai-ismeretterjesztő cikkeket és a MANT tevékenységét összefoglaló beszámolókat közlő Űrtan Évkönyv mostani kötetében is felbukkan a HUNOR program. Külön írás mutatja be a SUMISPACE „Útitárs” kezdeményezést, amelynek keretében egy memóriakártyán több mint 3000 feliratkozó neve és fényképe, valamint tíz magyar lobogó járta meg a világűrt. De olvasóink megismerkedhetnek az Európai Űrügynökség (ESA) Hera kisbolygókutató űrszondájának programját segítő magyar részvétellel, a marsi légkör elektromos jelenségeivel, a Magyarország teljes területét lefedő műholdradaros felszínmozgás-monitorozási rendszerrel, valamint Japán gazdag űrcsillagászati hagyományaival is.

Köszönjük szerzőinknek, hogy megtiszteltek bennünket írásaikkal, s külön hálásak vagyunk a kötet hosszúra nyúlt előkészületei alatt tanúsított türelmükért.

Külön köszönet illeti a Külgazdasági és Külügyminisztériumot, a HUNOR Magyar Űrhajós Program lebonyolítóját, akiknek a támogatása tette lehetővé az Űrtan Évkönyv 2024–2025 megjelentetését, valamint a MANT számos más programjának és kezdeményezésének megvalósítását ezekben az eseménydús években.

Végezetül kellemes olvasást, tájékozódást kívánok azoknak, akik – ha csak virtuálisan is, de – kezükbe veszik az Űrtan Évkönyv legújabb kötetét!

Budapest, 2026. március

A szerkesztő

# Magyar közreműködés az ESA Hera űrszondája előkészítésében

Kereszturi Ákos<sup>1,2</sup>,  
Nagy Balázs<sup>3</sup>,  
Kovács Gábor<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet, HUN-REN CSFK, Budapest

<sup>2</sup>Magyar Csillagászati Egyesület, Budapest

<sup>3</sup>Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék

*A Földet veszélyeztető kisbolygók esetleges jövőbeli mesterséges eltérítésére felkészülendő, a DART (Double Asteroid Redirection Test) űrszondát 2021. november 24-én indította a NASA egy földközeli kettős kisbolygó irányába. A DART célpontja a 780 m átmérőjű Didymos körül mintegy 1 km távolságban keringő, 160 m átmérőjű Dimorphos hold volt, utóbbit a szonda eltalálta. Ezt követően indították a Hera űrszondát az eredmény elemzésére, hogy a becsapódás következményeit jobban megértsük.*

A DART 500 kg-os fő egysége 2022. szeptember 26-án 6,6 km/s sebességgel ütközött a Dimorphosnak, 3 tonna TNT-vel egyenértékű robbanást generálva. Az esemény látványos következménnyel járt a két korábban levált CubeSat képei alapján, a kirobbant anyag szálás, inhomogén szerkezetet alkotott. A földi mérések szerint 10–30 ezer km hosszú „csóva” jött létre. A becslés alapján nagy mennyiségű, mintegy 1000 t törmelék repült ki, de még meglepőbb volt az égitest mozgásának a változása: a kis hold keringési ideje 32 perccel (4,6%) rövidült. Ezek szerint a Dimorphos jelentős mozgási energiát veszített a becsapódástól, és a Didymoshoz közelebbi pályára került.



1. ábra: A Hera küldetés jelvénye. (Forrás: ESA)

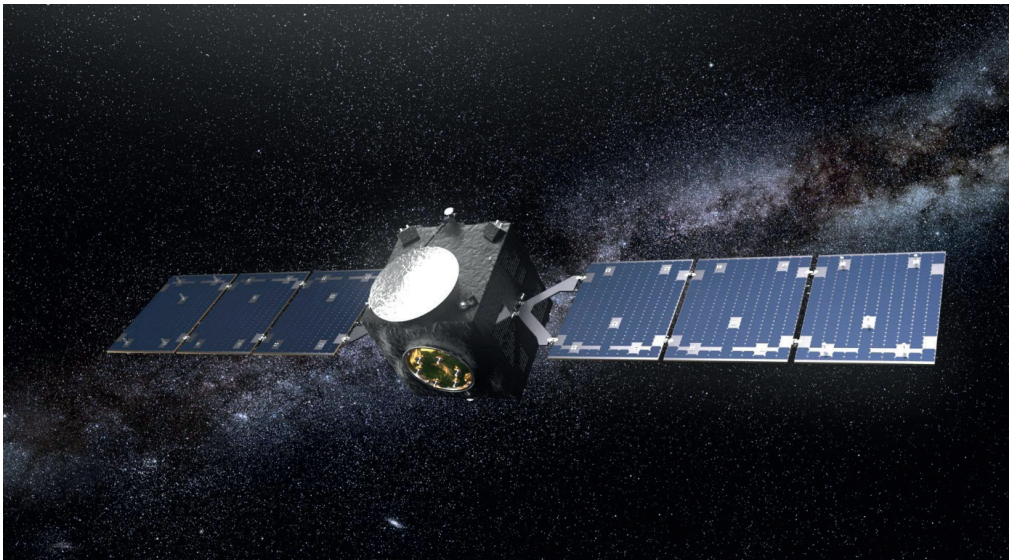
A jelenség további következményekkel járhatott, ugyanis idővel a Dimorphos elméletileg kötött tengelyfogságra áll be az új pályáján is, azaz gyorsul a forgása korábbi állapotához képest. Ettől pedig

csökken a lapultsága, változik a felszíni nehézségi gyorsulás értéke egyes helyeken, és sziklák mozdulhatnak el, akár évekkel a becsapódás után. Mindezek mellett természetesen keletkezett egy kráter, amelynek mérete és törmelékének eloszlása később fogkiderülni – ezt vizsgálja majd a Hera űrszonda.

Érdekességként érdemes megjegyezni, hogy amennyiben a Dymorphoshoz hasonló tömegű kisbolygó a Földet veszélyeztető pályán haladt volna, egy ugyanekkora pályaváltozást okozó mesterséges becsapódás az elkerülendő ütközés előtt 10 év időelőnnyel megoldotta volna a helyzetet – és a kisbolygó elkerülte volna a Földet.

## **A Hera űrszonda**

A Hera űrszonda (1. és 2. ábra) az ESA bolygóvédelmi *Space Situational Awareness* (SSA) programja keretében indult 2024. október 7-én [1]. Célja a DART becsapódás következményeinek vizsgálata és megértése, elsősorban a kisbolygó-eltérítés lehetőségeinek jobb megismerése, valamint manőverezési képesség fejlesztése egy kettős kisbolygó gyenge gravitációs terű környezetében.



2. ábra: A Hera űrszonda fantáziaképe a világűrben. (Forrás: ESA)

A szonda útján haladva hintamanővert végzett 2025 márciusában a Marsnál, és 2026. december 14-én érkezik meg a célpontjához. A Hera induló tömege 1128 kg, üzemanyag nélkül 350 kg. Az 1,6 m × 1,6 m × 1,7 m méretű, közel kocka alakú testéhez két napelemszárny kapcsolódik 13 m<sup>2</sup> felülettel. Ezek 2,4 csillagászati egység naptávolságban 712 W teljesítmény előállítására képesek. A szonda kémiai meghajtást használ, kommunikációja X-hullámsávban (8,4 GHz frekvencián) és S-hullámsávban (2,2 GHz) zajlik. Fedélzeti műszerei:

- Asteroid Framing Camera (AFC): 1020 pixel x 1020 pixel detektorméretű,  $5,5^\circ \times 5,5^\circ$  látómezejű távcső.
- Hyperspectral imager – HyperScout-H: 665–975 nm (VIS-NIR) hullámhossztartományt 25 spektrális sávval lefedő hiperspektrális képfelvévő kamera.
- Planetary Altimeter (PALT):  $1,5 \mu\text{m}$  hullámhosszon üzemelő mikro-lídar, azaz lézeres magasságmérő, amely  $0,5 \text{ m}$  pontosságra képes  $1 \text{ km}$ -es magasságból.
- Thermal Infrared Imager (TIRI): a  $7\text{--}14 \mu\text{m}$  közötti tartományt 6 spektrális sávval lefedő infravörös spektrális képfelvévő, látómezeje  $13,3^\circ \times 10,6^\circ$ , és  $2,3 \text{ m}$  felbontást ér el  $10 \text{ km}$  távolságból [2, 3].
- X-Band Radio Science (X-DST): rádiókapcsolat elemzése Hera-Föld-CubeSatok viszonylatában, és az ennek keretében jelentkező Doppler-effektus elemzése a gravitációs mező jellemzése céljából.

A Hera fő egységét két nanoműhold (CubeSat) kíséri, amelyek 6 egységből állnak, üzemanyaggal együtt  $12 \text{ kg}$  a tömegük. A Milani CubeSat (3. ábra) a Didymos és Dimorphos szinképét és a környezetükben lévő poranyagot fogja elemezni. Műszerei:

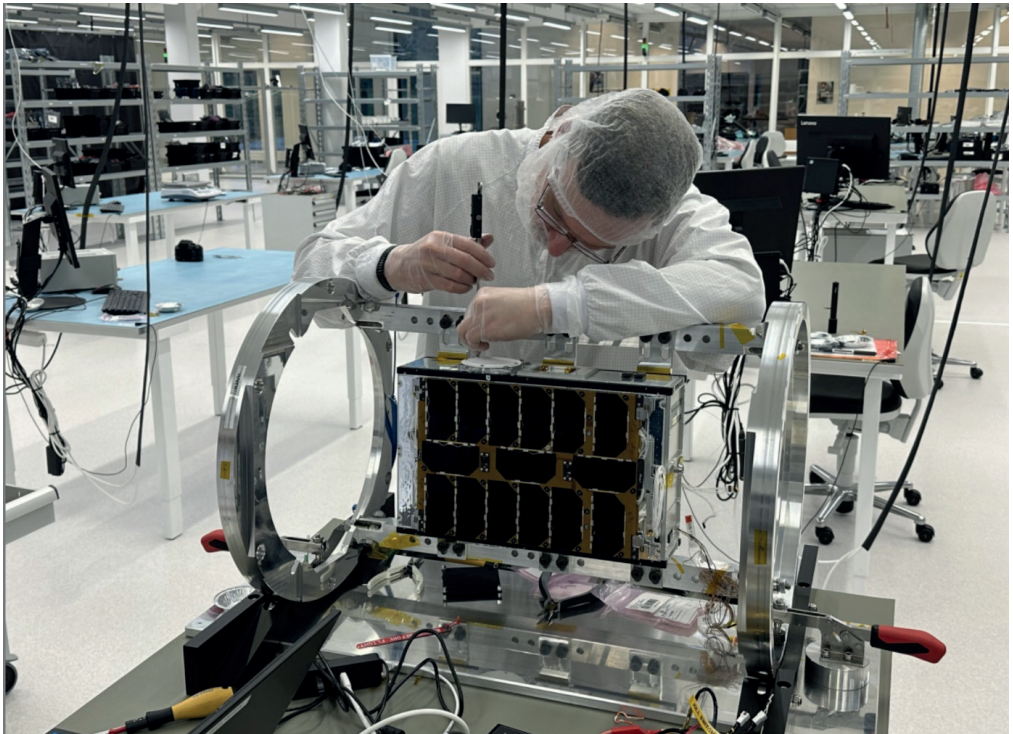
- ASPECT hiperspektrális képfelvévő spektrométer,  $0,5\text{--}2,5 \mu\text{m}$  közötti tartományban elemzi a célpontot, közel  $2 \text{ m}$  felbontást ér el  $10 \text{ km}$ -ről. Spektrális felbontása  $40 \text{ nm}$ , és  $76$  különféle csatornán rögzíti a sugárzást.
- VISTA pordetektor, amely az égitest környezetében lévő poranyagot elemzi, ezen belül azonosítani képes a vízjeget és a szerves komponenseket.



3. ábra: A Milani CubeSat a program vezetőivel. (Forrás: ESA)

A Juventas CubeSat (4. ábra) a kisbolygó belső szerkezetét és a gravitációs terét elemzi. Műszerei:

- JuRa radar: 50–70 MHz közötti tartományban 10–15 m felbontással elemzi a kisbolygó belső szerkezetét.
- GRASS graviméter a gravitációs tér elemzésére.



4. ábra: A Juventas CubeSat a földi szerelés során. (Forrás: ESA)

A Hera űrszonda a kisbolygó felszínének általános jellemzőit vizsgálja, globálisan 1 m felbontással, a létrehozott krátert 10 cm felbontással örökíti meg. Érdekes lesz a kráter mérete és morfológiája, a kidobott törmelék eloszlása, valamint egyéb változások keresése a DART és a Hera felvételei között. A belső szerkezet a becsapódástól függetlenül is újdonság, de a robbanás hatásának kimutatása további egyedi érdekesség lehet. A mérések pontosítják a Dimorphos tömegét, és segítenek a lendületátadás megértésében. Az adatok segítenek annak megállapításában is, hogy mit befolyásol a sűrűség, a porozitás, és a belső szerkezet egy mesterséges becsapódás esetén.

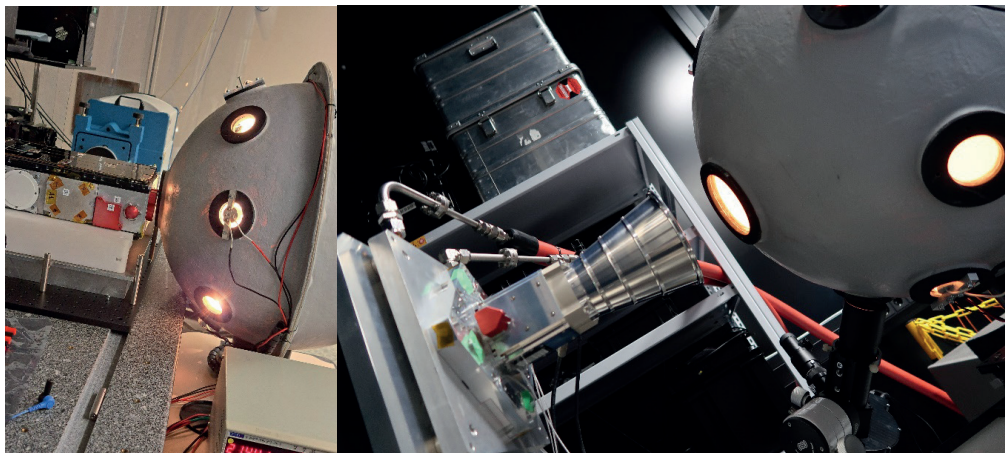
### **Kamera: közreműködés a BME részéről**

A Hera űrszonda optikai tartományban működő kameráit több ország több gyártója tervezte és készítette el. A műszerek működési funkcióinak ellenőrzésére és paramétereik összehasonlíthatóságára

az ESA a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszékének (MOGI) Optomechatronika Csoportját kérte fel. Így egy független laboratórium végezte a különböző eredetű és technológiájú kamerák ún. keresztkalibrációs vizsgálatát. A hat kamera kalibrációs méréseit több helyszínen, a Jena-Optronik GmbH gyártólaboratóriumában, az ESTEC hollandiai központjában, valamint a BME-MOGI laborjában végeztük, azonban minden helyszínen ugyanazokat a kalibrációs berendezéseket és beállítási paramétereket alkalmaztuk. A vizsgálatokat jellemzően ún. tisztatérben, megfelelő fotometriai és elektromágneses körülmények között végeztük, a kamerák küldetésben tervezett beállításai mellett.

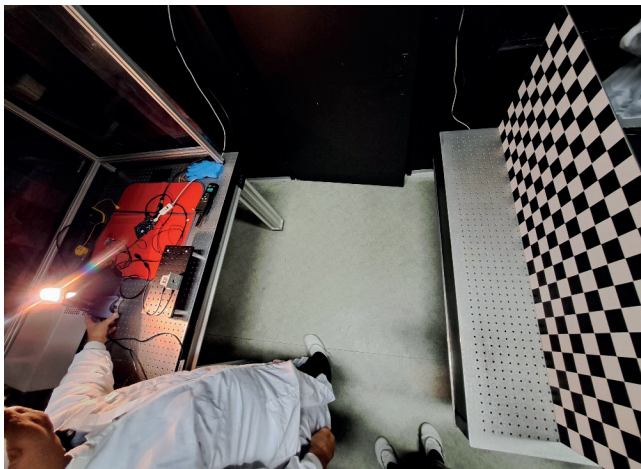
A kalibráció során több alapvető paramétert vizsgáltunk, amelyek között a legfontosabbakat az alábbiakban ismertetjük:

1. Sötétáram: a digitális szenzorok sajátossága, hőmérséklettől és expozíciós időtől függő jelenség. Átlagos értékével korrigálható az adott hőmérsékleten és expozíciós idővel készült felvétel, így csökkentve a zajszintet. Az egyes pixelek kiugró értékeinek ismerete az adott pixelek kiszűrésére ad lehetőséget ún. *hot* (túlérzékeny, vagy beégett) vagy *cold* (nem reagáló) pixelek esetében.
2. A kamerák leképezésének egyenletessége (*flat*), amely megmutatja a leképezés inhomogenitásait az optikai rendszeren való áthaladás, valamint a szenzorra való beérkezés során. Ehhez ún. Ulbricht-gömböt (integráló gömböt, 5. ábra) alkalmaztunk, amely belső felszínén homogén kibocsátott felületi teljesítményt állít elő a kamerák teljes látómezejében. Így a leképezés során keletkező inhomogenitások okai felfedhetők, amelyek adódnak (*i*) az optikai rendszer ismert sajátosságaiból, mint az optikai tengelytől távolodva folyamatosan csökkenő fényteltjesítmény, (*ii*) a digitális szenzor pixelhibáiból, mivel az egyes pixelek nem ugyanúgy reagálnak a beérkező fényteltjesítményre, valamint (*iii*) az esetleges szennyeződések lerakódásából, amelyek a gyártás és összeszerelés során kerülhettek az optikai rendszerbe.



5. ábra: A leképezés homogenitásának vizsgálata integráló gömbbel a Milani CubeSatra integrált Aspect (balra) kamerán és az egyik AFC (jobbra) kamerán

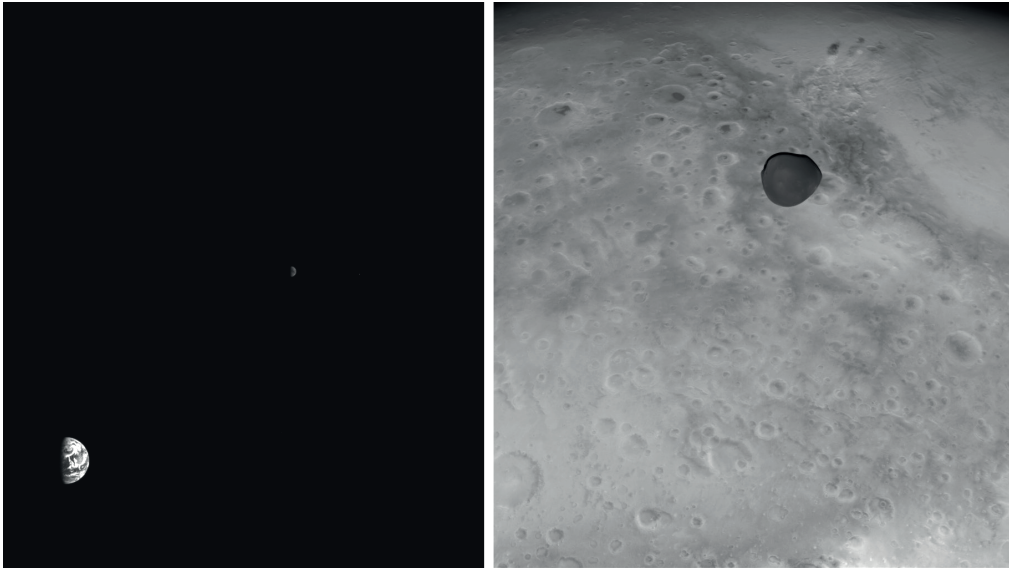
3. Mind a monokromatikus, mind a több spektrális tartományon érzékelő kamerák esetében kiemelten fontos a spektrális érzékenység és a kvantumhatásfok vizsgálata. A Hyperscout 25 spektrális csatornáján ez különösen izgalmas feladat volt, főleg úgy, hogy egy-egy hullámhosszon több percig tartott egy-egy kép felvétele. Az Aspect folytonosan hangolható interferometriás spektrométerei pedig a kalibrációs mérések tervezésénél és kivitelezésénél is kihívást jelentettek. A vizsgálatok során egy széles spektrumtartományon (200–2500 nm) működő monokromátor és az optikailag hozzá csatolt kisméretű integrálgömb jelentette a bemenő fényjeleket előállító rendszert. A beállított hullámhossztartományt és a kimenő fény kibocsátott felületi teljesítményének stabilitását spektrométerrel és kalibrált fotodiódával folyamatosan ellenőriztük.
4. Az optikai rendszerek alaptulajdonsága a torzítás, amely a gyártás és összeszerelés során az optikai tervektől is eltérhet. Ennek kalibrációjára standard vizsgáló ábrák és kompenzációs eljárások alkalmazhatók (6. ábra). A Hera kamerák esetében jellemzően precíziós eljárással készült négyzetrács hálót alkalmaztunk, amelynél a háló metszési pontjai alapján számolhatók a torzítás és korrekciós eljárás paraméterei.



6. ábra: A Milani NavCam torzításvizsgálata a BME-MOGI laboratóriumában



7. ábra: Szelfiképek az AFC-vel (balra) és a Milani NavCammel (jobbra)



8. ábra: Balra a Hera első képe az űrben az AFC-vel a Földről és a Holdról, jobbra pedig a 2025. március 12-én készült AFC kép a Marsról és Deimos holdjáról a Hera hintamanővere során. (Forrás: ESA)

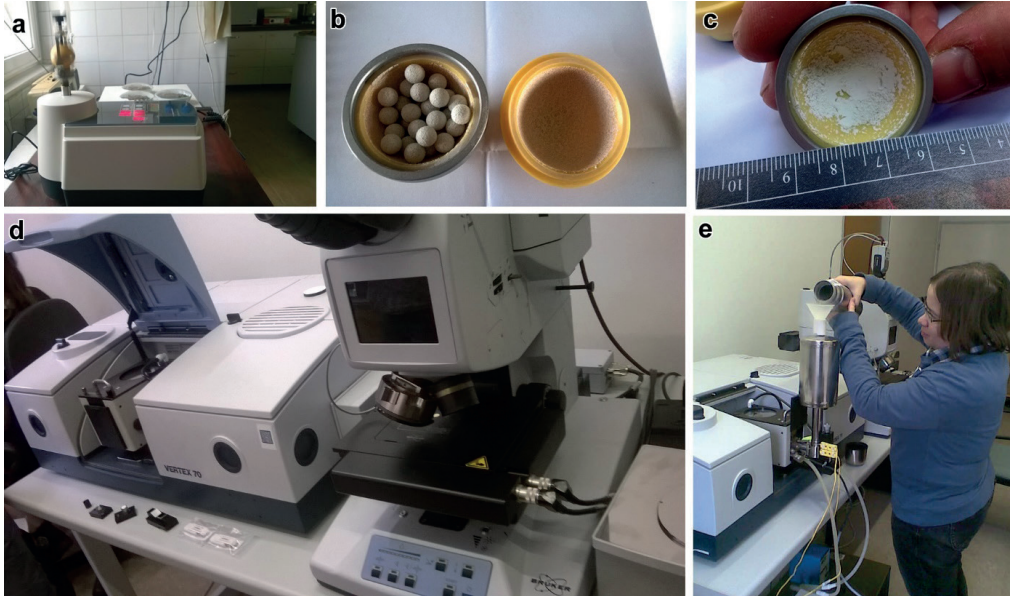
A Hera 2024. október 7-i felbocsátása után sikeres tesztképeket készített az AFC-vel és a Hypescouttal a Földről és a Holdról (8. ábra). 2025 tavaszán a Mars és annak holdja következett. A felvételek nyers és kalibrált változatait a széles tudományos közösség a BME-MOGI szervereiről töltheti le egészen a Hera küldetés végéig.

### **Infravörös spektroszkópai közreműködés a CSFK részéről**

A Hera űrszondán üzemelő TIRI spektrométer infravörös mérései révén az égitest ásványi összetételére lehet következtetni. Az egyes ásványok jellegzetes minimumokat / maximumokat mutatnak az infravörös színeképükben, amelyek az őket alkotó ásványok sugárzási elnyelése és visszaverése függvényében, a kristályrács szerkezete szerint módosulnak. Ennek megfelelően jellegzetes elnyelési minimumok vagy emissziós maximumok mutatkoznak a leggyakoribb olivin, piroxén, földpát és egyéb, tipikus meteoritásványok esetében. Mindezek pontosabb megértéséhez laborméréseket végeztünk a CSFK Földtani és Geokémiai Intézetében különféle meteoritmintákon, eltérő hőmérsékleteken, amelyek a kisbolygó erősen és gyengén megvilágított részeit egyaránt jellemzik. A megfelelő mintaválasztással infravörös elemzések és értelmezésük történt eltérő hőmérsékleteken, eltérő szemcseméretű meteoritporon, a különféle becsapódásoktól létrejött eltérő sokkoltságú részeket is figyelembe véve.

A mérésekhez Vertex 70 Fourier Transformation Infrared Spectrometer (FTIR) műszert használtunk (9. ábra). A meteoritok ún. DRIFT detektorba kerültek, amely diffúz reflexiós színeképet képes rögzíteni,

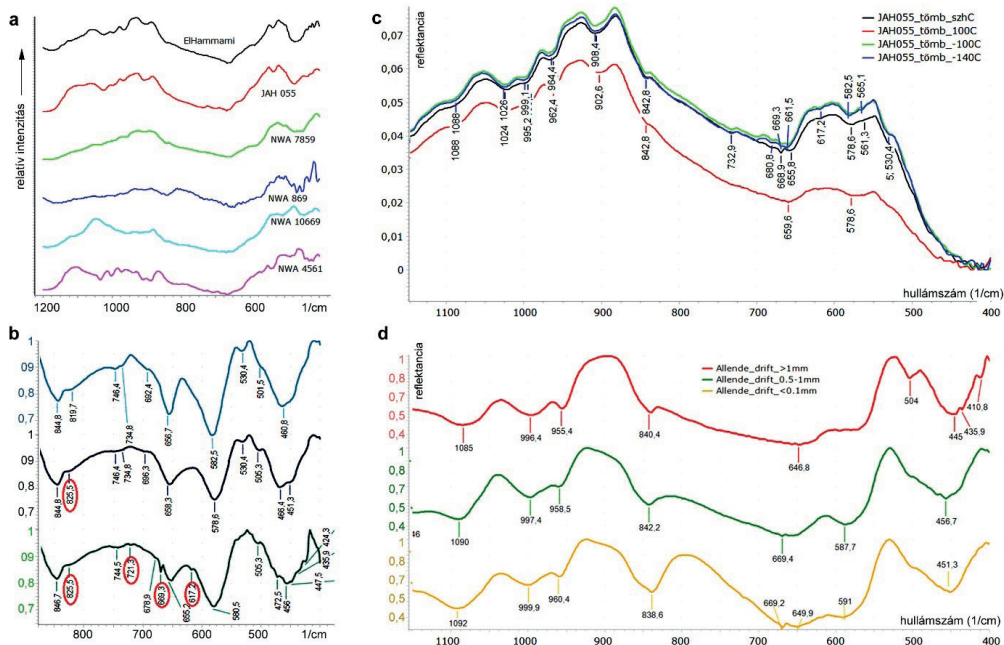
ehhez kapcsolódott egy Paying Mantis nevű kriogén hűtőrendszer, amely folyékony nitrogén segítségével irreleváns alacsony hőmérsékletek előállítására képes, de fűtőszállal melegítve a kisbolygó nappali oldalán jellemző magasabb hőmérsékletet is létre lehetett hozni. A meteoritok között többféle minta szerepelt, a legprimitívabb szenes kondritoktól a normál kondritokon keresztül akár Vesta eredetű meteoritokig.



9. ábra: A meteoritminták porításához használt őrlőmalom (a), benne törőgolyókkal (b) és a finomra aprított meteoritmintával (c), valamint kép az infravörös spektrométerről (d), és a kriogén mintatartóba a folyékony nitrogén beöntéséről (d)

A mérések során eredeti apró tömböket és különböző szemcseméretre aprított port is használtunk – utóbbi az egyes földközeli kisbolygóknál megfigyelt eltérő szemcseméretű feszini regolit alapján indokolt. Az elmúlt évtized elemzései rámutattak, hogy a kisbolygók jellemzően nem egy, hanem esetenként több meteorittípusból állnak. Ezt igazolták a Bennu kisbolygó megfigyelései az OSIRIS-REX űrszondával [4], vagy a Szudánban 2008-ban lehullott Almahata Sitta meteoritok, amelyek becsapódó kisbolygóját közel egy nappal a légkörbe lépése előtt fedezték fel [5]. Ennek megfelelően a tiszta meteoritpor vizsgálata mellett két- és háromkomponensű keverékeiket is elemeztük.

A referenciaként is szolgáló mérések főleg az egyes szilikátásványok azonosításában és elkülönítésében segítenek. A laborelemzések természetesen sokkal jobb minőségben, jobb térbeli és spektrális felbontással készültek, mint a végső mérések, amelyek a Hera műszerével a kisbolygónál születnek majd. De az eredmények „lebutítására” is sor került, így lehetett szimulálni a TIRI korlátozottabb spektrális felbontású méréseit.



10. ábra: Példák infravörös spektrum-görbékre különféle vizsgált meteoritok esetén (a), a görbék alakjának hőmérsékletfüggése  $-140\text{ }^{\circ}\text{C}$  és  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$  között (b), kevésbé (fent kék) és jobban (lent zöld) sokkolt meteorrészek szinképe a Cseljabinszk meteoritban (c), eltérő szecsméret hatása az Allende meteorit szinképeire (fent pirossal  $>1\text{ mm}$ , lent sárgával  $<0,1\text{ mm}$  szecsméretnél; d). Az egyes csúcsok jellegzetes ásványokhoz tartoznak, értékük  $1/\text{cm}$ , azaz  $\text{cm}^{-1}$  egységben olvasható le

A fő szilikátásványok elkülönítéséhez a közép infravörös ( $12,5\text{--}9,09\text{ }\mu\text{m}$ , azaz  $800\text{--}1100\text{ cm}^{-1}$ ) tartományban közel  $0,08\text{ }\mu\text{m}$  (azaz  $10\text{ cm}^{-1}$ ) spektrális felbontás szükséges. A meteoritokban és ennek megfelelően a szülő kisbolygókban is gyakori ásványok legfontosabb csúcsai: olivin  $11,93\text{ }\mu\text{m}$  ( $838\text{ cm}^{-1}$ ), piroxén  $9,77\text{ }\mu\text{m}$  ( $1023\text{ cm}^{-1}$ ), földpát  $13,75\text{ }\mu\text{m}$  ( $727\text{ cm}^{-1}$ ) és  $15,5\text{ }\mu\text{m}$  ( $645\text{ cm}^{-1}$ ). Az olivin és piroxén ásványok csúcsai finomszerkezetének elemzése (ami a pontos összetételről is árulkodik)  $0,1\text{--}0,05\text{ }\mu\text{m}$  spektrális felbontást igényel. Közepes spektrális felbontással a  $12,5\text{--}9,09\text{ }\mu\text{m}$  ( $800\text{--}1100\text{ cm}^{-1}$ ) tartományban  $0,08\text{ }\mu\text{m}$  ( $10\text{ cm}^{-1}$ ) felbontás elegendő az olivin, piroxén és földpát ásványok biztos azonosításához.

A Földéhez közeli átlagos naptávolságban mutatkozó kisbolygók nappali maximális felszíni hőmérséklete  $200\text{--}300\text{ K}$  körüli, ebben a tartományban az ásványi csúcsok eltolódása a hőmérséklet függvényében  $0,3\text{ }\mu\text{m}$ , amely figyelembe vehető. Egy forgó kisbolygón a változó hőmérséklet nyomán a csúcspozíciók eltolódása várhatóan  $0,1\text{ }\mu\text{m}$  alatt marad. A szecsméret függvényében is változik a szinképek jellege, itt a kisebb szecsméretetek eredményeztek jobb jel/zaj arányú szinképet. Ugyanakkor a szecsméret nem befolyásolja a csúcsok pozícióit, csak a szinkép minőségét. A munka során a szecsméret és hőmérséklet hatása mellett a sokkhatás szinképi következményeit is sikerült kimutatni – igaz, ehhez olyan nagy felbontás szükséges, amellyel a TIRI detektor nem bír. Ugyanakkor

a kisbolygók meteoritanyaga sok esetben mutat sokkhatásra átalakult ásványi szerkezeteket. Ezek megértése fontos az égitestek felszíni jellemzőinek azonosítása és belső folyamataik, mechanikai reakciójuk megértése szempontjából – ismeretük az ellenük való jövőbeli védekezésre is hatással lehet.

## **Köszönetnyilvánítás**

A Hera keresztkalibrációs munkáit és a bemutatott infravörös meteoritméréseket az ESA-val közösen, a NEOMETLAB projektben a Külgazdasági és Külügyminisztérium Űrkutatásért és Űrtevékenységért Felelős Főosztálya segítségével végeztük. Továbbá az ásványi átalakulások megértését az NKFIH támogatja a K138594 projekt keretében.

## **Irodalomjegyzék**

- [1] Michel P. et al. (2024): *The ESA Hera mission to the binary asteroid (65803) Didymos: a few weeks from launch. Europlanet Science Congress, Berlin, Germany, EPSC2024-56*
- [2] Okada T. et al. (2024): *Science and Operation of Thermal Infrared Imager TIRI Onboard Hera. 55th Lunar and Planetary Science Conference, Woodlands, TX, USA. LPI Contribution 3040, 1777*
- [3] Okada T. et al. (2023): *Thermal Infrared Multiband Imager on ESA Hera Mission. Asteroids, Comets, Meteors Conference, Flagstaff, AZ, USA. LPI Contribution 2851, 2301*
- [4] DellaGiustina D. N. et al. (2021): *Exogenic basalt on asteroid (101955) Bennu. Nature Astronomy, 5, 31*
- [5] Goodrich C.A. et al. (2024): *Enstatite meteorite clasts in Almahata Sitta and other polymict ureilites: Implications for the formation of asteroid 2008 TC3 and the history of enstatite meteorite parent asteroids. Meteoritics & Planetary Science, 59, 719*

# Villámok és porviharok a Marson – légköri elektromosság a vörös bolygón

Németh Kolos<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest

<sup>2</sup>Óbudai Egyetem, Budapest

<sup>3</sup>HUN-REN Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézet, Sopron

*A Mars – természetesen a Föld kivételével – Naprendszerünk legjobban kutatott bolygója, de számos olyan jelenséget rejt még magában, amelyek nincsenek kutatva, illetve amelyekről nincs általánosan elfogadott tudományos vélemény. A marsi villámlások lehetősége egy olyan terület, amely mindaddig kevés figyelmet kapott, de amely alapvetően hozzájárulhat a Mars légkörének, elektromos töltésének, a felszíni por viselkedésének és éghajlatának jobb megértéséhez. A villámok létrejötte a Föld esetében egy jól dokumentált folyamat, azonban a Mars légköri viszonyai – alacsony légnyomás, magnetoszféra hiánya, de ionoszféra megléte, ritka oxigén- és vízgőztartalom, valamint a bolygó sajátos elektromos környezete – egy sor új kérdést vetnek fel.*

## 1. A Mars légköre

A Mars légköre túlnyomórészt szén-dioxidból ( $\text{CO}_2$ ) áll, amely az összetételének körülbelül 96%-át teszi ki. A következő leggyakoribb gázok a nitrogén ( $\text{N}_2$ ) és az argon (Ar), bár ezek már jóval kisebb arányban fordulnak elő (kb. 2,7% és 1,6%). Az oxigén ( $\text{O}_2$ ), a vízgőz ( $\text{H}_2\text{O}$ ) és a metán ( $\text{CH}_4$ ) csak nyomokban található meg. Ez az egyedi összetétel egy ritka, hideg légkört eredményez, amely jelentősen különbözik a Földétől, gázmennyisége közel százada a miénkének.

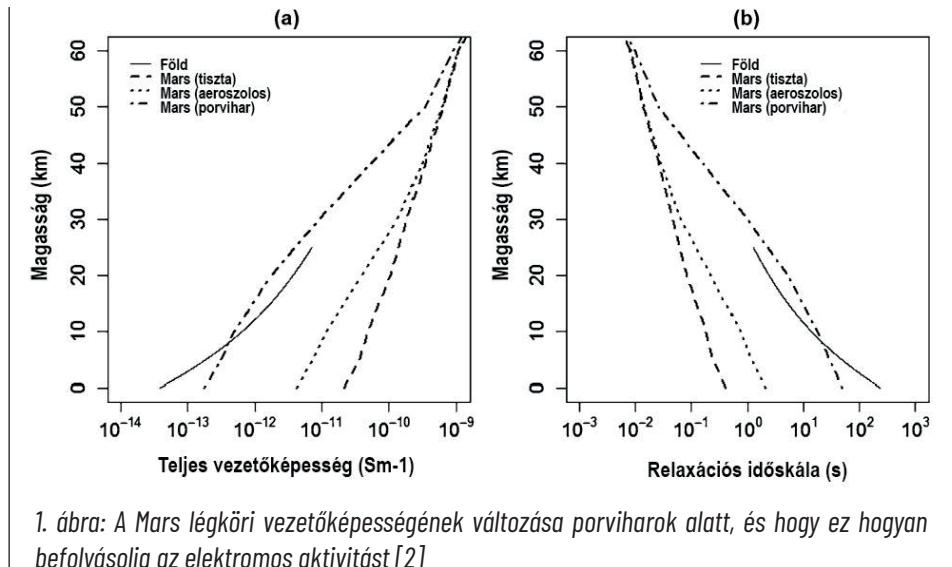
A Mars légköri nyomása jelentősen alacsonyabb, mint a Földé; átlagosan körülbelül 610 Pa, ami nagyjából a földi tengerszinti nyomásnak az 1%-a. Ez az alacsony nyomás a bolygó kevés gáztartalmú légkörének és a földinél gyengébb gravitációs térnek a következménye, amely kevés védelmet biztosít a nap sugárzásával vagy a napszél hatásaival szemben. A Marson a légköri nyomás évszakosan ingadozik; tipikusan a déli féltekén kicsapódó vagy visszaszublimáló évszakai szén-dioxid-sapka ki-terjedésétől függ, hiszen amikor a szén-dioxid megfagy, akkor csökken, amikor szublimál, akkor pedig nő a légnyomás. Ez a változás hatással lehet a helyi időjárási mintázatokra és hozzájárul a marsi légkör dinamikus természetéhez [1].

A Marson uralkodó alacsony légköri nyomásnak jelentős következményei vannak, többek között az, hogy a folyékony víz nem maradhat meg a felszínen a legtöbb körülmény között, mivel minden kitétt víz vagy elpárologna, vagy megfagyana (és 2-3 °C-on már forrni kezdene). A vékony légkör szintén kritikus szerepet játszik a hőmérséklet szabályozásában. A Mars jelentős hőmérséklet-ingadozásokat

mutat; az egyenlítő közelében délben, nyáron akár  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  is lehet, míg éjszaka  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  alá süllyedhet a hőmérséklet. Ezeket a szélsőséges hőmérsékleteket a bolygó jelentős légköri szigetelésének hiánya okozza, mivel a hó gyorsan elsugározódik az űrbe a légkör vékonysága miatt [1].

A Mars alacsony légnyomása a villámláshoz hasonló jelenségekre is hatással lehet. Bár a marsi légkör képes bizonyos elektromos tevékenységet fenntartani, a villámlás ritkasága nagyrészt az alacsony légköri nyomásnak és a bőséges vízgőz hiányának köszönhető. A vízgőz a földi zivatarok kialakulásához szükséges. A Marsra azonban jellemzőek a porviharok, amelyek időnként statikus kisüléseket generálhatnak, bár ezek jelentősen különböznek a földi zivataroktól.

Az 1. ábra szemlélteti, hogyan változik a Mars légköri vezetőképessége porviharok alatt, és hogyan befolyásolja ez az elektromos aktivitást. A marsi légkör elektromos vezetőképessége ( $\sigma$ ) és a töltés relaxációs időskálája ( $\epsilon_0/\sigma$ ) jelentősen változik az atmoszféra állapotától függően. Az ábra elkészítéséhez három forgatókönyvet vizsgáltak meg: tiszta légkör, aeroszolos légkör és egy porvihar. A Föld esetében a teljes vezetőképességet a pozitív vezetőképesség kétszereseként számolták, nyugodt naptevékenységi körülmények mellett. Az eredmények szerint ahhoz, hogy a töltés hosszabb ideig fennmaradjon a marsi porszemcséken, porviharos környezet szükséges. A porördögök alacsony vezetőképességű környezetben történő töltésgenerálása különleges lehetőséget teremt a Marson aktív elektromos jelenségek kialakulására [2].



### 1.1 Éjszakai lehülés és párolgás

A marsi nap folyamán a felszín elnyeli a napsugárzást, ám az alacsony nyomás és a vastag légkör hiánya miatt a hó gyorsan távozik napnyugta után, ami rendkívüli éjszakai lehülést okoz. Ez a drasztikus

lehűlés a vízgőz és más gázok kondenzációját eredményezi [3], ami dér képződéséhez és vízmolekulák lerakódásához vezet a felszínen [4]. Ahogy a hőmérséklet csökken, a Mars légkörében amúgy is igen ritka vízgőz a marsi talajra csapódik le dér formájában. Ez különösen a sarki régiókban figyelhető meg, ahol a szezonális ciklusok hatására nagy mennyiségű szén-dioxid fagy meg és alkot szárazjégréteget. Az egyenlítői régiókban a kondenzációs folyamat éjszaka zajlik, különösen a hideg felszíneken. Az atmoszféra nedvességtartalmának hiánya miatt a vízgőz lerakódása elsősorban éjszakai jelenség, mivel a légkör nappal kevés nedvességet képes megtartani [1].

## **2. A por jelentősége**

### ***2.1. Porszemcsék súrlódása és elektromos töltések keletkezése***

A triboelektromos jelenség központi szerepet játszik annak megértésében, hogyan befolyásolhatják a mechanikai hatások az elektromos töltések keletkezését. A triboelektromosság az elektromos töltés átvitelét jelenti olyan esetekben, amikor anyagok súrlódnak vagy érintkeznek egymással. Ezt a folyamatot különböző környezetekben, így porszemcsék és felületek kölcsönhatásában is megfigyelhetjük.

Amikor a porszemcsék más felületekkel érintkeznek (például súrlódás hatására), elektromos töltés-átvitel történhet. Ez az átvitel nagymértékben függ az érintkező anyagok elektronaffinitásától, valamint a köztük lévő mechanikai kölcsönhatásoktól. Például, amikor a porrészecskék egy felülethez dörzsölődnek, elektronokat vehetnek fel (negatívan töltődnek) vagy adhatnak le (pozitívan töltődnek). Ez a folyamat szorosan összefügg a triboelektromos sorral, amely az anyagokat az elektronok átvitelére való hajlamoság alapján rangsorolja [5].

A porszemcsék és a felületek közötti súrlódás nemcsak az elektronok átvitelét segíti elő, hanem a felületek közötti fizikai kopást is okozhat. Ez a kopás olyan körülményt hoz létre, ahol a töltések felhalmozódhatnak, amelyek nemcsak a környezetre, hanem olyan jelenségekre is hatással lehetnek, mint a porviharok vagy az elektrosztatikus kisülés [6].

Emellett a nedvesség és egyéb környezeti tényezők szerepe sem elhanyagolható. A légköri körülmények befolyásolják a triboelektromos töltések felhalmozódását és disszipációját. A magas páratartalom csökkentheti a töltésfelhalmozódást, mivel a vízpára segíti az elektronok átvitelét, ezzel csökkentve a statikus töltés felhalmozódását a porszemcséken [5]. Ilyen szempontból igen kedvező a marsi nappali erős szárazság.

A marsi porviharok során a porszemcsék intenzív súrlódásba kerülnek egymással és a felszínnel, ami jelentős mennyiségű statikus elektromosságot eredményez. Laboratóriumi és elméleti vizsgálatok kimutatták, hogy a kisebb porszemcsék negatív töltést vesznek fel, míg a nagyobb részecskék pozitív töltésűek lesznek. Ez a töltéseloszlás hasonló ahhoz, amit a földi porviharok és homokviharok során is megfigyeltek. A kisebb szemcsék könnyebben kerülnek szuszpenzióba és a légkör magasabb rétegeibe emelkednek, míg a nagyobbak közelebb maradnak a felszínhez, ezzel létrehozva egy természetes

gravitációs töltésszeparációt. Az ilyen típusú elektromos mezők akár 100 kV/m erősségűek is lehetnek a Földön tapasztalt homokviharokban, és valószínűsíthető, hogy hasonló jelenségek zajlanak a Marson is [2].

## **2.2. Hogyan befolyásolja a por tapadása a töltések kialakulását?**

A porszemcsék és a felületek közötti kölcsönhatás kulcsszerepet játszik a statikus elektromosság kialakulásában, különösen a por tapadásának hatására. Statikus elektromosság tipikusan akkor jön létre, amikor az elektromos töltés felhalmozódik a felületeken, és nincs lehetőség a töltés disszipációjára. A porszemcsék esetében a tapadás jelentősen befolyásolhatja a felhalmozódott töltések mennyiségét és jellegét.

Amikor a porszemcsék tapadnak egy felülethez, gyakran egyenetlen töltéseloszlást okoznak, mivel a triboelektromos jelenség az érintkező anyagok tulajdonságaitól függ. Ahogy a részecskék rátapadnak a felületre, gyakran elektrosztatikus erők tartják őket, ami azt jelenti, hogy a töltések egy meghatározott területen koncentrálnak. Ez a lokális töltésfelhalmozódás olyan egyensúlyhiányt eredményezhet, amely kisülést okozhat, amikor vezetői útvonalat találnak, és a töltés hirtelen áramlása szikra formájában jelentkezhet, amit elektrosztatikus kisülésnek nevezünk. Ez különösen ipari környezetekben lehet problémás, ahol a finom porok jelenléte interferálhat a berendezésekkel vagy akár robbanásokat is okozhat [6].

A por tapadását számos tényező befolyásolja, például a részecskék mérete, alakja és az anyaguk, valamint az azokkal kölcsönható felületek tulajdonságai. Például a sima felületek hajlamosabbak több port vonzani, mert az elektrosztatikus erők erősebben tartják meg a porszemcséket, ami nagyobb töltésfelhalmozódáshoz vezet. Ezen túlmenően a por mozgása vagy sűrűdése a felületeken tovább fokozhatja ezt a hatást, mivel elősegíti az elektronok átvitelét [5].

A páratartalom szintén befolyásolja, hogy hogyan tapadnak a porszemcsék a felületekhez, és hogyan képződnek a töltések. Alacsony páratartalom esetén a statikus töltésfelhalmozódás fokozódik, és a porszemcsék hajlamosabbak lesznek statikus töltést felvenni és erősebben tapadni a felületekhez. Ezzel szemben magasabb páratartalom esetén a töltések disszipációja elősegítheti a statikus töltésfelhalmozódás csökkentését [7, 8]. Ilyen szempontból a marsi nappalok és éjszakák váltakozása rendkívül nagy relatív páratartalom-változással jár: az éjszakai 20-50% (vagy még magasabb érték) nappal 1-2%-ra csökken.

## **3. Marsi porviharok**

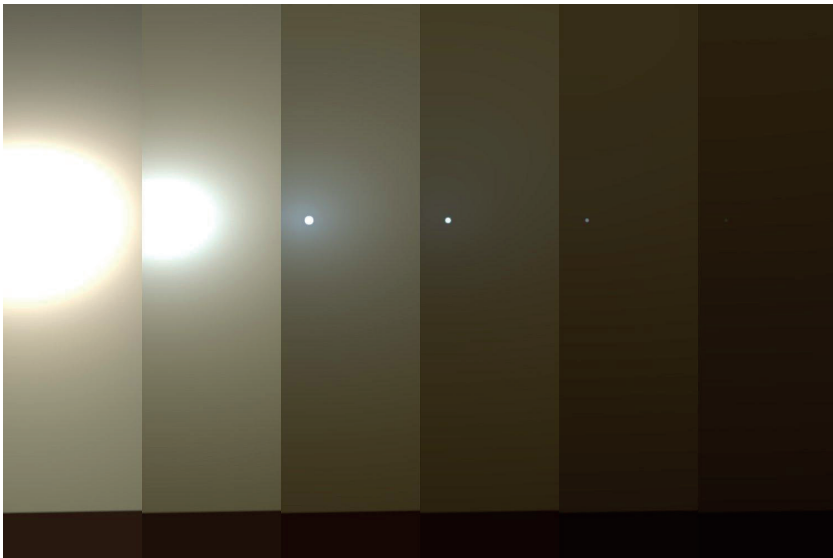
### **3.1. Porviharok jellemzői**

A marsi porviharok a bolygó éghajlatának és légköri dinamikájának kulcsfontosságú jelenségei. Ezek a porviharok a lokális eseményektől kezdve lehetnek akár bolygósztintű jelenségek is (globális porvihar).

A marsi porviharok kialakulásához hozzájárul a bolygó egyedi légköre, a naprendszerbeli helyzete, a felszín kicsi hőkapacitása, és a különböző meteorológiai folyamatok.

A marsi porviharok legfőbb hajtóereje a Napból érkező sugárzás. A Mars elliptikus pályán kering a Nap körül, forgástengelye pedig 25,5 fokos szöveget zár be pályasíkja merőlegesével. Ezek együttesen jelentős szezonális és területi változásokat okoznak a bolygóra érkező napsugárzás mennyiségében. A beérkező napsugárzás változásának mértéke akár a 30%-ot is elérheti egy marsi év során [9]. A Mars déli féltékéjén tavasszal a felszín gyorsabban melegszik fel, mint más évszakokban. A zsugorodó szezonális szén-dioxid-jégtakaró (pólussapka) körül nagy albedóbeli különbségek jönnek létre, hiszen a jég fehér felszíne több fényt ver vissza, míg a sötétebb területek több hőt nyelnek el. Ez hőmérséklet-különbségeket eredményez, ami erős szelekhez vezet. Ezek a szelek nagyobb légköri mozgásokat és zűrzavart okozhatnak, és gyakran hatalmas porviharokat generálnak.

A Mars felszíne porral és finom részecskékkel van borítva, amelyeket a légmozgás esetenként felemel, magával visz. A marsi év déli tavaszi időszakában keletkező erős szelek, illetve a bolygó szerényebb gravitációja miatt a por magasra emelkedik a vékony légkörben, a szél sebessége pedig akár a 100 m/s-ot is elérheti [10]. Miután a port a szél felemelte, az kölcsönhatásba lép a légköri nyomásrendszerekkel és egy visszacsatolási hurkot hozhat létre. A porszemcsék elnyelik a napsugárzást, melegítve a környező levegőt, ami tovább instabilizálja a légkört, erősíti a szeleket és több port emelhet a légkörbe. Ez a ciklus egy önfenntartó viharra válhat, kedvező körülmények esetén régiós vagy akár globális porviharok is kialakulhatnak [11].



2. ábra: Fotók a Napról látható fényben, amelyeket az Opportunity rover fedélzetén lévő panorámakamera készített egy globális porvihar kitörési szakaszában, 2018 júniusában. (Forrás: NASA / JPL-Caltech / TAMU)

A lokális porviharok igen gyakoriak, míg a globális viharok ritkábbak, de sokkal intenzívebbek. A bolygósztintú viharok, amelyek hetekig vagy hónapokig is eltarthatnak, akkor alakulnak ki, amikor a regionális viharok összefonódnak és együtt növekednek. Átlagosan három marsi évente egyszer ezek a hatalmas viharok teljesen befedhetik a bolygót, csökkentve a felszín láthatóságát és megváltoztatva az időjárási mintákat, ezzel drámai módon kihatva a marsi környezetre [10, 11]. Ezek a globális porviharok képesek hosszú időre eltakarni a Nap fényét (2. ábra), ami jelentős hőmérséklet-csökkenést eredményezhet a felszínen. A por mellett kölcsönhatásba lép a marsi légkörrel, és hatással van a bolygó éghajlatára is, beleértve a vízgőz elvesztését, mivel megzavarja azokat a légköri viszonyokat, amelyek egyébként a nedvességet csapdába ejthetnék [9]. A porviharok során a porszemcsék felmelegítik a magasabb légköri rétegeket, így megakadályozzák, hogy a vízgőz megfagyjon, és lehetővé teszik, hogy magasabbra emelkedjen, a légkör pedig enyhén kiterjed. A légkör felső rétegeiben a vízgőz napfénynek van kitéve, amely lebontja azt hidrogénre és oxigénre. A hidrogén könnyen eltávozik az űrbe, ami a légkör további elvesztését eredményezi [11].

### 3.2. Porviharok és elektromos töltések

A Föld és a Mars közötti jelentős atmoszférikus különbségek ellenére már régóta feltételezik, hogy a marsi porviharok olyan feltételeket teremthetnek, amelyek kedveznek a villámokhoz hasonló elektromos kisülések kialakulásának.

A porviharok során a porszemcsék intenzíven súrlódnak egymással és a felszínnel, ami jelentős mennyiségű statikus elektromosságot generálhat. Hasonló jelenség figyelhető meg a Földön is, például homokviharok alkalmával, ahol a részecskék közötti súrlódás töltésszétválasztást eredményez, ami esetenként szikrákat és elektromos kisüléseket hozhat létre [12]. A marsi por, amely finomabb és kisebb részecskékből áll, könnyen töltést vehet fel, és valószínűsíthető, hogy a viharok során fellépő nagy sebességű szél jelentős mennyiségű statikus töltést generál. A Mars légkörében az intenzív elektromos terek kialakulása várhatóan a részecskék közötti töltéscseréből adódik, amelyek turbulens környezetben ütköznek (3. ábra).

Míg a földi elektromos viharok esetében a jégkristályok töltésszétválasztása váltja ki a kisüléseket, a Marson lehetséges, hogy a töltött porszemcsék okoznak hasonló töltésszétválasztást. E töltések, a marsi légkör sokkal alacsonyabb nyomása miatt, más módon mozoghatnak, emellett a marsi légkör szén-dioxidból áll, amely vezetőképesség szempontjából különbözik a földi légkör fő összetevőitől. Az esetleges kisülés következtében létrejövő villámok, ha előfordulnak, valószínűleg gyengébbek és rövidebbek a földi villámoknál, de mégis képesek lehetnek ideiglenes elektromos mezők létrehozására a felszínen, illetve a légkör egyes rétegeiben.

Egy érdekes lehetőség, hogy a Mars porviharai esetén nem a hagyományos értelemben vett villámokat figyelhetjük meg, hanem egy olyan gyenge fényjelenséget, amely az elektrosztatikus kisülés mellékhatása lehet. Mivel a Mars légkörének hőmérséklete alacsonyabb és sűrűsége kisebb, a ki-

## AZ ELEKTROMOS PORÖRDÖG

- Triboelektromos kölcsönhatások:

A könnyebb szemcsék negatív (-), a nehezebb szemcsék pozitív (+) töltésűek [Ette, 1971]

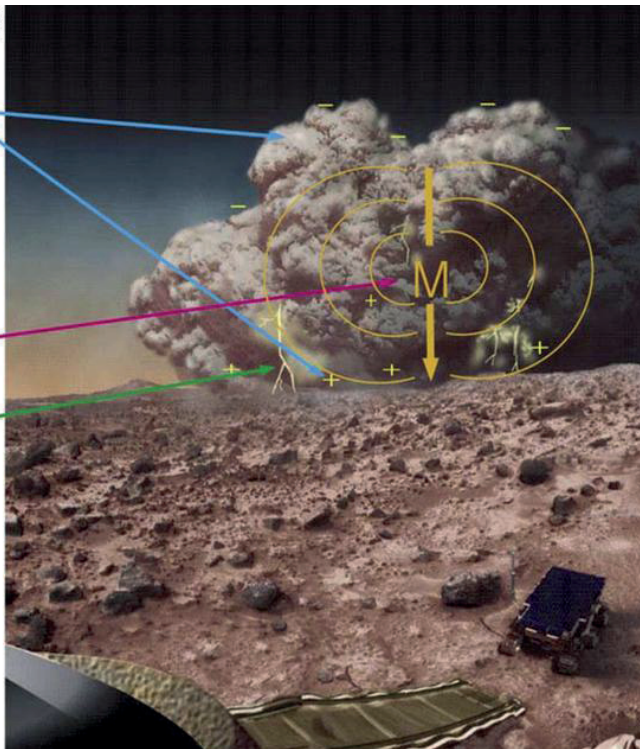
- A könnyebb szemcséket a konvektív folyamat felfelé sodorja – töltésszétválás

- Elektromos dipólmomentum (M) és dipoláris elektromos tér keletkezik

- Örvénylő szemcsék = pillanatnyi töltés ( $dM/dt$ )

A Földön látható ördögök:

- M-ből származó egyenáramú elektromos tér
- $dM/dt$ -ből eredő rádiósugárzás
- Felületeken indukált potenciálok



3. ábra: Szemléltető ábra a földi és marsi porördögök által generált elektromos mezőkről és azok hatásáról a légkörre [13]

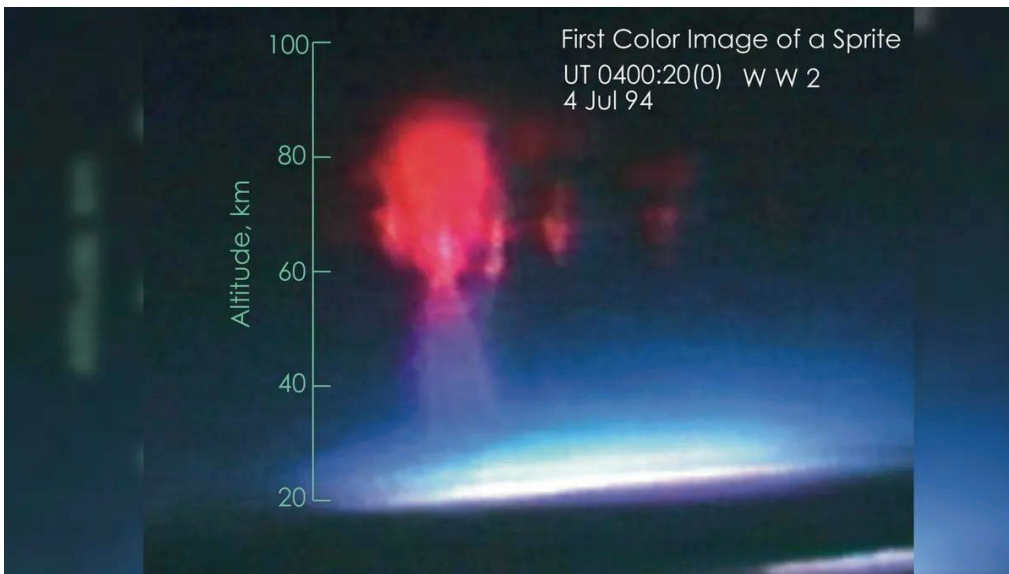
sülések fényereje és intenzitása is jelentősen eltérhet a Földön megszokottól. Kisebb intenzitású szikrák, esetleg hosszabb ideig tartó, de kevésbé erős fényvillanások jelenhetnek meg inkább a marsi viharok során.

Az elmúlt évtizedek kutatásai kimutatták, hogy a marsi porviharok során létrejövő triboelektromos töltésfelhalmozódás akár szikrakisüléseket is eredményezhet. Joshua Méndez Harper és társai kísérleteik során egy Mars-por szimulánst vizsgáltak, amelyet természetes bazaltszemcsék alkottak. A kísérleti körülmények között, ahol kizárólag szemcse-szemcse ütközések történtek, kimutatták, hogy a szikrakisülések 8 mbar nyomású  $CO_2$ -atmoszférában is létrejöhetnek. A detektált elektromos mezők nagysága elérte a 20-50 kV/m-t, amely elég alacsony ahhoz, hogy a Mars ritka légköre mellett elektromos kisüléseket generáljon [14].

A kutatás fontos következtetése, hogy bár a Földön megfigyelt villámok intenzitásától eltérően, a Marson létrejövő szikrakisülések kisméretűek és rövidek, mégis lehetséges, hogy ezek az elektromos tevékenységek hatással vannak a bolygó felszínközeli légkörének kémiai folyamataira, például a metánmolekulák lebontására. Ez a felfedezés új távlatokat nyithat a marsi atmoszférikus elektromosság kutatásában, és megerősíti a triboelektromosság szerepét a marsi porviharok során [14].

#### 4. Vörös lidércek a Marson?

Ez a fejezet a Mars felszíne közelében potenciálisan megjelenő vörös lidérc (*red sprite*) jelenség lehetőségét vizsgálja. Ezek az elektromos kisülések által okozott rövid, fénylő jelenségek. Az ilyen típusú jelenségeket, amelyeket a Földön jellemzően zivatarfelhők felett figyelnek meg, a mezoszférára magasságában megjelenő, villámok által létrehozott nagy kvázi-elektrosztatikus mezők okozta fényfelvillanásokként ismerjük. Tekintettel a Mars sajátos légköri tulajdonságaira és az ott előforduló erőteljes porviharokra, felmerül a kérdés, vajon hasonló elektromos folyamatok képesek lehetnek-e vöröslidérc-szerű jelenségeket előidézni a marsi légkörben. A földi lidércek 40–80 km közötti magasságában jellemzőek, ahol a légköri sűrűség nincs messze a marsi felszínhez közeli légköri gázok sűrűségétől.



4. ábra: Az első színes kép egy földi vörös lidércről, 1994. (Forrás: NASA / University of Alaska)

A Mars vékony, alacsony nyomású légköre nem rendelkezik azon hagyományos felhőrétegekkel és nedvességgel, amelyek szükségesek a földi villámlások kialakulásához. Az alacsony légköri nyomás miatt még a nagy porviharok esetében is kevésbé valószínű, hogy olyan intenzitású vagy kiterjedésű kisüléseket generálnak, mint amilyeneket a Földön a zivatarok során látunk.

Míg a Földön a vörös lidércek a zivatarfelhők felett, a mezoszférában jelennek meg, addig a Mars alacsony sűrűségű légköre kihívást jelent a hasonló, magaslégköri jelenségek számára. Elméleti simulációk azt sugallják, hogy bár a marsi porviharok képesek lehetnek átütési szintű elektromos teret létrehozni a porfelhőn belül, ezek a mezők valószínűleg nem terjednek ki a magasabb légköri rétegekbe. Következésképpen bármely vöröslidérc-szerű jelenség a Marson valószínűleg korlátozott fényki-

sülésként jelenne meg alacsonyan, a porfelhőkben, vagy közvetlenül azok felett, ellentétben a Földön látható, magaslégköri, mezoszférikus vörös lidércekkel [15].

A Marsra jellemző légköri tulajdonságok a gyakorlatban azt jelentik, hogy a porviharok által generált elektromos kisülések korlátozott magasságban és kiterjedésben maradnak. Ennek következtében a marsi vöröslidérc-szerű események nélkülöznek a tipikus földi vörös lidércek vertikális szerkezetét, helyette halvány, helyi kisüléseként jelennének meg a porfelhőkben, amelyeket átmeneti, alacsony magasságú fényfelvillanásokként lehetne érzékelni, a hagyományos földi vörös lidércekkel szemben [15].

Tehát, habár a marsi környezet nem támogatja a Földön megfigyelt hagyományos vöröslidérc-képződést, a marsi porviharok sajátos, korlátozott elektromos kisüléseket idézhetnek elő.

A fentieknek megfelelően az alábbi javasolt módszerek adnának lehetőséget ezen fénylések azonosításában. A megörökítéshez egyrészt érzékeny detektorok kellenének, másrészt a kamera lencséjének megfelelő védelem is, hiszen a porviharok területén és idején, a legaktívabb periódusokban várhatók a leginkább intenzív kisülések. Minderre napjaink webkameráinak és a ccsillagászati célra használt, a teljes égboltot lefedő kameráknak (*all sky camera*) együttes alkalmazása lenne ideális. Technikai szempontból nehézség, hogy a sikeres megörökítésre sötétben, azaz éjszaka van jobb esély, ekkor a szondák általában energiatakarékos, „alvó” üzemmódban működnek – ugyanakkor a napjainkban elérhető csekély áramfelvétel kedvező a megfigyelések szempontjából.

## **5. Összefoglalás**

A Mars légköre számos egyedi tulajdonsággal rendelkezik, amelyek meghatározzák a bolygó időjárási jelenségeit és felszíni folyamatait. A marsi porviharok a bolygó légköri dinamikájának központi elemei, amelyek akár globális méretet is ölthetnek, teljesen beborítva a felszínt és hosszú időre eltakarva a Nap fényét. A viharok során a porszemcsék által elnyelt napsugárzás felerősíti a légköri instabilitást, további por felemeléséhez vezetve, ami egy önfenntartó ciklust eredményezhet.

Bár a Mars légköri viszonyai nem kedveznek a földi értelemben vett villámok kialakulásának, a porviharok során létrejövő triboelektromos töltések képesek lehetnek szikrakisüléseket generálni. Ezek a kisülések gyengébbek és rövidebbek a földi villámoknál, mégis hatással lehetnek a légkör kémiai folyamataira. Emellett a Mars légköri viszonyai lehetővé tehetik a földi vörös lidércekhez hasonló fényjelenségek kialakulását, bár ezek valószínűleg alacsonyabb magasságban és kevésbé látványos formában jelentkeznének.

A Mars elektromos aktivitásának további kutatása nemcsak a bolygó légköri folyamatait segíthet megérteni, hanem hozzájárulhat az emberes Mars-küldetések biztonságához és a marsi időjárás pontosabb előrejelzéséhez is.

*Köszönetnyilvánítás:* Ez a cikk az ELTE TTK *A Mars földrajza és geológiája* című kurzusa keretében készült.

## Irodalomjegyzék

- [1] Malin M.C., Belton M.J.S., Carr M.H. (2024): Mars. *Encyclopedia Britannica*, <https://www.britannica.com/place/Mars-planet>
- [2] Harrison R.G. et al. (2016): Applications of electrified dust and dust devil electrostatics to Martian atmospheric electricity. *Space Science Reviews*, 203, 299
- [3] Pal B., Kereszturi A., Forget F., Smith M.D. (2019): Global seasonal variations of the near-surface relative humidity levels on present-day Mars. *Icarus*, 333, 481
- [4] Pal B., Kereszturi A. (2020): Annual and daily ideal periods for deliquescence at the landing site of InSight based on GCM model calculations. *Icarus*, 340, 113639
- [5] Galembeck F. et al. (2014): Friction, tribochemistry and triboelectricity: recent progress and perspectives. *RSC Advances*, 4, 64280
- [6] TriboNet (2023): TriboNet seminar: Tribology and the triboelectric effect. <https://www.tribonet.org/wp-content/uploads/2023/08/TriboNet-Seminar-Tribology-the-Triboelectric-Effect.pdf>
- [7] Matsusaka S., Maruyama H., Matsuyama T., Ghadiri M. (2010): Triboelectric charging of powders: A review. *Chemical Engineering Science*, 65, 5781
- [8] Németh E., Albrecht V., Schubert G., Simon F. (2003): Polymer tribo-electric charging: dependence on thermodynamic surface properties and relative humidity. *Journal of Electrostatics*, 58, 3
- [9] He F. et al. (2024): Martian Dust Storms: Reviews and Perspective for the Tianwen-3 Mars Sample Return Mission. *Remote Sensing*, 16, 2613
- [10] NASA (Sep 17, 2015): The fact and fiction of Martian dust storms. <https://www.nasa.gov/solar-system/the-fact-and-fiction-of-martian-dust-storms/>
- [11] NASA (Aug 16, 2021): Global Trio of Orbiters Shows Small Dust Storms Help Dry Out Mars. <https://www.nasa.gov/missions/global-trio-of-orbiters-shows-small-dust-storms-help-dry-out-mars/>
- [12] MacGorman D.R., Rust W.D. (1998): *The electrical nature of storms*. Oxford University Press, USA
- [13] Farrell W.M. et al. (2004): Electric and magnetic signatures of dust devils from the 2000–2001 MATADOR desert tests. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 109, E03004
- [14] Harper J.M., Dufek J., McDonald G.D. (2021): Detection of spark discharges in an agitated Mars dust simulants isolated from foreign surfaces. *Icarus*, 357, 114268
- [15] Yair Y. et al. (2009): A study of the possibility of sprites in the atmospheres of other planets. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 114, E09002

# A Geo-Sentinel országos mozgásmonitorozási rendszere

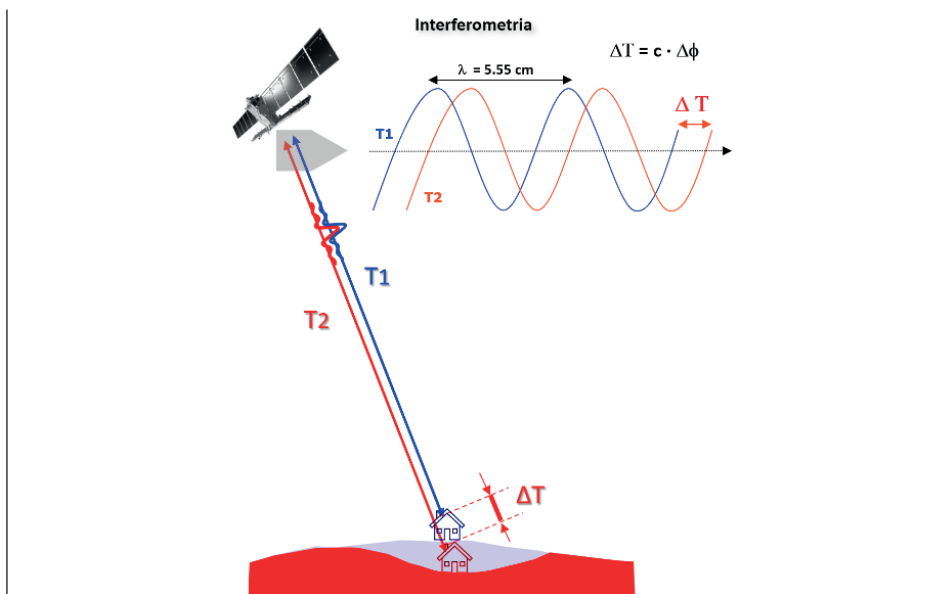
Farkas Péter,  
Grenerczy Gyula,  
Frey Sándor

Geo-Sentinel Kft.,  
Göd

A Geo-Sentinel Kft. 2020-ban kifejlesztett egy országos műholdradaros mozgásmonitorozási rendszert, elkészítette Magyarország első nagyfelbontású felszínmozgástérképét, amelyet 2025-ben is aktualizált, frissített és kibővített. Ezen rendszer technológiáját, létrehozását, felhasználási területeit és egy alkalmazási példáját mutatjuk be az alábbiakban.

## A technológia rövid ismertetése

Magyarország felszínmozgásainak feltérképezését a műholdradar-interferometria (Synthetic Aperture Radar Interferometry, InSAR), és ezen belül az állandó szórópontokat használó (Persistent Scatterer InSAR, PSI) mozgásvizsgálati új technológia alkalmazásával végeztük el. A műholdradaros technológia alapja, hogy speciális radarberendezéssel felszerelt műholdak mikrohullámú sugárzást bocsátanak a Föld felszíne felé, majd az onnan visszaverődött jeleket detektálják.



1. ábra: A műholdradaros mozgásvizsgálat alapelve az interferometria: az elektromágneses hullám fázisának megváltozása összefüggésben van a felszínen lévő objektum műholdtól való távolságának a  $T_1$  és  $T_2$  időpontok között észlelt megváltozásával. (Forrás: Geo-Sentinel Kft.)

Mivel a műholdak meghatározott időszakonként újra elrepülnek ugyanazon területek felett, az egymás utáni visszatérések sorozata alkalmával végzett észlelések összehasonlításával egy idő után a felszín változásaira lehet következtetni. A műholdradar-interferometria módszerének egy speciális alkalmazásával az elektromágneses hullám fázisviszonyainak megváltozását követve – azaz a fázisadatokon létrehozott interferenciát előállítva – meg lehet állapítani, hogy a felszínen elhelyezkedő reflektáló felületek műholdirányú távolsága hogyan változik az idővel (1. ábra). A mért fáziskülönbségeknek több összetevője van, de az adatok gondos feldolgozásával, az egyéb hatások megfelelő modellezésével és korrekciójával ki lehet mutatni a fázis változásának tisztán az elmozdulásból eredő tagját.

A műholdradaros mozgásvizsgálatnak számos forradalmi előnye van a többi mérési technikával szemben:

- Nem kell mérőpontokat kijelölni, mérőhálózatot telepíteni, nincs szükség terepi felvonulásra és terepi műszerre sem, a vizsgált terület vagy építmény bárhol lehet a világon, megközelítése nem szükséges.
- Több mint három évtizedre visszamenőleg a mérések már rendelkezésre állnak szinte bárhol a világon, így a múlt és jelen mozgásai azonnal feltárhatóak, azaz egyedülálló módon visszamenőleg is megismerhető a mozgástörténet.
- A legújabb műholdak akár több száz km-es kiterjedésű látómezeje miatt egységes módon egyszerre hatalmas területet lehet lefedni a mérésekkel.
- Az észlelések éjjel-nappal és bármilyen időjárási viszonyok között végezhető, a mozgások meghatározása műholdirányú, de vertikálissá konvertálható, két repülési irányból pedig a vízszintes mozgásokra is lehet következtetni.

Az adatfeldolgozás és a mozgások kiértékelése, okainak kiderítése körültekintő tudományos és műszaki elemzést kíván, de a PSI technikával kimutatható például a felszín alatti ivó- vagy öntözővíz, a szénhidrogének kitermelése miatti süllyedés, vagy épp ellenkezőleg, az ilyen tevékenység felhagyását követő kiemelkedés. Detektálhatók az infrastrukturális beruházások, mélyépítés, alagútúrás, metró-, út- és vasútépítés és a természetes folyamatok vonatkozó deformációi is.

A PSI technika ugyanúgy ideális nagy területek, de akár egyes nagyfontosságú építmények lokálisabb, fókuszált stabilitás- és mozgásvizsgálatára. Instabilitást okozó hatások térben és időben nagy pontossággal lehatárolhatók, deformációk korai felismerésével pedig későbbi komoly problémák, akár katasztrófák is megelőzhetők. A módszer használatával távolról megismerhető valamely terület vagy létesítmény térben és időben részletes és precíz mozgásviszonya bárhol a világon, amihez már nagy számú különböző műholdrendszer, három különböző frekvencián, igény szerinti térbeli és időbeli felbontással tud megfigyelési adatot szolgáltatni.

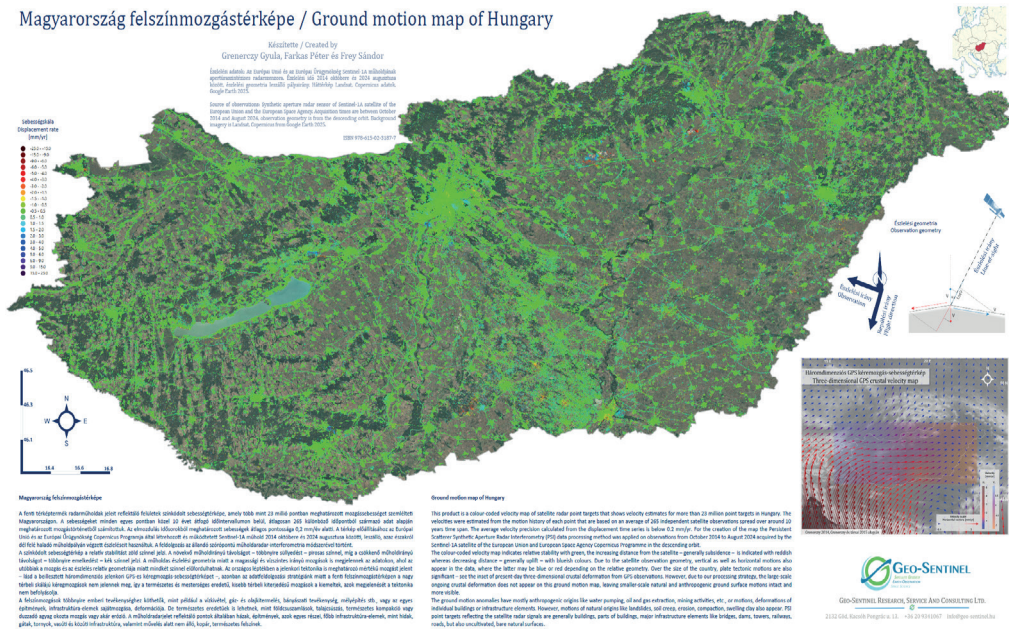
## **Magyarország felszínmozgástérképe**

Az elmúlt években számos infrastruktúra-monitorozó, geodéziai, geodinamikai projektet valósítottunk meg, mind műholdas helymeghatározó (*Global Navigation Satellite Systems, GNSS*), mind műholdradar-interferometriás technikát alkalmazva – ipari megrendelésekben és kutatási projektekben egya-

ránt. Hazánk első átfogó műholdradaros mozgásvizsgálati adatbázisának és az első részletes felszínmozgástérképének 2020-as elkészítése után a rendszerünk igen jelentős frissítésen és kibővítésen ment keresztül. Ez az adatbázis a korábbinál közel kétszer több felszíni pontban és több mint kétszer több időpontban, immár több mint 23 millió helyen, átlagosan 265 különböző időpontból származó, több mint hatmilliárdnyi mozgásadatot tartalmaz. Az elmozdulás-idősorokból meghatározott sebességek átlagos pontossága 0,2 mm/év alatti. Előállításához az Európai Unió és az Európai Űrügynökség Copernicus programja által létrehozott és működtetett Sentinel-1A műhold 2014 októbere és 2024 augusztusa közötti, leszálló, azaz északról dél felé haladó műholdpályán végzett észleléseit használtuk. A feldolgozás az állandó szórópontú műholdradar-interferometria módszerével történt [1].

A közel egy évtizedet átfogó, 23 millió objektumot tartalmazó országos mozgástérkép [2] és a mögöttes kéthetes időfelbontású adatrendszer, az elmozdulási idősorok feltárják az ország felszínének és építményeinek elmúlt tíz éves mozgástörténetét. Nagy pontosságú, nagy térbeli és időbeli felbontású adatainkkal többek között segíteni tudjuk az olyan emberi tevékenységhez köthető felszínmozgások detektálását, vizsgálatát és monitorozását, mint a vízkivétel, gáz- és olajkitermelés, mélyépítés, bányászati tevékenység és utóhatásai, vagy egyes nagyfontosságú létesítmények, valamint infrastruktúra-elemek sajátmozgásának, deformációjának avagy stabilitásának megállapítása. De természetes eredetű mozgások is vizsgálhatók, mint földcsuszamlás, talajcsúszás, természetes kompaktció vagy akár erózió. A műholdradarjelet reflektáló pontok általában házak, építmények, azok egyes részei, főbb infrastruktúra-elemek, mint hidak, gátak, tornyok, vasúti és közúti infrastruktúra, valamint művelés alatt nem álló, kopár, természetes felszínek.

Magyarország felszínmozgástérképe / Ground motion map of Hungary



2. ábra: Magyarország felszínmozgástérképe. (Forrás: Geo-Sentinel Kft.)

A színekkel kódolt sebességtérkép (2. ábra) a relatív stabilitást zöld színnel jelzi, a növekvő műholdirányú távolságot – többnyire süllyedést – pirosas színnel, míg a csökkenő műholdirányú távolságot – többnyire emelkedést – kék színnel jelzi. A műholdas észlelési geometria miatt a magassági és vízszintes irányú mozgások is megjelennek az adatokban, ahol az utóbbiak a mozgás és az észlelés relatív geometriája miatt mindkét színnel előfordulhatnak.

Az országos léptékben a jelenkori tektonika is meghatározó mértékű mozgást jelent – lásd a beillesztett háromdimenziós jelenkori GPS-es kéregmozgás-sebességtérképet –, azonban az adatfeldolgozási stratégiánk miatt a fenti felszínmozgástérképen a nagy térbeli skálájú kéregmozgások nem jelennek meg, így a természetes és mesterséges eredetű, kisebb térbeli kiterjedésű mozgások a kiemelték, azok megjelenését a tektonika nem befolyásolja.

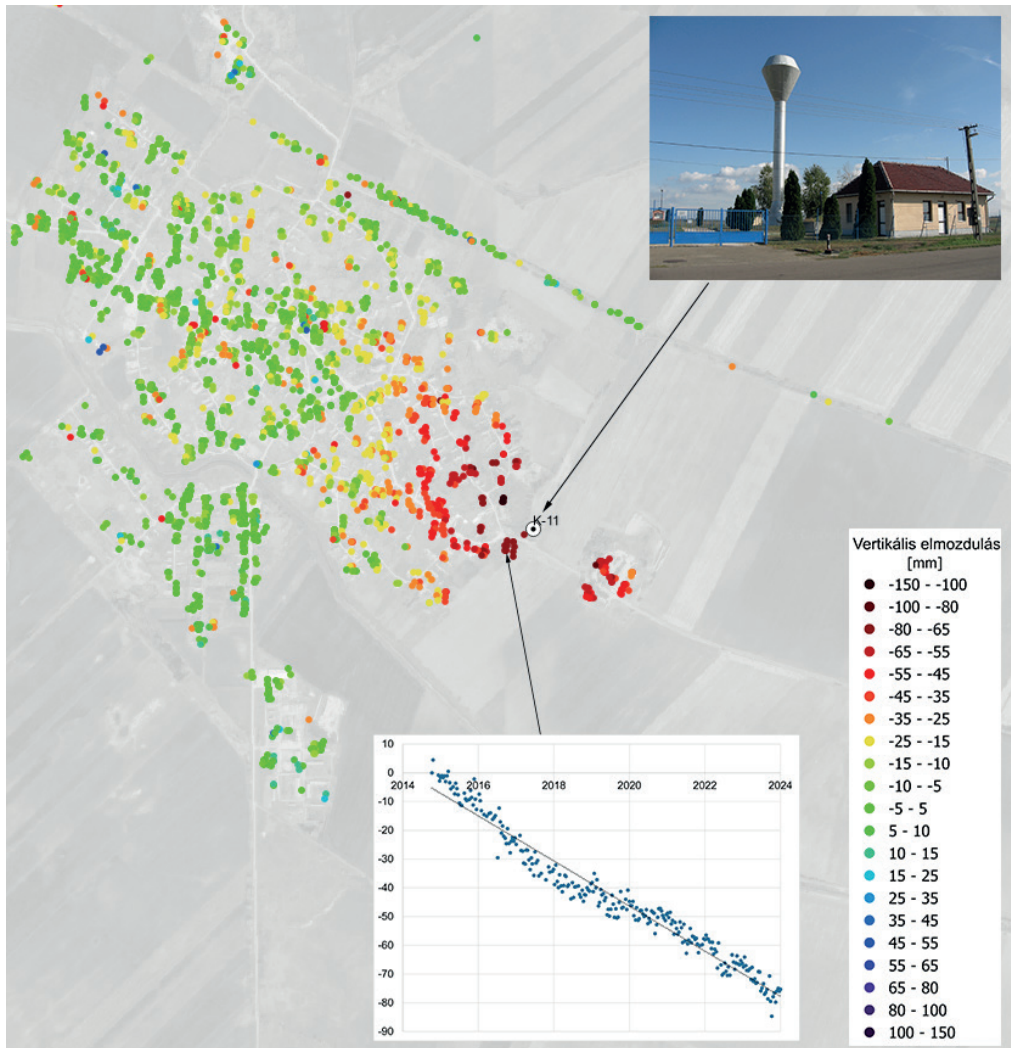
### **Egy alkalmazási példa: intenzív vízkivétel**

A felszín alatti víz kitermelése, a termelés mennyiségének megváltozása hatással van magának a felszínnek a változására, süllyedésére vagy emelkedésére is. Mindezt a műholdas radarmérések felhasználásával nagy pontossággal ki lehet mutatni. Az országos felszínmozgási adatbázisunk legújabb változata ennek megfelelően számos érdekes, vízkivételhez köthető mozgásanomáliát tesz felismerhetővé. Közülük most egy hosszabb ideje zajló, ez alatt jelentős felszín deformációval járó folyamatot mutatunk be részletesebben. A Heves vármegyében fekvő Mezőtárkány egy kb. 1500 fő lakosságú község. A település szélén található vízmű biztosítja a lakosság és az ipar vízellátását – nem csak ott, de a környező településeken is.

Térképünk (3. ábra) jelentős mozgást mutat a vízmű környezetében, annak K-11 jelű, 2006-ban létesült és 143 m mély termelő kútja körül, amelynek hatása kiterjed a település keleti felére is. A radaros mérési pontok idősorai igazolják, hogy az általunk kimutatott anomália a teljes, közel 10 éves vizsgálati időszakra jellemző. A felszín hasonló sebességgel, szinte egyenletesen süllyedt, a terület közepén évente több mint 1 cm-es mértékben, így a teljes süllyedés a vizsgált időszakban a 10 cm-t is meghaladja. Ezzel szemben a térképen zöld színű pontokkal jellemzett, a településnek a kúttól távolabbi, nyugati-délnyugati oldalán az egész évtized leforgása alatt is kevesebb mint fél centiméteres volt az elmozdulás. Az adatok tehát azt jelzik, hogy a süllyedés valóban lokális, és nagy valószínűséggel a vízkivételhez kapcsolódik, nem valamilyen más hatás következménye.

A felszínmozgás a helyi geológiai viszonyoktól függően tükrözi a mélyben zajló hidrológiai folyamatokat. Általában igaz, hogy a jelentős folyadék- vagy gázkivétel a kőzetmátrixban nyomáscsökkenést, s annak összetömörödését (kompakcióját) okozza, ami a felszín süllyedésében nyilvánul meg. Ezen felszín alatti folyamatokat a felszínmozgások ismeretében jobban megérthetjük, ha segítségül hívjuk a víz – vagy akár kőolaj, földgáz – kitermelésének, és a kapcsolódó felszín alatti vizek áramlásának modellezését. A most bemutatott példa ehhez jó alapot szolgáltat, mivel a deformációs tér jól feltérképezett és a nyomásváltozás forrását is meg tudjuk határozni.

Az alábbiakban egy tesztmodellezés eredményét mutatjuk be. Mivel a vízkivétel történetét és a helyi geológiai viszonyokat nem ismerjük pontosan, a tesztünk eredménye egy lehetséges módja a sok



3. ábra: A felszínen található radaros szórópontok szinkódolt, kumulatív vertikális elmozdulástérképe 2014–2024 között. A mellékelt színskálának megfelelően a zöld szín a hosszú távon stabil pontokat jelöli, a sárga majd piros egyre sötétebb árnyalatai növekvő felszínsüllyedést jeleznek. Egy kiválasztott szórópont esetében a süllyedés időbeli alakulása is követhető a grafikon segítségével. A függőleges tengelyen a számok mm-ben értendők, a negatív értékek a felszín süllyedésének felelnek meg. (Forrás: Geo-Sentinel Kft., Copernicus Sentinel-1 adatok alapján)

közül annak, ahogy a felszín alatti nyomásviszonyok változása létrehozhatta a detektált süllyedést. Ehhez feltételeztük, hogy a kút napi  $134 \text{ m}^3$  vizet termel ki a teljes vizsgált időszakban. A geológiai paramétereket az elérhető térképek [3, 4] alapján becsültük meg: a felsőbb rétegekben lazább, mé-



4. ábra: A modellezett vízkivételhez kapcsolódó felszíni elmozdulástérkép (fent), valamint a modellezett és az állandó szórópontos radarinterferometriával meghatározott elmozdulások különbsége (lent)

lyebben jobban összetömörödött, így kevesebb vizet megtartani képes löszös üledéket feltételeztünk. A vízkivétel feltételezett mennyisége és módja alapján modellezett elmozdulás kitérően illeszkedik a mért értékekhez, a süllyedési tölcser mélysége és kiterjedése is jól egyezett a mérési adatainkkal (4. ábra). Az ilyen jellegű vizsgálatok hozzájárulhatnak a felszínen zajló folyamatok mélybeli okainak jobb megismeréséhez: a felszín alatti vízáramlások, a geológiai jellemzők vagy épp a kitermelés paramétereinek meghatározása segítheti a felelős, biztonságos vízgazdálkodást.

*Köszönetnyilvánítás:* A Geo-Sentinel Kft. az Európai Űrügynökség (ESA) földmegfigyelési programja (FutureEO) támogatásával folyó munkája során a felszín alatti folyadékokkal kapcsolatos felszínváltoztató hatásokat vizsgálja, annak érdekében, hogy az érintett iparágak szereplői és a hatóságok számára hasznosítható információval szolgálhasson. Az országos felszínmozgástérkép nagy felbontásban a Geo-Sentinel Kft. honlapjáról tölthető le (<https://geo-sentinel.hu/magyarorszag-felszinmozgasterkepe/>).

### **Irodalomjegyzék**

- [1] Wegmuller U., Strozzi T., Wiesmann A. (2003): *Interferometric Point Target Analysis for Deformation Mapping. International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 7, 4362
- [2] Grencz Gy., Farkas P., Frey S. (2025): *Magyarország felszínmozgástérképe (v20250312 verzió). Zenodo*, DOI:10.5281/zenodo.15030385
- [3] Gyalog L., Síkhegyi F. (2005): *Magyarország földtani térképe, M=1:100 000. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest*
- [4] Budai T., Gyalog L. (2010): *Magyarország földtani atlasza országjáróknak, M=1:200 000. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest*

# Űrcsillagászat Keleten (2. rész) – Japán

Varga Krisztián

*Sorozatam jelen részében a japán űrcsillagászati kutatásokról lesz szó. Talán furcsán hangzik, de a felkelő Nap országa e téren is gazdag hagyományokkal rendelkezik, amihez az Egyesült Államokkal való szoros kapcsolatoknak is köze van – elég csak a hordozórakétákra és egyes közös projektekre gondolnunk. Ugyanakkor – mint azt hamarosan látni fogjuk – Japán kutatói igyekeznek minél több országgal együttműködni a kozmosz megismerésében, de ez a munka sokszor korántsem zökkenőmentes.*

amatőr-csillagász,  
műkedvelő űrkutató,  
űrgyűjtő  
gemingablog.  
blogspot.com

## A kezdetek

Az első japán űreszköz, amelynek programjában csillagászati megfigyelések is szerepeltek, a TAIYO (SRATS vagy *Upper Atmosphere Observation Satellite*) volt. Elsődleges feladata a földi felsőlégkör fizikájának, többek között az ún. geokorona ultraibolya (*ultraviolet*, UV) spektrumvonalainak, valamint a Nap szintén UV és lágy röntgensugárzásának (*soft X-ray*, SX) vizsgálata volt. Ehhez tudományos műszerei a geokorona UV-vonalait elemző berendezés és egy elektronsűrűség-mérő voltak. Maga az űreszköz egy 86 kg-os és kb. 70 cm × 71 cm-es nyolcszögletű henger volt. 1975. február 24-én indult az Ucsinoura (vagy a közigazgatási egység után gyakran Kagosima) űrközpontból M-3C (Mű-3C) hordozórakétával egy elnyúlt elliptikus, 260 km × 3140 km magasságú, 32° hajlásszögű (inklinációjú) és 120 perces keringési idejű pályára. Öt éves működése alatt teljesítette feladatát: adatokat szolgáltatott bolygónk plazmakörnyezetéről a naptevékenység egy nyugodt időszakában. Együttműködött a nyugat-német AEROS-B műholddal, amely hasonló észleléseket végzett. A TAIYO küldetése 1980. június 29-én ért véget, amikor elégett a légkörben.

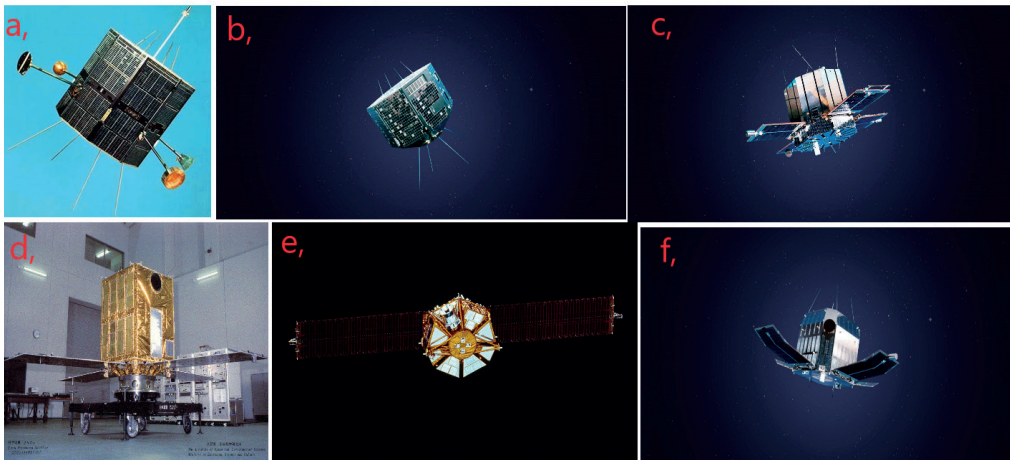
Az első, kifejezetten csillagászati célú japán űreszköz a CORSA (*Cosmic Radiation Satellite*) lett volna 1976. február 4-én, azonban a hordozórakéta hibájából nem tudott pályára állni [1]. Ezt pótolta az azonos felépítésű és rendeltetésű CORSA-B, amely a sikeres felbocsátást követően a Hakucho (angolos átírással: Hakucho, jelentése Hattyú) nevet kapta. 1979. február 21-én indult útjára a Kagosima űrközpontból egy M-3C rakétával. A nagyenergiás obszervatórium feladata ún. röntgenszállagok (szoros kettős rendszerek, amelyekben a röntgensugárzás a csillag és a neutroncsillag/fekete lyuk kölcsönhatása során keletkezik) észlelése volt. Emellett főleg röntgenkitörések forrásait figyelte meg, valamint ezek spektrumát vizsgálta széles sávon (0,1-100 keV) és időtartományban. A 96 kg tömegű eszköz közel körpályán (545-577 km magasság, 31° inklináció és 96 perces periódus) keringett. Működése 1985. április 15-ig tartott és ugyanezen a napon a légkörbe lépve megsemmisült. Programja során 8 új röntgenforrást fedezett fel, másrészt kiderült, hogy a röntgenkitörésekhez kapcsolódó optikai emissziót a röntgensugarak és a forrásokban lévő anyagbefogási (akkréciós) korong kölcsönhatása adja. Különböző röntgenszállagok időbeli változásait tanulmányozta, pl. ún. röntgenpulzárakét, de vizsgálta

a híres Cygnus X-1 kettőst is inaktívabb állapotában. Méréseihez röntgenszámlálókat használt: a 11 detektorból 4 látómezeje a forgástengelyre merőleges, a többi azzal párhuzamos volt [2]. Előbbiekkel az égbolt széles tartományát vizsgálták, röntgennóvákat és ún. tranziens jelenségeket keresve, míg utóbbiak ezen objektumokat tanulmányozták. A CORSA-B egy nyolcszögletű hasáb volt 65 cm-es magassággal és legfeljebb 80 cm-es szélességgel. Forgásstabilizált, percenkénti 5–8 fordulattal. Ugyanakkor a forgástengely is változtatható volt mágneses nyomatak révén, amihez egyedülálló módon a Föld mágneses mezejét használta [3].

A Hakucsót kissé más jellegű űreszköz követte, amely kezdetben az ASTRO-A nevet viselte, de ez a sike-res pályára állást követően Hinotorira (Főnix) változott. Feladata a Nap nagyenergiás jelenségeinek (pl. flerek) megfigyelése ugyancsak röntgen- és gamma-hullámhosszakon, továbbá a részecskesugárzás nyomon követése. M-3S hordozórakétával indul útnak a Kagosima űrközpontból, 1981. február 21-én. A műhold egy 188 kg tömegű és 92,8 cm × 81,5 cm-es nyolcszögletű hasáb volt. Nagyjából körpályán keringett bolygónk körül (576–644 km, 31°), amelyet 97 percenként került meg. Tudományos berendezései a következők voltak: képkalkáló eszköz a napflerek röntgentartományban való észleléséhez (SXT), a Nap lágyröntgen-fényének fényesebb színekvonalait elemző berendezés (SOX), lágy röntgenben észlelő eszköz (HXM), napflermegfigyelő (FLM), szoláris gamma-sugár-észlelő műszer SGR), részecskesugárzás-megfigyelő (PXM), a plazma elektronsűrűségét (IMP) és elektronhőmérsékletét mérő berendezés (TEL). Tudományos programjának elején a Hinotori egy nagy napflert, majd egy hónappal később 41 hasonló figyelt meg. Az űreszköz segítségével fedezték fel a napkoronában zajló, akár 50 millió °C-os jelenségeket, valamint ugyanitt olyan különleges „felhőket”, amelyeket közel fénysebességgel szárguldó (relativisztikus) elektronok alkotnak. Saját programja mellett egy olyan nemzetközi kutatásnak is adatokat szolgáltatott, amelynek célja a naptevékenységi maximum hosszának meghatározása és vizsgálata volt [2]. A küldetés végül 1991. július 11-én ért véget az eszköz légkörbe lépésével.

Az űrobszervatóriumok sora az ASTRO-B felbocsátásával folytatódott: a Tenma (Pegazus) elődjéhez hasonlóan startolt 1983. február 20-án, majd egy 497–503 km-es magasságú, 32° hajlásszögű és 94 perces periódusidejű pályára állt. Maga az űreszköz 216 kg-os, 94 cm széles és 89,5 cm magas kockaszerű test volt, négy napelemszárnnyal ellátva. Célja különböző röntgencsillagok színekpi vizsgálata, ezáltal energiakibocsátásuk tanulmányozása és gamma-kitörések (*gamma-ray burst*, GRB) észlelése volt. Kutatásait egy gáztöltésű szcintillációs proporcionális számláló, röntgenfókuszáló kollektor, és egy Hadamard-röntgenteleszkóp támogatta. Kezdetben minden rendben volt. Később azonban a lendkerekekkel kapcsolatos problémák megnövelték a műhold forgási sebességét és 1984 júliusában az energiaellátó rendszer is rendellenesen működött. Ennek ellenére a tudományos műszerek ellátták feladataikat, és a megfigyelések is folytatódtak. Ez az obszervatórium is számos eredményt produkált, pl. több tízmillió fokos plazma felfedezése a Tejútrendszer fősíkja mentén; a vas elnyelési vonalainak kimutatása egyes röntgenkitörések spektrumában, amelyek a neutroncsillag erős gravitációs terétől vöröseltolódást szenvednek; a neutroncsillag és akkréciós korongjának röntgenemissziós régióként történő azonosítása kis tömegű röntgenkettősökben. Valamint kimutatta a semleges vas jelenlétét röntgenpulzárak környezetében, mivel ez felelős azok erős emissziós vonaláért. A Tenma munkája 1988. december 17-én befejeződött, de csak egy hónap múlva, január 19-én semmisült meg.

A Ginga (ASTRO-C, neve galaxist jelent) szintén röntgenobszervatórium volt, amellyel az aktív galaxismagokban (*active galactic nuclei*, AGN) lévő röntgenforrásokat és egyéb röntgenobjektumokat kívánták vizsgálni minden eddiginél részletesebben. 1987. február 5-én bocsátották fel elődjeihez hasonló módon, egy 530–595 km-es magasságú és  $31^\circ$  inklinációjú pályára, amelyen egy keringést 96 perc alatt tett meg. Az űreszköz kiterjedése  $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 1,5\text{ m}$ , tömege 420 kg volt. Tudományos berendezések: nagyfelületű számláló (LAC, fõmûszer), teljeségbolt-monitorozó berendezés (ASM), gamma-kitörés-detektor (GBD). A legfõbb különbség a korábbiakhoz képest, hogy a mûszerpark fejlesztésébe külföldi partnerek is bekapcsolódtak: az LAC-t a japánok a Leicesteri Egyetemmel (Egyesült Királyság) és a Los Alamos Nemzeti Laboratóriummal (USA) közösen készítették. Sajnos itt is fellépett egy kisebb hiba: a helyzetstabilizáló rendszer a csillagkövetõ szenzor segítségével automatikusan mûködött volna, de mivel ez problémát okozott, az irányítók végül a giroszkópok adataira támaszkodtak. Ettõl eltekintve a Ginga számos eredményt tudhat magáénak: indítása után nem sokkal, 1987. február 23-án fellobbant a híres SN1987A szupernóva a Nagy Magellán-felhõben (LMC), amelyet – más obszervatóriumok mellett – a Ginga is észlelt röntgentartományban. Ezenkívül felfedezte a vas intenzív emissziós vonalát 6–7 keV-on, amelyet a Galaxis központi vidéke sugároz, valamint megfigyelte egyes ún. Seyfert-galaxisok változásait. A program 1991. november 1-én véget ért az űrtávcsõ légköri elégésével.



1. ábra: Korai japán űrcsillagászati holdak: TAIYO (a), Hakucsó (b), Hinotori (c), Ginga (d), SFU (e), Tenma (f). (Képek: ISAS, NASA GSFC)

Ezután egy új sorozat első tagja következett a SOLAR-A pályára állásával. Ha ez a név nem is, a Jokó (Yohkoh, napsugár) talán már ismerősebben cseng, mint az 1990-es évek sikeres napobszervatóriumaé. Működése nagyrészt a naptevékenységi maximum alatt történt, kutatási programja is főként ehhez kapcsolódott (napflerek észlelése és a napkorona kitörésekkel összefüggő jelenségeinek kutatása). 1991. augusztus 30-án indították útnak Ucsinourából M-3S hordozórakétával, egy 550–600 km

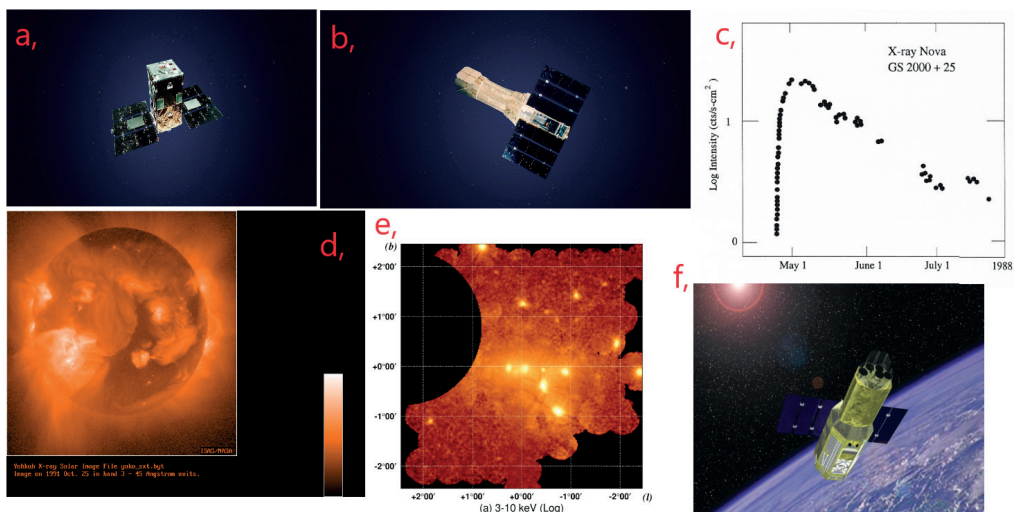
magasságú,  $31^\circ$  hajlásszögű és 96 perces periódusú pályára. Az űreszköz tömege 390 kg, kiterjedése  $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 2\text{ m}$  volt. Kutatóműszerei az alábbiak voltak: lágyröntgen-teleszkóp (SXT,  $42 \times 42$  ívperces látómező kb. 3,7 ívmásodperces képi és max. 0,5 másodperc időbeli felbontással), keményröntgen-távcső (HXT, 30 keV feletti röntgenvizsgálatok, a világon elsőként képalkotó távcsővel és a korábbiakhoz képest 1 nagyságrenddel érzékenyebb berendezéssel), Bragg-kristályspektrométer (BCS, az ultraforró plazma diagnosztikáját végezte), szélessávú spektrométer (WBS, spektroszkópiai vizsgálatok lágy röntgentől a gammáig) [1, 2]. E programban is részt vett az Egyesült Királyság és az Egyesült Államok. Az obszervatórium több mint 10 évig működött, de sajnos nem mentesen a hibáktól sem: 1992 novemberében az SXT optikai távcsöve az egyik szűrő rendellenessége miatt gyakorlatilag használhatatlanná vált. Mi több, a küldetés végét is egy szerencsétlenség okozta: 2011. december 15-én a Jokó a Csendes-óceán déli része felett épp egy gyűrűs napfogyatkozás árnyéksávján haladt át. Emiatt a napelemek teljesítménye drasztikusan csökkent és az akkumulátorok később sem tudtak kellően újra feltöltődni. Ezért az irányítók 2004. április 23-án a kapcsolat beszüntetése mellett döntöttek. A magára hagyott űreszköz végül 2005. szeptember 12-én semmisült meg. A Jokó eredményei közül talán a legjelentősebb annak felismerése, hogy a napkorona szerkezete dinamikusan változik különböző időskálákon, és az egyes explozív jelenségek valójában a mágneses tér átrendeződései révén jönnek létre a koronában.

Az ASCA (*Advanced Satellite for Cosmology and Astrophysics*, ASTRO-D) obszervatóriummal különböző égitestek precíz vizsgálatát és az Univerzum távolibb régióinak (pl. galaxishalmazok) röntgentartományban történő tanulmányozását tűzték ki célul. Startja 1993. február 20-án történt Kagosimából M-3S rakétával, egy 525–615 km-es magasságú,  $31^\circ$  inklinációjú és 96 perc keringési idejű pályára. A 4,7 m hosszú és 1,2 m átmérőjű hengerszerű eszköz tömege 420 kg volt, továbbá két darab háromrészes napelemtáblával rendelkezett. Műszerei: röntgenteleszkóp (XRT), szilárdtest képalkotó spektrométer (SIS, 0,4–10 keV, vagyis 3–0,12 nm tartományban), gázállapotú képalkotó spektrométer (GIS, 0,7–10 keV vagy 1,8–0,12 nm tartományban). A program kivitelezésében amerikai és európai szakemberek is szerepet vállaltak. A pályára állást követően a távcső tubusának megfelelő EOB egység (*Extendable Optical Bench*) sikeresen kinyílt. Ezután a program is megkezdődött és sikeresen folyt. Azonban 2000 júliusában az erősödő naptevékenység miatt a Föld légköre kitágult, a gyenge légellenállástól az ASCA forogni kezdett, így a megfigyelések abbamaradtak ([1] szerint az anomáliát konkrétan egy geomágneses vihar okozta). Végül a már csak minimális működési funkciókat mutató műhold 2001. március 2-án elégett az atmoszférában. Nyolcéves működése során sok megfigyelést és mérést végzett. Mivel leginkább spektroszkópiai vizsgálatokra volt alkalmas, jól kiegészítette a nyugatnémet vezetésű RO-SAT és az amerikai RXTE (Rossi) küldetések munkáját [1].

A soron következő műhold több szempontból is érdekes, mivel (1) technológiai kísérletről lévén szó, műszereinek csak kis része volt űrcsillagászati vonatkozású, és (2) a program végeztével az űreszközt visszahozták a Földre. Ez volt az SFU (*Space Flyer Unit*), amelynek feladata olyan részegységek és műveletek kipróbálása, melyek végül újrahasonosítható űreszközöket eredményeznek. 1995. március 18-án indult útjára – a korábbiaktól eltérően – a Tanegasima űrközpontból, H-2 rakétával. A kezdeti pálya 330 km-es, kb. 90 perc keringési idejű és  $28^\circ$  hajlásszögű volt. Később 486 km-re

változtatták, itt kezdődtek meg a kísérletek. A számunkra érdekes és releváns ezek közül az infravörös űrtávcső (IRTS), amelyhez négy műszer kapcsolódott: a közeli infravörös spektrométer (NIRS), a közepes infravörös spektrométer (MIRS), a távoli infravörös térképező műszer (FILM) és a távoli infravörös fotométer a távcső fókuszában. Az IRTS 15 cm átmérőjű volt, az észlelésekhez 2 K-re (kb.  $-271\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra) hűtötték le szuperfolyékony héliummal. A berendezéssel a csillagászok a Világegyetem korai időszakáról (távol infravörösben) és galaxisunk szerkezetéről szerettek volna többet megtudni [1,4]. Arról, hogy ez mennyire sikerült, sajnos nincs információ, mindenesetre az űreszköz sikerült befogni az STS-72 küldetés során: az Endeavour űrrepülőgép negyedik keringése során kezdték meg a befogási kísérletet. Ez többször meghiúsult, mert az SFU napelemtáblái nem akartak összecuszkodni. Végül a negyedik próbálkozás sikerrel járt: 1996. január 13-án az űrrepülőgép manipulátorkarjával sikerült beemelni a raktérbe. A kart Koicsi Vakata (Koichi Wakata) japán űrhajós kezelte. Az Endeavour január 20-án sikeresen leszállt a Kennedy Űrközpontnál, ezután az SFU-t visszaszállították Japánba. Ma a Tokiói Nemzeti Természettudományi Múzeum kiállítási anyagának része [1]. Érdekesség, hogy az SFU kísérletei között súlytalansági és biológiai célúak is voltak. Programjában egyébként a legtöbb akkori japán űrügynökség részt vett (ISAS, NASDA, USEF; ebből az ISAS volt az IRTS fejlesztője).

Az SFU-t egy szintén ambiciózus projekt követte: a *MUSES-B* egy űrbe telepített rádiótávcső volt, amelynek elsődleges feladata szimultán rádiócsillagászati észlelések végzése földi rádióobszervatóriumokkal. Ez az ún. *űr-VLBI* módszer, amellyel jelentősen növelhető a felbontóképesség. A *MUSES-B* neve a sikeres pályára állás után *Haruka* lett, de legtöbbször a nemzetközi *HALCA* (*Highly Advanced Laboratory for Communication and Astronomy*) néven ismerik. A kozmikus rádióteleszkóp megalkotása komoly kihívás elé állította a mérnököket, így a projekt számos technológiai kísérletre nyújtott lehetőséget (pl. nagyméretű szétnyitható antenna kipróbálása, nagy stabilitású adatátvitel fedélzeti és földfelszíni atomórákkal kombinálva, precíz helyzetstabilizálás megvalósítása, stb.). Az űreszköz a VLBI-méréseit a japán vezetésű *VSOP* (*VLBI Space Observatory Programme*) projekt keretében végezte, széles nemzetközi együttműködésben. Tömege kb. 830 kg volt, méretei:  $1,5\text{ m} \times 1,5\text{ m} \times 1\text{ m}$ . Cassegrain-rendszerű antennája szétnyitva 10 m-es volt, de „csak” 8 m-es effektív átmérővel rendelkezett (főtükör). A visszaverődött és fókuszált jeleket a segédtükör gyűjtötte össze a 2,5 m hosszú kürtőbe. 1997. február 12-én bocsátották fel Kagosimából egy M-5 típusú hordozórakétával. Elnyúlt pályára állt bolygók körül (550–21000 km, inklináció  $31^{\circ}$ , keringési idő 6 óra 20 perc). Két héttel később, február 28-án a fő antenna kinyílt, majd a technikai próbákat követően a tudományos program is elkezdődhetett. A műhold eredetileg az 1,6/1,73 GHz, a 4,7/5 GHz és a 22/22,3 GHz frekvenciasávokon dolgozott volna, de utóbbinál – valószínűleg a start során fellépő rázkódás miatt – az érzékenység drámaian lecsökkent. Ennek ellenére a 3 évesre tervezett küldetés 8 év 9 hónap után, 2005. november 30-án ért véget. A HALCA használatával a csillagászok egy 30 ezer km-es apertúrájú „virtuális rádiótávcsövet” nyertek, amellyel minden addiginál részletesebb képeket kaptak számos rádióforrásról. Így sikerült például a kb. 6 milliárd fényévre lévő *PKS 0637–752* jelű *blazár* (az aktív galaxismagok egyik típusa) anyagkilövelléseiről (*jetjeiről*) 0,0002 ívmásodperces felbontással rádióképet készíteni. A tudományos programban magyar kutatók is közreműködtek.



2. ábra: A Jokó (a) és az ASCA (b). A GS 2000+25 röntgennóva „fénygörbéje” a Ginga mérései alapján (c). A Jokó SXT műszerének felvétele a Napról a 0,3–4,5 nm közötti tartományban (d). Az ASCA mozaikképe a Tejútrendszer központi régiójáról (e). A Szuzaku fantáziaképe (f). (Képek: ISAS, JAXA, NASA GSFC, JAXA / Sugizaki et. al. / nathaliedegenaar.com, JAXA / NASA / spaceflightnow.com)

## A „Nagy Egyesítés” kora

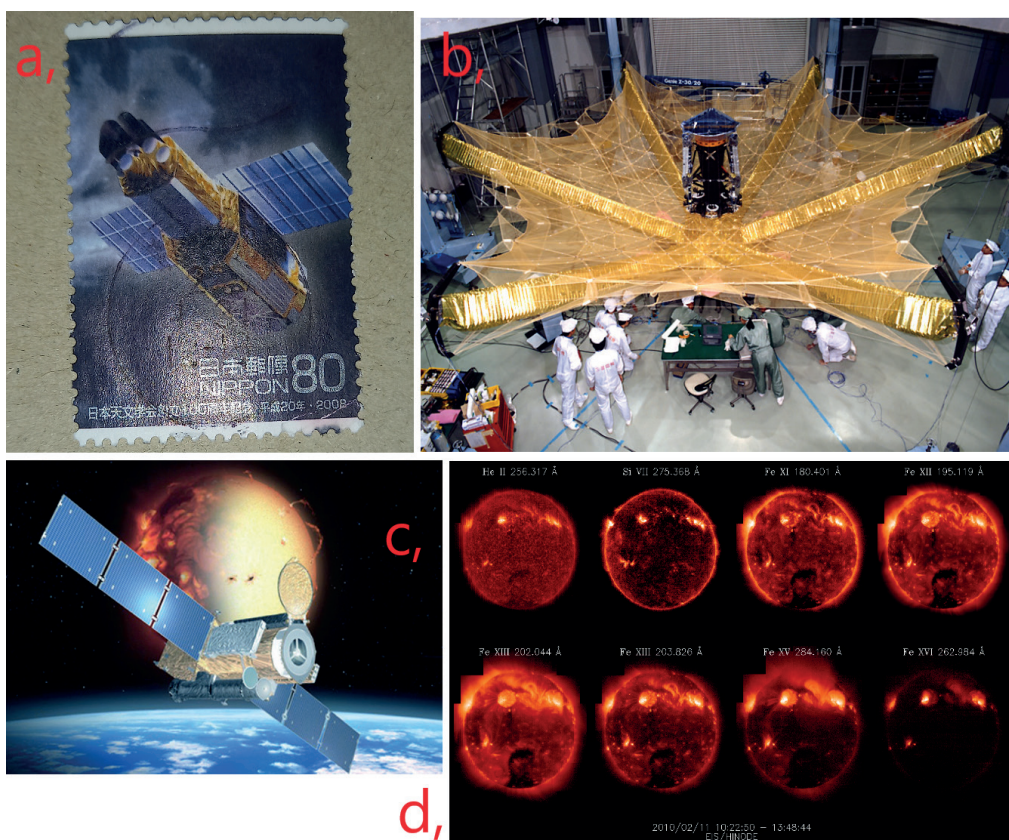
Bár az idézőjelben szereplő kifejezést a részecskefizikából kölcsönöztem, e fejezet témájára is alkalmazható – rögtön kitérek erre is. Az eddig ismertetett űroszervatóriumok építését és működtetését a már említett Űrtudományi és Asztronautikai Intézet (ISAS) koordinálta. Ám 2003. október 1-től az intézményt a NASDA-val és NAL-lel egyesítve létrejött a Japán Űrügynökség (JAXA), amely azóta gyakorlatilag a teljes japán űrtevékenységért felelős. Bár korábban is volt együttműködés hazai és külföldi kutatóintézetekkel (NAOJ, Tokiói Egyetem, NASA), az átszervezést követően ennek szerepe megnőtt.

Az obszervatóriumok sora a Szuzaku (Suzaku, korábban ASTRO-E2) röntgencsillagászati holddal folytatódott, a NASA-val való kooperációban. Nevét egy, a távol-keleti mitológiákban szereplő vörös madárról kapta, amely egyike a déli égboltot őrző-védő négy állatnak. Az eszköz valójában másodpéldány: az ASTRO-E műholdat váltotta, amely 2000. február 10-i startja során az M-5 hordozórakéta első fokozata hibájából az Indiai-óceánban zuhant. A Szuzaku feladata különböző forró plazmák vizsgálata röntgen- és gamma-hullámhosszakon (0,3–600 keV), e plazmák diagnosztikája széles hőmérsékleti tartományban, dinamikájuk tanulmányozása, a galaktikus szupernóva-maradványok nukleáris (az atommagok által kibocsátott) színképvonalainak felmérése, a Világegyetem struktúrájának és fejlődésének vizsgálata, a galaxishalmazok evolúciójának kutatása, erősen elhalványult ún. primordiális (ősi, korai) objektumok keresése, feketelyuk-jelöltek és AGN-ek szélessávú spektroszkópiája, fekete lyukak

akkréciójának vizsgálata és az AGN-ek kozmikus röntgenháttérhez való hozzájárulásának kutatása az 1-1000 keV tartományban. Ehhez a következő berendezések álltak rendelkezésre: 5 darab lágy-röntgen- és 1 darab keményröntgen-távcső. Előbbiek 1-1 darab XIS-, utóbbi egy XRS-detektort kapott, amelyek mind a fókuszszíkokban helyezkedtek el. Az XIS-ek mindegyike egy-egy röntgen CCD-kamerás képalkotó spektrométer. Ezek a 0,4-10 keV tartományt fedték le, jellemzően 120 eV energiafelbontással. Az XRS spektrométer viszont röntgenkaloriméterek sorozata volt hasonló energiatarományra, de 12 eV felbontással. A tükrök hasonlóak voltak az ASCA-éhoz, de azoknál korszerűbbek, finomabb képalkotásúak és összességében nagyobb effektív felülettel rendelkeztek. Átmérőjük 40 cm, gyűjtőtávolságuk 4,5 m (XRS) és 4,75 m (XIS). Az XRT-t az ISAS (immár a JAXA részlegeként) mellett a NASA Goddard Űrközpontja (GSFC) és a Nagojai Egyetem fejlesztették. Az XRS is az ISAS és a NASA közös terméke, egyben a Szuzaku elsődleges műszere. A mikrokalorimétereket folyamatosan párolgó szilárd neonréteg tartotta hidegen, ezért az XRS-ek élettartamát 2 évben határozták meg (a többi berendezés működését ez nem befolyásolta). Az XIS detektorait az Oszakai és a Kiotói Egyetemek, valamint az MIT gyártották. A keményröntgen-detektor (HXD) a nagy energiájú tartományban (10-700 keV) működött, 16 számlálót és szcintillátort alkalmazva. A számlálókat és a hozzájuk tartozó szilíciumdetektorokat az ISAS és a Tokiói Egyetem alkotta meg. A Szuzaku 2005. július 10-én sikeresen felemelkedett Kagosimából M-5 rakétával és pályára állt (500 km, 31°, 96 perc). Az űreszköz egy 1700 kg induló tömegű és 6,5 m × 2 m × 1,9 m-es test volt (széttárt napelemtáblákkal 5,4 m széles). Számos asztrofizikai felfedezéshez járult hozzá, elsősorban az Európai Űrügynökség (ESA) XMM-Newton és a NASA Chandra röntgen-űrobszervatóriumaival karöltve. Ilyen volt például egy Ia típusú szupernóva maradványában (a 3C 397 jelűben) a fehértörpe-komponens központi sűrűségének meghatározása – még a robbanás előtt. Az eredmény az XMM-Newton 1999-es észlelésein és módszerein alapszik: abból indultak ki, hogy bizonyos neutrondús izotópmagok (nuklidok: pl. titán-50 és króm-54) annál hatékonyabban képződnek, minél sűrűbb az összeomló fehér törpe. A kutatás egy nemzetközi kutatócsoport munkája. Emellett 2016-ban egy szintén vegyes összetételű tudósgárda – ugyancsak a Szuzaku és az XMM-Newton megfigyeléseit felhasználva – egy, az ütközés kezdeti fázisában lévő galaxishalmaz-párt fedezett fel. Ez azért lényeges, mert ez a fejlődési szakasz viszonylag rövid – noha az emberi életnél jóval hosszabb –, ezért nehéz megfigyelni (és megérteni). Mivel a csillagászok úgy gondolják, hogy a Világmindenség nagyméretű struktúrái több kisebb egység ütközéséből és összeolvadásából álltak össze, a folyamat megfigyelése fontos a szerkezeti fejlődésének megértésében. Később a halmaz megfigyeléséhez a Chandra-röntgentávcső, a holland vezetésű európai LOFAR (*Low Frequency Array*) és az indiai GMRT (*Giant Metrewave Radio Telescope*) is csatlakozott [1]. Tízévi működést követően a Szuzaku olyan rossz állapotban volt, hogy a JAXA 2015. augusztus 26-án bejelentette a program végét. Az űreszköz végül a Csendes-óceán déli része felett lépett a légkörbe.

Az Akari – korábbi nevén ASTRO-F vagy *InfraRed Imaging Surveyor*, röviden: IRIS – az ország második infravörös távcsöve volt. Nevének jelentése: fény. Feladata az égbolt teljes infravörös felmérése az 1983-as amerikai-brit-holland IRAS-hoz képest nagyobb érzékenységgel, felbontással és szélesebb hullámhossz-lefedettséggel. Fő műszere egy 68,5 cm-es nyílású és 4200 mm-es fókusz-távolságú Ritchey-Chrétien-távcső volt, mely az 1,7-180 mikrométer közötti sávban észlelt, ezért le volt hűtve 6 K-re.

Fókuszában kétféle eszköz kapott helyet: egy távoli infravörösben működő eszköz (FIS), valamint egy közeli és közepes infravörösben érzékeny műszer (IRC). A hűtésről folyékony hélium és az ezt keringtető ún. Stirling-ciklusos mechanikus hűtőeszköz gondoskodott. Az Akari 2006. február 22-én indult útjára Kagosimából egy M-5 rakétával, a korábbiaktól eltérően 700 km magas poláris napszinkron pályára ( $98,2^\circ$ -os hajlásszög, 100 perces periódusidő). Méretei:  $1,9 \text{ m} \times 1,9 \text{ m} \times 3,2 \text{ m}$ , de kiterjesztett napelemekkel szélessége 5,5 m volt. Induló tömege kb. 950 kg. A küldetés céljai az alábbiak voltak: ősi galaxisok vizsgálata igen érzékeny infravörös megfigyelésekkel a galaxisok evolúciójának tanulmányozására; különféle csillagkeletkezési régiók infravörös észlelése csillagképződés kutatásához; a csillagfejlődés és az anyag körforgásának vizsgálata az Univerzumban; protoplanetáris korongok sugárzásának tanulmányozása; végül pedig üstökösök keresése. Az indítást követő ellenőrzések során derült ki, hogy az Akari napérzékelő szenzora (NSAS) nem működött szabályosan, ami egy fedélzeti szoftvermódosítással tudtak kijavítani. 2006. április 16-án a teleszkóp fedele kinyílt, ezzel megkez-



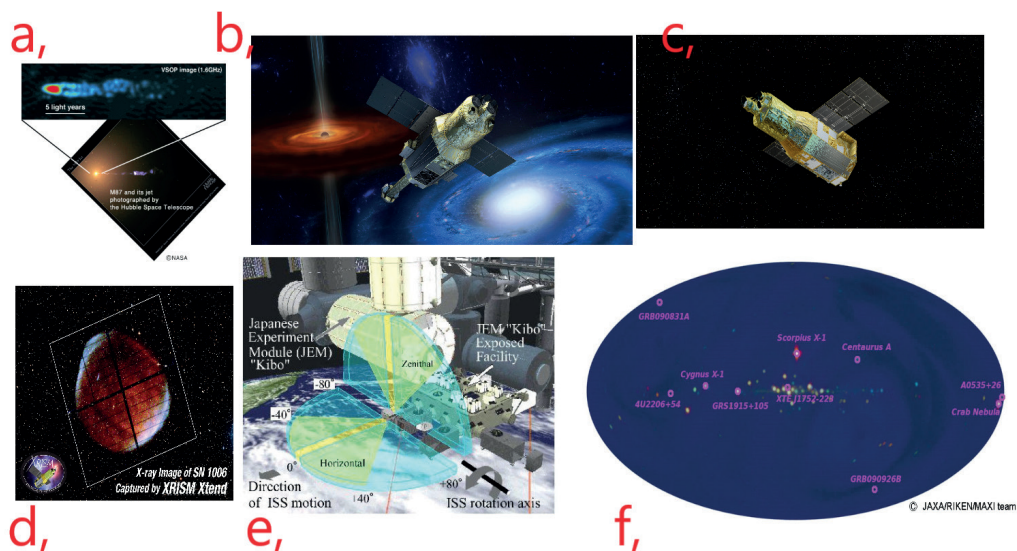
3. ábra: A Szuzaku egy 2008-as japán bélyegen (a). A HALCA a szerelőcsarnokban szétnyitott antennával (b). A Hinode fantáziaképe (c). A napkorona röntgenképe a Hinode EIS berendezésével (d). (Képek: wiki-media.org, JAXA / NASA)

dődhetett a tudományos program, immár hibák nélkül. Ugyan 2007 augusztusában a folyékony hélium elpárolgott, de az eszköz a közeli infravörösben tovább dolgozott. Nem is eredménytelenül: egy ultrafényes infravörös galaxis aktív magja körül molekuláris gázt mutatott ki; 2006 májusában elkészítette az első tiszta nagyfelbontású képet egy csillagbölcsőről. Az Akari spektroszkópiai adatai alapján 19 darab C-típusú (víz- és szervesanyag-tartalmú primitív objektumok) és 2 darab D-típusú (primitívebb összetételű, az üstökösanyagokhoz hasonló testek) kisbolygót vizsgáltak. Ezeknek kb. a felében ammóniatartalmú ún. filloszilikátokat találtak (az agyagféleségek is főleg ilyen ásványokból állnak). Ezek az anyagok  $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$  alatt stabilak és Naprendszerünkben a Szaturnusz pályáján túl vannak jelen. A tény, hogy kimutathatók a bolygórendszer belső részében, arra utal, hogy ezek az objektumok a Naptól távolabb keletkeztek és később befelé migráltak [5]. 2018. december 17-én egy kutatócsoport bejelentette, hogy az Akarival 2,7 mikrométer körüli hullámhosszakon vizsgálódva elsőként találtak víztartalmú (hidratált) ásványokat C- és S-típusú kisbolygókon (utóbbiak inkább ütközések által juthattak vízhez). A mérések megerősítik a feltételezést, miszerint az aszteroidák is hozzájárultak a víz megjelenéséhez bolygónkon [6]. Az Akari 1 év 4 hónap alatt az égbolt 99%-át leképezte négy hullámhosszon (65, 90, 140 és 160 mikrométeren), 1-1,5 ívperces felbontással. Ilyen felmérést az IRAS is végzett korábban, azonban a 160 mikrométeres tartományt nem észlelte (márpedig a bolygókeletkezés itt vizsgálható leginkább) [7]. 2011 májusában egy komoly elektronikai hiba miatt az akkumulátorok nem tudtak teljesen feltöltődni, így az Akari a Föld árnyékában nem végezhetett méréseket. A kutatási program 2011. november 24-én ért véget, de a műhold csak 2023. április 11-én semmisült meg. A tudományos munkában a JAXA irányítása alatt a Tokiói Egyetem – és más japán egyetemek mellett – európai és dél-koreai szakemberek is szerepet vállaltak.

Úgy gondolom, a Hinode név sokunknak ismerősen csenghet (SOLAR-B). Ami nem csoda, hiszen az egyik legsikeresebb napobszervatóriumról van szó. Annak ellenére, hogy mindössze 3 évesre tervezték, máig végzi munkáját (jelen állás szerint 2033-ig kívánják üzemben tartani). Nevének jelentése: napkelte. A JAXA és a NAOJ együttműködésében készült, de részt vett benne a NASA (az FPP, az XRT és részben az EIS révén), és a brit STFC is (tudniillik az EIS-t a Mullard Űrtudományi Laboratórium által vezetett konzorcium építette). A tudományos programban az ESA és a norvég NSC is partnerek. Feladata a Nap mágneses aktivitásának vizsgálata, beleértve a keletkezését, az energiatranszfert, és a mágneses energia felszabadulását. Ezen belül a mágneses mező létrejöttének, és transzportfolyamatainak megértése, ide véve a Nap luminozitásának ún. mágneses modulációját. Továbbá azon folyamatok feltárása, amelyek a fotoszféra és a korona közti energiaátvitelért és a kromoszféra-korona rendszer felmelegedéséért és szerkezetéért felelősek. Feladata még a mechanizmusok meghatározása, amelyek létrehozzák az eruptív jelenségeket és a szerepük megértése a Nap-Föld rendszer üridőjárásában. A program tudományos központja Szagamiharában van, az ISAS egyik létesítményben, ahol nemzetközi kutatócsoport dolgozik az észlelések összeállításában és az eredmények kiértékelésében (megjegyzendő, hogy a részleg székhelye is ugyanebben a városban van). Emellett külső szakemberek is gyakran veszik igénybe a műholdat kutatásaikhoz, olykor más űreszközökkel vagy felszíni obszervatóriumokkal összehangolva. Tudományos berendezései: egy 50 cm-es nyílású optikai naptávcső (SOT), röntgenteleszkóp (XRT), EUV-képealkotó spektrométer (EIS, 17-21,2 és 24,6-29,2 nm-es sávokra). 2006.

szeptember 23-án bocsátották fel Kagosimából egy M-5 hordozórakéta orrában. Egy kb. 680 kilométeres poláris napszinkron pályára (inklináció  $98^\circ$ ) állt bolygónk körül, amelyet 98 percenként kerül meg. Tömege kb. 900 kg, méretei  $1,6 \text{ m} \times 1,6 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ , ehhez két, egyenként 10 m hosszú napelemszárny is társul. Programja javában zajlik, de így is hosszú lenne felsorolni eredményeit. Ezért csak néhányról szólunk itt vázlatosan, a teljesség igénye nélkül: a Merkúr Nap előtti átvonulásának leképezése a Nap előtt a SOT műszerrel 2016. május 9-én; „nanoflerék” kimutatása az amerikai, szuborbitális rakétára szerelhető FOXSI röntgentávcsővel (l. később), 2017. október 10-én; a Hinode segítségével a NAOJ csillagásza az addig mért legerősebb mágneses teret észlelték a Napon 2018. február 6-án; több napfogyatkozás megfigyelése látható és röntgenfényben (2007. március 19, 2011. január 4, 2021. november 14, 2017. augusztus 21.), különleges poláris mágneses jelenségek megfigyelése 2012 áprilisában stb.

A japán űrcsillagászati kronológia soron következő „igáslova” a MAXI (*Monitor of All-Sky X-ray Image*), amely valójában egy kisméretű röntgen-űrobszervatórium a Nemzetközi Űrállomáson (ISS), egyben az első nagyenergiás kísérlet itt. Fejlesztői a japán Fizikai és Kémiai Kutatóintézet (RIKEN) röntgencsoportja és a NASDA (szintén a JAXA része) voltak. Tagjaik már 1996-ban javasolták megépítését, amit a következő évben jóvá is hagytak. A MAXI-t az Endeavour űrrepülőgép vitte fel Floridából az ISS-hez, az STS-127 repülés keretében. A berendezés együtt utazott a szintén japán JEM, más néven Kibo modulall (jelentése: remény), amelyen napjainkban is dolgozik. Feladata a tranziens röntgenjelenségek korai



4. ábra: A HALCA rádióképe az M87 galaxis centrumáról. A HST-vel készült optikai felvételen a jet kb. 8000 fényév hosszú, a HALCA ebből 10 fényévnnyit észlelt (a). A Hitomi (b) és a XRISM (c) fantáziaképe. A XRISM Xtend felvétele az SN 1006 szupernóva maradványáról (d). A MAXI műszer elhelyezkedése és észlelési sémája az ISS-en (e). A MAXI egyik teljességböltképe néhány röntgenforrás feltüntetésével, Mollweide-ve-tületben ábrázolva. A források többsége a Galaxis fősíkja közelében található (f). (Képek: ISAS, JAXA, NASA GSFC)

észlelése és a már ismert röntgenforrások intenzitásváltozásainak folyamatos nyomon követése a teljes égbolt lágy és kemény röntgentartományban való letapogatásával. Ehhez kétféle berendezést alkalmaz: két félkör alakú röntgenréskamera széles látómezővel, ezekkel az ISS egyetlen keringése alatt (kb. 92 perc)  $360^\circ$ -os kép nyerhető az egész égboltról; kétféle röntgendetektor, amelyek a réskamerákkal begyűjtött adatokat dolgozzák fel. Az egyik egy gáztöltésű proporcionális számláló (GSC) 2–30 keV-ra, a másik pedig egy szilárdtestanyagú röntgen CCD-detektorral ellátott réskamera (SSC) 0,5–12 keV-ra. Tudományos programjában a JAXA és a RIKEN mellett több japán egyetem (Osakai, Tokiói, az Aojama Gakuin, Nihon, Kiotói, Mijazaki és a Csuo) is kiveszi a részét.

Most egy olyan űrtávcső bemutatása jön, amely megint csak nem követi az eddigi trendet, mivel UV-tartományban dolgozott és főként a Naprendszer bolygóinak megfigyelésére építették. A Hiszaki (Hisaki, *Hisaki Spectroscopic Planet Observation Satellite*) program több néven is futott: elsőként az EXCEED (*Extreme Ultraviolet Spectroscope for Exospheric Dynamics*), majd pályára állásig SPRINT-A (*Spectroscopic Planet Observatory for Recognition of Interaction of Atmosphere*) munkaneveket használtak. A Hiszaki szó jelentése „túl a Napon”, de az Ucsinoura űrközpont közelében lévő hegyfoknak is ez a neve; ez egyben a helyi halászkok imahelye is [1]. Az első űrtávcső volt, a mellyel a Vénuszt, a Marsot és a Jupitert, pontosabban e bolygók légkörének szökési mechanizmusát tanulmányozták. Feladata volt pl. közelebb kerülni a válaszhoz, hogy a kőzetbolygók a kezdeti nagyfokú hasonlóság ellenére ma miért különböznek ennyire egymástól. A mérésekből a korai Naprendszer sugárzási viszonyaira is következtethetnek a kutatók, mert a jelek szerint a napszél akkor sokkal intenzívebb volt és ma úgy tudjuk, ez okozza leginkább a bolygó légkörök szökését. Emellett célja volt még a Jupiter lo holdja által képzett kéntartalmú tóruszának és plazmakörnyezetének megfigyelése is. Eredetileg 2013. augusztus 27-én indult volna, végül szeptember 14-én startolt egy Epsilon hordozórakétával Kagosimából és sikeresen pályára állt (950–1150 km magasság,  $31^\circ$  hajlásszög, 106 perc keringési idő). Kezdeti tömege 348 kg volt. Műszerparkjában egyedül az extrém ultrabolya (EUV) képalkotó spektrométer volt. Eredményei közül csupán kettőt ragadnék ki. 2016 szeptemberében megfigyelte, hogy a Marson a kítőrt porvihar során a felsőlégköri hidrogén mennyisége fokozatosan nőtt, miközben az oxigéné átmenetileg csökkent. Tehát a porviharok a bolygó története során elősegítették a légkör oxidációját azáltal, hogy nagy magasságokban növelték a hidrogén-kiáramlást, míg az oxigén esetében csökkentették. Ebből következik, hogy a múltban a Mars légkörében kevesebb oxigén volt, mint ma, tehát lakhatóbb is lehetett. A légköri oxigén főleg a szén-dioxid és némileg a vízgőz (napszél és UV-sugárzás miatt történő) bomlásából származik. A kisebb oxigéntartalom ún. redukáló légkört eredményezett, az életet alkotó szerves anyagok szintézise pedig ilyen környezetben nagyobb valószínűséggel megy végbe. Mivel a porviharok és a vízgőz szerepe nem volt ismert a folyamatban, a Hiszakival elsősorban az oxigént figyelték: a gáz semleges atomjai (O1) ultrabolya vonalainak (130,4 és 135,6 nm) és a hidrogén Lyman-béta vonalának változásait vizsgálták, ezek a napfény szóródásából és az ionoszféra ionjainak elektronokkal való ütközéséből keletkeznek (légkörfénylés, azaz *airglow*). A sugárzás intenzitása arányos az atomok gyakoriságával (sűrűségével). Az egyidejű meteorológiai mérések arra mutattak, hogy a porviharok során a felsőlégkörben a hidrogén mennyisége átmenetileg duplájára nő, az oxigén kb. kétharmadára csökken, ami a hidrogén gyorsabb szökésére utal. A méré-

sekben amerikai és európai Mars-szondák (MRO, Mars Express, MAVEN, Curiosity) is részt vettek. Hogy ez a légköri folyamat hogyan hatott a Mars történetére és asztrobiológiai potenciáljára, arra a készülő japán MMX szonda is adatokkal szolgálhat pl. a Phobos holdról hozni tervezett mintákból, mivel az égitest folyamatosan ki van téve a Marsról elszökő gázoknak [8]. A Hiszakit ritkán asztrofizikai kutatásokhoz is felhasználták. A galaxishalmazokat forró röntgensugárzó gáz tölti ki. A halmaz központja sugározza a legnagyobb energiájú röntgensugárzást. Az emisszió olyan intenzív, hogy az elméletek szerint az erőteljes kisugárzása adódó energiavesztés miatt a középpont gyorsan lehűl. A kutatók alacsonyabb hőmérsékletű gázt kerestek a halmaz centrumában, de nem találtak. Ezért egy olyan mechanizmusra volt szükség, amely a gázt forrón tartja – erre a szupernagy tömegű fekete lyuk az egyik lehetőség. A vizsgálatokra elvileg a semleges hélium EUV-vonala a legalkalmasabb 58,4 nm-en. Azonban az Univerzum leggyakoribb eleme, a hidrogén meggátolja a 91,2 nm (az ún. Lyman-él) és a 10 nm közti tartomány megfigyelését. Azonban a Világmindenség tágulása miatt fellépő vöröseltolódás során a távoli objektumok fénye hosszabb hullámhosszra tolódik, így tudták megfigyelni a 6,4 milliárd fényévre található RCS2 J232727-020437 jelű galaxishalmazt. Ezáltal a héliumvonal 99,3 nm-en volt észlelhető, ami a Lyman-élnél nagyobb hullámhosszú. A Hiszaki megfigyelései némileg ellentmondanak az elméleteknek és arra utalnak, hogy a forró és a hideg gáz mennyisége valójában kisebb [9]. A Hiszaki 2003. december 8-án befejezte küldetését, inaktív állapotban kering a Föld körül. Élettartamát egy évre tervezték, amit így is túlteljesített.

A következő a Hitomi (ASTRO-H) röntgencsillagászati obszervatórium volt, amely négy korszerű műszerével a lágy röntgentől a gamma-sugarakig (0,3–600 keV) vizsgálta az égboltot, az addigiaknál is nagyobb energiafelbontással. A JAXA által vezetett programban több mint 70 intézmény működött közre Japánban, az USA-ban, Kanadában és Európában. Az amerikaiak pl. a *Mission of Opportunity in the Astrophysics Explorers Program* keretében vettek részt, de az SXS műszert és a lágyröntgen-teleszkópokat is ezen az úton fejlesztette a GSFC. Az ESA a hardver- és szoftverfejlesztés kritikus területein járult hozzá a küldetéshez. A Hitomit 2016. február 17-én bocsátották fel Kagosimából egy H-2A rakétával (eredetileg 2013-ban indult volna). Nevét a pályára állást követően kapta, a japán nyelvben szemet vagy még inkább pupillát jelent; egyben utalás a festővel és a négy sárkánnyal kapcsolatos régi legendára. A történet analógiájára a Hitomi lenne a „szemgolyó”, amely megmutatja a valóságot és teljessé teszi a képet [1]. Az űreszköz feladata az Univerzum fejlődésének és nagyleptékű struktúráinak tanulmányozása, a galaxisok közti sötét anyag eloszlásának meghatározása, az anyag viselkedésének vizsgálata erős gravitációs terekben (pl. fekete lyukak akkréciós korongjaiban), a kozmikus sugarakat felgyorsító régiók fizikai tulajdonságainak feltárása és szupernóvák megfigyelése volt. Tudományos berendezései: lágyröntgen-spektrométer (SXS), lágyröntgen képalkotó eszköz (SXI), keményröntgen képalkotó berendezés (HXI), lágygamma-detektor (SGD), lágyröntgen-teleszkópok (SXT-S, SXT-I), keményröntgen-távcső (HXT). Sikeresen állt egy közelítőleg 575 km magas, 91° inklinációjú és 96 perces periódusú pályára. Indítási tömege 2,7 tonna volt. A küldetést 3 évre tervezték, de a dolgok sajnos másképp alakultak: helyzetstabilizáló rendszerének hibájából a műhold szabálytalan forgásba kezdett és egyes gyengébben rögzített elemei leváltak róla. Az amerikai Közös Űrműveletek Központja (JSpOC) jelentése szerint 2016. március 26-án a 5 részre szakadt és a pályája is hirtelen megváltozott (e dátumot tekinthetjük a program végé-

nek). Később már tíz önálló darabról számoltak be. Amatőr észlelők is nyomon követték a Hitomi sorsát, néhány nagyobb fragmentum forgásáról adatokat is közöltek. Bár a JAXA bejelentette, hogy vették az űrtávcső jeleit, később kiderült, hogy azok máshonnan származtak. Az irányítók a fúvókákkal próbálták korrigálni, ami felgyorsult forgáshoz és további részek, pl. a napelemtáblák leszakadásához vezetett.

Már korábban is volt szó róla, hogy a 2020-as évek elején „hadrendbe állítanák” a Hitomi-2-t, amely elődjének közel ikertestvére, és az új japán H-3 rakétával került volna a világűrbe. Pótlása végül a XRISM űrobszervatóriummal történt meg – erre hamarosan visszatérünk. Rövid működése ellenére a Hitomi értékes munkát végzett. Két kutatást említenék meg, amelyek a tőlünk 240 millió fényévre található Perseus-galaxishalmazhoz kötődnek: az SXS műszerrel megvizsgálták a halmaz centrumában lévő röntgensugárzó gáz mozgását, a mért 590 ezer km/h-s sebesség pedig kozmikus szemszögből nézve igencsak visszafogottnak mondható. Ez azt mutatja, hogy a teljes gáznyomásnak – a központi fekete lyuk erőteljes jetjeinek dacára – mindössze 4%-a adódik a turbulenciából. A berendezés egy másik mérése alapján a galaxishalmazban a vas és a rokon elemek (nikkel, mangán, króm) mennyisége gyakorlatilag a Napéval egyező – ez viszont ellentmond az elméleteknek, amelyek szerint ezen anyagokból csillagunk kevesebbet tartalmaz. Hasonló vizsgálatokat korábban is végeztek, de az eredmények nem voltak egyértelműek: ezt részben a gyengébb spektrális felbontás okozta, másrészt a nikkel jellegzetes emissziója keveredik a vas erős karakterisztikus sugárzásával, ami akadályozza mennyiségük pontos meghatározását. A Hitomi adataiból egy kutatócsoportnak sikerült a két elem sugárzását különválasztani, valamint gyenge króm- és mangánvonalakat is kimutatni. A mérések alapján – a feltételezésekkel ellentétben – a halmazban található szilícium, kén, argon, kalcium, króm, mangán, vas és nikkel mennyiségi aránya a Napéval egyezik. Az eredmény ugyanakkor hozzájárulhat az Ia típusú szupernóvák jobb megértéséhez is.

A XRISM (*X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission*, ejtsd: krizm) egy röntgensillagászati obszervatórium, az eddigiekhez hasonló módon nemzetközi partnerekkel: a JAXA mellett a NASA, az ESA és a holland SRON is közreműködik (utóbbi egy konzorcium részeként). A galaxishalmazokat, a galaxismagok jetjeit és a sötét anyag mibenlétét vizsgálja. 2023. szeptember 6-án indult útjára a Tanegashima űrközpontból H-2A hordozórakétával, az ugyancsak japán SLIM holdszondával együtt. Pályája 550 km magasságú, 31° inklinációjú és 96 perc keringési idejű. Mivel a Hitomi utódjának tervezték, sokáig az ASTRO-H Successor, ASTRO-H2, majd előbbi elvesztése után az XARM (*X-ray Astronomy Recovery Mission*) munkaneveken hivatkoztak rá. A XRISM egyike azon japán tudományos űrküldetéseknek, amely külön projektmenedzsert és elsődleges kivizsgálót kapott, hogy elkerüljék a Hitomi-jellegű esetek megismétlődését. Műszerei: lágyröntgen-távcső (SXT, fő műszer 45 cm-es átmérővel és 5,6 m-es gyűjtőtávolsággal); lágyröntgen-spektrométer (Resolve); lágyröntgen képalkotó berendezés (Xtend). Előbbi a NASA GSFC által fejlesztett mikrokaloriméter-páros, utóbbi pedig a Hitomi SXI-jével azonos energiafelbontású röntgen CCD-kamera. Mint látható, a XRISM műszerparkja a lágyröntgen-tartományban dolgozik. A keményröntgen-távcső kiiktatását a NASA NuSTAR űrtávcsövének 2012-es munkába állása indokolta, amelynek szög- és energiafelbontása nagyon hasonló a Hitomi azonos rendeltetésű eszközhöz. Nagyon valószínű, hogy szükségesegek – de legalábbis mindenképpen hasznosak – lesznek a közös XRISM-NuSTAR észlelések a jövőben, ugyanakkor elképzelhető, hogy a japán holdat is alkal-

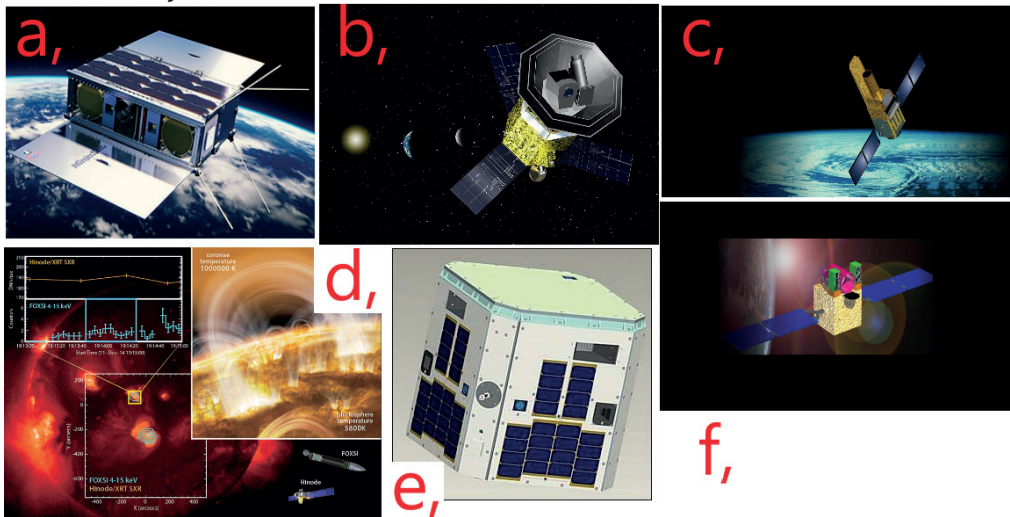
massá teszik a keményröntgen-hullámhosszak vizsgálatára. Sajnos a pályára állás után a Resolve érzékelője feletti védőredőny nem nyílt ki. Emiatt a berendezés felhasználhatósága az 1800 eV-nál nagyobb energiákra korlátozódik, noha „lefelé” 300 eV-ig dolgozna (az Xtend szabályosan működik). A küldetés tervezett időtartama 3 év, amit később meghosszabítottak 1 év 6 hónap 19 nappal [1]. Már a kezdeti teljesítmény-felmérő tesztek alatt (2024 februárjától kb. 6 hónapig) több eredmény is született, ezek közül hárommal meg is ismerkedhetünk. A Nagy Magellán-felhőben (LMC) 160 ezer fényévre lévő és kb. 3000 éves szupernóva-maradvány (N132D) hőmérsékletének meghatározása nehézelemek (vas, kén, szilícium) segítségével. A vas röntgenemissziója a maradvány külső részében 10 millió, míg a belsejében 10 milliárd °C körüli hőmérsékletekre utalt. Utóbbi extrém érték az erőteljes lökéshullámoknak köszönhető [10]. A Resolve segítségével a karakterisztikus vasvonalakat felhasználva sikerült rekonstruálni a 62 millió fényévre található NGC 4151 jelű spirális (egyben Seyfert-) galaxis közepében lévő szupernagy tömegű fekete lyuk környezetének szerkezetét. Ezek szerint az objektum körül egy gázból és porból álló sűrű gyűrű, afféle „molekuláris tórusz” kering, amelynek belső széle kb. 0,1 fényévre van a fekete lyuktól. A távolságadatokat a spektrumokból Doppler-elemzéssel nyert sebességtételekből vezették le. 2024 májusában ismét a Resolve műszert használva a kutatók a Cygnus X-3 rendszert vizsgálták meg. Ebben egy ún. Wolf-Rayet-csillag kering egy sűrű, kompakt objektum – nagy valószínűséggel fekete lyuk – körül. A csillag évente több Föld-tömegnyi anyagot veszít, társát pedig kevesebb mint 5 óra alatt kerüli meg. Az anyag egy része a fekete lyukba hullik, eközben egy másodperc alatt annyi energia szabadul fel röntgensugárzás formájában, amennyit a Nap kb. egy hónap alatt sugároz ki. E sugárzás a környező gázt ionizálja (ún. fotoionizált plazma jön létre). A Resolve adataiból kitűnik, hogy a fekete lyuk közelében lévő plazma néhány száz km/s-os sebességgel mozog. A Cygnus X-3 további, folyamatos megfigyelésével jobban megérthetjük a szoros kettős rendszerek dinamikáját és a fekete lyukak fizikáját [11].

A jelenlegi legújabb japán űrcsillagászati eszköz a NinjaSat, amely egy CubeSat: a 6 szabványos egységből álló (6U M6P típusú) nanoműholdas projekt a RIKEN vezetésével valósult meg, közreműködve a Mitsui Bussan Aerospace és a litván Kongsberg NanoAvionics cégekkel. Küldetésének célja fényes röntgenforrások, főleg szoros kettősök folyamatos megfigyelése (egyik célpontja az első röntgenforrásként azonosított Scorpius X-1). Ehhez két önálló gáztöltésű sokszorozó számlálót (GMC) használ az űreszköz mindkét végén, és két sugárzásiövezet-megfigyelőt (RBM) is [17]. 2023. november 11-én indult Vandenbergből (Kalifornia, USA) egy Falcon-9 rakétával, több tucat műhold kíséretében [3]. Jelenleg egy 402,5 km × 412 km magas, 97,4° inklinációjú és 92,6 perces keringési idejű pályán mozog [19].

A teljesség kedvéért e fejezet végén szólnunk kell még pár dologról. Az orbitális obszervatóriumok megjelenése előtt Japánban is először kutatóballonokat alkalmaztak. Az első ballonfelszállás 1960 táján történt, amelynek során egyetemek végeztek kísérleteket a kozmikus sugárzás és az atmoszféra tanulmányozására. 1965-ben az ISAS a ballonok fejlesztésére és működtetésére központot hozott létre a Tokiói Egyetemen. 1971-ben létrehozzák a Szanriku Ballonközpontot (Szanriku-cso, ma Ofunato), hogy az addigi két ballonindítási helyszínt egyesítsék. A nagyobb példányoknak továbbra is a különálló Taiki Légipark (Hokkaidó) adott helyet, ahová végül az egész apparátust áthelyezték, 2008 áprilisában. 1971 óta átlagosan 10 felszállás történik évente, amelyek között infravörös, röntgen- és gamma-csil-

lagászati, a kozmikus sugárzást vizsgáló és nagyenergiás űrfizikai kutatások szerepelnek. Manapság itt is komolyabb nemzetközi együttműködés van jelen: a japán kutatóballonok több alkalommal az Egyesült Államok, India, Norvégia, Oroszország, Kanada és az Antarktisz területéről emelkedtek fel, de a NASA-val, Indiával és Brazíliával közös kísérletek is folytak. Egy 2004-ben és 2007-ben folytatott JAXA–NASA felszállás alkalmával pl. a kozmikus sugárzás antiprotonjainak energiaspektrumát határozták meg az antarktisi McMurdo állomásról, Indiával pedig a Tejútrendszer centrumának Japánból nem látható részét észlelték infravörösben [18].

A ballonok mellett a japán csillagászok gyakran alkalmaznak kutatórakétákat is műszereik magasba juttatására, olykor amerikai kutatókkal együttműködésben. Erre a legjobb példa a FOXSI (*Focusing Optics X-ray Solar Imager*) műszeregyüttes, amellyel a Napot vizsgálják röntgentartományban. Ehhez hét különálló Wolter-I rendszerű röntgenteleszkópot és a hozzájuk tartozó szilícium/kadmium-tellurid detektorokat tartalmaz. Érdekesség, hogy az utóbbiakat eredetileg a Hitomi számára fejlesztették ki. A FOXSI háromszor (2012, 2014, 2018) repült egy amerikai Black Brant IX rakétával. A kb. 15 perces repülési időből kb. 5 perc jutott a megfigyelésekre. A Hinode obszervatóriummal közösen észlelt naphflereket csillagunkon.



5. ábra: A NinjaSat (a), a LiteBIRD (b), a JASMINE (c) és a HIZ-GUNDAM (f) műholdak fantáziaképe. A Nap naphflerjei a Hinode és a FOXSI mérései alapján, háttérben a Hinode felvétele (d). A Nano-JASMINE fantáziaképe. (Képek: ISAS, JAXA / Ishikawa et. al., ISSL / eoportal.org)

## A közeljövő űrcsillagászati eszközei

És most vessünk néhány pillantást Japán már készülő űrobszervatóriumaira, illetve azokra, amelyek fejlesztésében a JAXA részt vesz. (Gondolom, nem okozok meglepetést azzal, hogy ezek mind nemzetközi összefogással valósulhatnak meg.) Az első közülük a napkutató sorozat újabb tagja, a SOLAR-C,

amely jelenleg *High-sensitivity Solar Ultraviolet Spectroscopic Satellite* néven fut. A küldetést Japán vezeti amerikai és európai résztvevőkkel. Fő műszerét, az EUV-tartományra érzékeny EUVST (*EUV High throughput Spectroscopic Telescope*) távcsövet az ISAS és a NAOJ fejleszti. A tudományos központ pedig a Nagojai Egyetem ISEE (*Institute for Space-Earth Environmental Research*) részlegében fog működni. Célja azoknak az energia-felszabadulási, energia- és tömegátadási folyamatoknak megfigyelése, amelyekkel jobban megérthetők a Nap-Föld kapcsolatok (űrirdőjárás), valamint ezek múltbeli alakulása is (űrklima). Emellett segíthet tisztázni a nagyon forró plazmák kialakulásának körülményeit az Univerzumban. Az EUVST főtükreinek átmérője 28 cm, fókusz távolsága 280 cm lesz. Egy spektrográffal és egy réses képalkotó berendezéssel (*slit-jaw imager*) is el lesz látva, de terveznek hozzá egy a teljes napkorongot UV-ben észlelő eszközt is (*Solar Spectral Irradiance Monitor*, SoSpIM). Az EUVST 0,4 ívmásodperces felbontása 10-szer lesz jobb a Hinode EIS műszerénél. Széles hőmérsékleti tartományban vizsgálja a „felszíni” alakzatokat és jelenségeket, a kromoszférát és a koronát, az idő- és térbeli változásokat, nagy felbontóképességgel, továbbá spektroszkópiai méréseket is végez. A különböző módokon szerzett adatok kombinálásával a kutatók részletesebb képet kaphatnak a dinamikus naplégkör jelenségeiről. Az űreszköz Epsilon hordozórakétával indulhat útnak a 2028-as költségvetési évben [2].

A következő eszköz megint csak ismerős lehet azoknak, akik követik az űrkutatási híreket: a NASA Nancy Grace Roman (vagy röviden csak Roman) űrtávcsövének programjába a JAXA is bekapcsolódott. A Hubble-űrtávcső (HST) utódjaként is emlegetett obszervatórium a NIR és az optikai B (kék) között lévő tartományban fog dolgozni (0,48–2,3 mikrométer). Főtükre a HST-vel azonos átmérőjű (2,4 m), de f/7,9 fókuszarányú. Ez a WFI nagylátószögű berendezéssel kiegészülve elődjénél 200-szor nagyobb látómezőt tesz lehetővé infravörösben. Ezenkívül a tervek szerint felkerül rá a CGI is, ez egy két koronagráfot tartalmazó műszer lesz exobolygó-észlelésekhez. Utóbbit a Goddard Űrközpont építi, de a hozzá tartozó optikai elemeket a JAXA adja, emellett a felszíni állomásokkal és obszervatóriumokkal történő megfigyelések koordinálását is a japán űrügynökség végzi. Az űrtávcső feladata a sötét anyag és energia nyomainak keresése, exobolygók utáni kutatás és ezek leképezése lesz, emellett kozmológiai és infravörös asztrofizikai vizsgálatokat is végez [2]. Működését 5 évre tervezik. A Nap-Föld rendszer  $L_2$  librációs pontja körül áll majd egy 188 420 – 806 756 km-es ún. halópályára. Indítása 2026 októberében vagy 2027 májusában esedékes a Kennedy Űrközpontból, Falcon Heavy rakétával.

A JAXA részt vesz az ESA ARIEL (*Atmospheric Remote-sensing Infrared Exoplanet Large-Survey*; mostanában: Ariel, ha nem tévesztik össze az azonos nevű régebbi brit programmal) űrtávcsövének építésében. Feladata exobolygók megfigyelése átvonulásos (transzit) módszerrel, miközben meghatározza kémiai összetételüket és hőmérsékleti jellemzőiket (a programban nagyjából 1000 bolygóval számolnak). Felbocsátását 2029-ben tervezik Francia Guyanából egy Ariane-6 hordozórakétával. Útitársa a szintén európai és készülőfélben lévő Comet Interceptor lesz, amellyel egy hosszú periódusú üstökösöt kívánnak felkeresni, és amelynek programjában a JAXA is szerepet kap. Az Ariel a Romanhez hasonlóan a Nap-Föld rendszer  $L_2$  pontja körül fog keringeni. A küldetés időtartamát 4 évben határozták meg. Fő műszere egy Cassegrain-teleszkóp lesz elliptikus főtükörrel (átmérő 1,1 m × 0,7 m, f/13,4, 0,64 m<sup>2</sup> gyűjtőfelület), amely az infravörös és a látható hullámhosszakon való észlelésre lesz alkalmas (0,5–7,8 mikrométer) [2]. Ehhez a berendezést 55 K-re hűtik. Egyetlen műszere az AIRS (*Ariel Infrared*

*Spectrometer*): ennek optikai elemeit, valamint exobolygó légkörök modelljeit és a földfelszíni háttér-megfigyeléseket biztosítja a japán fél. A távcső hűtéséhez és hővédelméhez szükséges technikákat lényegében a szintúgy európai Planck és a javasolt, de végül elutasított ECHO (*Exoplanet Characterisation Observatory*) szondáktól örökölte. E technikák fejlesztésében és az űrtávcső munkájában magyar cégek és kutatóintézetek is részt vesznek [12].

A most következő WSO-UV (*World Space Observatory-Ultraviolet*) neve valószínűleg sokunknak semmit sem mond. De talán tisztább lesz a kép, ha kiderül: valójában az orosz Szpektr-UF obszervatóriumot takarja új néven (vö. az előző rész végén, Űrtan Évkönyv 2022). A projektet a Roszkoszmosz vezeti, de közreműködik az Orosz Tudományos Akadémia Csillagászati Intézete (INASAN), Spanyolország és Japán is ([14] szerint Japán helyett Mexikó szerepel partnerként, bár utóbbi szerepét nem részletezték az egyébként 2016 óta nem frissített lapon). Az űreszköz célja elsőként észlelni földszerű exobolygók felsőléggkörét ultraibolya tartományban, szinképi úton [2] az 1,7 m átmérőjű főtávcső és az UVSPEX (*UV Spectrometer for Exoplanets*) méréseinek kombinálásával. A Földhöz hasonló planéták felsőléggköre tartalmaz oxigént – ami nagy vízmennyiségre utalhat a felszínen –, ezért nagy kiterjedésű, szemben pl. a Vénuszéval. A megfigyelések segíthetnek megkülönböztetni a lakható és lakhatatlan földszerű bolygókat is. A főtávcső orosz fejlesztés, míg az UVSPEX berendezést a JAXA és a Rikkjó Egyetem szállítja. A két eszköz összehangolását az INASAN és az IKI (az orosz űrkutatási intézet) vezeti. A japán kutatók emellett szimulációk készítésével segítik a célpontok kiválasztását [2]. További műszerei: vákuum UV Echelle-spektrográf (VUVES, orosz fejlesztés, távoli ultraibolyában működő nagyfelbontású spektrográf, 115–176 nm között); UV Echelle-spektrográf (UVES, szintén orosz, közeli ultraibolya nagyfelbontású spektrográf, 174–310 nm); LSS (orosz spektrográf kisebb felbontással, 115–303 nm). Terveznek még az űreszközhöz egy exobolygók közvetlen leképezésére alkalmas koronagrafot (SCEDI), amelyet Japánban készítenének. A programban korábban Németország is résztvevő volt, de pénzügyi okokból kilépett. Spanyolország is emiatt vonta vissza saját berendezéseit, helyette Oroszországgal együtt az FCU egységet fejleszti. Ugyanakkor az INASAN-nal való közös kezdeményezésként helyet biztosít a program tudományos központjának (Közös Ultraibolya Csillagászati Központ, JCUVA) a madridi Computense Egyetemen [15,16] Az űrtávcsövet geoszinkron pályára kívánják állítani Angara-A5 rakétával, de sem az indítást dátum, sem a pálya-adatok nem ismertek. Tervezett élettartama 5 év, amelyet esetleg ugyanennyivel meghosszabbíthatnak [13]. Ugyanakkor a Japán által 2025 márciusában hozott döntés, miszerint „az érzékeny, haditechnikai célokra használható információk védelmében” az ISAS létesítményeibe való belépési tilalmat kiterjesztette az orosz és kínai tudósokra is, valószínűleg kellemtlenül érinti az együttműködést a felek között [16].

## **Távlati elképzelések**

A JAXA által elfogadott, de még el nem kezdett programok között szerepel egy, amerikai COBE-hoz és a WMAP-hez hasonló űreszköz is: ez lesz a LiteBIRD (*Lite/Light spacecraft for the Study of B-mode polarization and Inflation from cosmic background Radiation Detection*). Feladata az Űsrobbanást követő inflációs időszak bizonyítására (kozmosz infláció: az elmélet szerint a téridő rendkívül gyors és nagy

mértékű kitágulása az Univerzum születésekor, az Ősrobbanás utáni  $10^{-36}$  –  $10^{-33}/10^{-32}$  másodperc között [12]). Ehhez érzékeny méréseket végez az egész égbolton a kozmikus háttérsugárzás (CBR) polarizációs jeleit vizsgálva. Az infláció az Ősrobbanás-teória kiegészítéseként feltételezi korai gravitációs hullámok kialakulását, amelyek nyomai elvileg felfedezhetők a CBR-ben ún. B-módusú polarizációs jelekként. A LiteBIRD is a Nap-Föld rendszer  $L_2$  pontjánál figyelné a teljes égboltot 3 éven keresztül. 15 frekvenciasávban és kb. 4500 detektorral fog vizsgálandni, így képes lesz megkülönböztetni a CBR, valamint a különböző előtérobjektumok és jelenségek (pl. por, szinkrotronsugárzás stb.) jeleit. A zajcsökkentés érdekében a műszereket 5 K-re hűtik. A küldetést a JAXA tervezi és vezeti, de pl. a Tokiói és az Okojamai Egyetemmel, emellett külföldi űrügynökségekkel (ESA, CNES, CSA) is együttműködik. A tervek szerint 2032-ben indulhat H-3 hordozórakétával [1].

A JASMINE (*Japan Astrometry Satellite Mission for INfrared Exploration*) a japán űreszközök közül elsőként a Tejútrendszer központi régiója csillagainak asztrometriáját fogja elvégezni (pozíció- és sebességmérés). Közeli infravörösben fog működni, mivel a térség a gáz és por miatt a látható fény tartományában nem észlelhető. A műhold által elvégzett ismétlődő NIR-asztrometria az exobolygók keresését is elősegíti, főleg az M-típusú csillagoknál: ezek kevésbé fényes csillagok, fényességük esetleges enyhe változásainak folyamatos követésével földszerű, akár életre alkalmas bolygókat is felfedezhetnek. Ehhez viszont a JASMINE-nek rendkívül stabilnak kell lennie pl. a rezgésekkel szemben, ezért speciális fémötövezetekből készítik. A kapott észlelési adatokat számos statisztikai módszerrel és szimulációval elemzik, ami lehetővé teszi a kérdéses csillag helyzetének 0,0001 ívmásodperces pontosságú meghatározását. Távcsovének nyílása kb. 36 cm-es lesz. A 3 évesre tervezett program leghamarabb 2028-ban indulhat.

A következő obszervatórium is a Világmindenség egyik kezdeti időszakát fogja kutatni. A HIZ-GUNDAM (*High-Z Gamma-ray bursts for UNraveling the Dark Ages Mission*) röntgen- és infravörös tartományban nyomoz majd a csillagok első generációja után, távoli GRB-ket keresve a korai Világegyetemben. Emellett neutroncsillag-ütközések és gravitációs hullámok elektromágneses nyomait is keresni fogja. Az elméleti számítások szerint az első generációs csillagok az Ősrobbanás utáni ún. rekombinációs időszakot követően kb. 200 millió évvel jöhettek létre ( $z \sim 20$  vöröseltolódás). Ezek több száz naptömegűek lehettek, mégsem találunk egyet sem. A GRB-k a legnagyobb energiájú robbanások a Világegyetemben, de mivel gamma-felvillanásaik csak legfeljebb néhány másodpercig észlelhetők, ezért utófényüket észlelnék röntgenben és NIR-ben. A GRB-k egy része nagyon nagy tömegű csillagok pusztulásakor (hipernóva) jelentkezik, amelyek megfigyelése bizonyíték lehet az első csillaggeneráció létrejöttére. Nagy vöröseltolódásuk révén – amely az Univerzum tágulásából és nagy távolságukból adódik – látható fényük főleg közeli infravörösben észlelhető (a maradék halvány látható fényüket az intergalaktikus semleges hidrogéngáz elnyeli). A GRB-k utófényének NIR-ben és röntgenben is történő kimutatása bizonyítaná a csillagok megtalálását. A GRB-k megfigyelése ugyanakkor segíthet meghatározni a galaxisok közti hidrogén ionizációs fokát, illetve az ehhez kapcsolódó folyamatok lefolyását az Univerzum ún. reionizációs időszakában. Másrészt e jelenségek rövidebb időtartamú képviselői kompakt objektumok ütközésével hozhatók kapcsolatba és gravitációs hullámokat produkálhatnak. Ezek kutatása segíthet jobban megérteni a gamma-kitörések fizikáját is. Az űreszköz műszerei a következők lesznek: nagy

látómezejű röntgendetektor (GRB-k észlelésére); infravörös teleszkóp (a célobjektum azonosítása utófény alapján, z meghatározása). Egyelőre kizárólag JAXA-projekt, de az információkat megosztják más kutatócsoportokkal, így lehetőség nyílik szélesebb körű vizsgálatokra is.

## **Törölt űrobszervatóriumok**

Mint az űrkatásban oly sokszor, a japán űrcsillagászatban is volt rá példa, hogy egy űreszköz végül nem kezdte meg munkáját. Ilyen volt a SPICA (*Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics*) is, mely a JAXA kezdeményezése volt, de benne az ESA és (kis mértékben) az SRON is szerepet vállalt. Feladata a bolygókeletkezést és a Tejútrendszer fejlődését övező kérdések tisztázása lett volna. 2027–2028 táján kezdte volna meg munkáját, ugyancsak a már említett  $L_2$  librációs pont környezetében. Fő műszere egy 2,5 m átmérőjű, 8 K-re hűtött infravörös távcső, két további berendezéssel kiegészítve: SAFARI (távoli infravörös), SMI (közepes infravörös). A program végét a JAXA és az ESA egyszerre jelentette be 2020. október 7-én.

Az ASTRO-G (vagy VSOP-2) a HALCA munkáját folytatta volna. Fő berendezése egy 9–10 m apertúrájú, Cassegrain-rendszerű antenna, ehhez rendkívül érzékeny vevők kapcsolódtak és dolgoztak volna a 8,4 GHz, 22 GHz és a 43 GHz frekvenciákon. Az 1,2 tonnás űreszközt egy 1000 km × 25 000 km-es pályára kívánták állítani  $31^\circ$  hajlásszöggel és kb. 7 óra 30 perces keringési idővel. Céljai: az AGN-ekben található fekete lyukak akkréciós korongjainak szerkezetvizsgálata, a különféle jeteket létrehozó és gyorsító régiók tanulmányozása, a galaxisok centrumában lévő ún. vízgőz-megamézerek kutatása, a Galaxis protocsillagjait övező magnetoszférák vizsgálata, vízgőz- és szilíciumoxid-megamézerek észlelése galaxisunk csillagkeletkezési régióiban. Az ambiciózus elképzelés megvalósítását leginkább technikai nehézségek gátolták: egy ekkora antennát a világűrben pontosan szétynitni még ma is nagyon nehéz. És mivel kiderült, hogy az egész terv a korábbi becslésekhez képest jóval több időt és pénzt igényel, a leállítás mellett döntöttek.

A Nano-JASMINE (*Nano-Japan Astrometry Satellite Mission for Infrared Exploration*) egy 35 kg-os, 50,8 m × 50,8 m × 51,2 m-es infravörös asztrometriai műhold, amelyet a NAOJ és a Tokiói Egyetem Intelligens Űrrendszerek Laboratóriuma (ISSL) fejlesztettek. Műszere egy 5,25 cm átmérőjű és 167 cm fókuszú Ritchey-Chrétien-távcső, az infravörös tartományban (600–1000 nm) végzett volna egyszerűbb észleléseket a Tejútrendszer központja táján. Eredetileg az európai CHEOPS (*Characterizing Exoplanets Satellite*) űrtávcsővel együtt indult volna 2019 decemberében, azonban a kis műhold mégsem került fel a rakétára (más források 2022-t jelölték meg céldátumként). Végül 2023-ban törölték az indítást, az űreszköz pedig a Kakamigaharai Repülési és Űrmúzeumban lett kiállítva.

## **Utószó**

Láthattuk, hogy Japán kiterjedt és jól működő űrcsillagászati háttérrel rendelkezik mind történelmi, mind tudományos-technikai, mind pedig politikai szempontból. Utóbbi azért is fontos, mert sok tekintetben a fennálló széles körű együttműködés véleményem szerint pozitív hatással van az egész

programra. És sajnos a „geopolitikai polarizáció” itt is jobban kezd érvényesülni, mint korábban, aminek egyik „lenyomata” az újabb űrverseny is. Ez talán nem lesz komolyabb hatással a tudományos és főként a mindennapi életre.

*Köszönetnyilvánítás:* Mint az előző rész végén, itt is szeretnék köszönetet mondani mindenkinek, aki kutató- vagy gyűjtőmunkájával hozzájárult ahhoz, hogy írásom tartalmas, informatív és érthető legyen. Szeretném külön kifejezni hálámat volt páromnak és második öcsémnek, hogy lehetőségeik szerint biztosították az eszközöket e mű összeállításához. Hálával tartozom a Magyar Asztronautikai Társaságnak, amiért – számos tényező ellenére – lehetővé tették, hogy jelen írás az érdeklődő nagyközönség számára is elérhető legyen. Végezetül a családomat is nagy köszönet illeti, mert egy számomra nehéz időszakban igyekeztek segíteni a munkámat és ezalatt nagyfokú türelmet tanúsítottak.

### *Irodalomjegyzék (tájékoztató jelleggel)*

- [1] Az angol nyelvű Wikipedia aktuális szócikkei ([en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org))
- [2] Az egyes űrobzervatóriumok ismertetése az ISAS oldalon ([isas.jaxa.jp](http://isas.jaxa.jp))
- [3] Rövid leírás az űrküldetésekről – Gunter's Space Page ([space.skyrocket.de](http://space.skyrocket.de))
- [4] JAXA missions – IRTS (archivált; [web.archive.org](http://web.archive.org))
- [5] The 900-million-km-long journey of asteroids that brought us the materials of life - ...([isas.jaxa.jp](http://isas.jaxa.jp))
- [6] Space telescope detects water in a number of asteroids - Near Infrared... ([isas.jaxa.jp](http://isas.jaxa.jp))
- [7] High Resolution Far Infrared All-Sky Image Data Released... ([isas.jaxa.jp](http://isas.jaxa.jp))
- [8] Hisaki witnesses Martian dust storms changing Mars's upper atmosphere:...([isas.jaxa.jp](http://isas.jaxa.jp))
- [9] Warm gas in the core of galaxy cluster? – the first... ([isas.jaxa.jp](http://isas.jaxa.jp))
- [10] Early Science Results From XRISM: Ultra-High Temperature... ([isas.jaxa.jp](http://isas.jaxa.jp))
- [11] XRISM Captures Stellar Winds and Black Hole Motion:...([isas.jaxa.jp](http://isas.jaxa.jp))
- [12] A magyar Wikipédia aktuális szócikkei ([hu.wikipedia.org](http://hu.wikipedia.org))
- [13] WSO-UV az INASAN honlapján ([inasan.ru/en/sw/wso-uv](http://inasan.ru/en/sw/wso-uv))
- [14] About Spektr-UF/WSO-UV ([wso-uv.es](http://wso-uv.es))
- [15] A JCUVA oldala ([jcuva.ucm.es](http://jcuva.ucm.es))
- [16] Japan bans Chinese, Russian researchers at ISAS–Philippine News Agency, PNA ([pna.gov.ph/articles](http://pna.gov.ph/articles))
- [17] Japan's research institute RIKEN
- [18] A New World of Scientific Balloons – interjú Dr. Tetsuya Yoshidával, a JAXA-ISAS Tudományos Ballonrészlegének professzorával ([global.jaxa.jp](http://global.jaxa.jp))
- [19] NinjaSat ([in-the-sky.org](http://in-the-sky.org))

# A második magyar űrhajós és az „Útitárs” program

Schuminszky Nándor,  
Vincze Miklós

Magyar  
Asztronautikai  
Társaság, Budapest

*Kapu Tibor, a „második magyar nemzeti űrhajós” 2025 nyári űrrepülése ráirányította a társadalmi figyelmet arra a kérdésre is, hogy kit is tekinthetünk űrhajósnak. Ami biztos, hogy Magyarországnak a HUNOR Magyar Űrhajós Program előtt két űrhajója volt. Sajnos a múlt idő egyikük, Magyarai Béla halálára utal, aki 2018. április 23-án távozott el közülünk.*

Az 1980-as szovjet-magyar űrrepülés után az akkori rendszer különbséget tett a világűrben járt Farkas Bertalan és a tartalék Magyarai Béla között. Míg az előbbi az első magyar űrhajós címet kapta meg jogosan, addig Magyarai Béla „kiképzett” űrhajósként szerepelt a sajtóban és így ment át a köztudatba is. Sajnos még Magyarai Béla fia is a „kiképzett” titulust használja, ezért neki is feltehető ez a kérdés: hogyha Béla kiképzett űrhajós volt, akkor Berci kiképzetlen maradt? Természetesen ez csak ugratásként jöhetett szóba, hiszen mindketten alapos kiképzésben, felkészítésben részesültek az űrutazás előtt. Az 1. kép tanúsága szerint Magyarai Béla is ugyanolyan űrhajós volt, mint Farkas Bertalan. Csak ő nem jutott el a világűrbe, Bercivel ellentétben.



1. ábra: Magyarai Béla űrhajósi kinevezése a Kiskunfélegyházi Múzeumban

Egy pillanatra ugorjunk át az óceánon túlra, bár a lényegét tekintve a szovjet/orosz folyamat is megegyezik az amerikaival. Amikor meghirdetik a lehetőséget űrhajósnak való jelentkezésre, akkor az orvosi kiválogatás után maradnak az űrhajósjelöltek. Az így kialakult csoportok kezdik meg a felkészülési tréninget, amelynek részleteitől most eltekintünk. A lényeg, hogy nagyjából 2 éves felkészülés után – az Interkozmosz-programban ez 1 év volt – következhet a vizsga, amelynek sikeressége esetén lettek a jelöltekből űrhajósok (űrhajós pilóták, fedélzeti mérnökök, küldetésszakemberek, kutatóűrhajósok stb.).

Ezek után jön egy választóvonal. A kiképzett (vizsgázott) űrhajósok – az eddigi statisztikai adatok szerint a jelöltek nagyjából a harmada – eljuthatnak a világűrbe. Az ő űrrepülésük azonban nem változtat a többiek űrhajós státusán. Egy földi hasonlat: a diplomázott (vizsgázott) sebészek közül is lesznek olyanok egy adott időben, akik nem operáltak még, és lesznek olyanok, akik már túl vannak az első, sőt akár több műtéten.

No.	Rank	Name	Profession / Armed forces	Age	Retirement	Age
01	---	Joseph P. Allen	Physicist	30	01.07.1985	48
02	---	Philip K. Chapman	Physicist	32	??.07.1972	37
03	---	Anthony W. England	Geophysicist	25	31.08.1988	46
04	---	Karl G. Henize	Astronomer	40	??.04.1986	59
05	---	Donald L. Holmquest	Physician	28	??.09.1973	34
06	---	William B. Lenoir	Electrical Engineer	28	??.10.1984	45
07	---	John A. Llewellyn	Chemist	34	06.09.1968	35
08	---	F. Story Musgrave	Physician	26	02.09.1997	62
09	---	Brian T. O'Leary	Astronomer	27	23.04.1968	28
10	---	Robert A.R. Parker	Astronomer	30	??.??.1993	56
11	---	William E. Thornton	Physician	38	31.05.1994	65

**Astronaut training:**  
 ?? 08.1967 Allen, Chapman, England, Henize, Holmquest, Lenoir, Llewellyn, Musgrave, O'Leary, Parker, Thornton

**Examination:**  
 ?? ?? 1969 Allen, Chapman, England, Henize, Holmquest, Lenoir, Musgrave, Parker, Thornton  
 without Llewellyn, O'Leary

2. ábra: A NASA 6. űrhajóscsoportja. Jól látható, hogy a 11 jelöltből 9-en vizsgáztak, ketten nem. A 9 (vizsgázott) űrhajósból 7 jutott el a világűrbe, Chapman és Holmquest nem

1980-ban tehát Magyarországnak két űrhajója volt; az egyikük, Farkas Bertalan eljutott a világűrbe, Magyarai Béla azonban nem léphette át azt a bizonyos küszöböt. 2007-ben Charles Simonyi révén ismét magyar szavak hangzottak el a világűrből. A magyar médiumok túlnyomó többsége második magyar űrhajósról értekezett, ismét tévedést elültetve az olvasókban, tévénézőkben, rádióhallgatókban. Ifj. Simonyi Károly valóban Magyarországon született, és itt is nőtt fel 18 éves koráig. Ezután előbb Dániá-

ba, majd az Egyesült Államokba ment, ahol amerikai állampolgár lett, az amerikai űrhajósok számát gyarapította. Eltekintve a pozíciójától, mind a keleti, mind a nyugati űrtáblázatokban természetesen amerikainak tüntetik fel. Nekünk is illőbb lenne a magyar születésű jelzót alkalmazni, még azok ismeretében is, hogy Simonyi büszke magyar származására, és sohasem tagadta meg szülőhazáját.



3. ábra. Charles Simonyi emblémája. A rajta szereplő lobogókról írja ő a Charles in Space oldalán: „Az amerikai lobogó jelenti azt, hogy én amerikai vagyok. A piros-fehér-zöld színek azt, hogy Magyarországon születtem és ott nőttem fel. Az orosz lobogó pedig azt jelképezi, hogy Szozuz űrhajón juthattam el a világűrbe”

2020. május 26-án a Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtérrel jelentkezett be Szijjártó Péter külgazdasági és külügyminiszter brüsszeli útja előtt, és bejelentette, hogy 2024–25 körül újabb magyar űrhajós mehet a világűrbe. Aki figyelemmel kísérte a magyar médiumokat, némi meglepetéssel tapasztalhatta, hogy Charles Simonyi űrrepüléséhez képest megfordult az arány. Jóval kisebb számban használták, használják a második magyar űrhajós megnevezést, inkább megkerülik azt: „újabb magyar űrhajós”, „hazánk űrhajóst küld az ISS-re”, „öt év múlva ismét embert küldünk az űrbe” stb. kifejezésekkel. 2020 decemberére már teljes a bizonytalanság; a hírek szerint „megkezdődik a magyar űrhajós kiválasztása”. A Haditechnika 2020/3. és 4. számában dr. Remes Péter korrekt kifejezést használ. Cikkorozatának címe: A második magyar űrrepülés űrorvosi feladatai. Logikailag egyszerűen levezethető, hogy a második magyar űrrepülésnek csak a második magyar űrhajós lehet a részvevője.

### **A SUMISPACE „Útitárs” program**

2023. január 31-én a HUNOR program részéről hivatalosan tájékoztatták a szerzőket, az akkor SUMIMANT „Útitárs” munkacímen futó program ötletgazdáját a pályázatuk kedvező elbírálásáról, a döntési folyamat részleteiről. Bár egy oktatási-ismeretterjesztési (még inkább „bevonási”) jellegű tervről van

szó, pályázatunknak végig kellett mennie – az eszközfejlesztési-tudományos projektekhez hasonlóan – egy, az ESA pályázati rendszerével harmonizáló értékelési folyamaton. Ennek keretében tíz szakértő, köztük a HUNOR program, az ESA és a houstoni Axiom Space szakemberei nemcsak pontozták, hanem írásban is értékelték a pályázatunkat. Az elsődleges szempontok közül is kiemelkedően vették figyelembe, hogy az „Útitárs” program végrehajtása jelent-e bármilyen biztonsági kockázatot az űrállomásra. Esetünkben nyilvánvalóan nem, mivel a neveket és fotókat tartalmazó microSD kártya semmiképpen nem kerül kapcsolatba az ISS számítógépes rendszerével.

A beérkezett pályamunkákat a zsűri – a független értékelések súlyozott egybevetését követően – a „nem támogatott”, „feltételekkel támogatott” és „támogatott” kategóriákba osztályozta. A kapott pontok alapján a SUMIMANT „Útitárs” program az utóbbi kategóriába került.

A bizottság értékelte, hogy a technikailag – viszonylag – egyszerű megvalósíthatóság mellett jelentős „kulturális hasznot” hozhat. Az űrtevékenység iránt érdeklődő, lelkes fiatalok kicsit a második magyar űrhajós digitális útitársaivá válhatnak, ezzel is erősítve azt az üzenetet, hogy ez az űrrepülés nem csupán a magyar tudomány és műszaki technika nagy lehetősége, hanem társadalmunk szélesebb rétegeinek is maradandó, közös élménye lehet.

### **Mit jelent a SUMISPACE-Útitárs?**

A kezdetben SUMIMANT (*Send Up My Image via MANT* – Küldd fel a képem a MANT-on keresztül) „Útitárs” munkacímet viselő programunk fő célja az volt, hogy felkeltse és fenntartsa a közvélemény, elsősorban a természet- és műszaki tudományok iránt fogékony fiatalok érdeklődését a HUNOR űrrepülés iránt (HUNOR, *HUNgarian to ORbit*, Magyarat a Föld körüli pályára). Ennek leghatékonyabb módját a személyes „részvétel” élménye jelenti, azaz az „Útitárs” program révén – szimbolikus módon ugyan, de – maguk is a küldetés résztvevőinek érezhetik magukat.

2025 februárjára nyilvánvalóvá vált, hogy a MANT helyett – habár a pályázat 2022-es benyújtása a Társaságon keresztül történt – az űrelektronikai fejlesztésekben nagy tapasztalatokkal rendelkező és a HUNOR programba amúgy is több tudományos kísérlet révén bekapcsolódó SGF Kft. tudta „befogadni” a projektet, és a HUNOR program és az Axiom felé biztosítani a szigorú szerződéses feltételeket. A program hivatalos neve innentől SUMISPACE-Útitárs lett, amelyben a SUMISPACE rövidítés feloldása: *Send Up My Image to Space* (Küldd fel a képen az űrbe).

A programban Kapu Tibor magával vitt az ISS-re, majd vissza is hozott a Földre egy 64 GB-os microSD kártyát, amelyen a SUMISPACE weboldalon ([www.sumispace-utitars.hu](http://www.sumispace-utitars.hu)) keresztül feliratkozók neveit tartalmazó szövegfájl, illetve az általuk a rendszerbe feltöltött arcképek kapnak helyet.

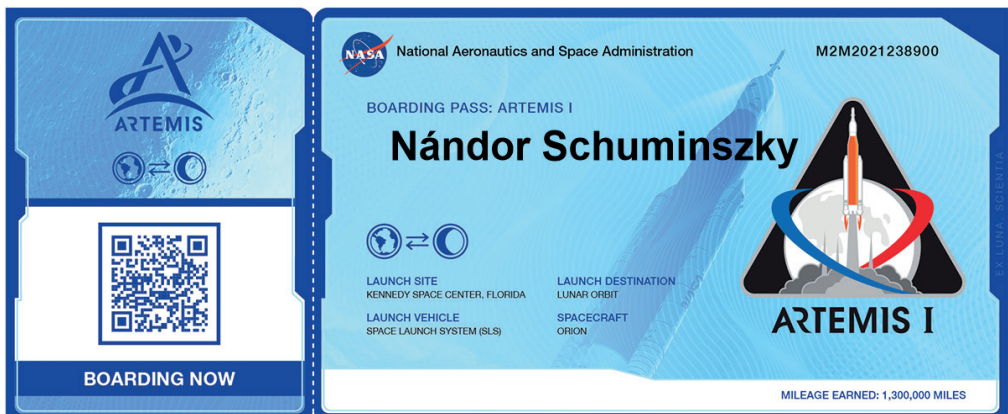
A kártya kíséretében 10 kisméretű (20.5 cm × 14.5 cm-es), poliészterből készült címeres magyar lobogó (4. kép) is repült, amelyek közül kilenc (a memóriakártyával együtt) a repülés teljes ideje alatt a Dragon űrhajó fedélzetén maradt, egy tizedik lobogót azonban az űrhajós személyes tárgyai közé csomagoltak el, és az egyik videóbejelentkezés alkalmával be is mutatott a nagyvilágnak – hasonlóan ahhoz, ahogy ezt Charles Simonyi is megtette (7. és 8. ábra).



4. ábra: (a) A SUMISPACE program lobogói (egymásra rakva) Houstonban, a csomagolás előtt; (b) Kapu Tibor és Peggy Whitson parancsnok az egyik SUMISPACE lobogó társaságában, egyik videós bejelentkezésük alkalmával

## Hasonló kampányok a múltban

A NASA az 1999-ben felbocsátott – balsikerű – Mars Polar Lander szonda küldetése előtt indított először hasonló, elsősorban gyermekeket célzó „Send your name to Mars” (Küldd el a neved a Marsra) kampányt. Az interneten akkor feliratkozó mintegy egymillió „utas” nevét egy CD-ROM-ra írva helyezték el az űreszközön. Az igen népszerű kezdeményezést később sok hasonló követte: a 2021-ben Marsot ért Perseverance szilíciumlapkáján például már közel tizenegymillió név kapott helyet, de az új Orion űrhajó Artemis-1 nevű küldetésére is fel lehetett ilyen módon iratkozni. A 2014-es évtől kezdve (amikor az Orion űrhajó legelső, EFT-1 jelű tesztrepülésén utaztattak neveket) a NASA nem egyszerű emléklapokat, hanem a repülőjáratok beszállókártyáit imitáló stílusú „jegyeket” bocsátott, és bocsát ki a jelentkezőknek.



5. ábra: Az Artemis-1 beszállókártyája

Az ilyen kampányok fontos eleme, hogy a jelentkezők egy letölthető, kinyomtatható, sorszámozott online emléklapot kapnak, amely tanúsítja, hogy nevük rákerült az űreszközre. Újabban mindehhez egy adatbázis is tartozik: a résztvevők a sorszám ismeretében utólag is megtalálhatják és később is megtekinthetik, lementhetik emléklapjukat.

## A SUMISPACE beszállókártya

A SUMISPACE „Útitárs” program megvalósításának legfontosabb eleme a feliratkozó honlap volt, amely a sumispace-utitars.hu domainnéven üzemelt. A korábbi hasonló kampányokhoz képest fontos újítást jelentett, hogy itt lehetőség nyílt kisméretű (egy megadott, néhány kB-os küszöbértéket át nem lépő) képek feltöltésére is a rendszerbe. Mind a képek, mind a nevek rákerültek az úrutazáson részt vevő memóriakártyára.

A felhasználói felületen a jelentkező beírhatta a nevét, illetve – ha élni kívánt ezzel a lehetőséggel – feltölthette a fényképét, s opcionálisan azt is választhatta, hogy a letölthető beszállókártyáján arcképe

egy űrruha keretben jelenjen meg (6. ábra). Az áprilisi (szűkös) határidőig szép számú, 3305 feliratkozó érkezett, akiknek mintegy kétharmada fényképet is küldött az űrbe.



6. ábra: A SUMISPACE „Útitárs” beszállókártya „szkafanderes” változatának látványterve



7. ábra: Charles Simonyi (Ifj. Simonyi Károly) az első magyar lobogóval a Nemzetközi Űrállomás fedélzetén. A fotózkodás hagyományait Kapu Tibor űrhajósunk is folytatta

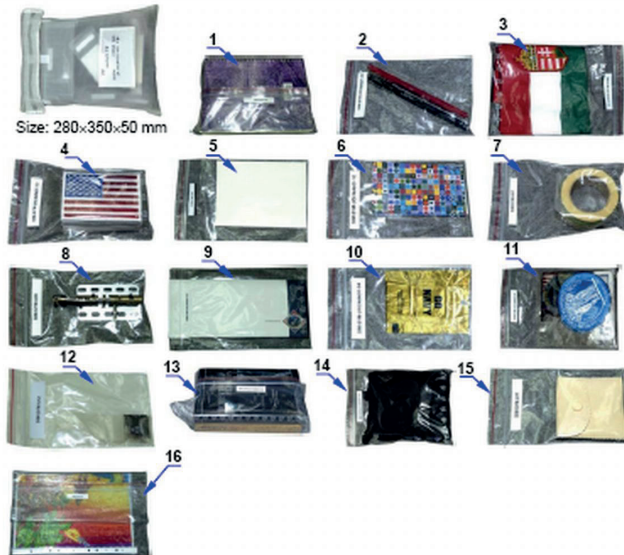
## A repülés utáni szakasz

A memóriakártya (és az egyik lobogó) a Magyar Nemzeti Múzeumba került 2025. december 2-án, egy ünnepélyes átadó keretében, ahol Kapu Tibor és Ferencz Orsolya miniszteri biztos a többi űrben járt lobogót is átnyújtotta a kiválasztott reprezentatív szervezeteknek és személyeknek. Kapott lobogót Kapu Tibor, Farkas Bertalan és Cserényi Gyula is, továbbá a Magyarai Béla életút-kiállítását üzemeltető Kiskun Múzeum, az ELTE Kármán Laboratóriuma, Kistarcsa és Budapest XVI. kerületének önkormányzata, e cikk első szerzője (S. N.), illetve a Magyar Asztronautikai Társaság is. A MANT-os lobogó a terveink szerint egy iskolásoknak szóló űrhajózási-űrutasítási csapatvetélkedő vándordíja lesz majd. Meggyőződésünk, hogy ez a „bevonódás élményén” alapuló projekt kimutathatóan hozzájárult a HUNOR-küldetés, és általában az űrtevékenység iránti érdeklődés felkeltéséhez.

TM-12 Mission equipment 1-4 23-Mar-07

Kit SIMONYI УКЛАДКА №5 with symbolic items and C.Simonyi personal belongings (SM-DVCAM150-U05 №11):

#	Name	Designation	Quantity
1.	Notepad	SIM-SYM-U01	1
2.	Fountain pen	SIM-SYM-U02 №01 --- 02	2
3.	Hungarian flag	SIM-SYM-U03 №01 --- 02	2
4.	American flag	SIM-SYM-U04 №01 --- 10	10
5.	Envelop with postcard 'Pavel Popovitch'	SIM-SYM-U05	1
6.	Visiting card	SIM-SYM-U06 №01 --- 12	12
7.	Computer tape	SIM-SYM-U07	1
8.	Metallic ISS mock-up	SIM-SYM-U08	1
9.	Envelop with sheet of paper	SIM-SYM-U09 №01 --- 03	3
10.	Sheet of foil	SIM-SYM-U10 №01 --- 04	4
11.	Chevron	SIM-SYM-U11 №01 --- 06	6
12.	Pack with Hungarian soil	SIM-SYM-U12	1
13.	Book	SIM-SYM-U13 №01 --- 02	2
14.	Set with earplugs and eye mask	SIM-SYM-U14 №01 --- 03	3
15.	Case with sign 'Biplan'	SIM-SYM-U17	1
16.	Children picture	SIM-SYM-U18 №01 --- 03	3



8. ábra: A Charles Simonyi által felvitt személyes tárgyak listája, köztük a címeres magyar lobogó (3)

# A Magyar Asztronautikai Társaság 2024–2025. évi tevékenységéről

## Hazai űrkörkép 2023/2024

A MANT gondozásában, a Külgazdasági és Külügyminisztérium (KKM) Űrpolitikáért és Űrtevékenységért Felelős Főosztályának, valamint a Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóságnak (NMHH) a támogatásával 2024 elején megjelent a **Hazai űrkörkép 2023/2024** című kiadvány, magyar és angol nyelvű változatban is. Célja, hogy betekintést nyújtson a hazai űrszektor sokszínű tevékenységébe, bemutatva azokat a kis- és középállalkozásokat, kutatóhelyeket és egyetemi műhelyeket, amelyek űrkutatással és űrtevékenységgel foglalkoznak Magyarországon. Célja, hogy olvasói – itthon és külföldön egyaránt – minél könnyebben fel tudják venni a kapcsolatot azokkal a szervezetekkel, amelyek felkeltették a szakmai érdeklődésüket.

A Hazai űrkörkép először 2019-ben, majd 2020-ban és 2021/2022 fordulóján látott napvilágot. A legfrissebb változat adatai a 2023. október végi állapotot tükrözik. A kiadvány az előző években kedvező fogadtatásra talált mind Magyarországon, mind világszerte azok körében, akik érdeklődnek a magyar űrtevékenység iránt, netán üzleti partnert keresnek.

Ahogy a magyar űrtevékenység is örvedetesen bővül, úgy lesz évről évre egyre nagyobb a Hazai űrkörkép terjedelme. A legutóbb még 80 oldalas kiadvány terjedelme 92 oldalra nőtt, vagyis még több szervezet szerepel benne. Mindegyikükre egy-egy oldal jut, ahol röviden bemutatják tevékenységük legfontosabb elemeit. A szövegeket, képeket és elérhetőségi adatokat a szervezetek maguk szolgáltatották. A könnyebb áttekinthetőség és a partnerek keresésének elősegítése érdekében megjelölték a szervezetek legfontosabb kutatási területeit és technológiai kompetenciáit, utóbbiak esetében az Európai Űrügynökség (ESA) által alkalmazott besorolást követve. Az eligazodást és keresést piktogramok és áttekinthető táblázatok segítik. A Magyar Kereskedelmi és Iparkamara Űripari és Védelmi Ipari Kollégiumával való együttműködés révén potenciális űripari beszállítók is bekerültek az új kötetbe. Ezek a cégek jelenleg még nem aktívak az űripar területén, de készen állnak erre.

## Pár perc súlytalanság – diákpályázatunk díjazottai

A MANT diákpályázatát és rajzpályázatát 2023/2024-ben *Pár perc súlytalanság* címmel hirdettük meg 11–14 éves, valamint 15–18 éves diákok számára, egyénileg vagy csapatban. A kiírás szerint a pályázónak el kellett képzelnie, hogy nyer vagy ajándékba kap, esetleg vásárol egy jegyet „űrúgrásra”. A cél az volt, hogy a diákok fantáziáját mozgassa meg a lehetőség, amelynek során 80–100 km magasság fölé juthat el, élvezve a Föld páratlan látványát és átélve a néhány percen át tartó súlytalanságot. E

témakörrel kapcsolatban vártuk az elképzeléseket, gondolatokat, ötleteket bemutató pályamunkákat, változatos műfajokban és tartalommal.

Az ünnepélyes díjátadóra Budapesten, a Magyar Természettudományi Múzeumban, 2024. március 27-én került sor. A diákpályázaton díjazottak, iskoláik és felkészítőik:

*11-14 éves egyéni:*

1. hely: Sípos Dorka (Debreceni Egyetem Kossuth Lajos Gyakorló Gimnáziuma és Általános Iskolája Csengő utcai feladatellátási hely)
2. hely: Nádudvari György (Piliscsabai Páduai Szent Antal Gimnázium)
3. hely: Pintér Illangó (Galgamácsai Fekete István Általános Iskola)

*11-14 éves csapat:*

1. hely: Hegyi Bátor és Hegyi Csongor (Pécsi Belvárosi Általános Iskola, felkészítő: dr. Hegyi Sándor)
2. hely: Horváth Júlia Hanna és Iszály Brigitta (Budapest XIII. Kerületi Ady Endre Gimnázium, felkészítő: Feketéné Tóth Márta)
3. hely: Miklósi-Czenner Soma, Guba Noel és Juhász Flóra (Miskolci Arany János Általános Iskola és Alapfokú Művészeti Iskola, felkészítő: Juhász Béla)

Különdíj: Orbán Hunor, Végh Szabolcs és Zsámboki Miklós (Néri Szent Fülöp Katolikus Általános Iskola, Budapest, felkészítő: Orbán Sándor)

*15-18 éves egyéni:*

A zsűri első helyezést nem adott ki, a 2. és 3. helyeken viszont két-két pályázót is díjazott.

2. hely: Bánvölgyi Bendegúz (Bethlen Gábor Református Gimnázium és Szathmáry Kollégium, Hódmezővásárhely, felkészítő: Berecz János)
2. hely: Gáspár Báborka Viktória (Kőbányai Szent László Gimnázium, Budapest)
3. hely: Biró Kolos Tiván (Eszterházy Károly Katolikus Egyetem Gyakorló Általános Iskola, Gimnázium, Alapfokú Művészeti Iskola és Technikum, Eger, felkészítő: Nyerges Adrienn)
3. hely: Andó-Gyöngy Máté (Eszterházy Károly Katolikus Egyetem Gyakorló Általános Iskola, Gimnázium, Alapfokú Művészeti Iskola és Technikum, Eger, felkészítő: Nyerges Adrienn)

15-18 éves csapat kategóriában a zsűri idén nem ítelt oda díjakat.

## **A 2024. évi CanSat-verseny döntője**

A hét hónapon át tartó **CanSat Hungary 2024** középiskolás csapatverseny áprilisban elérkezett a döntőhöz. A versenyt 48 csapat több mint 230 versenyzője kezdte meg, ők mentoraik támogatásával fél éven át fejlesztették eszközüket, amelyek közül a legjobb tíz április 5-én 1 km-nél is magasabbra emelkedett, hogy küldetéseit teljesítse. A döntő **indítási napja** látványos és izgalmas esemény volt. Öt



indítás során középiskolás csapatok által tervezett és épített műholdszimulációs eszközök repültek kutatórakétákkal. Az eszközök a visszatérésük során méréseket végeztek és az adatokat rádiókommunikációval továbbították a földi állomásokra.

A döntőt az űrkutatásért felelős miniszteri biztos, egyben a magyar ESA delegáció vezetője, *Ferencz Orsolya* nyitotta meg. A verseny szervezője a MANT, a rakétákat a BME Suborbitals rakéta-versenycsapat készítette és működtette, a helyszínt a tatárszentgyörgyi lőtérén a Magyar Honvédség biztosította az indítások számára.

Másnap, április 6-án, a döntő **prezentációs napján** a dabasi Kossuth Zsuzsanna Szakképző Iskola és Kollégiumban derült ki, hogy melyik csapat műholdszimulációja működött a legjobban, gyűjtötte a legtöbb és legérdekesebb adatot az ereszkedés során. Az indítási napon rögzített eredmények feldolgozását angol nyelvű előadásban ismertették a csapatok a zsűrivel. A döntő nyertes csapata a nyár folyamán részt vehet az Európai Űrügynökség *Space Engineer for a Day* című programján, az ESA technológiai központjában, a hollandiai Noordwijkben.

A CanSat Hungary 2024 verseny díjazott csapatai:

- fődíj: *CapySat* (VSZC Boronkay György Műszaki Technikum és Gimnázium, Vác)
- tudományos különdíj: *Seraph* (Premontrei Szent Norbert Gimnázium, Gödöllő)
- technológiai különdíj (megosztva): *OnionSAT* (Berzsenyi Dániel Gimnázium, Budapest) és *Parsec* (Karinthy Frigyes Gimnázium, Budapest)

- ismeretterjesztésért különdíj: *Sat-Elite Assembly Team (SEAT)* (Baranya Vármegyei SZC Radnóti Miklós Közgazdasági Technikum, Pécs)

A verseny kiemelt támogatója a KKM, kiemelt szakmai partnerei az NMHH és a Magyar Természettudományi Múzeum (MTTM) voltak.

## **H-SPACE 2024 nemzetközi űrkonferencia Budapesten**

*Együttműködés az űrszektorban* – ez volt a mottója a Műegyetemen április 25-én és 26-án tartott nemzetközi űrkonferenciának. A **H-SPACE konferenciasorozat** 2015 óta szervezi a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) Villamosmérnöki és Informatikai Kar (VIK) Egyesült Innovációs és Tudásközpontja (EIT), együttműködve a MANT-tal. Az eleinte évente, az utóbbi időben kétfévente tartott konferenciák sorában a mostani volt a nyolcadik. A H-SPACE 2024 első napján személyes jelenléttel zajlott az előadások és poszterek programja a BME I épületében. A második napon online előadásokat hallgathattak az érdeklődők.

Az ünnepélyes megnyitón a KKM Űrpolitikáért és Űrtevékenységért Felelős Főosztályának képviselőjében köszöntőt mondott *Borsos Bálint*, majd *Gerhátné Udvary Eszter*, a BME VIK nemzetközi kapcsolatokért felelős dékánhelyettese, végül *Kovács Kálmán*, a MANT elnöke is üdvözölte a megjelenteket. Ezek után a tudományos program két érdekes és tanulságos témával kezdődött, meghívott nemzetközi előadók tolmácsolásában.



Először *Jaan Praks* (Aalto Egyetem, Finnország) mutatta be, hogy az első finn műhold, egy CubeSat, a 2017-ben felbocsátott Aalto-1 megalkotásában részt vevő egyetemi hallgatók kezdeményezésére, mindössze néhány év alatt hogyan jöttek létre a mostanra nemzetközi szinten is jegyzett űripari startup vállalkozások. Közülük is kiemelkedik az ICEYE cég, amely 2014-ben alakult, s mára már több mint 30 kis műholdjuk működik alacsony Föld körüli pályákon. Az apertúraszintézis elvén működő kereskedelmi radaros földmegfigyelés területén piacvezető vállalkozás műholdjai 3 cm-es hullámhosszon (X-sáv) akár fél méteres felszíni felbontásra képesek.

A második meghívott előadó *Caius Reza* (Alba Orbital, Glasgow, Egyesült Királyság) volt. A zsebműholdak (PocketQube, vagyis 5 cm × 5 cm × 5 cm-es egységekből felépülő űreszközök) szerepéről beszélt az oktatásban és a kutatásban. Mondandója számos ponton kapcsolódott a Műegyetemen folyó műholdfejlesztésekhez, hiszen az Alba Orbital vezető szolgáltató a PocketQube indítások szervezésében. A műegyetemi zsebműholdak, a SMOG-P, az ATL-1 és a SMOG-1 is a cég közreműködésével jutottak el a világűrbe.

A kávészünet előtti utolsó programpont a több mint 30 poszter készítőjének rövid, egy-egy perces bemutatkozó előadása volt. Ezzel a szerzőknek alkalmuk volt felhívni a figyelmet a munkájukra, a posztereket pedig a szünetben meg is lehetett tekinteni. A szünetet követő tudományos programban magyar és külföldi előadók változatos, az űrkutatással, űrtechnológiával kapcsolatos témákat érintettek. A tudományos szekció előadásainak sora másnap, az online nap délelőttjén is folytatódott, a konferencia pénteken délután oktatási és ismeretterjesztési témájú előadásokkal zárult. A Galileo Webcast jóvoltából mindkét nap eseményeit élő internetes közvetítésben lehetett követni, a felvételek utólag is megtekinthetők. A konferencia nyitónapjára a MANT kiadásában megjelent az előadások és poszterek tartalmi kivonatait tartalmazó kiadvány. A konferencia szervezésében partner volt a BME Kozmosz Szakkollégium és a Space Generation Advisory Council. Az esemény támogatója a KKM. *(Fotó: BME SPOT fotókör, szöveg: urvilag.hu)*

## **2024-ben Győrbe látogatott a MANT Űrtábor**

A MANT, hazánk legrégebbi űrkutatással foglalkozó egyesülete 1994 óta szervezi meg az érdeklődő 13–18 éves fiatalok számára nyári **Űrtáborát**, változó helyszíneken. A nagy sikerrel zajló, egyedülálló programkínálatot nyújtó táborokon résztvevő diákok közül sokan műszaki, illetve természettudományos pályán tanultak tovább, néhányukból pedig azóta már űrkutató szakember lett. Akárhogy is alakul az űrtáborozók későbbi pályafutása, mindannyian életre szóló élményekkel és barátságokkal gazdagodnak.

Az idei Űrtábor helyszíne július 7–14. között Győr, vendéglátója a Széchenyi István Egyetem volt. A tábor hosszú idő, 1998 óta először tért vissza a városba. *„Az űrtáborban töltött napok során a táborozóink megismerkedhetnek a hazai űrtevékenységgel, és találkozhatnak számos olyan szakemberrel, akik a hazai űriparban dolgoznak”* – mondta *Bacsárdi László*, a MANT alelnöke, az űrtábor vezetője. A tábor ideje alatt segítői *Székely Anna Krisztina* és *Oláh Kitti* voltak.



A hivatalos program július 8-án délelőtt az ünnepélyes megnyitóval kezdődött. A hét programjában számos olyan téma szerepelt, amely érdekelhette a világűr kutatásának szerelmeseit. Egyebek mellett szóba került az előadásokon a rakéták tervezése, az űrszondák, az építkezés a Holdon és más égitesteken, valamint a kommunikáció az űreszközökkel. A tábor résztvevői megismerkedhettek továbbá a világűrjog alapjaitól kezdve a földi ionoszféra jelenségein át a műholdak kiberbiztonságáig sok olyan kérdéssel, amelyekről korábban nem, vagy nem ilyen mélységben hallhattak. Mindezekről első kézből, az adott témák legjobb hazai szakértőitől informálódhattak, akiknek kötetlen beszélgetések során is tehetnek fel kérdéseket.

Az Űrtábor hete alatt voltak szakmai látogatások az egyetemen, esti távcsöves észlelés, illetve kísérleti bemutató és interaktív foglalkozás a Mobilis élményközpontban. Mindeközben a táborlakók maguk is dolgoztak a heti csapatmunkájukon, amelyek eredményéről a tábor vége felé számoltak be egymásnak. A sűrű szakmai program és a játékos vetélkedők mellett természetesen volt alkalom a vendéglátó várossal való ismerkedésre és a strandolásra is.

A tábor szakmai partnerei és támogatói az Andersen Adótanácsadó Zrt., a KKM, az NMHH, a Széchenyi István Egyetem, a Mobilis Interaktív Kiállítási Központ és az Űrvilág űrkutatási hírportál voltak.

## **A világűr és szűkebb környezetünk - Űrkutatás Napja 2024**

A MANT 2024-ben is megszervezte a hagyományos **Űrkutatás Napját**. A rendezvényt október 18-án tartották, a vendéglátó az NMHH volt. Az esemény most is kapcsolódott a Nemzetközi Világűrhéthez. Az idén már 25. alkalommal, október 4-10. között megünnepelt Nemzetközi Világűr hét (*World Space Week*) rendezvénysorozatának a központi témája most a világűr és a klímaváltozás volt. Így a hazai Űrkutatás Napja egyes előadásai ehhez is kapcsolódtak.

Az eseményt szép számú érdeklődő előtt *Kovács Kálmán*, a MANT elnöke nyitotta meg. Elsőként felkérte *Szolnoki Szabolcsot*, a Nemzetgazdasági Minisztérium (NGM) technológiáért felelős helyettes államtitkárát, hogy köszöntse a megjelenteket. Mivel egy idén májusi kormányrendelet értelmében augusztus

1-jétől az NGM felel az űriparfejlesztésért és az űrtechnológiáért, valamint képviseli Magyarországot a nemzetközi szervezetekben, így az ESA-ban is, a formális köszöntő kibővült egy részletes tájékoztatóval. Ebben a helyettes államtitkár bemutatta az űrtevékenység támogatására felállított szervezeti rendszert, beleértve az NGM háttérintézményének, a Neumann János Nonprofit Kft.-nek a feladatait. Az intézményi alapok lerakása után a programok kidolgozásán, a finanszírozás kialakításán lesz a hangsúly. Elindítottak egy hazai űripari kérdőívet a magyar űripari vállalatok kihívásainak és szükségleteinek felmérésére. Dolgoznak egy űrtörvény megalkotásán, és vizsgálják a magyar űrugynökség létrehozásának lehetőségét is.



Szolnoki Szabolcs, az NGM technológiáért felelős helyettes államtitkára beszél az Űrkutatás Napja 2024 rendezvényen. (Kép: MTI / Lakatos Péter)

A következő előadó *Frey Sándor*, a MANT alelnöke volt, aki 15 percben szubjektív válogatást adott az elmúlt év legérdekesebb űrvonatkozású híreiből. Szóba került az űrindítások évenkénti számának töretlen növekedése. Ebben meghatározó szerepet játszik az Egyesült Államok (azon belül is elsősorban a SpaceX vállalat), valamint Kína. Mindez együtt jár a Föld körüli térség növekvő zsúfoltságával, az űrszemét szaporodásával, az alacsony pályás internetszolgáltató műholdseregek pedig folyamatos fejfájást okoznak a csillagászoknak a fény- és rádiószennyezésükkel.

A klímaváltozás volt a fő témája *Bozó László* akadémikus (HungaroMet Zrt.) összefoglaló előadásának, amelyben kiemelte a műholdas földmegfigyelő rendszerek alapvető szerepét a globális környezeti

változások követésében. Legyen szó akár a felhőzet megfigyeléséről, a felsőlégköri ózonréteg monitorozásáról, a légszennyezés méréséről, a sarkvidéki jégtakarók olvadásáról vagy az óceánok vízszintemelkedéséről, a pontos és egyre hosszabb időszakot felölelő műholdas adatsorok nagyon fontosak a folyamatok megértéséhez. Elhangzott, hogy az éghajlatváltozással összefüggésben az elmúlt évtizedekben jelentősen növekedett a szélsőséges időjárási eseményekhez köthető természeti katasztrófák száma, miközben az emberi áldozatok száma szerencsére folyamatosan csökkent. Ehhez hozzájárult a megfigyelések, tudomány, valamint a katasztrófa-elhárító rendszerek fejlődése, valamint a modern infokommunikációs eszközök elterjedése.

*Bodzsár Krisztián*, az NMHH Rádiómonitoring osztályának munkatársa az emberi szemmel „láthatatlan”, de modern társadalmunkban annál fontosabb környezeti tényezőről, a rádióspektrumról beszélt. A hatalmas kiépülő és már engedélyezett műholdas rendszerek kapcsán tovább nőtt a frekvenciák koordinációjának, a spektrum felügyeletének jelentősége. Az NMHH ezért fejleszti műholdas mérési képességeit.

*Rózsa Szabolcs*, a BME Általános és Felsőgeodézia Tanszékének vezetője a műholdas helymeghatározó rendszereknek a Föld megismerésében játszott szerepéről tartott előadást. Történeti visszatekintéssel kezdte, amelyből kiderült, hogy már az úrkorszak hajnalán végeztek űrgeodéziai jellegű méréseket, és már az 1950-es évek végétől bocsátottak fel ilyen célú műholdakat. Manapság a globális navigációs műholdas rendszereket (angol rövidítéssel GNSS) számtalan területen alkalmazzák. A hazai példák közül szó esett a földkéreg mozgásainak pontos vizsgálatáról, a GNSS-hálózatokról, amelyekből ma már nem is egy működik, a légkör nedvességtartalmának meghatározásáról GNSS-mérésekkel, valamint a vízállás-monitorozásra használható GNSS-reflektometriáról is.

A szünet előtti utolsó előadást *Kristóf Dániel* (Lechner Tudásközpont Nonprofit Kft.) tartotta, A földfelszín változásai műholdas szemüveggel címmel. Bemutatta, milyen nagy számban és változatosságban működtek már eddig is, illetve készülnek az elkövetkező években földmegfigyelési célú műholdak mind Európában – amely a Copernicus programmal világviszonylatban is vezető szerepet játszik a területen –, mind máshol, például az Egyesült Államokban. Az előadó űrfelvételek és idősoraik számos fontos hazai alkalmazását villantotta fel, az aszály monitorozásától kezdve a szántóföldi növények állapotának felmérésén át a felszínborítás változásainak detektálásáig. Szóba került az is, hogyan lehet nyilvánosan elérni egyes optikai és radaros műholdas földmegfigyelési adatokat.

A rövid kávészünet alkalmat adott a kötetlen beszélgetésekre. Utána az Űrkutatás Napja programja további érdekes előadásokkal folytatódott. *Bartóki-Gönczy Balázs*, a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Világűrjog és Politika Kutatóintézetének vezetője, a Médiatanács tagja azt a fontos kérdést járta körül a szeptemberben bemutatott Draghi-jelentés kapcsán, hogy mennyire versenyképes az európai űripar. Az Európai Bizottság számára készült jelentés általában Európa versenyképességét vizsgálta, benne az űrszektorra vonatkozó fontos megállapításokkal. Kontinensünk lemaradása amerikai és kínai összehasonlításban egyre nő, a szektor alulfinanszírozott. A jelentés javaslatai között szerepel egy egységes európai űrtörvény megalkotása és a beszerzéseknél a földrajzi visszatérítés elvének a kivezetése. Ez utóbbi a kisebb államok, mint hazánk számára nem lenne kedvező. Az előadó szerint a

reform a versenyképesség növelése érdekében elkerülhetetlen, a hazai érdekeket viszont igyekeznünk kell érvényesíteni.

*Sik András* a 4iG Űr- és Védelmi Technológiák Zrt. földmegfigyelési vízióját vázolta fel előadásában. A 4iG egy elsősorban informatikai és távközlési cégcsoport, amely azonban ezekhez kapcsolódóan űripari és védelmi ipari portfólióját is elkezdte kiépíteni. Martonvásáron egy műhold-összeszerelő és tesztközpont építése folyik, a létesítmény 2026-ra lesz kész. Ami a földmegfigyelést illeti, azt drónos és műholdas eszközökkel is végzik. Szóba került a felvételek típusaitól kezdve azok felbontásán át a tárolt adatok hatalmas mennyiségéig sok minden. Az alkalmas adatközpont mellett szükség van automatikus, mesterséges intelligencián alapuló adatfeldolgozási eljárásokra, amelyek adott esetben már a műholdak fedélzetén is el tudják dönteni, mit érdemes lesugározni a földre a korlátozott adatátviteli kapacitás legjobb kihasználásával.

*Horváth Gyula* (C3S Kft.) az eddigi legnagyobb magyar műhold, az idén felbocsátott WREN-1 apropóján beszélt a ma már 40-nél is több mérnökkel dolgozó cégük tevékenységéről, a múlt és a közeljövő további érdekes műholdas projektjeiről is. Az általuk gyártott műholdak összesen már több mint 100 hónapot töltöttek el a világűrben, hibátlan működéssel. Rendelkeznek földi állomással és küldetésirányító kapacitással is. Fejlesztési elveik között a legfontosabb a rendkívüli megbízhatóság, ami a CubeSat kategóriájú műholdak esetében, nemzetközi összehasonlításban is egyedülálló.

Az Űrkutatás Napja két oktatási témájú előadással zárult. *Zentai István* (SpaceBuzz) az oktatási ökoszisztémáról beszélt Magyarország űrstratégiájának tükrében, megemlítve néhány jó példát az óvodások inspirálásától kezdve az egyetemista korosztályok oktatásán át a tanártovábbképzésig. *Székelly Anna Krisztina*, a MANT főtítkárhelyettese pedig átfogó képet adott a szervezet diákokat célzó programjairól, például az űrtáborokról, az Irány az űr! csapatversenyről, a CanSat-versenyről, valamint a diákpályázatról és rajzpályázatról.

Az NMHH és a Galileo Webcast szakemberei jóvoltából adott élő közvetítés révén azok is élvezhették a 2024-es Űrkutatás Napja programját, akik nem tudtak személyesen elmenni és meghallgatni az előadásokat. A közvetítés felvétele utólag is megtekinthető a YouTube videómegosztó platformon. *(Forrás: urvilag.hu)*

## **Irány az űr! 2024 - döntő**

A MANT 2024-ben már negyedszerre hirdette meg **Irány az űr! Kárpát-medencei űrkutatási csapatversenyét** magyarországi és határon túli középiskolások számára. A versenyre négyfős csapatok (három diák és egy mentor) nevezhettek szeptember folyamán. Közülük a végül az öt legjobb csapatra szűkült mezőny egy szeptember végi első, majd egy októberi második online forduló után alakult ki. Ők november 30-án egy személyes részvétellel tartott döntő során mérhették össze tudásukat (és egy kicsit a szerencséjüket is) Budapesten, a Magyar Zene Házában.

Kezdeképp rövid köszöntőt mondott *Kovács Kálmán*, a MANT elnöke, valamint a verseny két fő támogatója, a KKM és az NMHH nevében *Ferencz Orsolya*, illetve *Daczi Diána*. Végül *Juhos Norbert*, a HUNOR

magyar űrhajós program repülésüzemi és kiképzési igazgatója szólt a versenyzőkhöz. Ő utána a zsűri munkájában is részt vett, majd a nap végén – miközben a háttérben a pontszámok összesítése zajlott – egy látványos előadáson mutatta be a következő magyar űrhajós, a 2025-ben az Axiom-4 küldetés keretében a Nemzetközi Űrállomásra látogató Kapu Tibor jelenleg is zajló kiképzésének mozzanatait.

A döntőbe jutott csapatok az alábbiak voltak:

- *Fasori Küldetés* (Budapest-Fasori Evangélikus Gimnázium)
- *GitHub Copilot* (Szegedi SZC Vasvári Pál Gazdasági és Informatikai Technikum)
- *Szupernova* (Debreceni Csokonai Vitéz Mihály Gimnázium)
- *PTEBabits* (PTE GYÁI Babits Mihály Gimnáziuma, Pécs)
- *Alma2024* (Kazinczy Ferenc Gimnázium és Kollégium, Győr)



A diákoknak először egy változatos és igazán nem egyszerű kérdésekből álló tesztfeladatsort kellett kitölteniük. Rövid szünetet követően pedig az űrszemét problémájával és annak lehetséges megoldásaival kapcsolatban az előre elkészített előadásukat kellett bemutatniuk 7-7 percben, a helyszínen kisorsolt sorrendben. Végül 3 perces rögtönzött előadást kellett tartaniuk egy űrvonatkozású képről, amelyet egy mikulássapkából húztak ki a helyszínen, és amellyel ott találkoztak először.

A versenyzőknek az előadásokkal kapcsolatban a zsűriből érkezett kérdésekre is válaszolniuk kellett, akik aztán értékelték teljesítményüket. Ezek a pontszámok, összesítve a teszten elért pontszámokkal alakították ki a végleges sorrendet. A csapatok „tisztá lappal” érkeztek a döntőbe, vagyis az első két online fordulóban elért eredményeik itt nem számítottak.

A 2024-es Irány az űr! verseny győztese meggyőző fölényrel az Alma2024 csapat lett (tagjai: *Jóföldi Jonatán, Győri Áron, Török Flórián*, felkészítő tanár: *Takács Éva*). Ők egyébként – értelemszerűen még Alma2023 néven – már a tavalyi döntőbe is bejutottak, ahol akkor a harmadik helyen végeztek. A második helyezést a PTEBabits, a harmadikat a Fasori Küldetés csapata érte el.

A győztesek jutalma ezúttal is egy különleges utazás volt az ESA technológiai fejlesztőközpontjába, a hollandiai Noordwijkben található ESTEC-be (European Space Research and Technology Centre). (Fénykép: *Trupka Zoltán*)

## Élet egy űrállomáson - diák pályázatunk díjazottai

A MANT **diák pályázatát és rajz pályázatát** 2024/2025-ben *Élet egy űrállomáson* címmel hirdettük meg 11-14 éves, valamint 15-18 éves diákok számára, egyénileg vagy csapatban. Az ünnepélyes eredményhirdetést április 12-én, az űrhajózás napján tartottuk Budapesten, a Harmónia palotában.

Napjainkban két, állandóan lakott űrállomás is kering alacsony Föld körüli pályákon: a Nemzetközi Űrállomás (ISS) és a kínai Tienkung (Tiangong) űrállomás. A HUNOR program keretében 2025-ben egy magyar kutatóűrhajós is ellátogathat az ISS-re, ami különös aktualitást adott a meghirdetett témának. Mire szolgálnak az űrállomások? Hogyan zajlik az élet és a munka a fedélzeten? Ebben a témakörben vártuk a pályázók elképzeléseit, gondolatait, ötleteit, többféle műfajban és a kiírás témájához illő tetszőleges tartalommal.

A diák pályázaton díjazottak:

*11-14 éves egyéni:*

1. hely: Orbán Hunor (Budapest XVII.)
2. hely: Molnár Kristóf (Monor)
3. hely: Reményi Alexander (Pusztamonostor)

*11-14 éves csapat:*

Dicséret: Édescecécs csapat

*15-18 éves egyéni:*

1. hely: Bencze Máttyás (Székelyudvarhely)
2. hely: Jovány Zsombor (Hódmezővásárhely)
3. hely: Kószó Kata (Budapest)

Dicséret: Kószó Evelin (Nagykanizsa)

Dicséret: Szabó Nándor Csanád (Mezőörs)

Különdíj: Csörgő Csilla Lilla (Eger)

*15-18 éves csapat:*

1. hely: Kuberkó Balázs (Miskolc-Martinkertváros)

## Műhold egy üdítősdobozban - a CanSat-verseny 2025. évi döntője

Az előző évihez hasonlóan a **CanSat Hungary 2025** középiskolai csapatverseny döntője a Magyar Honvédség tatárszentgyörgyi lőterén, valamint Dabason, a Kossuth Zsuzsanna Szakképző Iskola és Kollégiumban zajlott. Az időpont április 4-5., a verseny szervezője most is a MANT volt, a rakétákat a BME Suborbitals rakéta-versenycsapat készítette és működtette.

A versenyt ebben az évben – ismét új rekordot jelentő – 84 csapat több mint 400 versenyzője kezdte meg. Ők mentoraik támogatásával fél éven át fejlesztették eszközüket, amelyek közül a legjobb tíz április 4-én kutatórakétákkal 1 km magasba emelkedett, hogy küldetéseit teljesítse. A döntő indítási napja látványos és izgalmas esemény volt. Az eszközök a visszatérés során méréseket végeztek és az adatokat rádiós úton továbbították a földi állomásokra. Másnap, a döntő prezentációs napján derült ki, hogy melyik csapat műholdja működött a legjobban, gyűjtötte a legtöbb és legérdekesebb adatot az ereszkedés során. Ennek során az indítási napon rögzített eredmények feldolgozását angol nyelvű előadásban ismertették a csapatok a zsűrivel, így az adatfeldolgozási és prezentációs képességek is számítottak a végső sorrend kialakításakor. A zsűri értékei azt is, hogy kiknél volt a legjobb a csapatmunka – így aztán minden szempontot mérlegetek, amely egy igazi űrprojektet is sikeressé tehet. A döntő nyertes csapata a nyár folyamán részt vehetett az ESA *Space Engineer for a Day* című programján, az ESA technológiai központjában, a hollandiai Noordwijckben.

A CanSat Hungary 2025 verseny díjazott csapatai:

- fődíj: *Rabbit Aerospace* (Zenta)
- technikai különdíj: *Opac* (Pannonhalma)
- tudományos különdíj: *S.E.A.T.* (Pécs)
- ismeretterjesztésért különdíj: *Csipesz* (Kolozsvár)
- Silicon Labs díjak: *RSD Space Engineering* (Budapest) és *TFS* (Budapest)
- Suborbitals díj: *CANIS* (Szeged)

A verseny kiemelt támogatója a KKM, valamint kiemelt szakmai partnerei az NMHH és az MTTM voltak.

## **Sopronban zajlott a 2025. évi Magyar Űrkutatási Fórum**

Május 7-9. között ismét Sopron volt a helyszíne a hazai űrkutató szakma kétévente esedékes tudományos konferenciájának. A MANT 1972-ben, eredetileg Ionoszféra- és Magnetoszféra-fizikai Szeminárium néven indult sorozata már egy évtizede szélesebb tematikával, **Magyar Űrkutatási Fórum** néven folytatódik. Újabban minden páratlan évben gyűlnek össze a hazai űrkutatók a háromnapos szakmai találkozókra, amelyeken szóbeli és poszterelőadásokon mutatják be a legfrissebb kutatási eredményeiket, programjaikat. A vendéglátó idén is a HUN-REN Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézet (FI) volt Sopronban, amelynek a szervezésben részt vevő munkatársai *Barta Veronika* vezetésével mindent megtettek egy élvezetes és hasznos konferenciáért.

A nyitónapon, május 7-én a konferencia résztvevőit videóüzenetben köszöntötte *Ferencz Orsolya* űrkutatásért felelős miniszteri biztos. Mi mással is kezdődhetett volna a program, mint a HUNOR űrhajós program aktualitásainak bemutatásával. Mint később kiderült, végül június 25-én indult *Kapu Tibor*, a következő magyar űrhajós a világűrbe, hogy egy sor hazai tervezésű kísérletet végezzen el a fedélzeten. HUNOR-ügyben *Benkucs László*, a KKM ügyi referense tájékoztatta a hallgatóságot, majd közvetlenül utána *Vincze Miklós* fizikus (ELTE) beszélt az óriásbolygók légkörének modellezését célzó HUNOR-kísérletükről. *Bór József* (FI) pedig a beszédes nevű UHU kísérletet mutatta be, amelyben elekt-

romos eredetű légköri fényjelenségek éjszakai megfigyelését tervezik a Nemzetközi Űrállomásról. (Az űrállomást a Spacebuz szimulátora segítségével – legalábbis virtuálisan – körbe is tudták repülni a résztvevők a szünetek alatt.) Szó volt még műholdas villámfigyelésekről és műholdradaros felszínmozgás-vizsgálatokról. Utána 2–2 percben rövid poszterbemutatók következtek. A 20 tudományos posztert – a soproni Űrkutatási Fórumok hagyománya szerint – borkóstoló keretében, oldott hangulatban vitathatták meg a résztvevők.

A plenáris előadások programja másnap folytatódott és két péntek délelőtti szekcióval zárult. A rendkívül változatos témakörök között volt még szó űrfizikáról, űridőjárásról, napfizikáról, geofizikáról, légkörfizikáról, kvantumkommunikációról, űrcsillagászatról, bolygókutatásról, kémiáról, anyagtudományról és élettanról is. A tudományos előadások és poszterek címei és rövid kivonatai a MANT által megjelentetett kiadványban olvashatók. A konferencia válogatott közleményeiből készül egy kötet is.

Mint mindig, a Magyar Űrkutatási Fórum idén is kiváló alkalmat nyújtott a szakmai eszmecserekre, a személyes kapcsolatok szorosabbra fűzésére. A szekciók előadásait nem kevésbé érdekes, jó hangulatú vitafórumok követték. A résztvevők egyetértettek abban, hogy 2027-ben is érdemes lesz újra találkozni! (Forrás: Űrvilág)

## **Megnyílt a HUNIVERZUM interaktív élményközpont**

*Magyarország ma már nem mellékszereplő, hanem kezdeményező és megbecsült partner az űrkutatás területén – emelte ki Ferencz Orsolya űrkutatásért felelős miniszteri biztos a látogatóközpont megnyitóján május 12-én Budapesten. A **HUNIVERZUM – Magyarok a világűrben** elnevezésű interaktív élményközpont Budapesten, a Millenáris G épületében (1024 Budapest, Kis Rókus utca 16-20.) várta a látogatókat – az eredeti tervek szerint október végéig. (Később az óriási érdeklődésre és népszerűségekre való tekintettel a nyitvatartást 2025 végéig meghosszabbították, majd 2026 elején a látogatóközpont újra megnyitotta kapuit.)*

*Lépj be a HUNIVERZUM-ba és tapasztald meg testközelből az űrutazás és űrkutatás izgalmas világát! Interaktív kiállításunk emelett bemutatja Kapu Tibor, a második magyar kutatóűrhajós küldetését a kiválasztástól a visszatérésig és bepillantást nyújt a hazai űrtevékenységek sokoldalúságába. Próbáld ki a szimulátorokat, ismerd meg az űrutazás kihívásait, és merülj el a végtelen világűr titkaiban! Legyél Te is űrhajós!* – olvashattuk a látogatóknak szóló invitálást az interaktív élményközpont honlapján. A HUNIVERZUM, amelynek megalkotásában a MANT szakértői is részt vettek, a látogatók egybehangzó véleménye alapján valóban meghatározó élményt nyújt Kapu Tibor űrutazásának, a HUNOR program tudományos kísérleteinek, a magyar űrkutatás és űrrepülés múltjának és jelenének bemutatásával.

A HUNIVERZUM rendezvényközpontkét is szolgált. A május 25-én a gyermeknap alkalmából tartott eseményen például a MANT nevében Székely Anna Krisztina főtítkárhelyettes *Üdítősdobozzal a világűrben! Készíts műholdat üdítősdobozból* címmel tartott előadást a CanSat-versenyről és a diákok bekapcsolódásának lehetőségeiről. Előzőleg május 22-én a *HUNOR Program: Űrkutatás és űrtudományok* című szakmai kerekasztal-beszélgetésen Bacsárdi László alelnök is részt vett.

## **Egy hét űrélmény a Földön - Miskolcon volt a 2025. évi Űrtábor**

---

Miközben egy magyar űrhajós épp a Nemzetközi Űrállomáson dolgozott, talán a majdani utódja ismerkedett most az űrkutatással a **MANT 2025-ös Űrtáborában**. Az 1994 óta minden nyáron megszervezett, a 13-18 éves korosztálynak szóló Űrtábor helyszíne 2025. július 6-12. között Miskolc volt. A résztvevőket izgalmas programok, szakmai előadások, bemutatók, kirándulás, csapatfeladat, játékos vetélkedő várta.

Bár a fókuszban idén természetesen a több mint négy évtizede elteltével végrehajtott újabb, immár második magyar űrrepülés volt, a MANT 1994 óta szervezett nyári Űrtáborai azt is megmutatják a résztvevő diákoknak, hogy az űrtevékenység lényegesen sokrétűbb, mint a közvélemény érdeklődését leginkább megragadó emberes űrrepülés. Az idei helyszín - a tábor történetében először - Miskolc, az esemény vendéglátója a Miskolci Egyetem volt.

Az űrtábor ebben az évben is annyira népszerű volt a visszajáró és először részt vevő diákok körében, hogy hamar beteltek a meghirdetett helyek. Az ünnepélyes megnyitón, július 7-én délelőtt *Ferencz Orsolya* űrkutatásért felelős miniszteri biztos, *Szűcs Péter*, a Miskolci Egyetem rektorhelyettese és *Kovács Kálmán*, a MANT elnöke köszöntötte a résztvevőket. Ízelítőül néhány téma a hét szakmai előadásainak programjából: apró műholdak a modern földmegfigyelésben, készülő magyar földmegfigyelő műholdrendszer, a talajok változatossága az űrből nézve, anyagtudomány a világűrben és anyagtechnológia a Földön, kinyitható szerkezetek az űrben, műholdjelek rádiós vétele, magánűrhajózás, kereskedelmi emberes űrrepülés. A tábor résztvevői emellett szakmai látogatást tettek a miskolci Admatis Kft.-nél, hazánk egyik vezető űripari vállalkozásánál. Beocsátást nyertek továbbá az egyetemi laboratóriumokba és láthattak látványos kémiai kísérleteket. Az NMHH külön programblokkal készült.

Az űrtáborozó diákok megtudhatták még, hogy korosztályuk számára milyen további lehetőségek érhetők el az ESA oktatási programja keretében, beleértve a CanSat műhold-szimulációk építését. Nem maradhatott el az esti távcsöves észlelés és a közös strandolás sem. A hét során a táborlakók maguk is dolgoztak a csapatmunkájukon, amelynek eredményéről a tábor vége felé számoltak be egymásnak. A sűrű szakmai program és a játékos vetélkedők mellett természetesen volt alkalom a vendéglátó várossal való ismerkedésre is.

Az Űrtábor szakmai partnerei és támogatói a KKM, az NMHH, az ESERO Magyarország, a Miskolci Egyetem, az Admatis Kft., a C3S Kft. és az Űrvilág űrkutatási hírportál voltak.

## **Magyarok a világűrben - Űrkutatás Napja 2025**

---

A MANT által hagyományosan minden év őszén megszervezett **Űrkutatás Napja** helyszíne 2025-ben az alapításának 200 éves évfordulóját ünneplő Magyar Tudományos Akadémia (MTA) székháza volt. Az általában október elejére, a Nemzetközi Világűrhet környékére eső Űrkutatás Napja idén szeptember 29-ére került, mivel a vendéglátó az MTA XI. Fizikai Tudományok Osztálya, a szeptember pedig a fizika hónapja volt az akadémiai székházban. Az eseményre érkezők megtekinthették a fizika tudomány-

területeit – azon belül az űrfizikát és a csillagászatot is – bemutató látványos interaktív kiállítást a földszinti aulában.

Az Űrkutatás Napja idei támaja a *HUNOR program – Magyarok a világűrben* volt, tekintettel a második magyar űrhajós nemrég sikeresen lezajlott küldetésére. Az érkező vendégek a 2. emeleti Nagyteremben gyülekeztek, ahol *Kovács Kálmán*, a MANT elnöke nyitotta meg az eseményt. Utána *Ferencz Orsolya*, a KKM űrkutatásért felelős miniszteri biztosa, valamint a Nemzetközi Űrállomáson járt *Kapu Tibor* kutató űrhajós köszöntő szavait játszották le videófelvételtől. Épp akkor mindketten a Nemzetközi Űsztronautikai Szövetség (IAF) Sydney-ben megrendezett kongresszusán vettek részt, ezért nem tudtak személyesen megjelenni. Ferencz Orsolya kiemelte, hogy a HUNOR program sikeréhez nem csak az űrkutató szakembereket, hanem egy szélesebb társadalmi kört és a politikai döntéshozókat is meg kellett győzni arról, hogy 1980 után érdemes, sőt szükséges újra egy magyar űrhajóst a Kármán-vonalon túlra küldeni. Aki kimarad, lemarad... Kapu Tibor elmondta, hogy az ISS-en dolgozni felemelő volt, társai pedig érdeklődve, sokszor lenyűgözve figyelték, hogy milyen tudományos kísérleteket vittek fel a magyarok az űrbe.

A HUNOR program és kísérletei adták az Űrkutatás Napja programjának gerincét. Az első előadó *Máthé András* volt, aki a HUNIVERZUM interaktív élményközpontot megalkotó csapatot vezette. Elmondása szerint a HUNIVERZUM az előzetes várakozásokat is meghaladó sikernek bizonyult, október végéig várhatóan 70 ezer fölötti látogatói létszámmal és szervezett csoportokban érkező több mint 10 ezer iskolással. A látványos és korszerű élményközpont és kiállítás létrehozására csupán 150 munkanap állt rendelkezésre, ami feszített munkát igényelt. Az anyagok elkészítésében és szakmai ellenőrzésében a MANT is segítséget nyújtott.

*Bartóki-Gönczy Balázs*, a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Távközlési, Légi- és Világűrjogi Kutatóintézetének intézetvezető egyetemi docense az elmúlt évek során dinamikusan bővülő tevékenységi körükről beszélt, *Társadalomtudományi kutatások és programok Magyarországon a világűrrel kapcsolatban* címmel. Bemutatta magyar és angol nyelven kiadott tanulmányköteteiket, szólt a képzési programjairól, konferenciáikról és az elnyert nemzetközi pályázataikról. Kiemelte, hogy december elején úrvállalkozóknak tartanak majd egy kétnapos intenzív kurzust, amelyre elfogadta a meghívást *Andrew Aldrin*, a Holdon járt legendás űrhajós, Buzz Aldrin fia is.

Az Űrkutatás Napja első részét oktatási és ismeretterjesztési témájú előadások zárták. Először *Zentai István*, a SpaceBuzz Hungary Közhasznú Alapítvány elnöke mutatta be a nagy sikerű, élményalapú SpaceBuzz programot, amellyel az elmúlt években diákok és tanárok ezreit sikerült elérniük és inspirálniuk. A MANT oktató-ismeretterjesztő tevékenységének egyes elemeiről – például a CanSat-versenyéről, az magyar ESERO Irodával közösen szervezett más programokról, diákpályázatokról és versenyekről – *Székely Anna Krisztina*, *Komáromi Annamária* és *Kovács Kálmán* szólt röviden.

A kávészünetet követően ismét a HUNOR program vette át a főszerepet. Az előadók sorát *Vincze Miklós* (ELTE és HUN-REN FI) nyitotta, aki egyrészt a DiRoS (*Differential Rotation on a Sphere*) nevű izgalmas folyadékdinamikai kísérletükről beszélt, amellyel olyan kérdésekre igyekeznek választ találni, mint a Szaturnusz hatszög alakú északi poláris ciklonjának kialakulása. Másrészt beszámolt a SUMISPACE

(Send Up My Image to Space) sikeréről, amelynek keretében Schuminszky Nándor kezdeményezésére egyrészt több mint 3300 feliratkozó nevei és képei fordultak meg az ISS-en egy memóriakártyán, másrészt tíz kis magyar nemzeti lobogó is megjárta a világűrt. (Ennek részleteiről *Évkönyvünkben külön cikkben is olvashatnak!* – A szerk.)

Géczy Gábor (27G-Technology Kft.) a RANDAM dozimetriai kísérlet első eredményeiről számolt be. A miniatúr, energiatakarékos RadNano dózismérő eszközök Kapu Tibor repülése alatt folyamatosan monitorozták a sugárzási viszonyokat és az űrhajósok sugárterhelését. A félvezető alapú parányi integrált áramköri megoldásnak más űrkutatási (műholdfedélzeti) és földi alkalmazásai is vannak, illetve lesznek.



A harmadik HUNOR-os kísérletről, az űrhajósok látásromlásának kezelésével kapcsolatos END-SANS-ról Balogh-Weiser Diána (BME) tartott előadást. Egy olyan, rizsszem nagyságú, a szembe helyezhető nanoszális orvostechnológiai eszköz (szemészeti inzerit) kipróbálásáról volt szó, amellyel a jövőben – megfelelő hatóanyaggal ellátva – az űrrepülés során fellépő látászavart kezelhetik. Az eszköz hosszabb távon a földi szemészeti terápiák során is alkalmazható lesz. Arnócz István (Space Apps Kft.) a helymeghatározást segítő ORBGEO kísérletet mutatta be. A Kapu Tibor által az űrrepülés során a Földről készített fényképek alapján elemezték a pontos helymeghatározás lehetőségét. A technológiát később akár repülő eszközök leszállásának támogatására lehet alkalmazni. Végül Gschwindt András (BME) kapott szót, aki beszámolt az Axiom-4 repülés alatt az űrhajósok és iskolás tanulók közötti, a Műegyetemi Rádió Club szervezésében megvalósult rádiós kapcsolatról. (Forrás: *Úrvilág, fénykép: Trupka Zoltán*)

## Hatalmas érdeklődés kísérte a HUNOR rajzpályázatot

A MANT a HUNOR Magyar Űrhajós Programmal együttműködésben június végén **rajzpályázatot** hirdetett általános és középiskolás diákoknak a magyar kutatóűrhajós küldetéséhez kapcsolódóan. A pályázat célja az volt, hogy minél szélesebb körben és minél sokszínűbb formában hozzuk közelebb a fiatalok számára az űrtevékenység jelentőségét, a hazai űrkutatás eredményeit és különösen a magyar kutatóűrhajós idei küldetését a Nemzetközi Űrállomáson. A rajzművészet és a festészet különösen érdekes, újszerű megjelenítést és élményt adhat ebben az izgalmas témában.



*Kapu Tibor űrhajós személyes különdíját Csiha Norbert Gyula (10. osztály, Bajai Egységes Gyógypedagógiai Módszertani Intézmény) alkotása nyerte el*

A pályázaton a hazai, valamint a határon túli magyar tannyelvű alap- és középfokú oktatási intézmények, művészeti iskolák valamennyi tanulója elindulhatott. Pályázni csak egyénileg lehetett, a korosztálynak megfelelően három kategóriában.

A pályázati anyagot a meghosszabbított 2025. október 1-jei határidőig lehetett feltölteni az erre szolgáló honlapfelületen. A HUNOR rajzpályázatot rendkívüli érdeklődés övezte, a beadási határidőig összesen mintegy 1200 pályamű érkezett be! Így a művészeti és szakmai zsűri számára igazán nehéz volt a győztesek és helyezettek kiválasztása. A díjak ünnepélyes átadása október 18-án volt a HUNIVERZUM élményközpontban, a Millenáris G épületében.

Az eseményt *Kovács Kálmán*, a MANT elnöke vezette. Köszöntőt mondott *Ferencz Orsolya* úrkutatásért felelős miniszteri biztos. A műveket rövid beszédében *Neuberger István* festő- és grafikusművész, a zsűri elnöke méltatta. Természetesen a díjazottakon kívül is rengeteg más értékes alkotás érkezett, Neuberger István megköszönte az összes pályázó diáknak és felkészítőiknek az munkát. Végül, de nem utolsósorban a díjak átadásában részt vettek a HUNOR program úrhajósai, a Nemzetközi Úrállomáson járt *Kapu Tibor*, valamint *Cserényi Gyula* is. A diákok oklevelet, ajándékutalványt, és a HUNOR program által összeállított ajándékcsomagot vehettek át. A művészekből és úrkutatási szakemberekből álló zsűritől függetlenül Kapu Tibor maga is kiválasztotta és különdíjjal jutalmazta a neki személyesen legjobban tetsző pályamunkát. (A díjazottak teljes névsorát közzétettük a MANT honlapján.) A megjelent pályázó diákok és kísérőik az ünnepség után megtekinthették a HUNIVERZUM látványos kiállítását.

## **Irány az űr! – az ötödik úrkutatási csapatverseny döntője**

A MANT 2025-ben ötödik alkalommal hirdette meg **Irány az űr!** Kárpát-medencei úrkutatási csapatversenyét. A vetélkedés **Legyél te is úrhajós!** mottóval, a HUNOR Magyar Úrhajós Programmal való együttműködésben folyt. Ezúttal nem csak középiskolások, hanem az általános iskolák felső tagozatos tanulói is benevezhettek a versenybe – Magyarországról, valamint a határainkon túli magyar iskolákból egyaránt. A versenyen három diákból és egy mentorból álló csapatok indultak. Idén is nagy volt az érdeklődés, 200-nál is több csapat jelentkezett a szeptember 11-ei határidőig.

A mezőny két online forduló (szeptember 15. és 29.) után 6 csapatra szűkült. Ők vehettek részt a HUNIVERZUM interaktív élményközpontban személyes részvétellel megrendezett döntőn. Az október 31-ei dátum megválasztásában szerepet játszott, hogy az eredeti tervek szerint ez lett volna a HUNIVERZUM kiállítás utolsó napja. (Időközben a nagy érdeklődésre való tekintettel az élményközpont nyitvatartását meghosszabbították.)

A döntőbe jutott csapatok a nevük szerinti ábécérendben az alábbiak voltak:

- *BGRG01* (Bethlen Gábor Református Gimnázium, Hódmezővásárhely)
- *Electrica Legacy* (Petőfi Sándor Általános Iskola, Csíkszereda)
- *Kempelen8af1* (Kempelen Farkas Gimnázium, Budapest)
- *Napkutyák* (Kisfaludy Sándor Gimnázium, Kollégium és Alapfokú Művészetoktatási Iskola, Sümeg)

- *Sneaky Golem* (Szegedi SZC Vasvári Pál Gazdasági és Informatikai Technikum, Szeged)
- *Űrmajmok* (Apáczai Csere János Elméleti Líceum, Kolozsvár)

Érdemes kiemelni, hogy két csapat az általános iskolás korosztályt képviselte, és két csapat érkezett a határainkon túlról (Erdélyből). A résztvevőket és a megjelent érdeklődőket *Kovács Kálmán*, a MANT (és egyben a zsűri) elnöke, valamint a verseny fő támogatója, a KKM nevében *Ferencz Orsolya* úrkutatásért felelős miniszteri biztos köszöntötte.

A „játékmester” *Both Előd*, a MANT korábbi elnöke volt. Ő vezette fel a változatos feladatokat, amelyek között szerepeltek villámkérdések, űrrel kapcsolatos képekhez kötődő feladatok, számolós, de még művészeti témájú feladat is. A csapatok megtartották továbbá a „házi feladatként” elkészített 4 perces előadásukat, amelyben a Nemzetközi Űrállomás egy-egy modulját kellett bemutatniuk. A mintegy három órán át tartó vetélkedés a diákok és a zsűri részéről is komoly odafigyelést igényelt, hozott meglepően jó (és persze rossz) válaszokat, derűs pillanatokot. A pontverseny egészen az utolsó képes totóig nyitott maradt.



Az első két helyen igen kis különbséggel a BGRG01 és az Űrmajmok csapata végzett. A legmagasabb pontszámot elért csapat (BGRG01) tagjai: *Herczeg Viktória*, *Balázs Barna Flórián*, *Ollé Sarolta* és mentoruk, *Kovács Eszter*. A további sorrend: *Napkuttyák*, *Kempelen8af1*, *Electrica Legacy* és *Sneaky Golem*. A díjakat, okleveleket és a HUNOR program által összeállított ajándécsomagokat *Kapu Tibor* és *Cserényi Gyula* űrhajósok személyesen adták át a csapatoknak, az elmaradhatatlan csoportképek készítése mellett. A csapatoknak a verseny után még lehetőségük volt kötetlen beszélgetést folytatni az űrhajósokkal, illetve szakmai vezetéssel megtekinteni a HUNIVERZUM látogatóközpontot is. (Fénykép: *Trupka Zoltán*)

## **Űrkorszak szemináriumok, szakmai workshopok**

---

A MANT tevékenységében fontos szerepet játszanak egyrészt az érdeklődő nagyközönségnek szóló szakmai-ismeretterjesztő előadások, másrészt a szűkebb szakmai közönség számára szervezett, egy-egy speciális témakört részletesen körüljáró rendezvények.

Az előbbieket közül kiemeljük az **Űrkorszak szemináriumok** sorozatát. Ezeken a BME-vel közösen szervezett alkalmakon mindig valamilyen érdekes, aktuális, az űrrrel kapcsolatos téma került terítékre, az adott terület legkiválóbb szakértőinek tálalásában. A személyes részvétel mellett lehetőség van az előadások követésére a Galileo Webcast által biztosított élő közvetítések révén, valamint a MANT YouTube-csatornáján megosztott felvételek utólagos megtekintésére is.

2024-ben és 2025-ben az alábbi témák és előadók szerepeltek az Űrkorszak szemináriumokon:

- Alközpontos a csillagok között (*Schuminszky Nándor*) – 2024. február 14.
- A magyar űrkutatásról (*Ferencz Csaba*) – 2024. március 13. és november 25.
- Mesterséges intelligencia az űrkutatásban (*Prószéky Gábor*) – 2024. május 15.
- Nemzetközi űrverseny és Európa (*Horvai Ferenc*) – 2024. október 30.
- Űrpszichológiai kutatások (*Ehmann Bea*) – 2024. november 11.
- Csapatszellem üdítődobozban (*Székely Anna Krisztina*) – 2024. december 2.
- Így jutunk a csillagokig: az emberes űrrepülések kihívásai a kezdetektől az ISS-ig (*Szabó Sándor András*) – 2025. április 7.
- Elrepülhetünk-e valaha a Marsra? Az űrrepülés öt fő veszélye (*Remes Péter*) – 2025. június 2.
- Bolygóléggör-modellezés súlytalansági kísérletekben – múlt, jelen, jövő (*Vincze Miklós*) – 2025. november 17.
- Láthatatlan veszély (*Medvegy Anna*) – 2025. november 24.
- Űrutazással összefüggő látásproblémák kezelése innovatív gyógyszerhordozók kifejlesztésével (*Balogh-Weiser Diána*) – 2025. december 2.
- Űrkorszak diákszeminarium – 2025. december 17.

A szakmai közönséget célzó **MANT workshopok** célja, hogy érdekes, fontos, akár üzleti értelemben is hasznos információhoz juttassa az érdeklődő magánszemélyeket vagy hazai vállalkozásokat. A szóban forgó két évben négy alkalommal szerveztünk ilyen rendezvényeket:

- ESA delegáció #1 – 2024. március 26.
- Űrtávcső, űrszonda, ESA projektmenedzsment – 2024. március 28.
- ESA Requesting Party Activities (RPA) – PSS űrlapok – 2024. július 24.
- Vízszimatolás a Holdon – Puli holdküldetés tájékoztató – 2025. február 21.

# Tartalom

<b>Előszó.....</b>	<b>3</b>
Kereszturi Ákos, Nagy Balázs, Kovács Gábor <b>Magyar közreműködés az ESA Hera űrszondája előkészítésében .....</b>	<b>4</b>
Németh Kolos <b>Villámok és porviharok a Marson – légköri elektromosság a vörös bolygón .....</b>	<b>14</b>
Farkas Péter, Grenerczy Gyula, Frey Sándor <b>A Geo-Sentinel országos mozgásmonitorozási rendszere .....</b>	<b>24</b>
Varga Krisztián <b>Űrszillagászat Keleten (2. rész) – Japán .....</b>	<b>31</b>
Schuminszky Nándor, Vincze Miklós <b>A második magyar űrhajós és az „Útitárs” program .....</b>	<b>51</b>
<b>A Magyar Asztronautikai Társaság 2024–2025. évi tevékenységéről .....</b>	<b>59</b>

