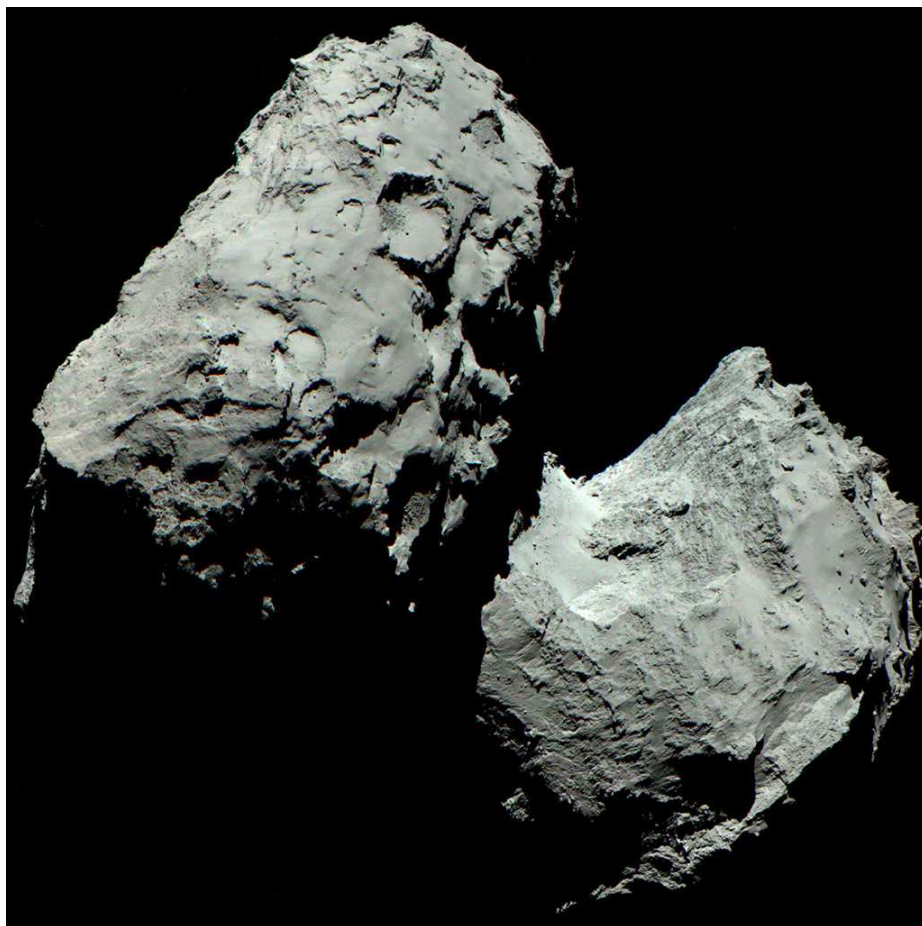


ŰRTAN ÉVKÖNYV 2014



Az Asztronautikai Tájékoztató 66. száma

Kiadja a Magyar Asztronautikai Társaság



Szakmai kirándulás a Magyar Honvédség Honvédkórház Repülőorvosi Alkalmasságvizsgáló és Kutató Intézetében, Kecskeméten, 2014. február 22-én. A barokamrát Dr. Szabó Sándor András orvos alezredes (balra), az intézetvezető főorvos helyettese mutatja be. (Fotó: Frey Balázs)

A címlapon a 67P/Csurjumov–Geraszimenko-üstökös képe „színesben”, a Rosetta űrszonda OSIRIS kamerája három, vörös, zöld és kék színszűrővel készült felvételének kombinálásával. A felvételek 2014. augusztus 6-án készültek, az üstökösmagtól 120 km-es távolságban. Az ábrázolt terület mérete nagyjából 4 km×4 km-es. A kép tanúsága szerint az üstökös valódi színe sötétszürke. A program jelentős magyar vonatkozásaira való tekintettel a Rosetta, és leszállóegysége, a Philae évkönyvünk három cikkének is főszereplője! (Kép: ESA / Rosetta / MPS for OSIRIS Team MPS / UPD / LAM / IAA / SSO / INTA / UPM / DASP / IDA)

Űrtan évkönyv 2014

Az Asztronautikai Tájékoztató 66. száma

Kiadja a Magyar Asztronautikai Társaság



Űrtan évkönyv 2014

Az Asztronautikai Tájékoztató 66. száma

Szerkesztette: Dr. Frey Sándor

Készült
Nemzeti Fejlesztési Minisztérium támogatásával

Kiadja:
a Magyar Asztronautikai Társaság
1044 Budapest, Ipari park u. 10.
www.mant.hu
Budapest, 2015

Felelős kiadó: Dr. Bacsárdi László főtítkár

Kézirat gyanánt

HU ISSN 1788-7771

Készült 400 példányban

Előszó

A Magyar Asztronautikai Társaság (MANT) ismét jelentkezik az Űrtan évkönyv legújabb, ezúttal az alig hogy elmúlt 2014-es évet összefoglaló kötetével. A kiadvány egyúttal az Asztronautikai Tájékoztató hagyományos sorozatának 66. száma. A könyv megjelentetését, kinyomtatását a Nemzeti Fejlesztési Minisztériumtól (NFM) kapott támogatás tette lehetővé, amiért ezúton is köszönetet mondunk.

Ahogy a címlapról, az éves eseményleltárból, és a kötetben megjelenő három különböző cikkből is világos lehet, 2014 elsősorban a Rosetta éve volt. A 2004 márciusában indított, a célpontjául kijelölt üstökös közelébe egy évtizeddel később megérkezett európai űrszondán, illetve annak Philae nevű leszállóegységén a magyar mérnökök és kutatók „keze nyoma” is megtalálható. A Rosetta világraszóló sikere tehát a magyar űrkutatók sikere is egyben, ami szerencsésen egybeesett a 2014-ben meghozott fontos kormányzati döntéssel: Magyarország 2015-ben végre az Európai Űrügynökség (ESA) teljes jogú tagállamaként folytathatja űrtevékenysége, űripára fejlesztését. Ugyancsak 2014-ben indult a nagyszabású európai Copernicus program első műholdja, a Sentinel-1A. A hamarosan várható folytatással, a Sentinel-2-vel kapcsolatban szintén jelentős hazai űripari sikerről számolhatunk be – erről szól évkönyvünk egyik cikke is.

Kötetünk elején megtalálható a hagyományos éves válogatás a világ űrkutatásának legfontosabb és legérdekesebb 2014-es híreiből. Publikációs felhívásunkra idén nem kevesebb mint kilenc szakmai ismeretterjesztő cikket kaptunk hazai szakemberektől. Változatos témákról olvashatunk, a Rosetta és Philae magyar vonatkozásaitól kezdve a Föld műholdradaros megfigyelésén és a kvantumkommunikáción át az űrkutatás és az oktatás összefüggéseiig.

A MANT 2014-es programjai, rendezvényei sokszínűek voltak, tagjaink mellett – nagyobb tudománypromótor rendezvényeken való megjelenéseinkkel – sikerült elérnünk számos más érdeklődőt is. Az elmúlt évben is hirdettünk diákpályázatot, megszerveztük a nyári Űrtábort. December elején Budapesten került sor az Űrkutatás Napjára. Egyesületünk tevékenységéről a kötet végén olvasható beszámolók adnak keresztmetszetet. Ezeken túl még több hír, tudósítás olvasható, rengeteg fénykép látható internetes honlapunk hír- és képtárárában.

Kívánom, hogy forgassák érdeklődéssel, haszonnal a 2014-es Űrtan Évkönyvet – ne csak most, hanem akár évek múlva is, ha vissza szeretnének pillantani egy mozgalmas, sikeres évre.

Budapest, 2015. február

A szerkesztő

Válogatás az űrkutatás 2014-es eseményeiből

Összeállította: Frey Sándor

Összeállításunkban az Űrvilág internetes hírportál (www.urvilag.hu) anyagaiból válogattunk. A felhasznált illusztrációk többsége NASA és ESA fotó vagy fantáziakép.

2014. január

ISS: lehet 4 évvel több? Eddig hivatalosan 2020-at jelölték meg, mint a Nemzetközi Űrállomás (ISS) programjának befejező évét, azaz a megjegyzéssel, hogy technikailag feltehetően akár 2028-ig is kitolható lenne a komplexum hasznos élettartama. Most a NASA és az Obama-kormányzat bejelentette, hogy támogatnák a Föld körül keringő kutatólaboratórium további fenntartását, egyelőre 2024-ig. Ez még akkor is igaz, ha a nemzetközi partnerek úgy döntenének, hogy kiszállnak a finanszírozásból – kivéve természetesen Oroszországot, akik nélkül semmiképp nem tudnák folytatni. Valószínűleg persze a többiek – például az európaiak és a japánok – sem szívesen mondanának le az ISS további hasznosításáról, „csupán” meg kell találni a módját, hogyan teremtsék elő a hozzájárulás összegét az értékes kutatólaboratórium fenntartásához, aminek a felépítésébe és fenntartásába már eddig is sokat fektettek. Mivel még 2020 is elég messze van, a hosszabbítás nem igényel azonnali többletköltségvetést, de érdemes elkezdeni gondolkodni a szándékokon. A hír először január 7-én kapott nyilvánosságot. A NASA nem véletlenül választotta ezt az időpontot, hiszen néhány napra rá, 10-én ültek össze a nemzetközi űrügynökségek vezetői a Nemzetközi Asztronautikai Akadémia (International Academy of Astronautics, IAA) washingtoni rendezvényén. Sokan közülük hasonló gonddal szembesülnek, mint az amerikai űrhivatal vezetői: a polgári űrtevékenységre szánt költségvetési összegek csökkenésével. Közben a NASA olyan megoldásokat igyekszik találni, amelyekkel faragni lehet az ISS évente mintegy 3 milliárd dolláros üzemeltetési költségein. Ezek jelentős részét (nagyjából felét) a teher- és emberszállító űrhajók küldésére fordítják. A helyzetet bonyolítja, hogy ez utóbbiak tekintetében az amerikaiak még mindig az orosz Szojuz űrhajókra szorulnak.

Interszputnyik. Még az űrtevékenység iránt érdeklődők között is nagyon kevesen vannak, akik már hallottak az Interszputnyikról. Magyarország ennek a nemzetközi szervezetnek az 1971-es megalapítása óta mind a mai napig tagja. A moszkvai székhelyű szervezet

akkoriban a szocialista országokat tömörítette, kezdetben 8 tagja volt. A szocialista világrendszer időközben már történelmi emlékké vált, de az Interszputnyik Nemzetközi Űrtávközlési Rendszer és Szervezet túlélte, megmaradt, sőt ma már 26 tagországot – köztük jó néhány volt szovjet tagköztársaságot – tömörítve működik, sikerrel. A tagok közt nem csak európai, de latin-amerikai, délkelet-ázsiai, sőt már afrikai országok is megtalálhatók. A szervezet célja az, hogy a tagállamok az űrtávközlési (elsősorban műsorszóró) kapacitást együttműködve, egymás hasznára építsék ki és gondozzák. Az Interszputnyik profitorientált szervezet, a Tanács és az Üzemeltetési Bizottság döntései határozzák meg kereskedelmi tevékenységének fő irányait. A profitot saját műholdas kapacitásának bérbe adásával vagy eladásával nyeri. A távközlési holdak bizonyos számú „csatornával” bírnak különböző frekvenciasávokban, ez más a televíziós műsorszórásnál és más pl. az internet esetében.

Az Interszputnyik-tagság Magyarország számára garantált minimális éves bevételt jelent, tagdíj fizetése nem szükséges. A 2013-as évtől kezdődően számos új feladat jelentkezik, így az Alapító Okiratot Módosító Jegyzőkönyv és az Üzemeltetési Bizottság létrehozásáról szóló megállapodást ratifikálni szükséges. Ezzel Magyarország az operatív döntések meghozatalában közvetlenül is részt vehet. Az Interszputnyik a Tanács és az Üzemeltetési Bizottság ülését 2014-ben Budapesten tartotta. Mindez annak a jele, hogy hazánk igyekszik a korábbinál aktívabb szerepet játszani a nemzetközi szervezetben.

TDRS-L: a NASA új kommunikációs holdja. A január 24-én indult, geostacionárius pályára kerülő műhold segít a kapcsolattartásban az alacsony pályás űreszközök, valamint a földi irányítók között. A TDRS-L (Tracking and Data Relay Satellite L) jelzésű műhold az amerikai űrhivatal 1983-ban kiépíteni kezdett adattovábbító rendszerének legújabb, harmadik generációs tagja. A TDRS rendszer feladata, hogy biztosítsa az alacsony Föld körüli pályán, ezért viszonylag rövid periódusidővel (gyorsan) keringő űreszközök – például a Nemzetközi Űrállomás (ISS), az űrtávcsövek, a földmegfigyelő műholdak, vagy indításkor a hordozóeszközök – állandó adatkapcsolatát az irányítóközponttal. A TDRS holdak ezért geostacionárius pályán, a földi követőállomásokról nézve az égen fix irányban tartózkodnak, a bolygónk körüli térségben egyenletesen elosztva. Így mindig akad közülük olyan, amelyik képes egy-egy adott alacsony pályás űreszközzel kapcsolatba lépni és adatait átjátszani. A TDRS rendszer „vérfrissítésére”, az előregedő műholdak pótlására a NASA tavaly indította a mostanihoz hasonló K, jövőre pedig pályára állítja az M jelű holdat. Ezzel a hárommal a további működés legalább az

elkövetkező másfél évtizedre garantált. A NASA űrkommunikációs hálózata az űrügynökség mindennapos működése, az űreszközeinek üzemeltetése szempontjából kritikus infrastruktúra. A műholdakat két földi állomás szolgálja, helyszíneik: White Sands, Új-Mexikó állam, és Guam szigete. Az adatátvitel az S-, Ku- és Ka-sávokban lehetséges.

2014. február

Elhunyt Valerij Kubaszov. Az egykori szovjet űrhajós, Valerij Nyikolajevics Kubaszov február 19-én, 79 éves korában hunyt el. Itthon a nevét az tette különösen ismertté, hogy 1980. május 26-án a Szojuz-36 fedélzetén együtt indult a világűrbe az első magyar űrhajóssal, Farkas Bertalannal. A Szaljut-6 űrállomáson dolgoztak, majd a Szojuz-35-tel tértek vissza június 3-án. Kubaszovnak azonban ez már a harmadik űrrepülése volt. A statisztikák szerint összesen 18 napot, 17 órát és 57 percet töltött a Föld körül. Repülőmérnöki képesítést, majd műszaki doktori fokozatot szerzett. 1966-ban kezdte meg az űrhajóskiképzést több civil mérnökkel együtt. A szovjet űrhajósok csapatába 1968-ban válogatták be. Alig több mint egy évre rá, 1969 októberében már repült is: a Szojuz-6 programja során először végeztek fémhegesztési kísérletet a világűrben. Nemzetközi hírnévre azonban 1975-ben, a közös szovjet–amerikai űrrepülés, a Szojuz–Apollo program révén tett szert. Kubaszov a Szojuz-19 fedélzetén Alekszej Leonov parancsnoksága mellett vett részt a repülésben. Ennek során először kapcsolódott össze két különböző ország – a ráadásul a hidegháború szemben álló felei – űrhajója a Föld körüli pályán. Tűlzás nélkül lehet állítani, hogy az eseménynek akkor világtörténelmi jelentősége volt. Ennyi idő távlatából visszatekintve az is megállapítható, hogy a napjainkban folyó együttműködésnek, különösen a Nemzetközi Űrállomás felépítésének és közös üzemeltetésének az 1975-ös közös repülés adta meg a kezdőlökést. Mielőtt űrhajósnak állt, Kubaszov mérnökként a Voszhod űrhajó kifejlesztésén dolgozott, Szergej Koroljov tervezőirodájában (a mai Enyergija vállalat elődjében). Űrhajósként 1993-ban vonult vissza. Később az Enyergija vezérigazgató-helyettese lett.

Nyert a PLATO. Az Európai Űrügynökség (ESA) tudományos programbizottsága egyhangúlag az exobolygó-kutató űrtávcső megvalósítása mellett szavazott. Startját 2024-re tervezik. A PLATO (Planetary Transits and Oscillations of stars) az ESA harmadik közepes méretű (M osztályú) tudományos küldetése lesz. Fejlesztési költsége kb. 1 milliárd euró. 2011-ben még lemaradt a versenyben a Solar

Orbiter és Euclid mögött. E kettő 2017-ben, illetve 2020-ban startolhat. A PLATO űrtávcső, amelyet a Nap–Föld rendszer külső (L2) Lagrange-pontjához küldenek majd, az exobolygók keresésére a tranzit módszert alkalmazza majd. Ezzel a távoli csillaguk előtt elvonuló, fényüket periodikusan kitakaró bolygókat lehet felfedezni és vizsgálni. Emellett a pontos fényességmérésnek a csillagok fényváltozásainak elemzésében, így fizikai tulajdonságaik jobb megismerésében is fontos szerepe lesz. A PLATO tehát az alkalmazott mérési technika szempontjából a sikeres francia–európai CoRoT és az amerikai Kepler utódjának tekinthető. A PLATO keresési stratégiája szerint viszonylag közeli, fényes csillagokra összpontosít majd. Fedélzetére összesen 34 kis teleszkóp kerül, így nagy látómezőben, akár milliónyi csillag körül kereshet bolygókra utaló fedéseket. A remények szerint előkerülnek a Naprendszerhez hasonló bolygórendszerek is. A tudományos programban már a javaslat kidolgozásától kezdve magyar kutatók is jelentős szerepet játszottak, a jövőben nemzetközi munkacsoportokat is vezetnek. A PLATO a mostani elképzelések szerint egy Szojuz hordozórakétával startol majd Kourouból, működési élettartama legalább 6 év lesz. Ez idő alatt a fél égboltot át tudja vizsgálni.

Csapadékfigyelő műhold.

Az Egyesült Államokban épült, Japánból állították pályára a víz földi körforgásának kutatására készült űreszközt. A műhold neve Global Precipitation Measurement Core Observatory, röviden GPM-Core. Tanegashimából egy H-2A hordozórakétával startolt, február 27-én. A japán és az amerikai űrügynökségek (JAXA és NASA) közös vállalkozásában, a NASA Goddard Űrközpontjában készült űreszköz egy korábbi sikeres együttműködés folytatásának és kiterjesztésének is tekinthető. A TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) még 1997-ben indult és most is működik. Az új műhold, a GPM-Core pályájának hajlásszöge nagyobb lesz az egyenlítői síkhoz képest (65°), így a trópusi övezeten túl a Föld magasabb szélességei fölött is tud adatokat gyűjteni.

A műholdon egy két frekvencián működő aktív radar és egy paszszív mikrohullámú sugárázsmérő kapott helyet. A cél a csapadék (eső, hó) mennyiségének, területi eloszlásának folyamatos figyelése.



A víz globális körforgása bolygónk mindenki által ismert, de részleteiben még mindig kevésbé értett, igen összetett folyamata. Szoros kapcsolatban van a klíma változásával, a szélsőséges időjárási helyzetek (például trópusi ciklonok, özönvízszerű esőzések vagy épp pusztító szárazságok) kialakulásával, az ivóvízkészletek alakulásával. A GPM valójában egy egész nemzetközi csapadéfigyelő műholdrendszer, amelynek a mostani űreszköz jelenti a „magját”. Segítségével tudják majd kalibrálni a többi műhold méréseit is, hogy azok jól összehasonlítható, egységes minőségű adatokat tartalmazó, hosszú időtávú, mindenki számára hozzáférhető adatbázissá állhassanak össze, amelyben egy-egy földrajzi helyről akár 2-3 óránkénti időbeli felbontással állnak rendelkezésre adatok a csapadékról. Az amerikaiak és japánok mellett a világ más űrügynökségei, így a francia CNES és az indiai ISRO, valamint az amerikai NOAA és az európai EUMETSAT meteorológiai szervezetek is részt vesznek az együttműködésben. Olyan műholdakról van szó, amelyeket nem kifejezetten és kizárólag erre a célra állítottak pályára, de bizonyos méréseik alkalmazhatók a víz körforgásának kutatására.

PlanetLabs: még száz kis műhold. A kaliforniai cég 28 apró űreszköze, amellyel a Földet fényképezik, február óta már pályán van. Jövőre jöhet még 100. A San Francisco-i székhelyű Planet Labs legutóbbi műholdjai (Flock-1, vagyis az „első csapat”) januárban jutott fel a Nemzetközi Űrállomásra a Cygnus teherűrhajóval. Ott a japán robotkar közreműködésével kerültek önálló pályára, február 11-én.



A cég bejelentette, hogy folytatja műholdflottája kiépítését. Egyelőre közelebbről meg nem nevezett amerikai és orosz hordozórakétákkal még száz miniatűr űreszközt állít pályára, a tervek szerint egy éven belül. Ezek segítségével bolygónk felszínének nagy része

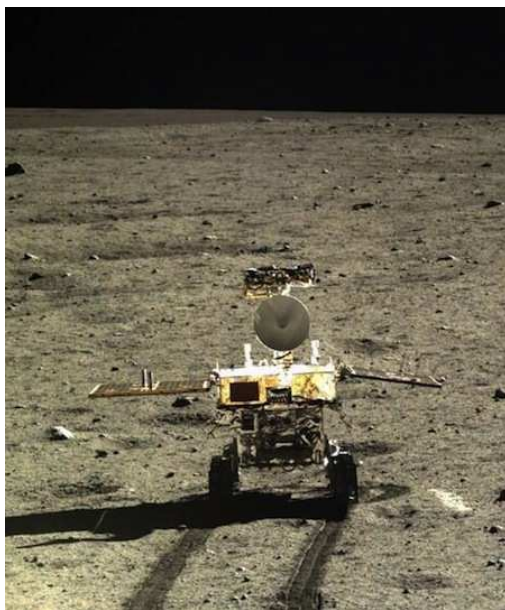
szinte folyamatosan, egy adott helyszín fölött egy napon belüli visszatérési idő mellett szemmel tartható. A száz új műhold a cég már pályán levő összesen 31 működő holdjához csatlakozva minden ediginél nagyobb műholdrajt alkot majd. Az ilyen gyors visszatéréssel végzett földmegfigyelés újfajta alkalmazásokat tesz majd lehetővé. A vállalkozás célja olyan hagyományos űrtávérzékelési feladatok megoldásának támogatása, mint például a mezőgazdasági termésbecslés, az erdősültség változásának figyelése, a környezetvédelem, a természeti katasztrófák megelőzése és következményeik elhárítása. A kis, CubeSat szabvány szerint épített, kb. 4,5 kg tömegű műholdakon elhelyezett kamerák 3-5 m-es felszíni felbontásra képesek. A készülő százról nincs információ, de feltehetően hasonló tudásúak lesznek. A legutóbb pályára állított 28 hold pályahajlása 52°, vagyis ilyen északi és déli szélességek között fekvő területek felett repülnek el rendszeresen.

2014. március

Helyzetjelentés a Jáde nyúl-

ról. A kínai holdjáró épp újabb éjszakai hibernációját tölti. A korábbi rossz hírek után már az is nagy dolog, hogy legutóbbi elaltatásakor még működött. Gurulni azonban már nem fog. Legalábbis ezt lehet leszűrni azokból a szűkszavú hivatalos kínai hírügynökségi jelentésekből, amelyek a Jütu (Yutu, vagy Jáde nyúl) rover állapotával foglalkoznak. Egy közelebbről meg nem határozott, a vezérlő áramkörben fellépett hiba miatt képtelen a gurulásra a holdjáró. Ugyanez volt az oka, hogy az előző éjszakai hibernációjára nem tudott kellőképpen felkészülni, mivel nem volt képes behúzni árbocát és behajtani napelemtábláit. Ezért január végén már „halálhírét keltették”. Szerencsére azonban azt a holdi éjszakát a problémák ellenére mégis átvészelte, a földi irányítók február 12-én rádiókapcsolatba tudtak lépni vele.

A Jütu állomáshelyén, ahová tavaly december közepén érkezett a Csang'e-3 (Chang'e-3) űrszondával, most épp ismét egy két hetes éj-



szakai periódus tart, ami alatt – napsugárzás és holdi légkör híján – igen alacsonyra, kb. mínusz 180 Celsius-fokig esik a hőmérséklet. A kínai irányítók reménykednek abban, hogy legközelebb, márciusban is feléled még a holdjárójuk, amely azonban járni bizonyára már nem fog. A műszerei ugyanakkor állítólag egyelőre működőképeseek voltak – más kérdés, hogy a mozgás lehetőségének hiánya miatt méréseik várható haszna is korlátozott. Összességében a kínai holdjáró állapota nem sok reményre ad okot. A rovert a tervek szerint mintegy három hónapig tartó barangolásra szánták a leszállóhely, az Esők Tengere (Mare Imbrium) körzetében, az ottani geológiai viszonyok, a felszín anyagi összetétele és a felszín alatti rétegek részletes felmérése céljából.

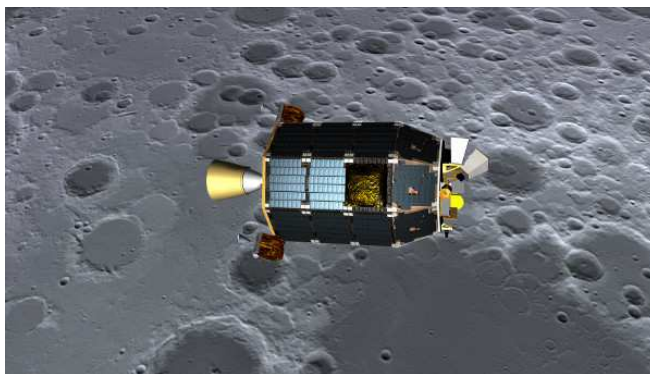
2014. április

Elindult a Sentinel-1A. Elindult az európai Copernicus program első földmegfigyelő műholdja. A Copernicus (régábbi nevén GMES) az Európai Unió és az ESA közös programja egy egységes, operatív, jó minőségű adatokkal dolgozó földmegfigyelő rendszer kialakítására, környezetvédelmi és biztonsági célú alkalmazások céljára. A rendszer alappillérei a távérzékelési adatokat szolgáltató műholdak. A Sentinel (magyarul: őrszem) nevű műholdsorozat most indított első darabjának sorszáma 1A. Az 1-es szám nem szorul különösebb magyarázatra, megfigyelési technikáját tekintve egy C-sávú apertúraszintézis-radarrel felszerelt űreszközzel van szó. A megjelölésben az A betű arra utal, hogy a Sentinel-1 radaros műholdak közül a mostani az első. 2016-ra terveznek indítani egy azonos felszereltségű holdat, Sentinel-1B néven.

A Sentinel-1A egy orosz gyártmányú Szojuz hordozórakéta segítségével állt kb. 700 km magas, poláris pályára. A start a dél-amerikai Francia Guyanában fekvő „európai űrbázis”, Kourou területéről történt, április 3-án. Az indítás új korszakot nyit az európai műholdas földmegfigyelésben. A Sentinel sorozat mérésein operatív alkalmazások alapulnak majd, hasonlóan ahhoz, ahogy azt a meteorológiai előrejelzések esetén már megszokhattuk. A megfelelő kalibráció és minőség-ellenőrzés után pedig az adatok mindenki számára ingyenesen hozzáférhetők lesznek. Az elképzelés az, hogy ez a modell rövid időn belül jelentősen megnöveli majd a műholdas távérzékeléssel nyert információ felhasználását. Segít a környezeti erőforrásokkal való jobb gazdálkodásban, a klímaváltozás kutatásában, az európai polgárok biztonságának szavatolása terén. A műholdas távérzékelési adatokra új szolgáltatások, vállalkozások épülhetnek, így végső soron a befektetés megtérül a társadalomnak.

A Sentinel-1A radarmérései többek között a tengeri jég, az olajfoltok, a hajóforgalom követésére lesznek alkalmasak. A szárazföldeken például a földhasználat alakulásának vizsgálatára használják. Katasztrófa helyzetek (árvizek, földrengések, földcsuszamlások) esetén a napszaktól és felhőborítottságtól függetlenül végezhető radarmérések hasznos információval segítenek a mentési, kárelhárítási munkálatokban. A műholdradar-interferometria révén pedig a felszínmozgások – beleértve az épített környezet változásait is – nagy pontossággal felmérhetők. A Sentinel-1A várható élettartama legalább 7 év. (A Sentinel-1A-val foglalkozik évkönyvünk egyik külön cikke is!)

A LADEE vége. Április 18-án becsapódott a Holdba az égitest ritka „légkörét” vizsgáló amerikai űrszonda. A LADEE (Lunar Atmosphere Dust Environment Explorer) programja ezzel tervezett véget ért. Az űreszközt utoljára április 11-én utasították pályamódosító manőverre. Ekkor a Hold felszínét minden korábbinál jobban (2 km-en belül) megközelítő pályára került, és csak napok kérdése volt, hogy mikor csapódik be az égitestbe. A lezuhanás helye a Hold túlsó, tőlünk nem látható oldalán volt, hogy véletlenül se veszélyeztessék egyetlen korábbi űreszköz leszállóhelyét sem. A LADEE a felszínbe csapódáskor kb. 5800 km/h sebességgel haladt.



A LADEE feladata a Holdat körülvevő, igen ritka és vékony gáz- és porréteg vizsgálata volt. Programja azért ért most véget, mert elfogyott a manőverezésre magával vitt hajtóanyag. A tavaly szeptemberben startolt, októberben a Hold körüli pályára állt űreszköz november 10-e óta gyűjtötte a tudományos mérési adatokat. Eredetileg március elejéig tervezték működtetni, de maradt még lehetőség egy rövid hosszabbításra. A legvégén az alacsony pálya tudományos érdekességeket is ígért. A szondának sikerült megérnie és átvészelnie az április 15-én lezajlott holdfogyatkozást is. Ez műszaki szempontból azért volt érdekes, mert sokkal hosszabb ideig maradt árnyék-

ban és alacsonyabb hőmérsékletre hűlt, mint amire tervezték. A Hold környezetének kutatása mellett a LADEE másik feladata egy földi állomással a kétirányú lézeres adatátvitel kipróbálása volt. A Lunar Laser Communication Demonstration (LLCD) volt a NASA első ilyen célú kísérlete. Sikerült felállítani az optikai kommunikáció távolsági rekordját, és 622 Mbit/s adatlesugárzási sebességet elérni. A Földről, pontosabban az Új-Mexikó államban levő elsődleges állomásról 20 Mbit/s hibamentes feltöltési sebességet értek el.

2014. május

Japán radaros földmegfigyelő hold indult. Az új, kb. 2 tonnás japán űreszközt (és négy másik, sokkal kisebb társát, apró egyetemi műholdakat) egy H-2A hordozórakéta állította pályára Tanegashimából, május 24-én. Az ALOS-2 (Advanced Land Observation Satellite-2) másik neve Daichi-2. A szó földet jelent, ugyanígy hívták a most felbocsátott műhold elődjét.



Az „eredeti” Daichi (ALOS) 2006-tól 2011-ig működött, amikor a fedélzeti energiaellátásával kapcsolatos hiba miatt használhatatlanná vált. Az a műhold egy optikai sztereokamerát, egy radiométert és egy L-sávú, az apertúraszintézis elvén működő radarberendezést is magával vitt. A mostani csak a radaros mérésekre koncentrál.

(2016-ra tervezi a JAXA japán űrügynökség felbocsátani az ALOS-3-at, optikai távérzékelő feladattal.)

A továbbfejlesztett, ugyancsak L-sávú (1,2 GHz-es frekvencián működő) radarral felszerelt ALOS-2 remélt élettartama legalább 5 év. A PALSAR-2 (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar-2) berendezés segítségével éjjel-nappal, akár borult vagy felhős időben is információt tudnak gyűjteni a földfelszínről. A PALSAR-2 felszíni felbontása az egyik üzemmódjában 1-3 m-es lesz. Ez lényeges javulás az elődjéhez, az első ALOS műholdon repült PALSAR-hoz képest, amely 10 m-es felbontású radarképeket tudott készíteni. Az új berendezés továbbá a korábbinál háromszor szélesebb, 2320 km-es sávokat tud egyszerre feltérképezni. A műhold a repülési irányához képest jobbra és balra is képes „nézni”, ellentétben az első ALOS-szal. A két X-sávú kommunikációs antenna hatszor akkora

átviteli sebességgel tudja a Földre sugározni az adatokat, mint az első ALOS műhold esetében. Míg a korábbi japán radaros műhold 46 naponta volt képes újra megfigyelni egy-egy földfelszíni pontot, addig utódja legalább kéthetente egyszer elrepül egy adott terület fölött, elődjénél valamivel alacsonyabb (kb. 630 km-es) pályán.

Számos alkalmazási területe közül megemlíthető a természeti katasztrófák (árvizek, földrengések, földcsuszamlások, vulkánkitörések) következményeinek megállapítása, a földhasználati módok, az erdőborítottság, a gleccserek felmérése, mezőgazdasági termésbecslés, a tengerjáró hajók, tengeri olajfoltok figyelése. Az ALOS-2 nagy előnye a gyorsasága lesz. A 2011-es nagy földrengés és tengerár után a régebbi ALOS-nak egy hónapjába került a teljes körű adatgyűjtés (szerencsére az a műhold csak e faladat végrehajtása után ment tönkre). A mostani ALOS-2 ugyanezt az adatmennyiséget néhány nap alatt be tudja gyűjteni, ha a széles látómezejű üzemmódban használják.

2014. június

Magyar eszköz az űrállomás külsején. Orosz űrséta során szerelték fel azt a kommunikációs berendezést, amelynek egyik fontos eleme egy magyar űripari cégnél készült. A BPBS28 mikrohullámú erősítőt a budapesti BHE Bonn Hungary Elektronikai Kft. szállította az orosz partner megrendelésére. A két orosz űrhajós – Alekszandr Szkvorcov és Oleg Artyemjev – rendben felszerelte a Nemzetközi Űrállomás (ISS) külső felületére a TMTC kommunikációs berendezést (Monoblock), amelyben a magyar építésű erősítő is megtalálható. Még az este folyamán be is kapcsolták, és a mérések szerint minden rendben működik a Zvezda modul törzsének kúp alakú részére szerelt, nagy adatátviteli sebességre képes berendezéssel. Egyelőre kommunikációra még nem használják, azzal megvárják az április végén pályára állított orosz Lucs-5V geostacionárius adatátjátszó műhold beüzemelési munkálatainak befejezését, ami augusztusban esedékes. Az orosz szakemberek gratuláltak a magyar partnerük munkájához. Mind Szkvorcov, mind Artyemjev egyébként először vett részt a nyílt világűrben végzett szerelési munkán. Űrsétájuk összesen 7 óra 23 percen át tartott, a tervezett 6 és fél óránál kicsit tovább. A kommunikációs berendezés felszerelése mellett más feladatokat is végrehajtottak, köztük az Obsztanovka kísérlet egyik érzékelőjét is áthelyezték – ebben a programban is részt vesznek magyar űrkutatók. Emellett anyagtudományi kísérleti mintákat is új helyre, egy nemrég felszerelt árbocra tettek át. Ezután a tartókeret-től megszabadultak, úgy, hogy annak a pályája ne keresztezhesse

később az űrállomását. Az űrszemétté vált alkatrész hamarosan megsemmisül a sűrű légkörbe lépve. Ez volt a száznyolcvanadik (!) űrséta 1998 óta, amikor megkezdődött a Nemzetközi Űrállomás szerelése majd üzemeltetése. Idén már harmadik alkalommal jártak kint az űrhajósok, hogy munkálatokat végezzenek az ISS külső részén. Az összesített űrsétaidő eddig 1130 óra és 51 perc, vagyis 47,1 nap. Ezt kilenc ország 116 űrhajósa teljesítette.

Pályán a SPOT-7. Az indiai PSLV (Polar Satellite Launch Vehicle) hordozórakétával június 30-án pályára állított összes űreszköz külföldi, a fő hasznos teher a francia SPOT-7 távérzékelő hold volt. A francia földmegfigyelő hold a 2012 szeptemberében ugyanilyen hordozóeszközzel startolt SPOT-6 „testvére”: az új SPOT-7 felépítése, műszerezettsége azonos. Kötelékben repülnek majd, hogy minél jobb lefedettséget, gyorsabb visszatérési időt kínáljanak az űrfelvétel felhasználóinak. A két, tisztán kereskedelmi hasznosítású űreszköz alapvetően hasonló a részben katonai célú francia Pléiades-1A és -1B távérzékelő műholdakhoz, amelyek még finomabb felbontásra képesek. Keringési magasságuk közel 700 km. A SPOT-ok legjobb felszíni felbontása 1,5 m. A 714 kg-os, minimum 10 éves élettartamra szánt műholdak az Airbus Defence and Space cégnél épültek.

2014. július

Elindult az OCO-2. A NASA első műholdja, amely a légköri szén-dioxid mérését végzi majd, egy Delta-2 rakétával indult Kaliforniából, július 2-án. A műhold nevében (Orbiting Carbon Observatory-2, OCO-2) a kettes szám arra utal, hogy a 467,7 millió dollárból elkészített űreszköz az eredeti OCO pótlását szolgálja. Az egy Taurus-XL hordozórakétával indult 2009-ben, de szerencsétlenül járt, nem érte el a Föld körüli pályát.

A Delta-2 rakéta második fokozata a start után 56 perccel állította 98,2°-os hajlásszögű (vagyis poláris), kb. 685 és 700 km között változó magasságú pályára a hatszög alapú hasábot formáló testű űreszközt. Ez az amerikaiak első műholdja, amely kifejezetten a légkörben levő, üvegházhatású szén-dioxid (CO₂) koncentrációjának, eloszlásának felmérésére, a változások nyomon követésére készült. A remélt adatoknak nagy fontosságot tulajdonítanak a klímaváltozás kutatásában, ezzel kapcsolatban az emberi tevékenység hatásának megítélésében. Az OCO-2 mérései lehetővé teszik a szén-dioxid kibocsátásában és elnyelésében legfontosabb helyek azonosítását.

Az új műhold a NASA meglevő földmegfigyelő űreszközeinek egész flottájához csatlakozik: jelenleg másik 17 amerikai műhold figyel

bolygónkat, különféle műszerekkel és más-más szempontok alapján. Az Orbital Sciences cégnél gyártott, 453 kg tömegű, egy – az energiatermelő napelemtáblái nélkül – hűtőszekrényhez hasonlítható méretű OCO-2 tervezett működési élettartama legalább 2 év. Minden egyes pálya megtétele alatt 69 ezer mérést végez majd, ami egy teljes globális megfigyelési ciklus (16 nap) alatt 8 milliónyi adatot jelent. Az OCO-2 eddig nem látott térbeli felbontással, 16 napos visszatérési idővel tudja felmérni a szén-dioxid koncentrációját a légkörben. A fedélzetén repülő műszer egy háromcsatornás, az emberi szem számára láthatatlan közeli infravörös sávban működő, nagyfelbontású spektrométer, amellyel a szén-dioxid és az oxigén molekuláinak elnyelési színeképvonalait tudják mérni. Ezek az elnyelési vonalak a földfelszínről visszaverődő napfényben látszanak, és utalnak ez elnyelést okozó gázok mennyiségére.

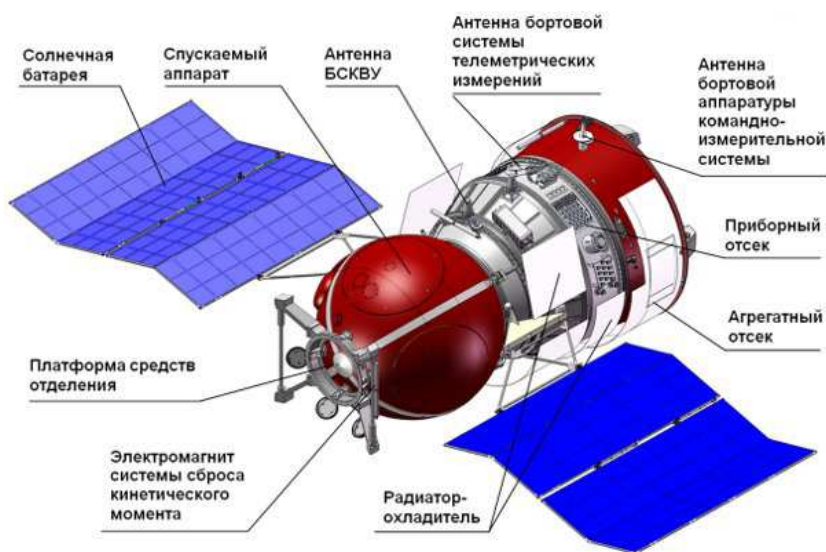
Bemutatkozott az Angara. A szovjet idők óta az első új oroszországi rakétafejlesztés jelentős állomása volt a sikeres bemutatkozó szuborbitális repülés. A vadonatúj Angara hordozórakéta 1.2PP jelzésű változata az észak-oroszországi Pleszeckből indult. A katonai irányítású űrbázist július 9-én hagyta el. Űreszköz nem volt rajta, Föld körüli pályára nem állt, hanem mintegy 5700 km-re keletre, a Kamcsatkai-félszigeten, az előre tervezett helyszínen a földbe csapódott. A teljes repülés orosz területek fölött 21 percig tartott.

Az orosz űrkutatás nagy reményeket fűz az Angara rakétacsaládhoz. A fejlesztést a Hrunyicsev vállalat fogja össze. A rakétákhoz nem használnak más volt szovjet tagköztársaságokban – mostanra önálló államokban – készülő egységeket, így kevésbé vannak kitéve a függőségekből adódó kockázatoknak. A modern Angarákhoz nem a jelenleg használatos orosz hordozóeszközökre jellemző, súlyosan mérgező hajtóanyagokat (dimetil-hidrazint és nitrogén-tertoxidot), hanem kerozint és folyékony oxigént alkalmaznak. A rakéták többféle változatban készülnek majd, így a kisebbektől a nagyobb űreszközig rugalmasan tudják alkalmazni azokat. Az Angara-1 konfiguráció, amelynek első és második fokozatát a mostani szuborbitális repülés alkalmával élesben próbáltak ki, 3,8 tonnányi hasznos terhet tud majd 200 km magas pályára juttatni.

Az Angara rakéták fő megrendelői az orosz hadsereg és a szövetségi űrügynökség (Roszkoszmosz) lesznek, de a típust kereskedelmi műholdindításokra is tervezik majd használni. Az első bemutatkozás a Föld körüli pályán jövőre várható. Starthelyként Pleszecken kívül a most még épülő távol-keleti Vosztocsnij űrközpont jöhet majd szóba. A kazahsztáni Bajkonurral nem számolnak, mint az Angarák indítóhelyével. A rakétafejlesztés még 1992-ben kezdődött. Akkor az volt a terv, hogy az első Angarának 2005-re üzembe kelle-

ne állnia. Pénzügyi okokból ez késedelmet szenvedett. Ez idáig a fejlesztés a becslések szerint 2,8 milliárd amerikai dollárnak megfelelő pénzt emésztett fel. Az Angara különböző változataival a Szojuzokon kívül a jelenleg Oroszország által használt összes hordozóeszközt szeretnék idővel kiváltani, beleértve a ballisztikus rakétákból átalakított kisebb teljesítményű rakétákat és a Proton nehézzrakétát is.

A negyedik Foton-M. Gekók, gyümölcslegyek, növényi magvak és még sok más súlytalansági kísérlet repült – az eredeti tervek szerint két hónapig – a július 18-án Bajkonurból, egy Szojuz-2.1a hordozórakétával felbocsátott orosz visszatérő kapszulában.



Az űreszköz teljes tömege 6,84 tonna. Amint befejezi feladatát, a kísérleteket tartalmazó egység visszatér a Földre, további elemzések céljából. A kapszula eredete az 1960-as évekig, az első szovjet emberes űrhajóig, a Vosztokig és a Voszhodig nyúlik vissza. A súlytalanságban, automata űreszközökkel végzett szovjet biológiai kísérletek sorozata az első, kísérleti visszatérő Bion műholddal (Kozmosz-110) indult, 1966-ban. Utána 1996-ig még 11 alkalommal bocsátottak fel Bion holdakat, majd hosszú szünet után tavaly áprilisban következett az első modernizált Bion-M. Ez továbbra is a Vosztok kapszulájával, de a Jantar nevű, új fejlesztésű műszaki egységgel repült.

A Föld körüli pályán, súlytalanságban végzett kutatásokra szolgáló, a minták utólagos földi elemzését lehetővé tevő visszatérő műholdak másik szovjet (majd orosz) sorozata a Foton. Ezek az űreszközök felépítésükben hasonlóak voltak a Bionokhoz, de kezdetben inkább anyagtudományi kísérleteket végeztek velük. 1985 és 1999 kö-

zött összesen 12 példányukat indították. Ezután következtek a korszerűsített Foton-M sorozat tagjai. A Foton-M1 a 2002-es startkísérlet során a hordozórakéta hibájából elveszett, de a Foton-M2 programja – jelentős magyar közreműködéssel – 2005-ben már sikeres volt. A Foton-M sorozat esetén már biológiai, anyagtudományi és egyéb vizsgálatok is szerepeltek a programban. A Foton-M3 2007. szeptember 14-én indult, tizenkét napos repülés után tért vissza, és magyar, illetve más európai kutatók is jócskán kivették a részüket a munkából.

A Foton-M4 annyiban különbözik az előző három Foton-M-től, hogy ugyanazt a Jantar műszaki kiszolgáló egységet építették bele, amit a Bion-M1 is használt. Ezzel lehetővé válik, hogy az űreszköz tovább tartózkodjon Föld körüli pályán, így hosszabb ideig tartó súlytalanságban végezhesék a kísérleteket.

A Foton-M4 indítása után nem sokkal azzal került be a hírekbe, hogy nem tudta elérni a tervezett pályamagasságát, az orosz szakemberek pedig egy ideig elvesztették felette az irányítást. A 60 naposra tervezett kísérleti program szeptember 1-jén, a tervezettnél rövidebb idő után véget ért, amint a Foton-M4 visszatérő kabinja szerencsésen landolt orosz területen, a kazah határtól nem messze, Orenburg körzetében. Nem voltak ennyire szerencsések a fedélzeten utazó hüllők, amelyek a Foton-M4-gyel kapcsolatos problémák miatt különös hírnevet szereztek maguknak. Az öt „szexgekkó” – ahogyan a sajtóban előszeretettel nevezték őket – azért repült, hogy a kutatók a reprodukciós képességeik alakulását vizsgálják a súlytalanság körülményei között. Az első hírek szerint az állatok már a földet érés előtt legalább egy héttel kimúlhattak. A visszatérő műholdról a működése közben nem juttattak élő felvételeket a Földre, így a legtöbb kérdésre csak a gekkókról rögzített képsorok visszajátszása és elemzése adhat választ. Az állatkísérleteket a moszkvai Orvosi-biológiai Kutatóintézet (IBMP) munkatársai irányították. Az ugyancsak a Foton-M4 fedélzetén – kétszeresen is szó szerint – repült gyümölcslegyek jobban túrték a viszontagságokat, életben maradtak, sőt szaporodtak. Az orosz visszatérő műholdon a biológiai kísérletek mellett például azt is vizsgálták, hogyan segíti a súlytalanság a félvezetőkristályok növesztését.

Úton az utolsó ATV. Az ötödik és egyben utolsó európai teherűrhajó elindult a Nemzetközi Űrállomás felé. Az ESA teherűrhajó-sorozatának (Automated Transfer Vehicle, ATV) ötödik, Georges Lemaître belga fizikus tiszteletére elnevezett tagja egy Ariane-5 hordozórakétával emelkedett a magasba a francia guyanai Kourou űrközpontból, július 30-án. Az ATV-5 (Georges Lemaître) a Nemzetközi Űrállomás (ISS) felé vette az irányt, ahová nagy mennyiségű ellát-

mányt szállít. A teherűrhajó még hónapokig állomásozik az űrállomásnál. Ez alatt előbb kirakodják a felszállított ellátmányt, majd a felszabaduló helyet megtöltik az ISS-en már feleslegessé vált hulladékkal. Az ATV-k „szokása” szerint alkalmanként megemelik majd az ISS pályamagasságát is, amire azért van rendszeresen szükség, mert a mégoly kis légellenállás is folyamatosan egyre közelebb hozza a komplexumot a felszínhez. Ha nem volnának pályakorrekciók, az ISS idővel belépne a sűrű légkörbe, ami a végét jelentené.

A Georges Lemaître az utolsó az ATV-k sorában, amivel az ESA letudta a rá jutó részt a Nemzetközi Űrállomás fenntartási költségeinek fedezésében. Többet már nem építenek és nem indítanak a jól bevált, sikerrel üzemelő teherűrhajókból. A fedélzeten most 6,6 tonnányi rakomány kapott helyet: kísérleti műszerek és anyagok, tartalék alkatrészek az ISS berendezéseihez, üzemanyag, az űrhajósok számára ruházat, élelmiszer, víz, levegő és oxigén. A teherűrhajóval két önálló kísérletet is végrehajtanak. Az egyik egy „együtt nem működő” űreszközhöz – például egy használaton kívüli műholdhoz, nagy űrszemétdarabhoz – való kapcsolódást segítő lézeres érzékelőrendszer (Laser InfraRed Imaging Sensors, LIRIS) kipróbálása. A másik egy infravörös kamera, amely a program legvégén, a légköri megsemmisülés idején jut szerephez. Az ATV belsejéből veszi majd, hogy izzik fel és esik szét darabokra a teherűrhajó a Csendes-óceán felett.

2014. augusztus

Megérkezett a Rosetta. A 2004-ben indított európai űrszonda lefékezett a 67P/Csurjumov–Geraszimenko-üstökös mellett. Az utolsó kritikus pályamódosító manőver augusztus 6-án délelőtt, közép-európai időben pontosan 11 órakor kezdődött és hat és fél percen át tartott. (Mind a művelet kezdetéről, mind a végétől 22 és fél perces késéssel értesültek a földi irányítók, az űrszonda nagy távolsága miatt.) Az üstökösmag végső megközelítését 10 órától az Európai Űrügynökség (ESA) darmstadti irányítóközpontjában (ESOC) ünnepelték, közvetítették. Az év talán legjelentősebb űrkutatási eseményét sok más helyen is követték. Magyarországon – ahonnan számos fedélzeti műszerrel hozzájárultak a Rosetta és leszállóegysége, a Philae építéséhez – a TIT budapesti Uránia Csillagvizsgálójában rendeztek nyilvános sajtóeseményt. A történeteket a küldetésben részt vevő magyar szakemberek kommentálták. A Rosetta eddig összesen 6,4 milliárd km-t „barangolt” a Naprendszerben, míg ilyen pontosan meg tudta közelíteni az üstökös pozícióját és felvenni pálya menti sebességét. Háromszor a Föld, egyszer a Mars mellett végeztek vele

gravitációs hintamanővert. Menet közben elrepült két kisbolygó közelében is. 2011-ben aztán mintegy 2,5 éves időtartamra hibernáltak, amiből idén év elején sikeresen „felébredt”. A Rosetta az űrkutatás történetében az első űreszköz, amely egy üstökösmag körüli pályára került. A 67P/Csurjumov–Geraszimenko-üstökös közeli tanulmányozása közben, novemberben egy leszállóegységet is küld az égitestre. Ha minden jól megy, a Rosetta programja egészen 2015 végig tart. (A Rosetta és leszállóegysége, a Philae működésével és első eredményeivel évkönyvünkben hazai szakemberek által írt külön cikkekben foglalkozunk!)

Pályán a WorldView-3. Az eddigi legfejlettebb kereskedelmi földmegfigyelő műhold az amerikai DigitalGlobe cég megrendelőit szolgálja majd. A WorldView-3 egy Atlas-5 rakéta tetején indult a kaliforniai Vandenberg Légitámaszpontból, augusztus 13-án. Az űreszköz a Ball Aerospace vállalatnál épült. Közel 620 km magas, poláris pályáról készíti majd felvételeit a Föld felszínéről, mintegy 30 cm-es felbontást nyújtva. A DigitalGlobe műholdflottájának legújabb és legfejlettebb tagja a cég hagyományos megrendelőinek nagyfelbontású űrfelvételek iránti igényeit elégíti majd ki, közülük mindenekelőtt az amerikai kormányzati szervekét. Emellett többek között mezőgazdasági, területfejlesztési, olaj- és gázkutatói, tudományos alkalmazásai lehetnek a műholdképeknek. A DigitalGlobe műholdfelvételeinek talán legszélesebb körben ismert felhasználója a Google Earth térképes szolgáltatás.

A műholdképekkel immár megközelítik azt a felbontást, amit hagyományosan repülőgépekről végzett légi fényképezéssel érnek el. A műhold nagy előnye ugyanakkor, hogy naponta a Föld sokkal nagyobb területeiről, lényegesen nagyobb mennyiségben képes adatokat szolgáltatni. Beüzemelése után a WorldView-3 egy nap alatt akár 680 ezer km²-ről szállíthat felvételeket.

A versenytárs GeoEye céget nemrég magába olvasztott DigitalGlobe jelenlegi (a mostani start idején aktív) műhold-konstellációjának tagjai, zárójelben a velük elérhető legjobb földfelszíni felbontás: Ikonos (82 cm), QuickBird (61 cm), WorldView-1 (50 cm), WorldView-2 (46 cm) és GeoEye-1 (41 cm). A WorldView-3 fedélzetén egy 1,1 m átmérőjű teleszkóp repül. Tervezett élettartama 7 év, de reális elvárás, hogy akár 10-12 éven át működőképes maradjon. Számos érzékelőjével képesek egyszínű (fekete-fehér) felvételeket készíteni – ezek felbontása a legélesebb –, valamint több látható és közeli infravörös hullámhosszon dolgozni. Ez utóbbi adatokból, a megfelelő kalibrációval keverhetők ki a színes felvételek. A multispektrális (többszínű) képek felbontása 1,24 m, infravörösben 3,7 m.

Rossz pályán a két új Galileo hold. Az európai műholdas navigációs rendszer végső kiépítési fázisa (Full Operational Capability, FOC) augusztus 22-én kezdődött, amikor a francia guyanai Kourouból egy Szojuz hordozórakétával egyszerre két új műholdat bocsátottak fel. Ezek feladata a már pályán működő négy kezdeti Galileo műholddal együtt navigációs rádiójelek sugárzása a felhasználók vevőkészülékei felé. Az amerikai GPS rendszer európai változata teljes kiépítettségét akkor éri el, ha 27 működő és 3 tartalék műholddal rendelkezik közepes (a felszín felett mintegy 23 és fél ezer km) magasságú, 55°-os hajlásszögű pályákon.

Az 5. és 6. számú Galileo holdak indítását kezdetben sikernek könyvelték el. Maguk az űreszközök mindenesetre működőképesek, a földi irányítók nem találtak semmi rendellenességet velük kapcsolatban. Csakhogy a jelek szerint rossz helyen keringenek a Föld körül. A hordozórakéta Fregat végfokozata nem végezte el teljesen a megszabott feladatát. A követési adatok azt mutatják, hogy az elért pálya földközeli pontja csak 13 700 km magasan van, a pályahajlás pedig 49,7°-os. Később az is világossá vált, hogy az eredetileg a végső pálya tartásához szükséges finom manőverekre szánt hajtóanyag nem elegendő a korrekcióra, a tervezett pálya elérésére.

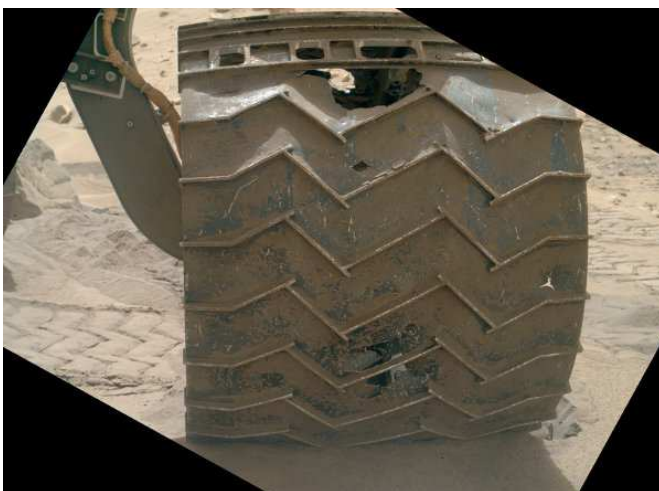
A pályára állítás során fellépett hibának késleltető hatása lesz a további Galileo startokra is. A következő műholdpárost idén decemberben szerették volna pályára állítani, ugyanígy Szojuz-Fregat hordozóeszközzel, Kourouból. 2011 óta egyébként ez volt a megbízható orosz rakéta kilencedik indítása az európai irányítású dél-amerikai bázisról. 2015-re nem kevesebb mint nyolc újabb Galileo holdat terveztek indítani.

Jelenleg 20 másik Galileo műhold építése vagy tesztelése zajlik, eltérő készségi fokkal. Ezeknek az elkövetkező három éven belül kellene feljutniuk Föld körüli pályára. Érdekesség, hogy az Európai Unió Bizottsága és az Európai Űrügynökség (ESA) – a navigációs műholdrendszer kiépítői – úgy döntöttek, hogy nem költenek biztosításra a műholdindításokkal kapcsolatban. Ennek indoka, hogy a gyártósoron számos műhold van. Ha esetleg pótlásra lenne szükség, inkább tartalék űreszközöket használnak fel. Másképp megfogalmazva, a biztosítási szektor helyett inkább az űriparba fektetik a pénzt...

2014. szeptember

A hegy lábánál a Curiosity. A Marson töltött két év elteltével az amerikai marsjáró elérte a Gale-kráter közepén magasodó hegyet. A kutatók reményei szerint az Aeolis-hegy vizsgálata feltárja majd a

Mars történetének egy részét. A hegy anyagának egymásra épülő rétegei a bolygó elmúlt évmilliárdjai alatt rakódtak le. A földi Kiliman-dzsáróéval vetekedő méretű képződmény mindig is a Curiosity fő célpontjának számított, mióta az 2012 augusztusában épségben leereszkedett a Gale-kráter aljára. A minden eddiginél jobban felszerelt önjáró marsi laboratórium, miközben útra kelt a hegy lába felé, más vizsgálatokat is végzett. Rengeteg képet készítettek vele, tanulmányozták a geológiai szempontból érdekesnek tűnő helyszíneken az anyag összetételét, kőzetfúrásokkal anyagmintákat vettek a közvetlen felszín alatti rétegből, azokat a fedélzeti laboratóriumi berendezésekkel elemezték. Vizsgálták a Mars meteorológiáját, sugárzási környezetét, és még számtalan más mérést végeztek.



A Curiosity – nevéhez méltóan, ami magyarul kíváncsiságot jelent – úgy mozgott a Gale-kráterben, mint egy gyerek, amikor beszabadul egy játékboltba: nem rögtön a kiszemelt játékért megy, hanem előtte tüzetesen körülnéz a polcokon. A programon dolgozó kutatók mintegy 400 főből álló csapata számára nem az volt a cél, hogy minél rövidebb úton, egyenesen az Aeolis-hegy lábához vezessék a járművet. Ehelyett több, a helyszíni megfigyelések és a Mars körül keringő űrszondák képei és mérési adatai alapján ígéretesnek tűnő helyszínt vizsgáltak meg menet közben. Még olyan szakaszok is voltak, amikor a rovert az Aeolis-hegyével ellentétes irányba küldték. Ennek ellenére nemrég a NASA által felkért független szakértői bizottság mégis úgy értékelte a Curiosity munkáját, hogy túl gyors volt a hajtás, és túl kevés a tudomány... A marsjáró a két év alatt több mint 8 km távolságot tett meg.

A helyzet most, hogy a rover elérte az Aeolis-hegy lábát, meg fog változni. A felfelé kapaszkodás lassabb lesz, és közben az eddigiék-

nél több tudományos mérést fognak végezni. Az 5 km magas hegy anyagában agyagásványok és szulfátok is megtalálhatók, amelyek vizes környezetben alakulnak ki. Ebből arra lehet következtetni, hogy a rétegek egy valaha itt létezett tó üledékeként rakódtak le. A Curiosity indításakor a fő tudományos cél az volt, hogy kimutassák: a vörös bolygó felszínén egykor rendelkezésre állhattak az élet fenn-tartásához szükséges környezeti feltételek. Az eddigi, még a kráter aljáról származó eredmények ezt máris megerősíteni látszanak, így bizonyos értelemben az űreszközzel mostanra már el is érték a kitűzött célt. Ez nem jelenti azt, hogy nem lehet és nem érdemes újabb adatokat gyűjteni, bizonyítékokat szerezni.

A Curiosity most megkezdte a „mászást”, méghozzá óvatosan, hogy a vártnál gyorsabban kopó kerekeit is kíméljék. Sikerült az eredetileg tervezetthez képest egy rövidített, kevésbé megerőltető útvonalat találni, amivel néhány száz métert megtakarítanak, miközben azért geológiai szempontból érdekes terepen haladnak majd. Az itteni, a hegy alját jelentő réteg (Murray Formation) vastagsága mintegy 200 m, ami sok millió vagy tízmillió év anyagát tartalmazhatja.



A MAVEN a Marsnál. A NASA a vörös bolygó légkörének kutatására küldte a MAVEN (Mars Atmosphere and Volatile Evolution) űrszondát, amely mintegy 10 hónapos repülés után sikeresen hajtotta végre azt a kritikus pályamódosító manővert, amivel a bolygó körül elnyúlt, 35 órás periódusú ellipszispályára állt. A szonda tudományos célja, hogy felderítse a marsi klímaváltozások történetét, megvizsgálja, hogyan szökhetett el a régmúltban a Marsról a légkör számottevő része és a felszínről a víz, amivel – még ha egyáltalán valaha fenn is állt – minden bizonnyal megszűnt a bolygó életfenntartó képessége.

A 671 millió dolláros MAVEN tavaly november 18-én startolt egy Atlas-5 hordozórakétával. Több mint 700 millió km-t utazott az űr-

ben, mielőtt elérkezett a nagy nap, a hat fő hajtómű bekapcsolása és a fékezés. A végül 34 és fél percen át tartó művelettel fel is használták a MAVEN által szállított fedélzeti hajtóanyagkészlet szinte teljes egészét. A sikerről magyar idő szerint szeptember 22-én, hajnali 4:45-kor értesültek a Lockheed Martin cég Denver melletti földi irányítóközpontjában dolgozó szakemberek. (A helyszínen az időeltolódás miatt szeptember 21-én késő este volt.) Maga a hajtómű-bekapcsolás előre programozott üzemmódban 3:37-kor indult. Az irányítók egy darabig nem tudtak az eredményről, mivel a szonda a bolygó takarásában repült, nem élt a kommunikációs kapcsolat a Földdel.

A következő hat hét alatt a pályát finomító manőverek sorozata következik. Csökkentik az ellipszispálya magasságát és lapultságát. November végére kialakul a végleges, 150 km és kb. 6300 km között változó felszín feletti magasságú pálya. Időközben megkezdik a fedélzeti tudományos mérőberendezések beüzemelését. Október 19-én megpróbálják a lehető legjobban kihasználni a ritka szerencsés égi eseményt, a C/2013 A1 Siding Spring üstökös Mars-közelségét.

A MAVEN névleges működési élettartama egy év lesz a Mars mellett. Ez idő alatt öt alkalommal úgy módosítják a pályáját, hogy még mélyebbre merülhessen a vörös bolygó légkörének felső rétegeibe. Ekkor mintegy 120 km-re közelíti majd meg a felszínt. Ha minden jól megy, egy év – a jelenlegi finanszírozás lejártá – után sem kell feladni a MAVENT. Technikailag és a pályaigazításokra használható hajtóanyag tekintetében az űreszköz akár évtizedes működésre is alkalmas lehet. Annál is inkább fontos ez, mivel a MAVEN rádiós adatátvitelű állomásként is képes szolgálni a Föld és a Mars felszínén dolgozó űreszközök között. Novemberben szeretnék először kipróbálni ezt a funkcióját a Curiosity rover adataival.

A Mars körül jelenleg már négy működő űrszonda kering, a MAVEN mellett az ugyancsak amerikai Mars Odyssey és Mars Reconnaissance Orbiter, valamint az európai Mars Express. Két nap múlva érkezik az indiai Mars Orbiter Mission is. A bolygó felszínén az amerikai Opportunity és Curiosity aktív.

India a Marsnál. Űrtörténelmi esemény: sikeres volt az indiai Mars Orbiter Mission fékezőmanővere, ez az űrszonda is a vörös bolygó körüli pályára állt. Két nappal az amerikai MAVEN után újabb űreszköz kezdte meg keringését külső bolygószerződés körüli. Indiának a jelek szerint az első próbálkozásra sikerült, ami az űrkutatás történetében másoknak nem mindig – elsőre pedig valójában még sohasem. A marsi küldetéseknek nagyjából a fele fulladt kudarcba az elmúlt évtizedek során.

Ez az ázsiai ország első bolygóközi űrkísérlete, korábban a Holdig jutottak el. A MOM (Mars Orbiter Mission) meglehetősen olcsón, mindössze 75 millió dollárnak megfelelő költségvetéssel készült. Bár lényegesen kevesebbet „tud”, mint a MAVEN, és inkább egy technológiai kísérletnek, első próbálkozásnak szánták, mégis a MAVEN közel tízszer annyiba, 671 millióba került. (Érdekes összehasonlításként, a közelmúlt hollywoodi sikerfilmje, a Gravitáció költségvetése is 100 millió dollár közelében alakult.)

A 2013. november 5-én indított, mostanra a Marsot megközelítő MOM fő hajtóművét a megközelítés előtti napokban próbaképp közel 4 másodpercre bekapcsolták, hogy ellenőrizzék működőképességét. A 300 napos pihenő utáni főpróba jól sikerült. A szonda 22,5 km/s-os sebességét akkor még csupán 2,28 m/s-mal csökkentették. A Mars körüli pályára álláshoz szükséges nagy, sorsdöntő manőver szeptember 24-én, magyar idő szerint 3:47-kor kezdődött és 24 perc 14 másodpercig tartott. A fő hajtómű mellett nyolc kisebb manőverező hajtóművet is bekapcsoltak. A fékezést követően a szonda elnyúlt, 3,2 napos periódusú elliptikus pályára került, amelyen felszín feletti magassága kb. 420 km és 80 ezer km között változik. A MOM sebességét több mint 1 km/s-mal csökkentették, kb. 250 kg hajtóanyag elégetése árán.

A MOM (vagy gyakran használt, de nem hivatalos nevén Mangalyaan, magyarul Mars-űrszonda) fedélzetén kamera, a légkör összetevőit mérni és a felszín anyagi összetételét vizsgálni képes tudományos műszerek kaptak helyet.

2014. október

22 hónap után tért vissza az X-37B.



A Boeing által épített mini-űrrepülőgép a kaliforniai Vandenberg Légitámaszpont kifutópályájára tért vissza október 17-én. A konkrét időpontot nem hozták előre nyilvánosságra, csak azt, hogy a landolás valamikor ezen a héten várható. Ez a mostani a típus harmadik repülése volt, 675 napig tartott. Az Amerikai Légierő (U.S. Air Force, USAF) azt sem közölte ed-

dig – és bizonyára a közeljövőben sem fogja –, hogy miféle feladatokat látott el a világűrben az Atlas-5 típusú rakétával indított, de a légkörön át automatizált módon, siklórepüléssel visszatérő űreszköz. Elemzők szerint a fedélzetén végzett technológiai kísérletek során új generációs, optikai és rádiós kémkedésre alkalmas berendezéseket próbálhattak ki, esetleg kis műholda(ka)t helyezhettek önálló pályára, netán a jövő katonai műholdjaihoz tervezett anyagokat tesztelhettek. Az X-37B programjának költségeiről sem tudni biztosan.

Az X-37B harmadik tesztrepülése (Orbital Test Vehicle-3, OTV-3) még 2012. december 11-én indult, és az előző kettőnél lényegesen tovább tartott. A mini-űrrepülőgép ugyanezen példánya 2010-ben már járt a világűrben, 224 napot töltve ott. Egy másik példány a második repülés alkalmával már jóval később, a startja után 469 nap elteltével tért csak vissza. A mostani küldetés egyik feltehető célja volt, hogy tovább feszegessék a kereteket, és ellenőrizzék, hogy az újra felhasználható űrjármű mennyi időn át vethető be egyhuzamban. A start idején annyit közöltek, hogy a pályán tervezett idő 270 nap körüli – ezt jócskán túlszárnyalták.

Bár az X-37B pályájáról sem közölnek pontos információt, gyakorlati amatőr műholdmegfigyelők észlelték, hogy a közelmúltban az űreszköz pályamagasságát 275 km-re csökkentették. Hasonló manőverek voltak a landolás előjelei az első két repülés vége felé is. Az előző két, OTV-1 és OTV-2 küldetéssel ellentétben a 22 hónapos repülés idő alatt lényegében változatlan pályán keringett az X-37B, és csak idén tavasz tájékán kezdték fokozatosan csökkenteni a pályájának magasságát.

A Boeing a forgalomból kivont – az X-37B-hez képest mintegy négyszer nagyobb méretű – amerikai űrrepülőgépek felhagyott hangárait várhatóan decemberig átalakítja a floridai Kennedy Űrközpontban. Így megnyílik a lehetőség az X-37B-vel kapcsolatos tevékenységek áthelyezésére. Mivel a startok a szomszédos Cape Canaveralról történnek, egy helyre kerülhet az indítás és a visszaérkezés, illetve a következő repülésre való felkészítési munkák is. Az X-37B program negyedik repülésére 2015-ben számíthatunk.

Kína a Holdig és vissza. Körbepüli a Holdat, majd visszatér a Földre a Csang'e-5-T1 (Chang'e-5-T1) kínai űrszonda. Számozása arra utal, hogy a későbbiekben Holdról kőzetmintát visszahozni szándékozó Csang'e-5 küldetést készíti elő. Az űrszondát indító Hosszú Menetelés-3C hordozórakéta október 23-án hagyta el a Földet Hszicsangból, Szecsuan tartományból. Nyolc nappal később tért vissza, hőpajzsos védelemmel és ejtőernyős fékezéssel, miután eljutott a Holdig és megkerülte azt. A technológiai kísérlet célja a nagy

sebességű űreszköz visszatérésének kipróbálása, a hővédő pajzs első tesztelése a gyakorlatban. A légkörbe való belépés sebessége kb. 11,2 km/s, ami mintegy háromszor akkora, mint az emberes Sencsou űrhajók esetén. A Belső-Mongólia tartomány területére visszatérő kapszula most még nem tartalmazott holdi mintát, de siker esetén legközelebb (azaz három év múlva) már mintegy 2 kg-nyi holdkőzettel pakolják meg. A Csang'e-5 a tervek szerint 2017-ben indulhat útnak, immár leszállni égi kísérőnk felszínére. Pontosabban egy Hold körül keringő és egy leszálló – majd újra felemelkedő és a keringő egységhez dokkoló – szondapárosról lesz szó. Kína holdprogramjának legutóbbi fázisában tavaly a Csang'e-3 egy leszálló egységet és egy kis holdjárót juttatott az égitest felszínére. Hasonlóra készül a 2015-ben várható Csang'e-4.

Cygnus teherűrhajó: látványos robbanás. Az Orbital Sciences vállalat teherűrhajója harmadik alkalommal vitt volna ellátmányt a Nemzetközi Űrállomásra. A start az Egyesült Államok atlanti partjaitól, a Wallops-szigeten található indítóhelyről (Mid-Atlantic Regional Spaceport, MARS) történt, október 28-án. A teherűrhajót az Orbital Sciences kétfokozatú Antares hordozórakétája emelte a magasba. Ez volt az Antares első esti startja, ami a sűrűn lakott keleti parton sok potenciális érdeklődő számára nyújtott látványosságot. Nem erre a fajta tűzijátékra vártak... Az Antares rakéta ugyanis, amelynek a mostani volt az ötödik repülése, mintegy 15 másodperccel a felemelkedés után felrobbant, megsemmisítve a teherűrhajót és teljes rakományát.

A Cygnus, amelynek jelenlegi példánya (Orb-3) a legendás Mercury-űrhajóról a Deke Slayton nevet kapta, a teherszállítmányával november 3-án érkezett volna meg az űrállomáshoz, ahol a robotkarral fogták volna be, hogy csatlakoztassák.

A hermetizált raktérben elhelyezett kb. 2,2 tonnás hasznos teher tömegének egyharmadát tudományos kísérletekhez szükséges eszközök és minták tették ki. A rakományban helyet kapott például egy nagyfelbontású kamera, amellyel a légkörbe érkező meteorok után kutattak volna – most először az űrállomás fedélzetéről. Egy kísérletben egy speciális „gallér” segítségével az űrhajósok véráramlását vizsgálták volna az agy és a szív között, a súlytalanság állapotában. Egy másikban az emberi immunrendszer viselkedésére voltak kíváncsiak. Számos olyan kísérlet készült, amelyeket iskolás diákok és egyetemi hallgatók terveztek és állítottak össze. A japánok a majdani napvitorlások számára kifejlesztett anyagok viselkedését szeretnék volna tesztelni. A tudományos célú rakomány mellett élelmiszer, ruházat, tartalék alkatrészek, szerszámok, és más, az ISS mindennapi életéhez és üzemeltetéséhez szükséges tárgyak voltak a mostani teherszállítmányban, amely az enyészeté lett.

A Cygnus űrhajóval repült több mint kéttucatnyi miniatűr műhold (CubeSat), amelyeket később helyeztek volna önálló Föld körüli pályára. Ezek egyike a kisbolygóbányászat terveivel kacérkodó Planetary Resources cég kísérleti, 33 cm hosszú és 10 cm széles űreszköze. Az Arkyd-3 célja a majdani kisbolygókereső űrtávcsöveik (tíz darab Arkyd-100) technológiájának és szoftveres hátterének kipróbálása. Most került volna fel az a berendezés is, amit majd az utolsó európai teherűrhajó (ATV) belsejében terveztek elhelyezni, hogy a jövő év elején aktuális visszatérésekor belülről figyelje meg, hogyan zajlik a hatalmas test megsemmisülése a sűrű légkörben.

Az Antares rakéta mostani startbalesetének kivizsgálása megkezdődött. Az eset is mutatja, hogy az űrtevékenység kockázatos dolog. A Cygnus megsemmisülése valószínűleg visszaveti a NASA-nak az űrállomás kereskedelmi alapon történő ellátását szolgáló programját is. Az Orbital Sciences a saját Antares rakétájának balesete után ideiglenesen új hordozóeszközt keresett és az év vége felé talált is a következő Cygnus teherűrhajója számára. A kiválasztott a United Launch Alliance (ULA) által kínált Atlas-5 rakéta lett. A kipróbált amerikai hordozórakéta 2015 negyedik negyedévében indíthat egy Cygnus űrhajóba rakodott teherszállítmányt az ISS felé. Eközben az Orbital Sciences áttervezi saját Antares rakétáját, hogy a későbbiekben azzal tudják teljesíteni a NASA-val kötött teherszállítási szerződésükből fakadó kötelezettségeiket.

Lezuhant a SpaceShipTwo. A Virgin Galactic kereskedelmi űrúgrásokra szánt járműve október 31-én, tesztrepülés közben megsemmisült. A szuborbitális repülésekre szánt SpaceShipTwo január óta most először vett részt rakéta-meghajtású tesztrepülésen. A cél az újratervezett, a Sierra Nevada Corporation által gyártott rakétahajtómű első kipróbálása volt. A SpaceShipTwo nem sokkal a WhiteKnightTwo hordozó repülőgépről való leválása után a levegőben, mintegy 15 km-es magasságban szétesett. Roncsai a kaliforniai Mojave-sivatag területén szóródtak szét. A fedélzetén levő két pilóta közül a 39 éves Michael Alsbury életét vesztette a balesetben. Társának, a 43 éves Peter Sieboldnak sikerült katapultálni, ejtőernyőjével földet ért. Súlyos sérülésekkel szállították kórházba. Mindketten a járművet építő Scaled Composites cég alkalmazottai.

A Virgin Galactic célja a SpaceShipTwo-val űrturista-repülések végrehajtása volt, a felszín felett 100 km-t meghaladó magasságba. A rendszeres repüléseknek jövőre kellett volna beindulni, miután a jármű teljesített minden próbát. Eddig előzetesen már több mint 700 reménybeli utas iratkozott fel a listára és fizette be az előleget az útra. A teljes ár fejenként 250 ezer dollár. A mostani szerencsétlen kimenetelű repülés volt a SpaceShipTwo 55. repülése, ebből a

35. önálló. A tesztrepülések során most negyedik alkalommal kapcsolták be a rakétahajtóműveket is. A Virgin Galactic vezetői, élükön Sir Richard Bransonnal, hitet tettek a program folytatása mellett.

2014. november

Kormányhatározat az ESA-csatlakozásunkról. Hivatalossá vált, hogy Magyarország teljes jogú tagként kéri felvételét az Európai Űrügynökség (ESA) tagországainak sorába. Ez egy hosszú, két cikluson (tíz éven) át tartó előcsatlakozási folyamat betetőzése. A magyar űrkutatás és űripar felkészült az ESA-hoz való csatlakozásra. Térségünk országai közül Csehország, Lengyelország és Románia már tagok. Az európai űrszervezethez történő integráció nagy lehetőség a hazai űrszektor előtt. Minden bizonnyal elhozza az űripar és az űralkalmazások további fejlődését, amivel gazdasági hasznot hajt, és segít itthon tartani a jól képzett szakembereket. A Magyar Közlöny 149. számában megjelent egy hosszú címmel ellátott határozat: A Kormány 1594/2014. (XI.3.) határozata Magyarország Kormánya és az Európai Űrügynökség között Magyarország csatlakozásáról az Európai Űrügynökséget létrehozó Alapokmányhoz és az erre vonatkozó szerződési feltételekről szóló Megállapodás kihirdetéséről. A Kormány mostani elhatározása megnyitja az utat az ESA-csatlakozás előtt. Most az űrügynökségen és jelenlegi tagállamain van a sor, hogy saját belső eljárásukban elbírálják a magyar belépési kérelmet. Ennek eredménye az lesz, hogy valamikor a jövő évtől – legkésőbb 2015. november 1-jétől – hazánk az ESA 22. tagállama lesz (nem sokkal előttünk, 21-edikként csatlakozik Észtország).

Leszállt a Philae. Az európai üstököskutató űrszonda, a Rosetta 2004-ben startolt, bejárta a fél Naprendszer, és idén augusztus eleje óta kering a 67P/Csurjumov–Geraszimenko-üstökös magja körül. November 12-én elérkezett programjának eddigi csúcspontja, a leszállási kísérlet. Hét órányi önálló repülés után leszállt az üstökös-magon a kb. 100 kg-os, mosógép méretű Philae egység. A sikeresnek tűnő manőverről magyar idő szerint késő délután, néhány perccel 17 óra után érkeztek meg az első telemetriai adatok, a Rosetta anyaszonda közvetítésével. Az ESA darmstadti irányítóközpontjában rendezett ünnepség vendégei, valamint a programon dolgozó szakemberek örömujjongásban törtek ki. Ezt világszerte sokan követték az internetes közvetítés segítségével – az ESA honlapja egy időre nem is bírta a nagy terhelést. Az űrtörténeti teljesítményt Jean-Jacques Dordain, az ESA főigazgatója azonnal rövid beszédben

méltatta. Itthon a TIT Budapesti Planetáriumában gyűltek össze a Rosetta és a Philae építésében és a tudományos programban jelentős szerepet vállaló magyar szakemberek, valamint vendégeik, az érdeklődők és a sajtó képviselői.

Röviddel az örömhír után derült ki, hogy az összetett és kockázatos leszállási művelet nem feltétlenül a legoptimistább forgatókönyv szerint zajlott. A beérkező adatok szerint az egység rögzítése nem a tervek szerint sikerült, az üstökösmag laza anyagába mélyedő, a stabilizálást szolgáló szigonyok nem oldódtak ki. Mivel a néhány kilométeres átmérőjű, szabálytalan alakú, a vízéhez hasonlítva csak 40%-os sűrűségű kis égitest tömegvonzása elenyésző, a Philae-t így nem tartja biztosan a felszínen a saját súlya. Ettől még megkezdődhettek a mérések, de megvan a veszélye, hogy a nagyobb napközelségben megélénkülő aktivitás nyomán kiáramló gáz- és poranyag később megbillenti a szondát. Biztos rögzítés híján az olyan műveletek elvégzésére, mint a talajfúrás és mintavétel, nem merészkedhetnek majd.

Az már a Philae Rosettáról való leválása előtt is kiderült, hogy leszállást segítő egyik rendszer nem működőképes. Ez az egység tetején elhelyezett gázfúvóka, amelynek az lett volna a szerepe, hogy amikor a lehorgonyzás megtörténik, akkor bekapcsolásával a feltehetően kissé „felpattanó” űreszközt visszafelé, az üstökösmag irányába nyomja. Az irányítók ennek ellenére úgy határoztak, hogy nem szakítják meg a leszállítás folyamatát. Az eredmény végül őket igazolta. A fúvóka ugyanakkor később is jól jönne az „ellentartásra”, ha mégis úgy döntenek, hogy a rögzítésre szolgáló szigonyokat utólag kieresztik a felszínbe.

A leereszkedés után időszakban sorra jöttek a Földre a mérőműszerek adatai. Az első képekre és további adatokra még várni kellett, mire a Rosetta ismét olyan helyzetbe került pályáján, hogy a Philae adását át tudja játszani a Föld felé. Többször akadozott a kommunikáció a leszállóegységgel. A napelemek által generált elektromos teljesítmény is ingadozott, ami ugyancsak arra utalt, hogy a Philae helyzete közben változott. Még érdekesebb, hogy a mágneses tér mérései alapján, a ROMAP műszerrel nyert adatok gyors elemzésével a szakemberek feltételezték: a Philae nem egyszer, de háromszor is leszállt az üstökösmagra. Az időpontok magyar időben: november 12-én 16:33, 18:26 és 18:33 (ezek az üstökösnél értendőek, a kb. 28 perces kommunikációs késést nem számítva). Mindez azt jelenti, hogy a Philae tényleg „pattagott”, sőt az első és második leérkezése között majdnem két óra telt el! A harmadik – és végső – leérkezés már 5 perc múlva bekövetkezett.

A Philae végül mintegy 1 km-rel arrébb állapotodott meg, pontos helyét a Rosetta anyaszonda felvételein később sem sikerült megta-

lálni. Az űreszköz helyzete sajnos nem volt kedvező, oldala felé dőlt. Rögzíteni sem sikerült, az idő túlnyomó része alatt árnyékban levő napelemeit pedig nem éri elegendő napfény az akkumulátorok töltéséhez. A Philae ennek ellenére küldött képeket, fedélzeti műszereinek többsége pedig megkezdte az értékes mérési adatok gyűjtését. A nehézségek ellenére a Rosetta leszállóegységének eddigi működése sikeres. Számunkra külön öröm, hogy a meghatározó magyar közreműködéssel épült energia-ellátó rendszer és a hibatoleráns fedélzeti adatgyűjtő számítógép is jól működik.

A küldetést úgy tervezték, hogy még ha valamilyen okból egyáltalán nem működne a napelemes energiatermelés, a legfontosabb tudományos méréseket akkor is elvégezhessek, amíg az elsődleges akkumulátor töltése kitart. A 12,4 órás forgási periódusú üstökösön az eredetileg kiválasztott Agilkia leszállóhelyen mintegy 7 óra megvilágítást reméltek. A mostani helyzetben, egy árnyékoló sziklafal tövében a napsütéses időtartam csak másfél óra. Ez behatárolja a második akkumulátor élettartamát is. November 15-én, magyar idő szerint 1:36-kor elhallgatott a rádiókapcsolat, a Philae lemerült – nem sokkal azelőtt, hogy az adattovábbításra rendelkezésre álló ideje amúgy is lejárt volna. Előtte még a Földre tudta küldeni a teljes első programfázis mérési adatait, köztük a fűrés sikerének megerősítését. Elképzelhető, hogy később, amint az üstökös pályáján közelebb kerül a Naphoz, a megnövekedett besugárzás révén a Philae egyes funkcióit újra tudják élesztetni.

2014. december

Hayabusa-2: vizslát 2020-ban! A december 3-án egy H-2A hordozórakéta segítségével indult második japán kisbolygókutató űrszonda 2020-ra anyagmintával térhet vissza a Földre. Alig több mint négy éve történt a mintahozó kapszula visszatérése, így még sokan emlékezhetnek az első japán Hayabusa (jelentése: sólyom) űrszonda viszontagságos, de végül sikeres küldetésére. A menet közben felmerült technikai nehézségek, a mintavétel bizonytalansága, a több éves késés ellenére a Hayabusa részletesen tanulmányozta az Itokawa nevű, kb. 500 m-es „krumpli alakú” kisbolygót, és anyagmintát juttatott vissza az égitest felszínéről földi tanulmányozásra. A sikeren felbuzdulva a Japán Űrügynökség (Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA) rendkívül rövid idő, mintegy két és fél év leforgása alatt elkészítette a Hayabusa-2 űrszondát. A „második Solyom” az első szondához képest fejlettebb műszerezettséggel, 20%-kal megnövelt tolóerejű, tartósabb üzemelésre tervezett ionhajtóművekkel rendelkezik. Tudományos programja is bőségebb. A tervek

szerint másfél évig kering majd a jelenleg még névtelen, 1999 JU₃ katalógusszámú kisbolygó körül. (Az első Hayabusa esetén ez az idő csak három hónap volt az Itokawa körül.) A célpontul kijelölt kisbolygó az Itokawától eltérően egy C-típusú, szén-tartalmazó kis égitest. A földi mérések alapján átmérője 900 m körüli lehet, vagyis mintegy kétszer akkora, mint az Itokawa. Felszíne igen sötét, albedója (fényvisszaverő képessége) csupán 0,06. Az ilyen kisbolygók anyaga a Naprendszer kialakulásának korai időszakára jellemző állapotot őrzi, ezért tudományos szempontból nagyon érdekes a vizsgálatauk.

A most indult Hayabusa-2 útja a következőképpen alakul. Nap körüli pályáján egy év múlva, 2015 telén visszatér a Földhöz, ahol egy gravitációs hintamanőver után veszi fel a Földéhez közeli pályán keringő 1999 JU₃ kisbolygó megközelítéséhez szükséges sebességet. A kisbolygó megközelítése 2018 nyarán várható. Az égitest körüli pályára állás után másfél éves közelség következik. A távérzékeléssel gyűjtött adatokon túl lesz mintavétel a talajból három alkalommal. Ezek egyike előtt – ez jelenti talán az összes közül a legnagyobb technikai kihívást – egy mesterséges krátert robbantanak a kisbolygó felszínén, hogy olyan friss anyag is előkerüljön, ami nem volt kitéve a felszínen a Nap és a kozmikus sugárzás hatásának. A várakozások szerint a kisbolygó anyaga jelentős mennyiségben tartalmaz vizet, és szerves anyagok is megtalálhatók rajta. A Hayabusa-2 három kis önálló egységet lejuttat majd a felszínre is. Közülük kettő Japánban készült (Micro/Nano Experimental Robot Vehicle for Asteroid, MINERVA), a harmadik német és francia együttműködésben (Mobile Asteroid Surface Scout, MASCOT).

A programban együttműködő partner a műszerépítő európaiak mellett a NASA. Az amerikaiak legfontosabb hozzájárulása a globális követőállomás-hálózatának (Deep Space Network, DSN) a rendelkezésre bocsátása. Ezen keresztül folyamatos napi 24 órás kommunikáció lehetséges az űrszondával, a működés kritikus fázisaiban (ilyen például a start, a kisbolygó-megközelítés, a visszatérés). A Föld forgása miatt a Japán területén felállított követőállomásokról naponta csak kb. nyolc órán át tudják megoldani a rádiókapcsolatot az űreszközzel. A 2020 telére, hat évvel az indítás utánra tervezett visszatérés Ausztrália területén lesz. Ugyanitt landolt az első Hayabusa mintahozó kapszulája is.

A fedélzeten a Földdel való kommunikációt nem csak egy X-sávú nagy nyereségű antenna szolgálja, mint a Hayabusa esetében, hanem emellett egy Ka-sávú is, ami egyúttal négyszeres adatátviteli sebességre képes. Három optikai kamera segíti a szonda navigációját, valamint az égitest felszínének vizsgálatát. A kisbolygófelszín megérintése és az autonóm üzemmódban történő mintavétel előtt gömb

alakú nyomjelzőket ereszt le, amelyek biztosítják a tájékozódást. A Hayabusa-2 fedélzetén helyet kapott lézeres magasságmérő, a közeli infravörös tartományban érzékeny spektrométer és infravörös képalakító berendezés is.

Orion: először az űrben. A NASA új emberes űrhajójának fejlesztése december 5-én fontos mérföldkőhöz érkezett. Az Orion teszt példányának startjához egy Delta-4 Heavy hordozórakétát vettek igénybe, amely a floridai Cape Canaveral 37B indítóállásáról emelkedett a magasba. Az EFT-1 (Exploration Flight Test-1) jelzésű repülés alkalmával az Orion teszt példánya 5800 km magasságba jutott el, ami mintegy 15-ször nagyobb a Nemzetközi Űrállomás pályamagasságánál. Az űrjármű két Föld körüli keringést követően vissza is tért. A légköri belépés sebessége (kb. 32 ezer km/h) megközelítette azt az értéket, amire egy Holdról való visszaúton kell számítani. A kísérlet fő célja az Orion különféle fedélzeti rendszereinek és a visszatéréskor a hővédő pajzsnak a tesztelése „éles” repülési körülmények között. A visszatérő kabin külső hőmérséklete elérhette a 2200 °C-ot is. Az Orion Észak-Amerika nyugati partjai közelében, a Csendes-óceán vizére ejtőernyőzött le, ahol a haditengerészet hajója várta.

Sikeres volt az indiai rakéta bemutatkozása. India eddigi leg-erősebb, teljesen saját készítésű hordozórakétája december 18-án sikeres szuborbitális tesztrepülést hajtott végre. A GSLV Mk.3 rakéta a talán egyszer megvalósuló indiai emberes űrhajó kapszulájának makettjét vitte magával. 125,5 km magasságig jutott. Alig fél órával később a starthelytől, Sriharikota szigetétől mintegy 1600 km-re a Bengál-öböl vizébe ereszkedett le ejtőernyőjével a CARE (Crew Module Atmospheric Re-entry Experiment) nevű teszt kapszula. A tesztrepülés célja egyrészt a hordozórakéta működésének kipróbálása, adatok gyűjtése volt. Másrészt a CARE kapszula légkörbe lépésekor annak aerodinamikai viselkedését, hővédő burkolatát és ejtőernyőrendszerét vizsgálták.

Az önálló indiai űrhajó- és űrhajósprogramot az indiai kormány egyébként a mai napig nem hagyta jóvá, annak minimálisan becsült 2 milliárd dolláros költségvetési igénye miatt. Az Indiai Űrügynökségnek (ISRO) egyelőre csak 22 millió dollárt biztosítottak „alapvető visszatérési technológiák” fejlesztésére – ez tulajdonképpen a CARE. Annak, hogy az indiai döntéshozók hezitálnak, persze nem az irdatlan magas becsült költség és az első űrhajós indításáig becsült legalább 7 éves fejlesztési idő hossza az oka. A legnagyobb probléma maga a hordozórakéta. A GSLV család ugyanis az asztronautika történetének egyik legrosszabb statisztikájával rendelkező rakétája. Ennyi kudarccal nem jó ajánlólevél egy személyszállításra is tervezett rakéta esetében.

Venus Express: csendben vége. Nyolc év sikeres kutatómunka után végleg elfogyott az üzemanyag a Vénusz körül keringő európai űrszondán. A Venus Express így egyre közelebb kerül a bolygóhoz, és várhatóan 2015 elején megsemmisül a sűrű légkörében. Az ESA 2005 novemberében indított űrszondája valójában a Mars Express és a Rosetta megmaradt komponenseinek felhasználásával, költségkímélő módon épült, akkori árakon 220 millió euróért. A Venus Express kiesésével nem marad egyetlen űreszköz sem a Föld belső bolygósomszédjának környezetében. A japán Akatsuki, amelynek 2010-ben hajtóműprobléma miatt nem sikerült lefékezni és pályára állni a Vénusz körül, 2015 novemberében újra megérkezik. Ekkor még lesz némi remény, hogy a manőver sikerrel jár.

A földi irányítók november 28-án veszítették el a kapcsolatot a Venus Expresszel. Akkor egy a pályamagasság megemelését célzó manőversorozat folyt, de közben valószínűleg kifogyott a hajtóanyag utolsó maradéka is. Enélkül egyrészt folyamatosan süllyed a szonda, másrészt a térbeli orientációját sem tudják tartani, így a mérések és a Földdel való rádiós kommunikáció nem lehetséges. A legutolsó adatok szerint az űreszköz forgásba kezdett, így az irányítókkal való kapcsolat csak rövid időszakokra korlátozódhat, amíg felénk néz az antennája. Ráadásul a Föld és a Vénusz távolsága most épp nagy, ami azt jelenti, hogy a jelek ilyenkor a leggyengébbek.

A szakemberek természetesen tisztában voltak vele, hogy a fedélzeti hajtóanyag már nem tarthat sokáig. A kifogyásának pontos időpontját azonban – mivel az űrszondákon és műholdakon üzemanyagszint-mérő nincs – nem lehetett előre jelezni.

Működési idejének legnagyobb részét a Venus Express 200 km és 66 ezer km között változó magasságú pályán töltötte. 2014. május és július között, az utolsónak hitt tartalékok felhasználásával a szondát közelebb (130 km magasságig) vitték a bolygóhoz, hogy elnyúlt pályájának egy szakaszán jobban belemerüljön a Vénusz légkörébe. Egyúttal a felsőlégköri fékezés módját is gyakorolták, ami a jövő űrszondái számára hasznos lehet a bolygó körüli pályára álláskor. A kísérletek után – mivel az űreszköz nem sérült és üzemanyag is maradt – a pálya Vénuszhoz közeli pontját megemelték 460 km-re.

A Venus Express számos tudományos eredménye közül említésre méltó, hogy a bolygón a viszonylagos „közelmúltban”, vagyis 2,5 millió éve még lehetett vulkáni aktivitás. A szonda mérte a felsőlégkörben található kén-dioxid koncentrációjának időbeli változásait is, ami akár jelenlegi vulkanizmushoz is köthető. A Venus Express műszerei információval szolgáltak a bolygón fújó szelek sebességéről, kiderítették, hogy az égítést kb. 243 napos, lassú tengelyforgási periódusa két évtized alatt kimutatható mértékben, kb. 6 és fél perccel

lerövidült. Jelek mutatnak arra, hogy a jelenleg pokoli felszíni hőmérséklettel és légnyomással jellemezhető Vénusz a távolabbi múltban sokkal több vizet tartalmazhatott, még a felszíni óceánok létezése sem zárható ki. Bár az adatgyűjtés most befejeződött, a Venus Express méréseinek elemzésével, értelmezésével még jó néhány évig el tudják foglalni magukat a kutatók. Így még bizonyára fogunk találgozni új tudományos eredményekkel is.

2014: két évtizede a legtöbb start. Több sikeres űrindítás volt 2014-ben a világon, mint 1994 óta bármikor. Ami a hordozórakéta-indítások számát illeti, az űrtevékenység több mint 80%-át három ország végzi: Oroszország, az Amerikai Egyesült Államok és Kína. Közülük 2014-ben az oroszok voltak a legaktívabbak, 36 kísérlettel. Ezek közül 34 számított teljes sikernek, vagyis a felbocsátott űreszközök elérték a nekik szánt pályát. Az Egyesült Államok 23 startkísérlete közül 22 sikerült. Kína 16-ból 16-tal áll a képzeletbeli dobogó harmadik helyén. Az Európai Űrügynökség Ariane-5 és Vega rakétákkal összesen 7 sikeres startot (6+1) végzett 2014-ben. (A Szovjet rakéták kouroui indításait – szám szerint négyet – a statisztika az oroszokhoz számolja.) „Futottak még” Japán és India (4-4 starttal), valamint Izrael (1 starttal). Egy további indítás az USA-ban bejegyzett, de orosz és ukrán készítésű Zenyit rakétát használó Sea Launch cég nevéhez fűződik, a Csendes-óceánon úszó platformról, így nemzetiségi besorolása nem egyértelmű.

2014-ben tehát összesen 92 startkísérletet jegyeztek fel. Ebből 90 volt olyan, amikor az űreszközök legalább elérték a Föld körüli pályára (még ha nem is minden esetben olyanra, amelyet terveztek számukra – két európai Galileo navigációs műhold volt az áldozata egy ilyen félresikerült felbocsátásnak). Az ezt megelőző évben, 2013-ban összesen 81 startot hajtottak végre. A 2014-es érték jelentőségét mutatja, hogy legutóbb 1994-ben volt a mostaninál több űrindítás, szám szerint 93.

A startok száma a 2000-es évek közepén volt a mélyponton, 2004-ben és 2005-ben még a 60-at sem érte el. Azóta folyamatosan növekvő tendencia tapasztalható. Akkoriban a NASA űrrepülőgépes flottája a Columbia balesete miatt leállásra kényszerült, a távközlési műholdak piacán visszaesés volt tapasztalható, és lelassultak az amerikai katonai holdak felbocsátásai is.

A növekedés több összetevője közül említésre érdemes a kínai katonai és tudományos műholdak megszorodása, és az amerikai hadsereg is gyorsabb ütemben állítja pályára navigációs, kommunikációs és kéműholdjait. Amerikában a SpaceX vállalat tevékenysége is felfutóban van, 2014-ben minden eddiginél több startot (6) végeztek, Falcon-9 rakétájukat hasznosítva. Az európai Arianespace

már három különböző méretű rakétatípust (Ariane-5, Szojuz, Vega) kínál, így a francia guyanai Kourou űrközpontból a legtöbbféle műholdat képesek indítani.

Az oroszok – és egyben a világ – legsikeresebb rakétája a Szojuz, különböző változataiból 2014-ben összesen 22 hagyta el valamelyik indítóhelyet (ebből 12 Bajkonurt, 6 Pleszecket, 4 Kourout). Ez a szám nagyobb, mint 1993 óta bármikor. Kínából a Hosszú Menetelés rakéta különféle változatai 15-ször emelkedtek a magasba.

Az indítóhelyek „versenyében” 2014-ben a kazahsztáni Bajkonur végzett az élen (21 start). A floridai Cape Canaveral 16 indítással véget ért, ami a 2003-as értékkel egyezik meg. A harmadik helyet a francia-európai kezelésben levő dél-amerikai indítóhely, Kourou szerezte meg (11 start). Érdekesség, hogy ha az egyedi indítóállásokat nézzük, akkor a kínai Csiucsüané a 2014-es rekord: 7 startot végeztek ugyanarról a kiindulóhelyről, az LA-4 SLS-2 jelzésű startállásból.

A 92 startkísérlet (és a 90 pályát elért indítás) közé nem számoltunk bele két fontos és sikeres szuborbitális repülést. Ezek alkalmával egy-egy új rakétatípus kipróbálása volt a cél – az orosz Angaráé és az indiai GSLV Mk.3-é –, de űreszköz pályára állítására nem került sor.

Tudományos mérések magyar részvétellel a 67P/Csurjumov–Geraszimenko-üstökös felszínén

Apáthy István, Hirn Attila

Magyar Tudományos Akadémia Energiatudományi Kutatóközpont,
Budapest

Az Európai Űrügynökség (ESA) Rosetta nevű űrszondáját 2004. március 2-án bocsátották fel azzal a céllal, hogy aktiválódásának kezdetétől – a Naptól számított több mint 3 csillagászati egység (CSE) távolságtól – az égitest napközeli pontjáig legalább egy éven keresztül helyben tanulmányozza a 67P/Csurjumov–Geraszimenko-üstököst. Az űrszonda emellett egy közel 100 kg tömegű leszállóegységet (Philae) is magával vitt, hogy annak műszereivel közvetlenül az üstökösmag felszínén végezzenek tudományos méréseket. A programban való sikeres részvétel a magyar űrkutatás egyik legkiemelkedőbb eredménye. Két létfontosságú alrendszer, a leszállóegység hibatoleráns központi vezérlő és adatgyűjtő számítógépe, valamint a tápellátó rendszer jelentős részének fejlesztése és megépítése is magyar mérnökök érdeme; előbbi az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpontban és az SGF Kft.-ben, utóbbi pedig a BME Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék Űrkutató Csoportjában készült. Két tudományos műszer, a leszállóegység ROMAP kísérletének plazma (Simple Plasma Monitor, SPM), valamint a SESAME kísérlet pordektora (Dust Impact Monitor, DIM) fejlesztésében és megépítésében, továbbá a kapott mérési adatok kiértékelésében az MTA Energiatudományi Kutatóközpont (MTA EK) mérnökei és kutatói vettek, illetve vesznek részt.

A Rosetta küldetés

Ahhoz, hogy az indítást követően 10 évvel a Rosetta űrszonda sikeresen elérje célját, gravitációs hintamanőverek sorozatára volt szükség. Az űreszköz háromszor (2005-ben, 2007-ben, valamint 2009-ben) a Föld és egyszer (2007 februárjában) a Mars mellett elhaladva szerzett akkora lendületet, amellyel lehetővé vált az üstökös megközelítése, majd az égitest körüli pályára állás. Útja során, 2008-ban a Rosetta űrszonda elhaladt a Steins, majd 2010-ben a Lutetia kisbolygó mellett, ahol értékes tudományos vizsgálatokat is végzett. A hosszú út során az űrszonda irányítói rendszeresen tartottak tesztkampányokat, amikor a fedélzeti szolgálati berendezések, valamint a tudományos műszerek működését ellenőrizték. 2011 júniusára a Rosetta olyan távol került a Naptól, hogy nap-elemtáblái – egyéb energiaforrások hiányában – nem lettek volna ké-

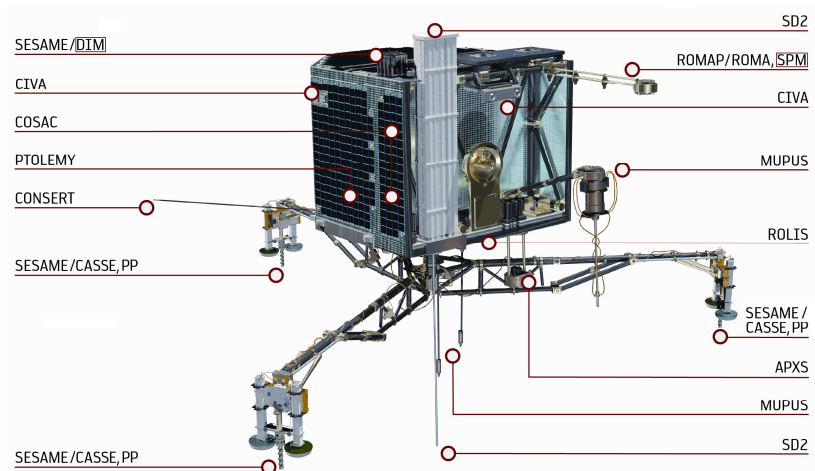
pesek az üzemeltetéshez szükséges energiát biztosítani. Ezért előre tervezett módon az űrszondát hosszú időre kikapcsolták; ezt mély hibernációnak nevezték el. A mély hibernációs szakasz 2014. január 20-án ért véget, amikor a Rosetta – előre beprogramozott parancsra – sikeresen életre kelt. Pár hónappal később a Philae műszereinek mély hibernáció utáni működőképességét is ellenőrizték. 2014. augusztus 6-án végül a Rosetta elérte célját, az átlagosan mindössze 4 km átmérőjű, két fő részből álló 67P/Csurjumov–Geraszimenko-üstököst. A pályára állást, valamint a feltérképezést követően kijelölték a leszállás tervezett helyszínét; a leszállásra végül 2014. november 12-én került sor.

A Philae műszerei és tudományos programja

A leszállóegység műszerei által végzett tudományos vizsgálatok célja az üstökösmag összetételének és felépítésének helyben történő vizsgálata volt, különös tekintettel az üstökös felszíni és felszín alatti anyagának elemi, molekuláris, ásványtani és izotóp-összetételére. A Philae-n összesen 10 tudományos műszert, illetve műszer-együttest helyeztek el; ezek tömege hozzávetőleg 21 kg. Helyzetüket a leszállóegységen az 1. ábra mutatja. A műszerek között szerepel egy hat kamerából álló, panorámaképek készítésére is alkalmas képfelvevő rendszer (CIVA), amellyel a kutatók az infravörös és a látható hullámhosszú tartományban tudnak felvételeket készíteni, valamint a ROLIS rendszer, amellyel az első felszín közeli felvételek készültek a leszállóhelyről. Az SD2 fűrő, mintavevő és -elosztó segítségével az üstökös felszínét alkotó anyag közvetlen vizsgálatára is lehetőség nyílik. A műszer kb. 20 cm mélységig fúr le; az onnan begyűjtött mintákat analízis céljából a spektrométerekhez (COSAC, PTOLEMY), valamint mikroszkópos vizsgálatokhoz (CIVA) továbbítja.

Az APXS műszer a Mars Pathfinder-en már használt alfa-proton-röntgen spektrométer egy továbbfejlesztett változata, amellyel a leszállóegység alatti felület vegyi elemzését tűzték ki célul. A MUPUS többcélú tudományos műszer az üstökösfelszín sűrűségének, hőtani és mechanikai sajátosságainak vizsgálatára szolgál. Az üstökösmag rádióhullám-terjedési kísérletben (CONSERT) rádiótomográfus módszerrel vizsgálják az üstökös belső szerkezetét. Ez az egyetlen olyan kísérlet a Rosetta küldetés tudományos programjában, amelynek műszereit részben az anyaszondára, részben pedig a leszállóegységre telepítették. A ROMAP (ROsetta MAGnetometer and Plasma monitor) műszer-együttes két kísérletet, a MAG-ot és az SPM-et integrálja. Feladata, hogy megmérje az üstökös esetleges mágneses terét és adatokat szolgáltasson az üstökös-napszél kölcsönhatásról, valamint az üstökös aktivitásáról a Naptól való távolság függvényében. A SESAME névre hallgató felszíni elektromos, hang- és akusztikus

monitorozó kísérlet három műszert foglal magába: a CASSE akusztikus kísérletet és a PP permittivitásmérőt, melyek segítségével az üstökös legfelső rétegének jellemzői vizsgálhatók, valamint a DIM pordetektort. A DIM és az SPM detektorok fejlesztésében és megépítésében, továbbá a kapott mérési adatok kiértékelésében az MTA Energiatudományi Kutatóközpont (EK) mérnökei és kutatói vettek, illetve vesznek részt.



1. ábra: A Rosetta űrszonda Philae leszállóegysége és annak tudományos műszerei. A magyar részvétellel készült műszerek nevét kerettel kiemeltük.
(Forrás: ESA / ATG medialab)

A Philae működését az anyaszondáról történő leválást követően három alapvető szakaszra osztották.

Az első, ún. SDL (Separation, Descent, Landing) fázisban történt meg az anyaszondáról való leválás, az üstökös magjához repülés és a felszínre szállás. Ennek időtartama kb. 7 óra volt. A repülés kezdetén nyitották ki a Philae lábait, a CONSERT antennáját és a ROMAP detektorának tartórúdját. A leszállás alatt folyamatosan üzemelt a ROMAP magnetométere, mellyel párhuzamosan összehasonlító méréseket végeztek az anyaszonda magnetométerével, valamint a CONSERT kísérlet; a tervezett módon szakaszosan működött a CIVA-ROLIS és a SESAME DIM pordetektora.

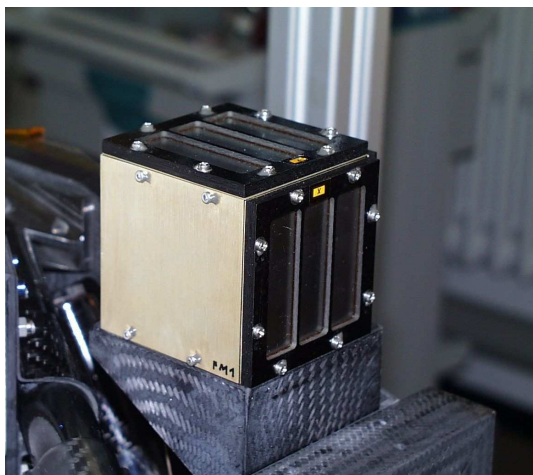
A leszállás utáni második, ún. FSS (First Science Sequence) fázisban került sor az első felszíni tudományos mérésekre, melynek során – egy-egy időszakra – valamennyi tudományos műszert bekapcsolták. Az SDL és FSS fázisokban a Philae fedélzeti tápellátását az addig „érintetlen” lítium-elemek (Primary Battery) biztosították; az FSS végső szakaszában a Philae napelemei által töltött akkumulátorok (Secondary Battery) „besegítését” is terve vették.

A harmadik, ún. LTS (Long Term Science) fázist több hónapra tervezik, melynek során – a Philae hőmérsékletének és az akkumulátorok töltöttségi állapotának figyelembe vételével – az egyes műszerek szakaszosan mérnek.

A DIM pordetektor

A DIM detektorát, mely a Philae balkonján foglal helyet (2. ábra), három egymásra merőleges irányba néző, 3-3 szegmensből álló piezoelektromos érzékelő alkotja; érzékelési felületük összesen 72 cm^2 (3. ábra). A detektort és a hozzá tartozó jelfeldolgozó elektronikát a Német Légügyi és Űrkutatási Központ (DLR) közreműködésével az MTA EK-ban fejlesztették és építették meg. A göttingeni Max-Planck-Institute für Sonnensystemforschung (MPS) intézet tudományos vezetésével végzett kísérlet fő feladata azoknak az üstökös-felszíni anyagrészecskéknak a vizsgálata, amelyek a kiszabaduló gázok hatására időszakosan elhagyják a felszínt, de mivel a szökéshez nincs elegendő sebességük, visszaesnek rá. Emellett – a detektor geometriájának köszönhetően – a közvetlenül az üstökös felszínéről érkező részecskék detektálása is lehetséges. A porszemcsék a szenzoroknak ütközve azokban elektromos jelet váltanak ki, amely csillapított szinuszos jelleget mutat (4. ábra).

A DIM jelfeldolgozó elektronikája a kapott első félperiódus amplitúdóját (U_m) és szélességét (T_c) határozza meg. Ezen mennyiségek a rugalmas ütközések fizikáját leíró hertzi elmélet szerint a porrészecske tömegétől és sebességétől, valamint a szenzor és a porrészecske anyagi tulajdonságaitól függenek; az anyagi tulajdonságok mellett a beérkezett részecskék fluxusa, valamint tömeg és sebesség szerinti eloszlása is becsülhető. A kapott adatok értelmezésének megkönnyítése egy olyan földi kalibráló egység áll rendelkezésre (5. ábra), amellyel különféle anyagú, formájú és állagú részecskékkel beütési próbák végezhetők vákuumban és extrém alacsony hőmérsékleten is. Az elméleti számítások és a kísérleti eredmények alapján a DIM a tizedmilliméteres-milliméteres mérettartományban érzékeny (Lásd a táblázatban).



2. ábra: A Philae tetejére szerelt DIM pordetektor. (Forrás: MTA EK, MPS)

Mennyiség	Tartomány
energia	$2 \cdot 10^{-11} - 2 \cdot 10^{-7} \text{ J}$
tömeg	$6 \cdot 10^{-10} - 8 \cdot 10^{-4} \text{ kg}$
sebesség	$0,025 - 0,25 \text{ m/s}$
sugár	$5 \cdot 10^{-5} - 6 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

A DIM mérési tartománya 1000 kg/m^3 sűrűségű gömb alakú részecskék feltételezésével

A DIM a küldetés során – a működést ellenőrző tesztekől eltekintve – alapvetően kétféle mérési ciklust hajtott végre. Az egyiket a várhatóan nagyobb eseményszámokra tervezték, és a mérési idő alatt detektált valamennyi beütés amplitúdó- és ütközési idő-eloszlását adja; ez esetben az egyes beütések pontos időpontja nem ismert. A másik esetben a rendszer a mérési idő alatt kapott első 350 jelre az egyes beütések időpontját is regisztrálja, e fölött ugyanakkor csak a teljes beütésszámot rögzíti, a beütések paramétereit (U_m és T_c) és időpontjait nem.

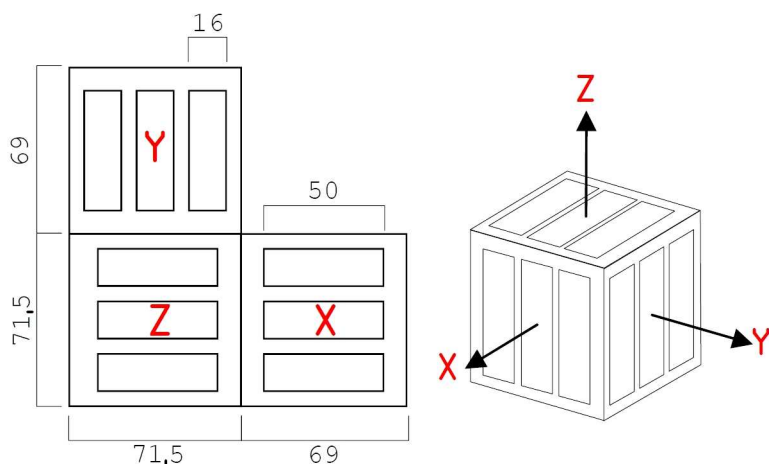
Az SPM töltött részecske-monitor

Az SPM kísérlet célja a napszél-paraméterek (sűrűség, sebesség, hőmérséklet, irány) meghatározása, és ezek alapján az üstökös-napszél kölcsönhatás nyomon követése az üstökös inaktív állapotától annak aktív állapotáig, a kóma kialakulásáig. Az SPM detektorát egy elektrosztatikus félgömb-analizátor és egy Faraday-csapda alkotja (6. ábra). Előbbi az elektronok és ionok fajlagos – azaz egységnyi töltésre vonatkoztatott – energiaspektrumának és irányeloszlásának mérésére, utóbbi pedig a töltött részecske-fluxus energia függvényében történő meghatározására szolgál. A 160° -os látószögű műszerrel a $40 \text{ eV} - 8000 \text{ eV}$ energiájú ionok és a $0,3 \text{ eV} - 4200 \text{ eV}$ energiájú elektronok jellemzőit (sűrűség, sebesség, hőmérséklet, irány) tudják mérni. A félgömb „üres” belsejébe van beleépítve a ROMAP fluxgate magnetométere, amellyel a mágneses tér vektoriális komponensei határozhatók meg $\pm 2000 \text{ nT}$ dinamikai tartományban, 10 pT felbontással.

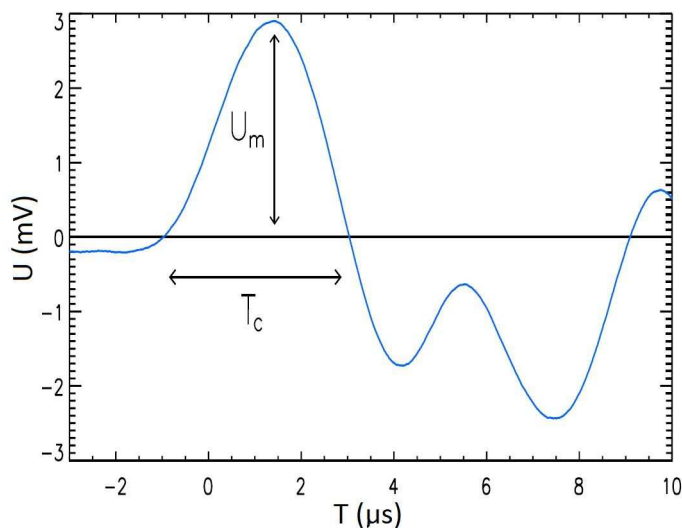
Hazai vonatkozású mérések a leszállás közben és az üstökös felszínén

2014. november 12-én reggel, 8:35-kor (minden időpont greenwichi közép időben, GMT-ben) a leszállóegység levált az anyaszondáról. A Philae ROMAP kísérletének magnetométerét – melynek feladata az üstökös esetleges mágneses terének a mérése – a műszerek közül elsőként, már a leválás előtt két órával bekapcsolták. Egy órá-

val később, valamint a leválást követően még összesen három alkalommal – az üstökös magjától különböző távolságokban – a SESAME kísérlet pordetektorával (DIM) is végeztek méréseket.

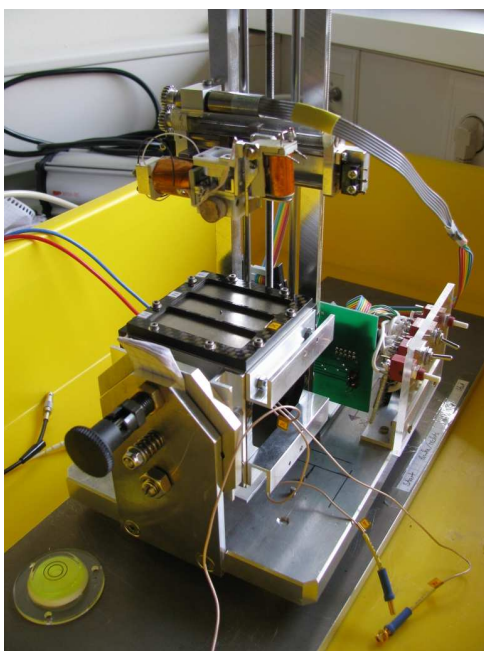


3. ábra: A DIM pordetektor és piezoelektromos érzékelőinek a méretei. (Forrás: MPS)



4. ábra: Egy tipikus jel a DIM detektor kimenetén; U_m a jel amplitúdója, T_c az ütközési idő. (Forrás: MTA EK, MPS)

A Philae 15:34:04-kor érte el az üstökös felszínét, de sem a talajhoz nyomást biztosító gázfúvóka, sem az ott-tartást biztosító horgonyok kilövőszerkezete nem lépett működésbe. A leszállóegység ezért „visszapattant” (ami az igen kis gravitáció miatt igen lassú mozgást jelent), és többszöri talajérintés után 17:31:17-kor érte el végső po-



5. ábra: Ejtési kísérletek a kalibráló mechanikára szerelt DIM pordetektorral.
(Forrás: MTA EK, MPS)

zicióját – a tervezett leszálló- (és első talajérintési) helytől több mint egy km távolságban, valószínűleg egy hasadékban. A ROMAP és a keringőegység magnetométerei adatainak összevetéséből a kutatók pontosan rekonstruálták a Philae orientációját és forgási paramétereit, emellett a kinyúló rúdon lévő detektor rezdüléseiből másodperc pontossággal meg tudták határozni az egyes talajérintések időpontját. Az első talajérintés után a plazmamérések is elkezdődtek, melyek azután több mint 6 órán át folytak. A végső talajtérést követően az SPM irányérzékeny plazmadetektorával – még a hasadékba esés előtt – sikerült megmérni a napszél pillanatnyi irányát és így a Philae felszíni pozícióját. A mérés azt is meg-

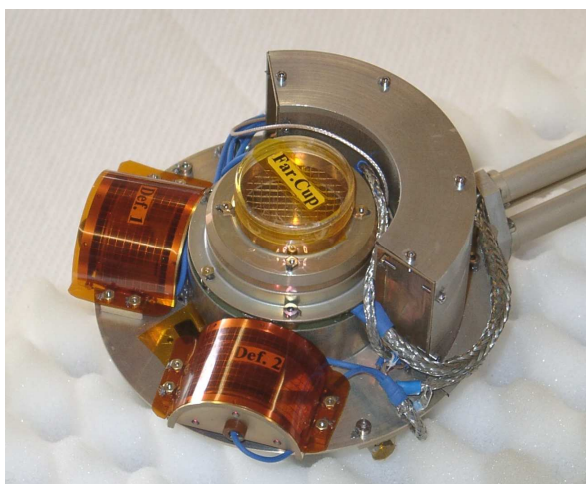
mutatta, hogy a hasadékba „esés” az igen kis gravitáció miatt legalább negyed óra hosszan tartott. Ezt követően 5 alkalommal, közel 1-1 órára a DIM műszert is bekapcsolták. Úgy a DIM, mint az SPM mérési adatai arra engednek következtetni, hogy a Philae végső leszállóhelyén az üstökös aktivitása jelenleg meglehetősen kicsi. A mérési adatok részletes kiértékelése és értelmezése a cikk írásának időpontjában még folyamatban van.

Az eredetileg tervezett hosszú távú tudományos mérésekre a Philae nem megfelelő pozíciója miatt egyelőre nem kerül sor. A Nap a leszállóegységet az üstökös tengely körüli körbefordulása (12,4 óra) alatt mindössze másfél óra hosszan és meglehetősen kis szögben világítja csak meg, így annak hőmérséklete jelenleg igen alacsony (ami az akkumulátorok töltését lehetetlenné teszi), és a nap-elemtáblák megvilágítása sem megfelelő mértékű. A Rosetta programban dolgozó mérnökök és kutatók szerint viszont remény van arra, hogy amikor az üstökös közelebb kerül a Naphoz, a körülmények kedvező irányban változnak meg, és a mérések a felszínen újra megkezdődhetnek. Amennyiben a leszállóegység alrendszerei, illetve a tudományos műszerek a hibernált állapotot túlélnek, nagy valószínűséggel a DIM-mel és az SPM-mel is folytatni tudják a méréseket. Mivel működésük közben nem hajtanak végre mechanikai műveletet

(pl. a leszállóegység elforgatása, fúrás, mechanikus szerkezet kinyitása), üzemeltetésük kockázata a Philae-re nézve a küldetés során minimális.

Addig is az anyaszonda – eddig kiválóan működő – távmérő érzékelői folytatják sok hónaposra tervezett mérési kampányukat. Ezzel jelentősen hozzájárulnak a Naprendszer ősi anyaga tulajdonságainak és a kialakulásának jobb megértéséhez.

A DIM és SPM műszerekhez való hazai hozzájárulás PRODEX és PECS szerződések keretében valósult meg. A munka jelenleg a 4000107211, valamint a 4000107212 számú PECS szerződések keretében folyik.



6. ábra: A ROMAP kombinált mérőfeje. (Forrás: Technische Universität Braunschweig)

Irodalomjegyzék:

- [1] Hertz H. (1882): Über die Berührung fester elastischer Körper. Journal über die reine und angewandte Mathematik, 92, 156
- [2] Seidensticker K. J., Möhlmann D., Apáthy I., Schmidt W., Thiel K., Arnold W., Fischer H.-H., Kretschmer M., Madlener D., Péter A., Trautner R., Schieke S. (2007): SESAME - An Experiment of the Rosetta Lander Philae: Objectives and General Design. Space Science Reviews, 128, 301
- [3] <http://rosetta.esa.int/>

Űreszközök fedélzeti autonómiájának kialakítása a Naprendszer távoli objektumainak kutatásához

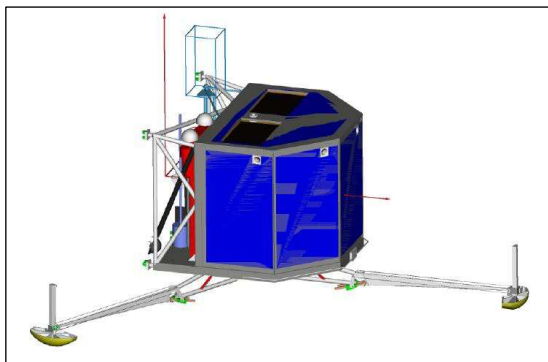
Baksa Attila

Magyar Tudományos Akadémia
Wigner Fizikai Kutatóintézet, Budapest

A Naprendszer távoli objektumainak eredményes űrszondás kutatása magas fokú autonómiát követel meg az adott űreszköztől, ami a processzorok fejlődésének köszönhetően szoftver úton valósítható meg. Egy távoli égitest felszínén tevékenykedő űreszköz bonyolult feladatainak sokasága szükségessé teszi egy átfogó vezérlési modell kialakítását, amely megfelelő sebességgel képes kezelni a gyors környezeti eseményeket, mégis rugalmasságot biztosít egy hosszú távú küldetés változó igényei számára. Kidolgozott modellünket a 67P/Csurjumov–Geraszimenko-üstökösre 2014. november 12-én történelmi leszállást végrehajtó Philae leszállóegységen alkalmaztuk az ESA Rosetta misszióban.

Bevezetés

2014 novemberében érte el az évtized űrkutatási áttörését az ESA Rosetta programjának leszállóegysége, amikor sikeres leszállást követően tudományos méréseket végzett el egy aktív üstökös felszínén. A legújabb fejlesztésű elektronikai eszközök, úgy mint alacsony fogyasztású, de nagyteljesítményű processzorok, FPGA-k, magas hatásfokú napelemcellák és nagy energiasűrűségű akkumulátorok megjelenése tették lehetővé az olyan objektumok felszíni tanulmányozását, amelyek az éltető napenergiától és egyben Földünkötől is távol róják köreiket Naprendszerünkben.



1. ábra: Rosetta Lander (Philae)

A problémák

A nagy távolságok elérése nemcsak az űreszközök hajtóműveit állítja komoly feladat elé, hanem a kommunikációt biztosító rádiórendszereket is, amelyek segítségével a kapcsolatot tarthatjuk égi küldöttünkkel. Amíg például a Mars bolygót kutató felszíni járművel átlagosan 20 perc holtidővel tarthatja a kapcsolatot a földi

operátor személyzet, addig a távolabbi objektumokat kutató szon-

dák rádió válaszideje több óra is lehet. Amíg tehát egy földközeli űreszköz földi központú vezérlése elfogadható szabályozási holtidővel rendelkezik, addig az energiaszegény külső Naprendszerben tevékenykedő eszköz nem hagyatkozhat a több órás késéssel érkező földi vezérlő jelekre.

Különös figyelemmel kell lennünk az űreszköz energiafelhasználására, mert a Naprendszer alacsony hőmérsékletű külső övezetében jelenlegi elektronikus berendezéseinknek folyamatos fűtésre van szükségük üzemképességük fenntartásához. Ez azt jelenti, hogy a szonda működtetése várakozó állapotban is rendkívül energiaigényes. Adott esetben akár az is előfordulhat, hogy a szűkös energiaforrások következtében napokig tart annak az energiamennyiségnek az összegyűjtése, ami mindössze néhány óra üzemidőt biztosít a tudományos kutatások elvégzéséhez, ha csak nem használunk radioaktív energiaforrást.

Belátható tehát, hogy egyrészt nem pazarolhatjuk az energiát földi parancsokra való tétlen várakozásra, másrészt pedig elfogadhatatlan a váratlan események több órás késéssel történő megoldása, hiszen kritikus esetben ennyi idő alatt rendszerünk akár működésképtelenné is válhat.



2. ábra: Célpont a távoli 67P/Csurjumov–Geraszimenko-üstökös

A megoldás

Jelenleg egyetlen megoldást tudunk ezekre a problémákra. Növelnünk kell az űreszköz autonómiáját. Olyan intelligenciával rendelkező adaptív fedélzeti rendszert kell beépítenünk, amely:

- Folyamatosan biztosítja az előre megtervezett tudományos műveletek végrehajtását.
- Rugalmasan alkalmazkodik az előre nem tervezhető időigényű folyamatokhoz.

- Önállóan reagál a nem várt külső eseményekre és teljes megoldást ad vészhelyzetek kezelésére.
- Fenntartja a rendszer energiaegyensúlyát és gondoskodik az összegyűjtött tudományos adatok tárolásáról energiamentes állapotban is.

Csak a fenti tulajdonságokkal rendelkező kutatóeszköztől várhatunk tudományos eredményekben gazdag és üzembiztos működést olyan távoli helyen, mint például egy üstökös felszíne.

A korábbi űrszondák, amelyeket égitestek felszínének kutatásához terveztek, nem rendelkeztek olyan mértékű intelligenciával, hogy távolabbi helyeken is hosszabb időre sikerrel bevethették volna őket. Nagyon nehéz volt több napos önálló feladatsor megvalósítása, mert hiányzott a váratlanul bekövetkező események megoldásához szükséges számítási teljesítmény. Napjainkban, a mikroelektronika rohamos fejlődésével, olyan űrminősítésű, alacsony energiaigényű és nagy teljesítményű processzorok jelentek meg, amelyek lehetővé teszik nagymértékű autonómia szoftveres úton történő megvalósítását. Magas szintű mesterséges intelligencia algoritmusok beépítéséhez természetesen még ezek az erőforrások sem nyújtanak elegendő számítási kapacitást, de megfelelő absztrakcióval olyan összetett viselkedésformát sikerült kialakítanunk, amely a körülményeknek megfelelő válaszidővel képes a valósidejű események kezelésére és az űreszköz feladatainak hosszútávon történő irányítására.

Alapvető megfontolások

Autonóm fedélzeti szoftver logika kialakításánál kiemelten fontos a szoftverrendszer hibatoleranciájának mértéke. A szoftver modell tervezésénél ezért feltétlenül figyelembe kell venni a következő irányelveket:

- A biztonságos működés érdekében a mért környezeti értékek hitelességi vizsgálatát el kell végezni (határérték-vizsgálatok), hasonlóan szükséges a vezérelt változók érvényesítés előtti értékének ellenőrzése.
- A belső modellnek érzékelnie kell a környezetében előforduló hibákat. A szoftver csak érvényes környezeti modellt használhat fel. Indulás alatt, leálláskor és átmeneti hibák esetében sem használhat érvénytelen adatokat.
- Minden elképzelhető eseményre léteznie kell állapotátmenetnek. Ez a feltétel a nagyszámú lehetséges esemény, illetve a teljes várható eseményrendszer alacsony jósolhatósági fokának következtében rendkívül nehezen teljesíthető a hagyományos modellekkel. Kidolgozott modellünk újszerűsége, hogy megoldást kínál az állapotátmenetek és állapotok későbbi, akár éles üzem közbeni pontosítására.

- Minden állapot kezelésénél/vizsgálatánál időhatárokat kell alkalmazni (timeout) a feltétlen átmenetek elérésére.
- A kritikus, nem megszakítható állapotokban való futásidőt minimalizálni kell a reakcióidő alacsony szinten tartása érdekében.
- Ismétlődő akcióknak hurokban kell lenniük.
- Az esetleges hibás állapotot létrehozó téves parancsok veszélyét minimalizálni kell, ezért minden esetben teljes parancsdekódolást kell végezni.
- Nem létezhet a modellben teljes leállást létrehozó (csak ki- és bekapcsolással feloldható) logikai útvonal.

A feladat

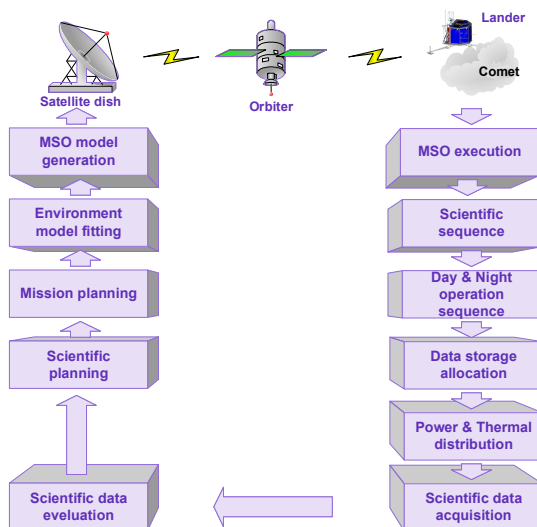
Részletesen tanulmányoztuk egy feltételezett távoli üstökös felszínén leszálló kutatóegység központi számítógépével szemben támasztott lehetséges követelményrendszert, amely funkcionalitás szerint a következő csoportokra bontható:

- A célobjektum megközelítése és a leszállás folyamatának felügyelete vagy akár autonóm vezérlése.
- A leszállóegység energia- és hőegyensúlyának fenntartása.
- A tudományos műveletek irányítása.
- A tudományos adatok gyűjtése a fedélzeti műszerektől, valamint az adatok átmeneti tárolása.
- Kapcsolattartás a Földdel vagy az esetleg közelben tartózkodó, a rádiójelek átjátszását biztosító ún. orbiter egységgel, parancsfogadás és a tudományos adatok továbbítása.
- Hibatolerancia biztosítása, a beépített redundanciák kezelésével.

A különböző részterületeket átvizsgálva arra a következtetésre jutottunk, hogy az egyes területek egymással összefüggő hatást gyakorolnak a rendszerre. Ezért olyan központi logika kialakítása szükséges, amely kapcsolatot biztosít az egyes feladatkörök között. olyan bonyolult központi logika, amely a fenti feladatok koordinálására képes, nehezen írható körül, ezért szükséges a modell absztrakciója.

A modell

Absztrakciónk alapja, hogy különválasztottuk a rendszer statikus és dinamikus viselkedését, ami számos előnyt nyújt az űrszondákon alkalmazott korábbi megközelítésekkel szemben. Ez a megoldás minimalizálja a szondához küldendő vezérlő információ mennyiségét, hiszen a statikus és dinamikus viselkedést leíró algoritmusok nagyszámú kombinációját lehet létrehozni kisszámú parancs segítségével. Ez azért fontos, mert a bolygóközi szondák esetében – a nagy távolság miatt – a parancs adatátviteli sebessége maximum 10–20 kbit/s, ugyanakkor a kapcsolat is gyakran csak 10 percre tartható fenn elfogadható jel/zaj viszony mellett. Fontosnak tartottuk to-



3. ábra: Mission Sequencing Objects előállítás és használata a Philae leszállógységen

vábbb, hogy a központi logika az űrszonda működésének bármelyik fázisában áttervezhető legyen, a tudományos küldetési tervek változásainak megfelelően.

Ezért mindkét modellt önálló alapegységek halmazára bontottuk tovább, amelyek elnevezése MSO (Mission Sequencing Object). Ezzel az adat- és programlogika absztrakciójának olyan alapköveihez jutottunk, amelyek egyrészt lehetővé teszik az űrszondák földi parancsokon ún. telekommandokon keresztüli adatfeltöltéséhez való igazodást, másrészt a földi

küldetéstervezési csoport számára egy részleteiben áttekinthető leíró nyelvezetet biztosít ember és gép között. Az alapegységek (MSO) kapcsolatát úgy alakítottuk ki, hogy egymástól függetlenül kezelhetők legyenek tervezési, transzport és üzemi fázisaik alatt egyaránt. Méretüket úgy terveztük meg, hogy egy-egy MSO egyetlen telekommand formájában az űreszköz fedélzetére juttatható legyen. A leendő űreszköz fedélzeti szoftvere számára pedig olyan adattárolási formát dolgoztunk ki, amely a magas hibatolerancia érdekében redundáns adattárolás mellett, hatékony helykihasználással biztosítja a szükséges MSO elemek gyors elérését.

A statikus modell

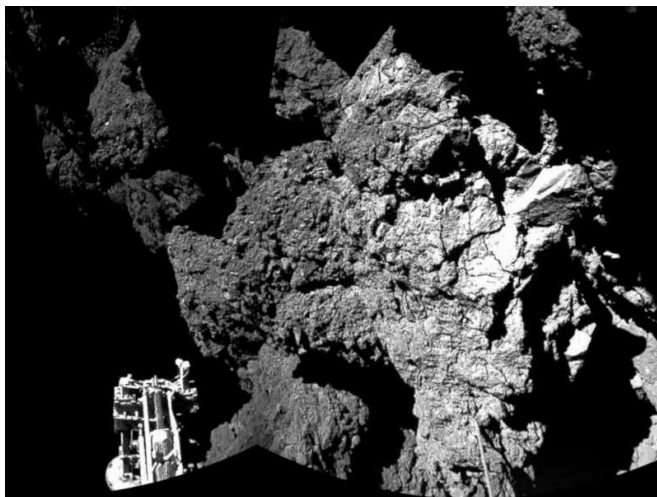
A statikus modell állítja elő a rendszer aktuális üzemi állapotát és alapegysége az SMSO (Static Mission Sequencing Object). Egy-egy SMSO a következő állapotparamétereket állítja elő:

- Az aktuális működési üzemmód egymásnak ellentmondó tulajdonságainak szabályozása:
- Működési sebesség
- Hibatolerancia foka
- Energiatakarékosság mértéke
- Az űreszköz fedélzeti berendezéseinek és tudományos műszereinek aktuális állapota a küldetés fázisának megfelelően.
- Az egyes berendezések szolgálati adatainak gyűjtésére vonatkozó paraméterek.
- Adatmennyiség kvóták felállítása a fedélzeti adattároló kapacitás mindenkor optimális (hatékony) elosztása érdekében.

- A fedélzeti berendezések működés közbeni jogainak korlátozása, a kritikus üzemi szekciók védelme érdekében.

Prioritási sorrend felállítása az üzemelő berendezések között a következő szempontok szerint:

- Energiaellátás
- Adattárolási kapacitás
- Kiszolgálási sebesség



4. ábra: A Rosetta Lander (Philae) az üstökösön

A dinamikus modell

A dinamikus modell a környezet vizsgálatának módját, a bekövetkező eseményekre adandó válaszlogikát, valamint a statikus modell állapotátmenet programját írja le. Alapegysége a DMSO (Dynamic Mission Sequencing Object), amely a következő állapotátmeneti paramétereket állítja elő:

- Hivatkozás az aktuális rendszerállapotot leíró SMSO elemre.
- A várt és váratlan események észlelését leíró tartalom.
- Az eseményekre adandó közvetlen válaszok leírása, amelyek az esemény súlya szerint a következők lehetnek:
 - Beavatkozó algoritmus
 - Hibaelhárító algoritmus
 - Hibakezelő algoritmus
 - Folyamat-újraindító (recovery) algoritmus
 - Vész üzemmód algoritmus
- Időzítések és timeout események leírása.
- Kapcsolatok és elágazások leírása, amelyek aktivizálódhatnak egyrészt a küldetés terveinek megfelelően, másrészt a váratlan külső események hatására.

A következő kapcsolatok és elágazástípusok létrehozására van lehetőség további DMSO-elemek felé:

- Láncolt kapcsolat
- Szubrutin szintű elágazás
- Ugrás szintű elágazás

A megvalósítás

Modellünket a Német Űrrepülési Intézet, a DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) felkérésére, az ESA (European Space Agency) üstököskutató Rosetta űrszondájának fedélzetén alkalmaztuk. A Philae nevű leszállóegység fedélzeti számítógépét és annak szoftverrendszerét fejlesztettük. Az elméleti modell sok paraméterét kellett a leszállóegységet irányító fedélzeti számítógép, úgynevezett CDMS (Command and Data Management Subsystem) fizikai adottságaihoz igazítani, de a modell logikai felépítését pontosan adaptálni tudtuk. Modellünk rugalmasságára különösen szükség van a Philae fedélzetén, mivel a küldetés pontos tudományos menetrendje a rendkívül sok bizonytalansági tényező miatt még a leszállás után változhat. Ennek ellenére a szoftver rendszer fejlesztése és tesztelése mégis jóval a felbocsátás előtt lezárulhatott. A leszállóegység végleges viselkedésének leírása és az előállított a MSO elemek fedélzetre töltése elvégezhető a rádiórendszeren keresztül akkor is, amikor a Rosetta orbiter egysége már alaposan feltérképezte az üstökös magjának tulajdonságait vagy akár a leszállás után is. A modellünk nyújtotta lehetőségekkel sikerült a Philae leszállóegységet hozzásegíteni, hogy sikeresen teljesíthette a leszállás és a felszíni működés feladatait egy mindhárom tengelye körül bukfencező jéghegyen, amivel új korszakot nyitott az űrkutatás történetében.

A megvalósítás környezete

A fedélzeti számítógéphez teljesen egyedi multi-taszkos operációs rendszert fejlesztettünk ki, amelyre a számítógépben használt különleges processzor (Harris RTX2010RH) miatt volt szükség. A leszállóegység feladatainak közvetlen vezérlését nyolc, szintén egyedi fejlesztésű applikációs taszk végzi. A feladatok koordinálását és az applikációs taszkok algoritmusainak átfogó irányítását az itt ismertett MSO alapú modell végzi. A fedélzeti számítógép hardver- és szoftverelemeinek általános ismertetése megjelent a Magyar Elektronika folyóirat 2002. decemberi és 2003. januári számaiban [7-8].

A Rosetta küldetés

Az ESA szervezésében futó Rosetta küldetés az üstökösök kutatását tűzte ki célul. A Rosetta űrszonda a 67P/Csurjumov-Gerasimenko-üstököst közelíti meg és tudományos méréseket végez körü-

lötte. Az űrszonda 2004. március 2-án sikeresen elhagyta Földünket egy Ariane-5 hordozórakétával, és megkezdte évtizedes utazását célja felé. Az üstökös megközelítése 2014 elején történt, Földünkől 500 millió kilométer távolságban. Az üstökös részletes feltérképezése után, 2014. november 12-én a Philae nevű leszállóegység különvált a keringőegységtől és sikeresen leereszkedett az üstökösmag felszínére. A kalandos talajt érés után megkezdte kutatómunkáját, 10 tudományos műszerrel a fedélzetén és a fő tudományos küldetést sikeresen végrehajtotta.

A Philae berendezéseivel képes az üstökös anyagából mintát venni, azt mikroszkóp, spektrométer és gázanalizátor segítségével vizsgálni, akusztikus és radarhullámokkal az üstökös belső szerkezetét tanulmányozni, mágneses és plazmafizikai vizsgálatokat végezni, valamint panoráma- és sztereokamerákkal fotókat készíteni és azokat a Földre továbbítani. Optimális viszonyok mellett a leszállóegység több hónapon keresztül folytathatja méréseit, lehetővé téve így számunkra, hogy nyomon követhessük a folyamatot, amikor egy üstökös „életre kel” a Naphoz közeledő pályaszakaszán. A leszállóegység rendszerei, élükön a fedélzeti számítógéppel, jelenleg hibernált állapotban várják az üstökösön a beérkező napenergia növekedését a Naphoz közelítő pályán.

A Rosetta projektben való részvételünket a Magyar Űrkutatási Iroda segítette, amiért ezúton szeretnénk köszönetünket nyilvánítani.

Irodalomjegyzék:

- [1] Kenett R.S., Baker E.R. (1999): Software Process Quality, Marcel Dekker, New York
- [2] Youll D.P. (1990): Making Software Development Visible, Wiley, Chichester
- [3] Drake H.D., Wolting D.E. (1987): Reliability Theory Applied to Software Testing. Hewlett-Packard Journal, 38(4), 35
- [4] Kruger G.A. (1988): Project Management Using Software Reliability Growth Models. Hewlett-Packard Journal, 39(6), 30
- [5] Kruger G.A. (1989): Validation and Further Application of Software Reliability Growth Models. Hewlett-Packard Journal, 40(4), 75
- [6] Chau S., Sengupta A., Tran T., Backhshi A. (2003): Ultra Long-life Spacecraft for Long Duration Space Exploration Missions. Space Technology, 23, 143
- [7] Baksa Attila, Balázs András, Pálos Zoltán, Szalai Sándor, Várhalmi László (2002): A Rosetta Lander központi vezérlő és adatgyűjtő számítógépe. Magyar Elektronika, 2002/12, 28
- [8] Baksa Attila, Balázs András, Pálos Zoltán, Spányi Péter, Szalai Sándor, Várhalmi László (2003): A Rosetta leszállóegység fedélzeti szoftverrendszere. Magyar Elektronika, 2003/1-2, 54

A Rosetta Lander fedélzeti autonómiájának validálása

**Baksa Attila, Balázs András, Sódor Bálint, Szalai Sándor,
Tróznai Gábor**
SGF Kft., Budapest

A Rosetta üstököskutató küldetés Philae leszállóegységén alkalmazott MSO (Mission Sequencing Object) modell rendkívül összetett tudományos műveletek autonóm végrehajtását teszi lehetővé. Így az üstökös környezeti feltételeihez adaptívan alkalmazkodó műveleti rendszer tesztelése és validálása szintén összetett feladat. Az üstökösön várható környezeti feltételek és lehetséges eseményláncolatok földi körülmények között nem hozhatók létre, ezért szükséges azok szimulációja.

Bevezetés

A Rosetta küldetés egy üstökös kutatását tűzi ki célul. A leszállóegység feladata az üstökös felszíni tanulmányozása. A minél alaposabb mérések elvégzéséhez 8 tudományos műszert és 7 szolgálati alrendszert integráltak a kisméretű kutatóegységbe. A vezérlést egyedi fejlesztésű beágyazott fedélzeti számítógép végzi, amely sokfeladatos operációs rendszerrel és 8 feladatvégző taszkkal ütemezi a leszállóegység feladatait. A leszállóegység küldetése két fázisra osztható. Az elsődleges küldetés egy rövid néhány napos ciklus, amikor a leszállás után a lehető legrészletesebb mérések elvégzése a cél a fő telepek kimerüléséig. Ezt követi a másodlagos küldetés, amelynek során a napelemekre hagyatkozva alacsonyabb intenzitással, hónapokon keresztül végzett mérésekkel a Naphoz közelítő üstökösön végbemenő folyamatok elemzése a cél

A Rosetta űrszonda összetettsége és rendkívül hosszú életútja miatt szükség van egy olyan rendszerre, amely lehetővé teszi a következő feladatok ellátását a Rosetta több mint 10 éves életútja alatt:

- A fedélzeti számítógép szoftverének tesztelése és validálása, főként a valódi leszállóegységen kivitelezhetetlen nem nominális szituációkban
- Hosszú időtartamú tesztek
- Terhelési tesztek
- Adatforgalmi tesztek;
- Üzemeltetési forgatókönyvek validálása
- Parancs szekvenciák futtatása és tesztelése
- Az űrszondáról rögzített események reprodukálása
- Kezelő személyzet tréningje

A fenti feladatok ellátásához az űrszonda földi szimulációjának szoftveres úton történő megvalósítása kínálja a legmegfelelőbb eszközt. Az SGF Kft. (Space and Ground Facilities Ltd.) a német DLR megbízásából fejlesztette ki a Rosetta Lander Software Simulator, azaz LSS elnevezésű rendszert.

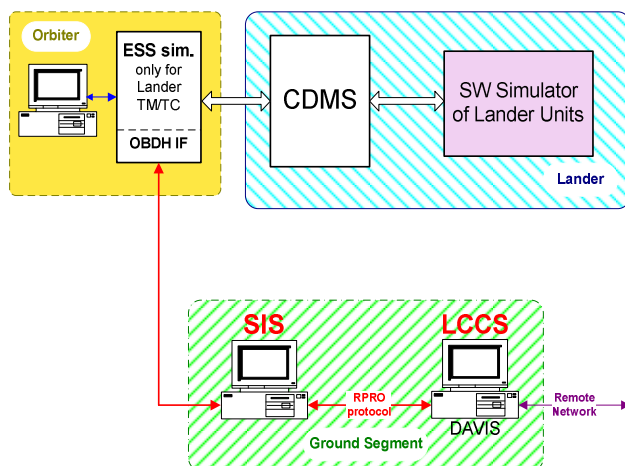
Az LSS koncepciója

A Philae leszállóegységéhez kifejlesztett egyedi beágyazott operációs rendszer és a számos egyedi feladatkezelő alkalmazás működését az úgynevezett MSO (Mission Sequencing Object) modellünk hangolja össze. Ezzel a megoldással sikerült az űstökösön a rendkívül összetett tudományos műveleteket autonóm módon elvégezni. Azonban a rendszer tesztelése és validálása sem volt egyszerű feladat, mert az űstökösön várható környezeti feltételek és lehetséges eseményláncolatok nem hozhatók létre földi körülmények között. Olyan szimulációs rendszerre volt szükségünk, amely a komplex űrbeli környezetet és az ebbe helyezett leszállóegység elektronikus rendszereit egyidejűleg képes a megfelelő flexibilitással és dinamikával szimulálni. Ennek az újabb feladatnak a sikeres megvalósítását egyedi fejlesztésű hardver és szoftver komponensek több szinten történő integrálásával sikerült elérni. A szimulációs rendszer legmagasabb szintjének vezérléséhez pedig egy újszerű leíró-modellező nyelvet fejlesztettünk ki. Ennek összetettsége lehetővé tette a leszállóegység fedélzeti számítógépének, szoftvereinek, és a feladatait koordináló MSO modellnek a tesztelését és validálását.

Az LSS környezete

A Philae fedélzetén elhelyezett berendezések a leszállóegység fedélzeti számítógépével (CDMS) állnak kapcsolatban. A CDMS a kis-teljesítményű rádiójelekkel, rádiórendszeren (ESS) keresztül tartja a kapcsolatot a Rosetta űrszonda fedélzeti számítógépével (OBDH). Az OBDH nagyteljesítményű mélyűri rádiórendszeren (SIS) keresztül kommunikál a földi rádióteleszkópokhoz kapcsolódó irányítóközponthoz (Ground Segment). Ennek része a leszállóegység irányítóközpontja (LCCS), amely a Philae fedélzetéről fogadja a tudományos adatokat és kezdeményezi a parancskiadást. Az LSS szerkezetének tükröznie kell ezt a kommunikációs láncot és a megfelelő szinteken hiteles interfészt kell biztosítania, amely a következő elemekből áll:

1. Philae fedélzeti berendezések szoftveres szimulációja
2. Philae fedélzeti számítógép (CDMS)
3. Rosetta ESS szoftver szimulációja
4. Rosetta OBDH kommunikációs interfész szimulációja



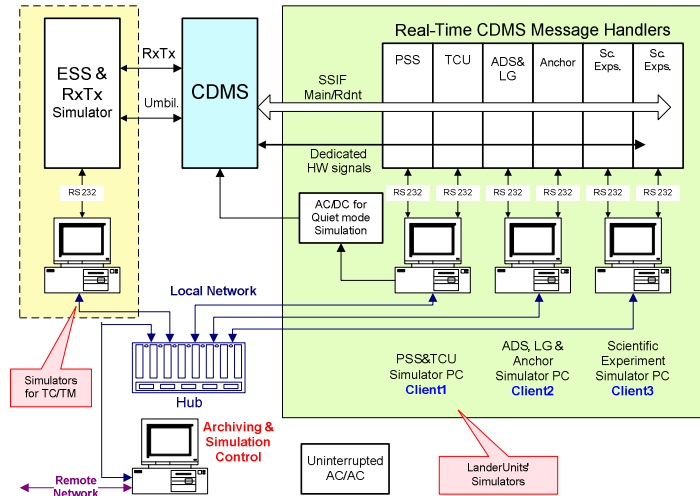
1. ábra: A szoftver szimulátor környezete

Az LSS felépítése

A szoftver szimulátor egy elosztott intelligenciájú, több számítógépből álló hálózat együttese. A különböző berendezések szimulációját négy számítógép végzi, valamint egy ötödik központi számítógép szolgál a szimulációk összefogására és a keletkezett adatok átmeneti tárolására. A különböző berendezések alacsony szintű, nagy sebességű szimulációját egyedi fejlesztésű hardver elemek, ún. valós idejű üzenetkezelők (Real-Time Message Handlers) végzik, amelyek soros RS-232 portokon kapcsolódnak a számítógépekhez. A leszállóegység fedélzeti számítógépét (CDMS) összetettsége miatt nem szimulációval helyettesíti a rendszer, hanem egy valódi példányt tartalmaz. A szimulációs számítógépek LAN kapcsolatban állnak egymással, valamint a külvilághoz is TCP-IP alapú protokoll biztosítja az összeköttetést.

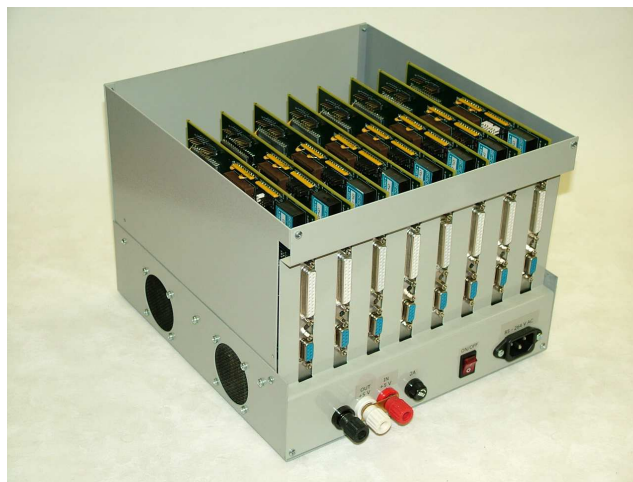
Hardverelemek

A valós idejű üzenetkezelő (Real-Time Message Handlers, RIU) kártyák az SGF Kft. által a kilencvenes évek közepén kifejlesztett beágyazott processzort tartalmazó jelszintű szimulátorok, amelyek több célra alkalmazható IBM PC kártya méretű elektronikák. A kártya egy transputerre épül, maga a megnevezés a transistor és computer szavak kombinációja. Az angliai Inmos cég fejlesztette ki a nyolcvanas évek végén. Egy processzoron belüli párhuzamos processzállásra igen alkalmas architektúrával és az ezt támogató utasításkészlettel, valamint a processzorok összekapcsolását biztosító négy darab nagysebességű soros adatátviteli csatornával rendelkezik mind 16 bites, mind 32 bites processzorváltozat. Ez utóbbi tulajdonsága révén nagyszámú processzor összekapcsolását könnyen meg lehetett valósítani. Tulajdonképpen ez a RISC processzor te-



2. ábra: Az LSS felépítése

kinthető a párhuzamos processzálas első igazi megjelenítőjének. Programozása a párhuzamos processzálast igen fejlett szinten támogató OCCAM vagy C nyelven történhet. Sajnos a megannyi előnyös tulajdonsága ellenére az Intel processzorcsalád tömeges elterjedése halálra ítélte. A beágyazott processzoros szimulátor kártya RS-232 szabványú soros felületen keresztül csatlakozik a vezérlő és adatfolyam-megjelenítő számítógéphez. A kártyán elhelyezett memória mindkét irányú adatforgalom számára átmeneti tárolását biztosít, és lehetővé teszi az előre feltöltött szimulált adatfolyam valós idejű reakcióját.



3. ábra. A valós idejű üzenetkezelő kártyák

Szoftverelemek

A szimulációs rendszer PC-ken futó szoftverelemei két csoportba sorolhatók:

1. A leszállóegység fedélzeti berendezéseinek szimulációja
2. Speciális feladatokat ellátó szoftverek

A leszállóegység fedélzeti berendezéseinek szimulációja

A leszállóegység fedélzeti berendezéseinek szimulációját egy-egy általános műszermodellező modul végzi, a valós idejű üzenetkezelő kártyák segítségével. Ezek a modulok csoportokban is futtathatók, így egy PC-n futó szimulációs szoftver egyszerre több fedélzeti egység szimulációját is végezheti egyidejűleg. A csoportosítás szabadon változtatható, általában az adott rendszer határozza meg a képzett csoportokat. Több nagy számításigényű szimulációt nem célszerű azonos PC-n futtatni. Ez alapján a jelen rendszerben a következő csoportok lettek kialakítva:

1. PC:

- Energiaellátó alrendszer (Power SubSystem, PSS)
- Hőmérséklet-szabályzó alrendszer (Thermal Control Unit, TCU)

2. PC:

- Leszállást vezérlő alrendszer (Active Descent System, ADS)
- Leszálló lábak (Landing Gear, LG)
- Rögzítő horgony (Anchor)
- Felszíni mintavevő és fűrórendszer (SD2)

3. PC:

- Tudományos műszerek (APX, CIVA/ROLIS, CONSERT, COSAC, MUPUS, PTOLEMY, ROMAP, SESAME)

A fedélzeti berendezések viselkedésének leírását egy egyedileg kifejlesztett XML alapú szimulációs nyelv teszi lehetővé. Minden tudományos berendezés és szolgálati alrendszer számára önálló szimulációs leírás készíthető, amelyeket az általános műszermodellező modul értelmez és futtat. Minden berendezés modell önálló szálban, saját időrendben és egymástól függetlenül hajtja végre a szimulációs fájlban definiáltakat. A szimulációs fájl lehetővé teszi a fedélzeti műszerek valós működési üzemmódjainak és az üzemmódok állapotátmeneteinek leírását. A szimulációt végző modulok csoportosítása és paramétereik szintén egy XML alapú konfigurációs fájlban írhatók le. Ezek segítségével a szoftver forráskódjának változtatása nélkül rugalmasan változtatható a szimulációk összeállítása, beleértve azt is például, hogy melyik PC mely fedélzeti egységek szimulációját futtassa. A szimulációs leíró fájlok az XML szintaktikán felül természetesen egy erre a célra kifejlesztett leíró nyelv szintaktikáját is követik, amelyet a szimulátor modul szintaktikai ellenőrzés után értel-

mez és futtat. Ennek megfelelően, ha egy új egység kerül a rendszerbe, akkor elegendő annak viselkedését a szimulációs leíró nyelven definiálni, amelynek elsajátítása nem igényel komoly fejlesztői ismereteket. A fejlesztők számára egy további lehetőség új egységeknek a rendszerbe illesztésére egy programozói felület (API), amely lehetővé teszi, hogy a rendkívül speciális egységeket – amelyek működése a script nyelven csak bonyolultán írható le – C++ nyelven implementálják, és az API segítségével könnyedén beillesszék a rendszerbe tetemes programozói munkát megtakarítva ezzel. Ez a módszer azonban már komolyabb programozói ismereteket igényel. A jelenlegi szimulációs rendszerben egy ilyen modul fut, az ESS-Bridge (ESS + SIS Simulator). Ez a modul nem használja az általános megközelítésben használatos XML leíró nyelvet. A feladata, hogy modellezze az ESS (Electrical Separation System) működését, amely biztosítja a leszállóegység központi számítógépe (CDMS) és az űrszonda fedélzeti számítógépének földi szimulátora (OBDH és SIS) közötti RTS protokoll alapú kommunikációt mind vezetékes, mind rádió (RX/TX) kapcsolaton keresztül.

Speciális feladatokat ellátó rendszerelemek

A második csoportba tartoznak azok a szoftvermodulok, amelyek nem berendezések modellezését végzik, hanem az LSS valamilyen speciális feladatát látják el.

LSS Szerver

A szimulációs rendszer TCP/IP szegmensének központi eleme az LSS szerver. A rendszer minden szoftvermodulja a szerveren keresztül tartja a kapcsolatot más modulokkal. A szerver főbb adatai:

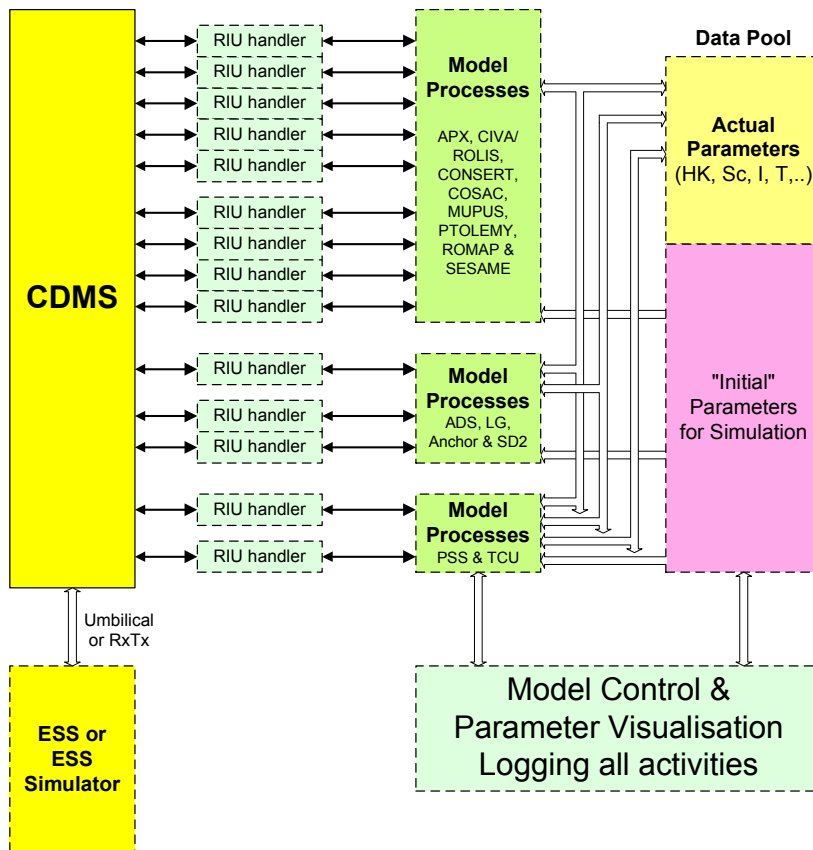
- Kommunikációs kapcsolat biztosítása a rendszer moduljai között
- Központi adattárolás megvalósítása (Server Data Pool)

A TCP/IP hálózaton történő kommunikáció egy speciálisan erre a rendszerre tervezett LSS Data Interchange Protocol (LSDIP) segítségével történik. A protokoll változó méretű adatcsomagokat használ, melyek neve Protocol Control and Data Packet (PCDP). Ezek egy rögzített méretű fejlécből és egy változó méretű adatrészből állnak. A fejléc tartalmazza többek között a címzett és a feladó modul kódját, azt az információt, hogy a feladó vár-e megerősítést a csomagban kért műveletről, a csomag típusát és altípusát, a csomagra jellemző speciális paramétereket, és a csomag adatszegmensének méretét. Az esetlegesen keletkezett átviteli hibák felismerését egy ellenőrző összeg segíti a csomag végén. A modulok a küldeni kívánt adatokat, üzeneteket tehát ilyen PCDP csomagokban továbbítják. A szerver

feladatai közé tartozik, hogy kezelje és naplózza a bejelentkezett modulok által nyitott kommunikációs csatornákat, és az azokon folyó adatforgalmat.

A *Server Data Pool* egy központi adatbázis, amely az összes olyan adatot tárolja, amelyekre a moduloknak szükségük lehet a szimuláció során. Ebbe az adatbázisba minden modul szabadon írhat, vagy olvashat PCDP-k segítségével. Az adattartalom változását a szerver nyomon követi és értesítést küldhet azon modulok számára, amelyek változásfigyelési kérést regisztráltak az adott adatterületre.

Az adatbázis szerkezete dinamikusan változtatható akár a szimulációk futása közben is. Az adatbázis szerkezetének kezelését a *Simulation Data Pool Presentation/Editor* (SDPPE) nevű szoftver végzi.



4. ábra: A szoftverelemek belső kapcsolatai

Simulation Data Pool Presentation/Editor (SDPPE)

Segítségével egyszerűen össze lehet állítani az adatbázis szerkezetét, meg lehet adni, hogy melyik mező milyen kezdeti értékkel legyen feltöltve, vagy hogy milyen inicializáló fájlból olvassa ki a kezdeti értékeket a program. Ennek megfelelően egy adott pillanatban elmenthető a teljes szimuláció állapota, és egy későbbi újraindítás után ott lehet folytatni a szimulációt, ahol abbamaradt. Bele lehet tekinteni továbbá a Data Pool bármely részébe és a megfelelő mezőknek manuálisan értéket lehet adni. A szerver is ad lehetőséget a Data Pool mezőinek megjelenítésére, és folyamatos nyomon követésére, ám az adatok közvetlen editálását ezzel a modullal lehet elvégezni. Ezek mellett a szimuláció vezérlése is megoldható ebből a modulból (leállítás / felfüggesztés / indítás / adatok zárolása stb.). A Data Poolban tárolt adatok egysége a „word” (2 byte). Ezek a szavak RAW adatok. Általános esetben egy RAW word többféle adatot is tárolhat. Például a különböző bitekhez különböző jelentések társulhatnak. Előfordul például, hogy az üreszközön a rendelkezésre álló adatterület maximális kihasználása érdekében például a szó utolsó nyolc bitje egy hőmérséklet értéket tárol, a következő kettő egy 4 állapotú jel értékét, a többi bit pedig 2 állapotú jeleket. Ekkor a hőmérséklet jelet úgy kapjuk, hogy a jelhez rendelt maszkot alkalmazzuk a RAW adatra, majd a kapott értéket behelyettesítjük egy a jelhez rendelt matematikai (általában lineáris) kalibrációs egyenletbe, melynek megoldása a valódi hőmérséklet érték. Ennek kódolását és dekódolását több modul is végzi, ahol szükség van a valós adatok megjelenítésére, kiértékelésére vagy előállítására.

CDMS Memory Tool IF (CMTIF)

A CMTIF feladata, hogy a hozzá érkező kéréseknek megfelelően írási és olvasási műveleteket hajtson végre a CDMS memóriájában. Ezt úgy valósítja meg, hogy képes egy valós idejű üzenetkezelő kártyán keresztül közvetlen üzenetváltásra a CDMS belső memóriakezelő moduljával. A kérések érkezhetnek hálózaton bármely LSS modultól, melyek eredményét a CMTIF visszaküldi a hálózaton a kérést indító felé. Hasonló műveletek elvégzésére lehetőséget ad a program felhasználói felülete is.

CDMS Memory Decoder (LDEME)

A CDMS memóriatartalmának megjelenítését szolgáló kifinomultabb eszköz a CMTIF-fel szorosan együttműködő LDEME (CDMS Memory Decoder). Ez a modul kizárólag TCP/IP kapcsolaton keresztül tartja a kapcsolatot a CMTIF modullal, és a tőle visszakapott adatokat a tartalomnak megfelelően dekódolva jeleníti meg. Így a CDMS memóriatartalma könnyen áttekinthető és értelmezhető. A kommunikáció itt is a szerveren keresztül történik. Jelenleg ez az

egyetlen szituáció, amely igényli a szerverben implementált rugalmas timeout kezelést. A CDMS reakcióideje ugyanis meglehetősen lassú lehet, hiszen a fő feladata nem az, hogy kiszolgálja az LDEME és a CMTIF kéréseit. A szerverben megadható ugyan, hogy egy adott modul válaszára mennyi legyen a várakozási idő, ám az LDEME kéréseire adott válaszban szereplő adatmennyiség igen tág határok között mozoghat. Nyilvánvaló, hogy nagyobb adatmennyiség több időt vehet igénybe, így be kellett vezetni egy dinamikus timeout kezelést is a szerverben a fix timeout mellé. Ezzel lehetőség van egyes modulokra a fix time-out érték helyett megadni egy adatmennyiségtől függő timeout értéket. Ekkor a szerver ellenőrzi, hogy a feladó modul mekkora adatot kért a címzettől és ennek megfelelően állítja be arra a csomagra a timeout értékét. Ez a helyzet az LDEME által a CMTIF-től kért adatok esetében is, ugyanis a CMTIF megvárja, még a CDMS megadja a kért választ és csak ezt követően küldi vissza az LDEME modulnak.

Grafikus adatmegjelenítő (GraphIT)

Ennek a modulnak a feladata, hogy grafikus formában, felhasználóbarát módon jelenítse meg a Data Pool aktuális értékeit. Képes ábrázolni az időben változó Data Pool részeket és grafikon formájában valós időben rajzolni. A felhasználó összeállíthat különböző grafikonokból csoportokat, melyeket egy ábrában akar kirajzolva látni. Szabadon megadható, hogy a Data Pool melyik részét szeretnének kirajzoltatni, és milyen formában dekódolni. Vannak ugyanis modulok, melyek lebegőpontos értékeket tárolnak a Data Poolban, így ezek legalább 2 szót foglalnak el, emiatt egy ilyen grafikon egy pontjának kirajzolásához mindkét szót le kell kérdezni, dekódolni (esetleg kalibrációs egyenletet alkalmazni rá), majd kirajzolni. A Data Pool tárolhat szöveges adatokat is, amelyek időbeli változását követni tudja ez a modul. Az összeállított grafikonkombinációkat külön ablakokban lehet megjeleníteni, és a teljes konfigurációt fájlba menteni illetve fájlból visszatölteni. A grafikonokhoz kétféle frissítési mód rendelhető. Beállítható, hogy a grafikon csak akkor frissüljön, ha a megjelenített adat megváltozott a szerver adatbázisban, vagy periodikusan frissüljön egy beállítható periódus szerint. A megjelenített adatok további feldolgozás céljából fájlba is rögzíthetők, amit aztán más táblázatkezelő vagy adatfeldolgozó programba importálni lehet. Lehetőség van továbbá a Data Pool egy részének kijelölése helyett előre definiált Parameter Object (PO) listából választani. Egy ilyen előre definiált PO, amely pl. egy hőmérséklet értéket definiál, tartalmazza többek között a hőmérséklet érték alapját képező nyers adat helyét a Data Poolban, a dekódolásához szükséges maszkot, és a kalibrálásához szükséges matematikai egyenletet is.

Összefoglalás

Az LSS rendszer tervezésekor a rugalmasság volt a fő szempont. Jelenlegi alkalmazása mellett más hasonlóan komplex autonóm rendszerek működésének szimulációjára is adaptálható. A moduláris felépítés lehetővé teszi, hogy egyszerre akár sok fejlesztő dolgozzon az egyes modulokon egymástól nagyrészt függetlenül. Egy nemzetközi környezetben folyó hosszú fejlesztés során, mint amilyen a Rosetta program is, ez komoly előnyt jelent. Az XML alapú leíró-modellező nyelv lehetővé teszi különböző berendezések szimulációját, a szoftver forráskódjának változtatása nélkül. A leíró fájlok elkészítése nem igényel mély szoftverfejlesztői tudást a projekt későbbi szakaszába bevont operátoroktól sem. A speciális feladatot ellátó szoftverek nagy része pedig javarészt független attól a konkrét rendszertől, amelynek a szimulációját végezzük. Amennyiben szükséges olyan modul fejlesztése, amely túlmutat az XML leíró nyelv keretein, akkor a fejlesztők munkáját egy C++ API segíti, melynek segítségével tetszőleges új modul a rendszerbe illeszthető.

Új sokcsatornás földmegfigyelő műholdcsalád születik, avagy a Sentinel-2 MSI-MMTH projekt technikai kihívásai¹

Bárczy Pál, Bárczy Tamás, Szőke János
ADMATIS Kft., Miskolc

*A cikk tájékoztatást ad a Sentinel-2 európai földmegfigyelő műhold műszaki adatairól és rendeltetéséről. Betekintést kapunk a magyar Admatis Kft. sikeres részvételéről a műhold két példányának elkészítésében. A Sentinel-2 tizenöt ország cégeinek az együttműködésével jött létre. Köztük van az Admatis, amely csaknem 50 beszállító cég munkáját fogta össze, s ezzel jelentős lépést tett előre a magyar űr-
ipar frontján.*

Bevezetés

Az Európai Bizottság 1998-ban önálló űrprogramot fogalmazott meg, a középpontjában egy saját földmegfigyelő rendszerrel (neve korábban GMES, Global Monitoring for Environment and Security, ami 2012 óta Copernicusra változott). A rendszer célkitűzése az, hogy az európai közösség tagjai maguk rendelkezzenek a felszínmonitorozás legkorszerűbb eszközeivel – amit az amerikai Landsat és az Astrium tulajdonú SPOT műholdaknak köszönhetően már eddig is széles körben használtak. Ennek a programnak a centrális része a Sentinel műholdcsalád. A Sentinel-2 megépítésében 2009 és 2013 között az ADMATIS alvállalkozóként részt vett. Cikkünk ezt a tevékenységet mutatja be.

A Sentinel-2 bemutatása

Rendeltetés:

európai széles sávú, nagyfelbontású földmegfigyelő ikerműhold-rendszer, szuperspektrális képalkotással, folyamatos adatgyűjtéssel, operatív kép- ill. biztonsági szolgáltatásokkal.

Jellegzetes alkalmazási területek:

pontos térképek változásdetektálással,
geofizikai térképek (levélzet klorofilltartalma, víztartalom,
lombfedettségi index, stb.),
kockázattérképezés,
gyorsfényképek káresetekről.

¹ A BME Villamosmérnöki és Informatikai Kar Egyesült Innovációs és Tudásközpontja, valamint a Magyar Asztronautikai Társaság által 2015. február 13-án megrendezett 1st International Conference on Research, Technology and Education of Space (H-SPACE 2015) konferencián elhangzott előadás anyaga.

Működés:

Élettartam: 7,5 év (12 évre meghosszabbítható)

Napszinkron pálya, átlagmagasság: 786 km

Felbocsátás: 2015. április, Vega rakéta

Ismételt megjelenés: 5 naponként (2 műholddal)

Iker műholdpár azonos pályán, ellentétes pozícióban

A Föld lefedettsége: -56° -tól $+83^{\circ}$ földrajzi szélességig

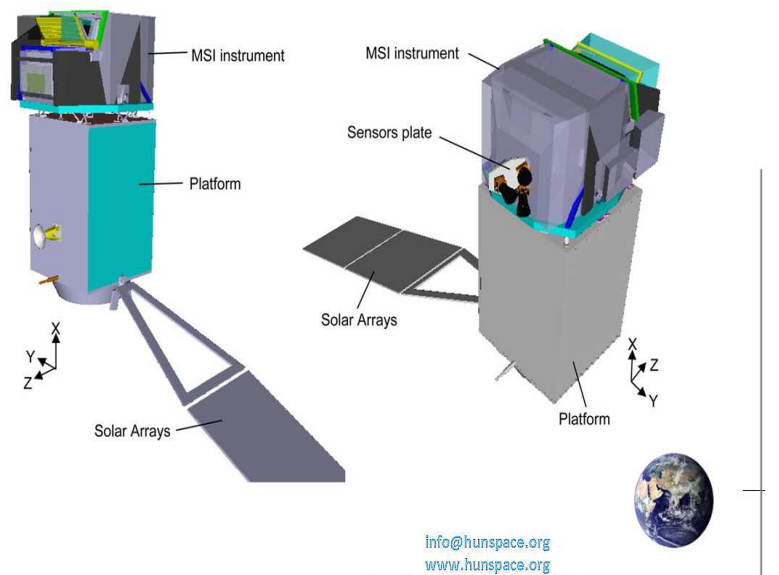
40 perc fényképezés pályaperiódusonként

Radiométeres kalibráció

Felépítés:

A Sentinel-2 két részből áll, a platformból és a Multispectral Instrumentből (MSI).

Sentinel-2



A platform adatai:

Hátomtengelyes stabilizáció

Csillagkövetés, tömegközéppont-mérés, dupla GPS vevő a pontos magasság és pozíció regisztrálása céljából

Sebességmérés, Föld-Nap szenzor, magnetométer, pozicionáló rendszer

Gáz: 117 kg hidrazin (N_2H_4)

Pozíciópontosság: $<20m$

Magasságpontosság: $<10\text{ mrad}$

Tömeg: 1270 kg
Méretek: $3,4 \times 1,8 \times 2,35$ m
Energiatermelés: napelemszárny: 7,2 m², 1,7 kW, GaAs cellák;
akkumulátor: 87 Ah
Energiafogyasztás: 1,4 kW
Adattárolási kapacitás: 2,4 Tbit
Kommunikáció: X-sáv: 520 Mbps (8PSK), S-sáv TT&C: 64 kbps
felfelé, 128/2048 kbps lefelé
Hőmérsékletszabályozás: passzív
Megbízhatóság: >0,7

A multispektrális berendezés (MSI):

Teleszkóp: háromtükörös asztigmatikus teleszkóp SiC tükrökkel
és sugárelosztóval a VNIR és a SWIR csatornákhöz
Szenzorok a fókuszsíokban: Si (CMOS VNIR detektor) ill. HgCdTe
(SWIR detektor)
Szórt fény kalibráció, sötétkalibráció éjjel az óceán felett, helyi
kalibráció a földi célpontok felett
13 spektrális sáv 443 és 2190 nm között
Spektrális felbontás: 15–180nm
Felbontás: 10 m, 20 m ill. 60 m
Látótér szélessége a Földön: 290 km

A magyar közreműködés

A Sentinel-2 műholdak fővállalkozója az EADS-Astrium cégcsoport, amely ezt a megbízatást az ESA pályázatán nyerte el. A hasznos terhet, a multispektrális berendezést (Multispectral Instrument, MSI) a francia (toulouse-i) gyár készítette, míg a teljes műhold összeszerelése a német gyár feladata volt. (Mára a cég neve megváltozott: Airbus Defence and Space.)

Az Astrium az ESA EMITS pályáztató rendszerének segítségével írta ki a tendereket az egyes részfeladatok teljesítésére. Mivel a műholdakat az Európai Bizottság (EC) fizette az FP7SPACE keretből, a tenderkiírásra minden európai uniós ország zöld lámpát kapott. Az egyik ilyen tendert, ami termikus, mechanikai és optikai fémhardverek készítéséről szólt (Sentinel-2 MSI-MMTH), 2009-ben a magyar Admatis Kft. nyerte el. Az elvállalt feladat kétszer 31 eszköz tervezését, analizését, gyártását, tesztjét és leszállítását jelentette.

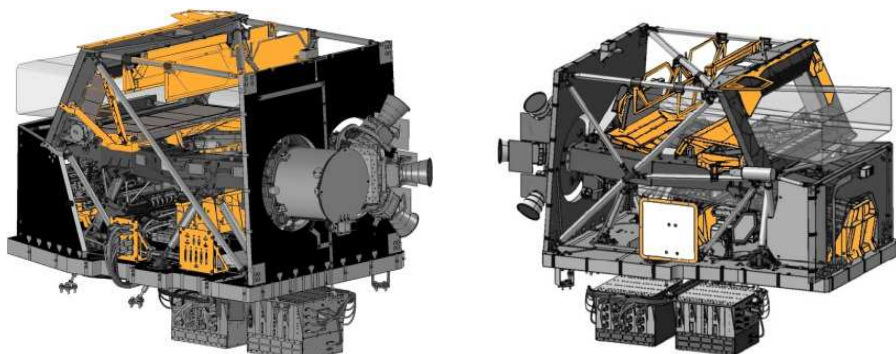
Tudtuk, hogy nem lesz egyszerű, s így is lett: a technikai kihívásokból négy év során szinte minden napra jutott. Kezdődött a tenderírással, ahol számba kellett venni a kockázatokat. Nagy térfogatú és méretű alkatrészekről volt szó, rendkívül kicsi megengedett tömeggel. A tervezésre szűk időkorlátok voltak kiszabva. Azt reméltük, hogy részt venni egy Európában kiemelkedő high-tech úripari pro-

VNIR				SWIR			
	λ nm	$\Delta\lambda$ nm	Rendeltetés		λ nm	$\Delta\lambda$ nm	Rendeltetés
1	443	20	Atmoszféra (aeroszolos szórás)	7	783	20	LAI, NIR
2	490	65	Vegetáció és talaj monitoring Atmoszféra minőség	8	842	115	LAI (lombindex)
3	560	35	Zöld csúcs, összklorofill- tartalom	8a	865	20	NIR, teljes klorofill, biomassza, LAI és protein, páraabszorpció, aeroszolverhelés
4	665	30	Max. klorofilltartalom	9	945	20	Vízpáratartalom
5	705	15	Vörös él pozíció, atmoszféra	10	1375	30	Fátyolfelhő
6	740	15	Vörös él pozíció, atmoszféra	11	1610	90	Lignin, keményítő, erdő Hó/jég/felhő szeeparáció
				12	2190	180	Vegetáció állapot- analízis, talajerózió monitoring, élő és elhalt bioanyag megkülönbözteté- se, pl. leégett terü- letek

jektben nem csak érdekes kihívás, hanem szintiszta üzlet is lehet. Ha meg tudjuk oldani a Magyarországon nem oktatott ismeretek birtokba vételét, ha elég bátrak vagyunk őszintén kommunikálni a megrendelőinkkel, és olyan munkavállalóink vannak, akik délután 4 órakor nem állnak fel az íróasztal mellől, akkor igenis lehet 50-szeres hozzáadott értéket produkálni egy hazai kisvállalkozásnak is.

Az út persze rögs volt, különösen az első időkben. Értelmes tendert kellett írni kétszer 31 féle műholdalkatrész tervezésére, kivitelezésére, majd verifikálására a hőegyensúlyt biztosító radiátoroktól, az optikai ernyőkön át különböző tartóeszközökig, amelyek mérete esetenként meghaladja az 1 métert is. Át kellett alakítani, majd bemutatni minőségbiztosító rendszerünket, szigorúan követve az ESA előírásait. Tárgyaláson kellett meggyőzni a megbízót, hogy egy kelet-európai, nem ESA tagország cége színvonalasan és megbízhatóan képes teljesíteni. Vállalni kellett a teljes műszaki titoktartást és az ezt biztosító sifírozott kommunikációt.

A munka során a megbízó Astriummal a lehető legszorosabb együttműködés valósult meg. Meg kellett tanulni az ESA tízezer oldalas szabványainak (ECSS) a folyamatos használatát. Az egyeztetések mindennaposak voltak. A végeláthatatlan Action Item listákat folyamatosan aktualizáltuk, minden homályos, vagy tisztázatlan kérdésnek el kellett jutni a „closed” státuszig. Az e-mail, a telekonferencia és a személyes progress meeting kommunikációs formák végeláthatatlanul sorjáztak egymás után. Valamennyi tervvázlatot a FEM modellekkel együtt többszörösen újraértékelünk, s szoros együttműködésben, több lépésben jutottunk el a jóváhagyott változatig. A PDR (előzetes tervzsűri) jóváhagyása után hosszú idő telt el a CDR (végleges tervelfogadás) bölintéséig, hisz közben a fővállalkozónál az integrált modell vizsgálata folyt, s gyakoriak voltak a módosítások. A termikus egyensúlyt biztosító radiátorok terveit az ESA thermal architecture csapata hagyta jóvá.



Sentinel-2 MSI, a magyar alkatrészeket világosabb színnel jelöltük

Ezt követték a kivitelezési eljárások kidolgozásai. Valamennyi eljárást teljes részletességgel le kellett írni, s benyújtani a MRR-hez (gyártási módszer elfogadási zsűri), aminek az ítéletétől sokszor kellett izgulnunk. Az alapanyagok beszerzése hosszadalmas és terjedelmes munka volt. Egyes megrendeléseinket csak 3-6 hónapos határidővel vállalta el a monopolhelyzetben lévő beszállító. A fém alkatrészek zömét nagy tömbből kellett CNC marógépekkel kiforgácsolni. Egyes gyártási eljárások kidolgozására több évünk is ráment (vékony szelvények méretpontossága, ragasztás, korrózióvédő és optikai bevonatok, festés). Az egyes műveletek minőségét és reprodukálhatóságát minősített laborokban megmért próba tesztszériákon kellett demonstrálni. Egy-egy ilyen ún. kvalifikáció végére viszont eljuthattunk a TRL8 szintre, s így mára már több space qualified eljárásunk is van, ami bizakodásra ad alapot, ha jövőbeli űripari tevékenységünket szélesíteni akarjuk.



*A Sentinel-2
nemzetközi csapata*



Összeszerelés az Astriumnál

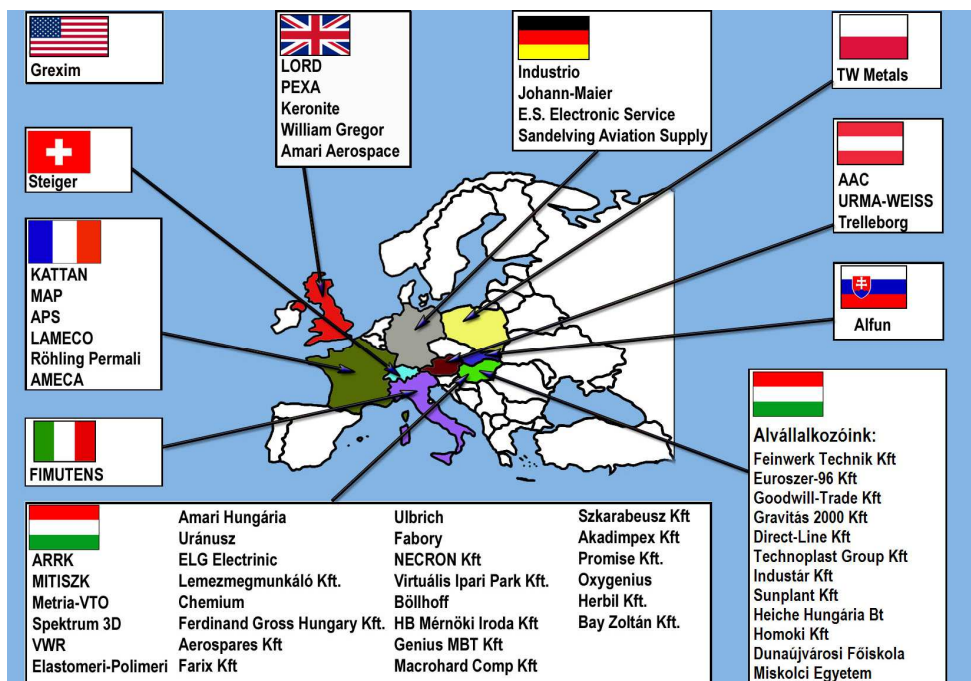
A repülőpéldányok teszteljárásait esetenként a TRR (teszt eljárást elfogadó zsűri) véglegesítette. Meg kellett valósítani a termikus és a vibrációs teszt sorozatokat részben hazai, részben külföldi kollaborációval. Meg kellett tanulni a rendkívül igényes felületi tisztaság megvalósításának és mérésének a módját. A végső momentum a DRB (szállítás előtti végső zsűri), ami után végül a csomagolás és szállítás következett: ehhez professzionális szállítócég szolgáltatásait vettük igénybe négy alkalommal is.

Végül is sikerült a feladatok teljesítése. Négy év alatt leszállítottunk 36 kg (2600 darabból álló) repülő hardvert (amit 2,3 tonna alapanyagból munkáltunk ki), és átadtunk 60.000 oldal dokumentációt (benne 400 analízist, ill. tesztjegyzőkönyvet).

Fogalmazhatunk úgy is, hogy az 5 EUR/kg alapanyagárból 15.000 EUR/kg kész áru keletkezett, az értéknövekedést a mi hozzáadott szellemi értékünk adja.

A Sentinel-2 jövője

A most ismertett magyar közreműködés a teljes Sentinel-2 ciklus B és C fázisáról szólt. A D fázisban az összeszerelés és az integrált rendszer tesztjei történnek meg – ez jelenleg is tart. A felbocsátás (híreink szerint 2015. április) után következik az E fázis, vagyis a rendeltetésszerű működtetés. Ennek során a magyarországi terület teljes képanyagának a fogadása és archiválása jelentős magyar adatkezelési és hasznosítási feladatként jelentkezik. Ez a feladat egyben nagy lehetőség is, hiszen a hazai űrfelvétel-archívum a Landsat és a SPOT korszak után mostantól egy igazán európai fény-



Az ADMATIS beszállítói hálózata

képezőgép fotóit gyűjtheti és hasznosíthatja az előttünk álló évtizedben. Ez a korszak több tekintetben is előrelépés lesz. Egyrészt jobb lesz a képek felbontása és tágabb a spektrális kínálat, de ami ennél is fontosabb: az egy földi objektumról készített két egymás utáni kép időpontjai közötti idő a jelenleg elérhető két hétről négy-öt napra rövidül le.

Végül tegyük még hozzá azt a hírt is, hogy az eddig megépített két Sentinel-2 műhold belátható időn belül két újabb példánnyal fog kiegészülni, ami ezt az időt két napra fogja lerövidíteni.

Irodalomjegyzék:

- [1] <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-future-missions/sentinel-2>
- [2] Bárczy Pál, Bárczy Tamás, Szóke János: Sentinel-2 – európai földmegfigyelő műhold magyar alkatrészekkel, MOBILGIS, Budapest, 2012. március 21-22.
- [3] Bárczy P.: Hungarian space industry on threshold of ESA, Copernicus Market Pull, Budapest, 2013. december 12.

A Sentinel-1A műhold és első hazai észlelései, az adatok műholdradar-interferometriás alkalmazási lehetőségei

Hevér Renáta

Földmérési és Távérzékelési Intézet,
Kozmikus Geodéziai Observatórium, Penc

Bevezető

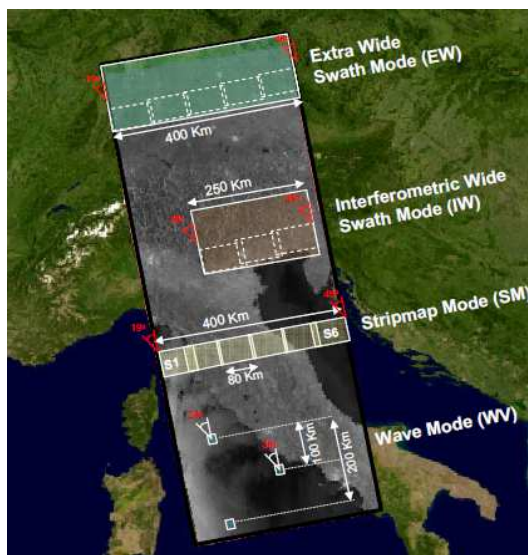
Az Európai Unió (EU) és az Európai Űrügynökség (ESA) közös Copernicus programjának keretein belül a Sentinel (Őrszem) műholdcsalád elemeinek Föld körüli pályára állításával új korszákhoz ér a műholdas földmegfigyelés. A legfőbb cél, hogy egységes, operatív, jó minőségű adatokkal dolgozó földmegfigyelő rendszert hozzanak létre környezetvédelmi és biztonsági célú alkalmazásokra. A régebben működött európai ERS-1, ERS-2 és Envisat apertúraszintézis elvén működő radarberendezéssel felszerelt műholdak feladatát 2014-től a Sentinel-1A és később (a tervek szerint 2016-tól) a Sentinel-1B veszi át, de ezek már a korábbiaknál több leképezési móddal. A Sentinel-1A-t 2014. április 3-án bocsátották fel egy orosz gyártmányú Szojuz hordozórakétával a Francia Guyanában lévő Korou űrközpontból. A tervek szerint legalább 7 éven át kering majd a Föld körül. Az ESA a Sentinel műholdcsalád felvételeivel forradalmasítja a műholdas földmegfigyelést, hiszen a kedvező adatszolgáltatási politika a korábbiakhoz nem fogható.



1. ábra: A Sentinel-1A műhold (ESA)

Sentinel-1A

A Sentinel-1A 693 km magas, $98,18^\circ$ -os inklinációjú (közel poláris), napszinkron körpályán kering a Föld körül. 175 körbefordulás, 12 nap után tér vissza ugyanabba a pontba. Eközben a C-sávú (~5,3 GHz frekvenciájú), az apertúraszintézis elvén működő radarja (*Synthetic Aperture Radar* – SAR) négyféle módban képes leképezni a felszínt. Ez lehetővé teszi, hogy a különféle területekről a különböző adatfelhasználási igényeket – felbontás és a leképezett felszíni térrész nagysága szerint – maximálisan kielégítse [1].



2. ábra: A Sentinel-1A leképezési módjai (ESA)

1. *Sávtérképező mód* (Stripmap Mode – SM): a hagyományosnak tekinthető SAR leképező üzemmód, melynek során a műholdról kibocsátott, majd a felszín által visszavert folytonos impulzust a szintén a műholdon lévő fix azimut és magassági szögben álló antenna detektálja. A leképezett sáv szélessége 80 km, a kép felbontása pedig 5×5 m.

2. *Szélessávú interferometrikus mód* (Interferometric Wide Swath Mode - IW): a TOPSAR (Terrain Observation with Progressive Scanning SAR) technika segítségével 3 alsávban képezi le a felszínt úgy, hogy változtatja az antenna nézési szögét. Ezzel a módszerrel 250 km széles tartományban tudja leképezni a felszínt, 5×20 m-es felbontással. Ez az elsőszámú leképezési mód a szárazföldek felett.

3. *Extra szélessávú mód* (Extra Wide Swath Mode – EW): a TOPSAR technikával 5 alsávban dolgozik, így egy felvétel szélessége eléri a 400 km-t, de ez a térbeli felbontás rovására megy, ami csupán 20×40 m.

4. *Hullám mód* (Wave Mode – WM): ezek a 20×20 km nagyságú képeket adó sávtérképező üzemmódhoz hasonló módon készült felvételek, 5×5 m-es felbontással. Nyílt óceáni területeken alkalmazák.

A felvételek alkalmasak többek közt a szárazföldi és tengeri környezetek leképezésére, a természeti katasztrófák feltérképezésére (előtte-utána), a tengeri és szárazföldi jég változásainak monitorozására, a tengeri olajfoltok terjedésének nyomon követésére és a klímaváltozás vizsgálatára.

A Copernicus program és így a Sentinel-1A adatszolgáltatási politikája rendkívül kedvező, hiszen a mérési adatok bárki számára ingyenesen elérhetőek, sőt ezt uniós jogszabály (*European Delegated Act on Copernicus data and information policy*) is garantálja. Az ingyenes adatszolgáltatási modellel az ESA a műholdas távérzékeléssel nyert információ felhasználást kívánja megnövelni a környezeti erőforrásokkal való gazdálkodás, a klímaváltozás kutatása és a polgári biztonság terén. Az adatok eléréséhez létrehozta egy online felületet, a Sentinel Data Hubot [2], ahonnan az általunk vizsgálni kívánt területről az általunk kiválasztott adattípusokat (nyers vagy előfeldolgozott) kereshetjük meg és tölthetjük le. Az adatokat leválogathatjuk műholdpálya, leképezési időpontok, polarizáció, és más szempontok alapján is.

Műholdradar

A műholdas földmegfigyelés egyik legjelentősebb módszere az aktív leképezésű radar (*RADio Detection And Ranging*), mely egyedülállóan időjárástól és napszaktól függetlenül is képes leképezni a Föld felszínét. Aktív leképezés esetén a műholdról kibocsátott, majd a felszínről visszavert jelet a műholdon lévő antenna detektálja, így alkotva meg a képet. A jel mikrohullámú (hullámhossza néhány cm-től néhány 10 m-ig változhat), így terjedését a légkör kis mértékben befolyásolja. A műhold mozgását kihasználva fejlesztették ki az apertúraszintézis elvét (SAR), mely azon alapszik, hogy a műhold által kibocsátott impulzusok fázisinformációit felhasználva, utólagos feldolgozást követően olyan adatot nyerhetünk, mintha az antenna a pálya mentén meghosszabbodott volna. Ezzel a leképezés felbontását növelik meg.

Egy felszínrészlet vagy tárgy megjelenését a SAR felvételen annak dielektromos tulajdonságai és alakja határozza meg. Egy síma felszín (pl. vízfelület) az amplitúdóképen feketének látszik, mivel a műholdról beérkező radarimpulzusokat nem a műholdon elhelyezett érzékelő irányába veri vissza. Ezzel szemben például egy épületcsoport fehérnek látszik, a rajta levő felületeknek köszönhetően, amelyekről a műhold irányába szóródik vissza a jel.

Az amplitúdóképek alapján vizsgálhatjuk a beépítettséget, a talaj-nedvesség változását (árvízi elöntés, aszály, belvíz), a növényborítottagságot, viharok utáni károkat, tűzkárokat. Összességében tehát a SAR adatokkal osztályozható a felszín, a módszer alkalmas térképezésre is. Mezőgazdasági felhasználásuk is igen jelentős, hiszen a talaj vagy a növényzet spektrális visszaverő képességének vizsgálatával következtethetünk azok ásványi összetételére, szervesanyag-tartalmára és nedvességtartalmára. Kimutathatók a haszonnövényeken bekövetkező változások, az esetleges kártevők jelenléte és tevékenysége is [4]. A felvételek polarizációjának vizsgálatával nyomon követhető az illegális halászat [5,6], az erdős területek kiterjedésének a változása [7], vagy akár különböző erdőtípusok különíthetők el. Ha két vagy több, ugyanarról a területről, különböző időpontban készült SAR felvétel fázisinformációit hasonlítjuk össze, akkor felszínmozgásokat is ki tudunk mutatni nagy pontossággal. Ez a módszer a műholdradar-interferometria (*Interferometric Synthetic Aperture Radar* – InSAR).

Műholdradar-interferometria és hazai alkalmazásai

Az InSAR egy viszonylag új mozgásvizsgálati technika, melynek lényege, hogy két vagy több, ugyanazon műholdpálya-helyzetből, de más-más időpontban készült radarfelvétel pontjai közötti fáziskülönbséget vizsgálva mutatunk ki műholdirányú felszínmozgásokat, rendkívül nagy adatsűrűséggel. Két kép közti fáziskülönbség nem csak a felszín elmozdulásából eredhet, hanem a pályaparaméterek apróbb különbségei és az atmoszférikus hatások is okozhatják, de ezek a hatások a feldolgozás során korrekcióba vehetők. Az előfeldolgozott SAR felvételek kombinációjából előállított interferogramok színes sávokban a fáziskülönbségeket mutatják $[-\pi; \pi]$ értékek között. Ezeket magassággá tudjuk konvertálni, ha 2π -t hozzáadunk vagy levonunk a szomszédos sávokból. A módszer a mozgásvizsgálaton túl digitális magasságmodell (DEM) előállítására is alkalmas.

Magyarországon 1998-ban vetődött fel, majd 2000 óta folyik a módszer hazai integrációja. Az elmúlt 15 év alatt rendkívül jelentős eredmények születtek az InSAR alkalmazásával. 2008-ban elkészült Budapest műholdas mozgástérképe az ERS-1, ERS-2 és Envisat műholdak felvételeinek felhasználásával, így mintegy 340 000 radarszóró ponttal követhetjük nyomon 1995 és 2005 között a felszín vertikális irányú mozgását [8]. A 2010-es ajkai vörösiszap-katasztrófát okozó gátinstabilitások utólagos vizsgálatát is elvégezték, amihez a korábban említett Envisat műhold 2003 és 2010 közötti időszakban készült felvételeit használták fel [9, 10]. Az InSAR módszerrel egyértelműen kimutatható volt az átszakadt gátszakasz jelentős deformációja. További mozgásvizsgálati célú kutatások folytak kü-

lönféle természeti vagy emberi befolyás hatása alatt álló területeken is, nem csupán a mozgások vizsgálatának céljából, hanem a különböző mozgásvizsgálati technikák (szintezés, szélső pontosságú GPS) összehasonlítása és eredményeik összevetése céljából is. Nem utolsósorban Magyarországon elsőként 2008-ban a Földmérési és Távérzékelési Intézet (FÖMI) Kozmikus Geodéziai Obszervatóriuma (KGO) kertjébe telepítettek két műholdradar-reflektort [8]. Ezek a radarhullám visszaverésére szolgáló, ismert fáziscentrummal rendelkező, rendkívül stabilan telepített eszközök, melyek elősegítik a mozgásvizsgálati alkalmazásokat olyan helyeken is, ahol a radarhullám visszaverésére szolgáló más természetes vagy mesterséges tereptárgy, eszköz nincs.

Műholdradar-reflektorok

Ha C-sávú műholdradarral (mint a Sentinel-1A SAR szenzora) olyan területet vizsgálunk, ahol sem a beépítettség, sem a geológiai viszonyok nem teszik lehetővé szórópontok jelenlétét, akkor földi és műholdas mérésekre is alkalmas geodéziai pontjelek, ún. reflektorok telepítése célszerű. Műholdas vonatkozásban kifejezetten a radarhullám visszaverésére alkalmas eszközök, a megfelelően megépített és beállított radarreflektorok biztosítják az optimális reflexiót a radarfelvételeken. Mivel ezeknek a szórópontoknak ismertek a pontos koordinátái, ezért alkalmasak a radarképek geokódolásának és koregisztrációjának elősegítésére is, valamint a visszaverődött hullámok fázisváltozásait vizsgálva nagy pontossággal felszínmozgásokat tudunk kimutatni ott is, ahol a radarjelet visszaverő felület ebben a frekvenciasávban egyébként nincs. Lényeges elem, hogy a radarreflektorok, mint többtechnikus kollokált pontjelek pontos koordinátái az országos geodéziai hálózatokban (szintezési, GNSS, stb.) közvetlenül meghatározhatók. A hagyományosnak tekinthető geodéziai hálózatok vagy térben ritkák, vagy az újramérésük között eltelt idő rendkívül hosszú, vagy – s általában ez jellemző – mindkét eset fennáll. A műholdradaros InSAR technológia viszont teljes országos lefedettséggel, több millió pontban, 12 napos időbeli sűrűségű teljes újramérést és elsősorban a magassági értelmű mozgásvizonyok leg-sűrűbb és legpontosabb meghatározását teszi lehetővé.

A radaros távérzékelési mozgásvizsgálatokban alkalmazott reflektorok kitűnnek a környezetükből nagy hatásos radarkeresztmetszet értékekkel és nagy jel/zaj arányukkal. Több különböző alakú, méretű és anyagú reflektor létezik. A trihedrális alak az egyik legelterjedtebb a reflektorok körében. Ennél a reflektor oldallapjai 90° -os szöget zárnak be egymással. Az oldalak síma felületűek, hiszen ekkor a legnagyobb a hatásos radarkeresztmetszet értéke. További nagy előnye, hogy ez a forma érzékeny a legkevésbé a műholdról ér-



3. ábra: Trihedrális műholdradar-reflektor a FÖMI KGO kertjében

kező jel beesési szögének pontatlanságára és ez az egyik legstabilabb konstrukció. Az egyes reflektorok telepítése során további szempontok a könnyű szerelhetőség, kis tömeg, stabil rögzítés és az időjárási körülményeknek való ellenállás. A 2008 májusában a FÖMI KGO kertjébe telepítettek két reflektor [8] mindegyike három darab egyenlő szárú háromszöglapból áll, melyek ötvöztött alumíniumból készültek. A reflektorokat a

Sentinel-1A pályára állítása előtt a műhold Magyarország feletti elhaladásaira és a szélessávú interferometrikus módban (IW) végzett megfigyeléseire optimalizálva állítottuk be [11].

Sentinel-1A felvételeiből előállított országos műholdradaros kép

A Sentinel-1A végleges pályájának kialakítása és a fedélzeti beüzemelés beüzemelése, kalibrációja után az első felvételek 2014 szeptemberében váltak elérhetővé. Ezek nyers és előfeldolgozott változatai könnyen hozzáférhetőek voltak a kifejezetten az adatelérésre szolgáló Sentinel Data Hubon keresztül. Mivel a műhold szélessávú interferometrikus módjának leképezési adottságai lehetővé teszik, hogy egy felvétel közel 50 000 km²-nyi területet képezzen le, ezért csupán hat felvétellel már lefedhető Magyarország teljes területe, felszálló (délről északra tartó) és leszálló (északról dél felé tartó) műholdpályák esetén is. A Magyarországról elkészített egyik első teljes országos lefedettségű műholdradaros amplitúdókép-mozaikot a könyv hátsó borítólapján mutatjuk be.

Összefoglalás

A 2014-ben pályára állított európai Sentinel-1A radaros távérzékelési műhold, valamint 2016-ra várható társa, a Sentinel-1B – az újfajta észlelési módjai és az adatok szabad hozzáférése miatt – minden bizonnyal forradalmasítja majd a műholdradaros mérések felhasználását, elősegíti annak széles körben való elterjedését. Habár a SAR műholdas programoknál a piaci szegmensnek csupán a töredéke a műholdradar-interferometria, mégis hazánkban (és másutt is) ez az egyik legígéretesebb alkalmazási terület. Segítségével felszínmozgás-monitorozást végezhetünk, akár több különböző geodéziai mérési technika és azok referenciahálózatainak integrálásával.

Irodalomjegyzék:

- [1] Sentinel-1 honlap (ESA), <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1>
- [2] Sentinel-1 Scientific Data Hub (ESA), <https://scihub.esa.int/dhus/>
- [3] Műholdradar információs honlap magyar nyelven (FÖMI KGO), <http://sgo.fomi.hu/InSAR/>
- [4] Nádor G., Surek Gy. (2014): Az optikai és radar űrfelvételek egymást segítő alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata a mezőgazdasági kártételek kimutatásán keresztül. Fény-Tér-Kép 2014 konferencia, <http://geoiq.hu/?wpdmact=process&did=ODAuAG90bGluaw==>
- [5] Montgomery D.R. (2000): International Fisheries Enforcement Management Using Wide Swath SAR. Johns Hopkins APL Technical Digest, Vol. 21, No. 1, 141
- [6] Le Bras J.-Y. (2006): SAR Oceanography for Operational Surveillance of Illegal Fishing. SeaSAR 2006 Workshop, 24-26 January 2006, ESA ESRIN, Frascati, Italy
- [7] Fransson J.E.S., Magnusson M., Olsson H., Eriksson L.E.B., Sandberg G., Smith-Jonforsen G., Ulander L.M.H. (2007): Detection of forest changes using ALOS PALSAR satellite images. Proc. Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS 2007, IEEE International, 2330
- [8] Grenerczy Gy., Virág G., Frey S., Oberle Z. (2008): Budapest műholdas mozgástérképe: a PSInSAR/ASMI technika hazai bevezetése és ellenőrzése. Geodézia és Kartográfia, 2008/11, 3
- [9] Grenerczy Gy., Wegmüller U. (2011): Persistent scatterer interferometry analysis of the embankment failure of a red mud reservoir using ENVISAT ASAR data. Natural Hazards, Vol. 59, 1047
- [10] Grenerczy Gy., Wegmüller U. (2013): Deformation analysis of a burst red mud reservoir using combined descending and ascending pass ENVISAT ASAR data. Natural Hazards, Vol. 65, 2205
- [11] Hevér R., Grenerczy Gy. (2014): Reflektorfényben a Sentinel-1A. Űrvilág, http://www.urvilag.hu/gmes/20140403_reflektorfenyben_a_sentinella

Úrtan a hőtanban¹

Komáromi Annamária

Szent István Király Zeneművészeti Szakközépiskola, Budapest

Bevezetés

A 21. század első évtizedében nemcsak Magyarországon, de egész Európában válságban a fizika tanítása. Felmérések támasztják alá, hogy a diákok számára nem vonzó tantárgy. Rajtunk, fizikatanárokon múlik, hogy ezen változtassunk. Ezen a téren különböző innovációs kísérletek folynak. Mindenképpen arra van szükség, hogy a kísérleteknek az eredményessége ne csak abban nyilvánuljon meg, hogy többen jelentkezzenek a tudományegyetemek fizika szakára, illetve több diák választja a műszaki pályát, hanem az egész ifjúság számára szerethetőbbé kell tenni a fizikát. Én egy művészeti szakközépiskolában tanítok, itt próbálok megbirkózni ezzel a kihívással.

A kiindulási pontom az, hogy a huszonegyedik században, amikor az emberiség egész jövőjét befolyásoló folyamatokról állandóan hallani a médiában, fontos lenne, hogy fizikaórán se ugyanúgy és ugyanazokat a gyakorlati példákat tárgyaljuk meg, amikor a fizika alapvető fogalmait és általános törvényszerűségeit tanítjuk, mint húsz, harminc, vagy akár ötven évvel ezelőtt, hanem kövessük a tudományos kutatások új eredményeit, s azokon keresztül is próbáljuk jobban megértetni a tananyagot. Mindezt úgy, hogy egyúttal érdekes és izgalmas legyen azok számára is, akik nem kifejezetten reálérdeklődésűek. Az én választásom az űrkutatásra, s azon belül különösen nagy hangsúllyal a műholdakra és alkalmazásukra esett.

Első hallásra talán merész vállalkozásnak tűnik, hogy a műholdak és alkalmazásaik segítségével illusztráljuk és magyarázzuk a középiskolai fizika tananyag nagy fejezeteinek alapvető törvényszerűségeit. Néhány éve ennek kidolgozásával foglalkozom és tanórai bevezethetőségének módszertanát kutatom. Munkám eddigi eredményeit az ELTE Fizika Doktori Iskola Fizika Tanítása Programjának keretében folytatott kutatási tevékenység keretében kívánom összegezni és bemutatni.

Azért esett a választásom az űrkutatásra, mert a mai ember élete minden percében együtt él olyan eszközökkel és szolgáltatásokkal, amelyek igen magas műszaki színvonalat képviselnek, s komoly kutatási, ezen belül gyakran űrkutatási eredményeket alkalmaznak, továbbá az űrkutatás révén olyan jelenségekről szerezhetünk egyre

¹ A BME Villamosmérnöki és Informatikai Kar Egyesült Innovációs és Tudásközpontja, valamint a Magyar Asztronautikai Társaság által 2015. február 13-án megrendezett 1st International Conference on Research, Technology and Education of Space (H-SPACE 2015) konferencián elhangzott előadás anyaga.

bővülő ismereteket, amelyek meghatározó tényezői bolygónk további sorsának. Az űrkutatás témaköre az eddigi években éppen csak egy-két óra erejéig volt jelen az iskolai tantervben. S bár eddig is szerepeltek a fizika tankönyvekben a műholdak, de leginkább csak a Kepler-törvények és a körmozgás témakörében.

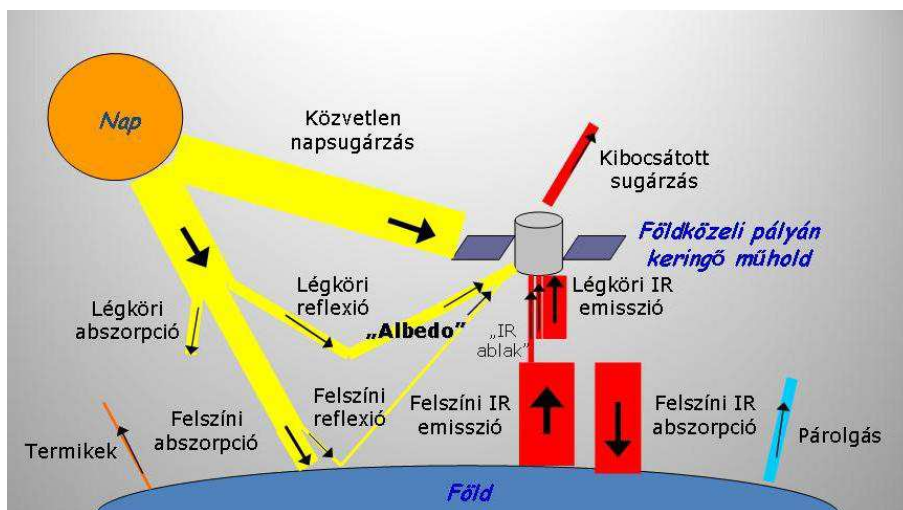
Jelen cikkben a fizika egy olyan területén mutatom be az űrkutatás – ezen belül a műholdak – tananyagba történő beágyazását, mely első ránézésre talán nem tűnik nyilvánvalónak: ez a hőtan. Célul tűzttem ki, hogy minél többet hivatkozzak a Masat-1 műholdra, hiszen ez a műhold nemcsak hazánk büszkesége, de tekintettel arra, hogy a tervezői nagyrészt egyetemista diákok, akik csak néhány évvel idősebbek a középiskolás korosztálynál, ezáltal a diákokhoz talán közelebb lehet hozni magát a fizikát is. A Masat-1-nek azért is helye van a fizikaórán, mert tulajdonképpen egy rendkívül sikeres kísérletet követhetünk általa nyomon.

A hőmérséklet fogalma a Földön és az „égben”

A hőtan témakörének bevezetésekor megtárgyaljuk a hőmérséklet fogalmát. Itt érdemes „elrugaszkodni” képzeletben a Földről és megbeszélni, hogy a tengerszinthez képest kb. 10 km magasságban haladó utasszállító repülőgépek esetében hány fokos a külső környezeti hőmérséklet. Majd továbbléphetünk, és egy on-line műholdkövető honlap felkeresése közben feltehetjük a kérdést, mekkora hőmérsékletű térben keringenek a műholdak. Erre már nem biztos, hogy tudnak válaszolni. Mondjuk el, hogy a műholdak rendkívül nagy külső hőmérsékleti tartományban kell, hogy jól működjenek. Ekkor megbeszélhetjük velük, hogy nem mindegy, hogy a műhold keringése során – bár abban a magasságban a hőmérséklet közel állandó – melyik oldala néz a Nap felé: az árnyékos és napos oldal között jó néhány száz fok eltérés is lehetne, éppen ezért szokták forgatni a műholdat, hogy ne lépjenek fel az anyagában akkora mechanikai feszültségek, amelyek a műhold meghibásodásához vezethetnének. A Masat-1-nél folyamatosan figyelték a belső hőmérsékletét is, és amikor 5 °C alá süllyedt, akkor elindították a fűtést, nehogy az érzékeny akkumulátora meghibásodjon. A fűtésre olyankor volt szükség, amikor a Masat-1 a Föld árnyékában tartózkodott, és így az oldallapjait borító napelemek nem tudták hasznosítani a Nap energiáját [1].

Még mindig a hőmérséklet fogalmánál maradva, a műholdak felhasználási területei között megemlíthetjük, hogy az utóbbi években segítenek egy esetleges vulkánkitörés előrejelzésében is, ugyanis vulkánkitörés előtt megemelkedik a kráter fölött a hőmérséklet, és ezt műholdas távérzékeléssel ki lehet mutatni [2]. Ki lehet vetíteni – érdekességgéppen – a Rosetta űrszonda által 2014 augusztusában készített hőtérképet a 67P üstökösről [3]. Ez alkalmat ad arra, hogy

felhívjuk a tanulók figyelmét, hogy a képen a hőmérsékletet Kelvinben adják meg, amivel – a tananyag szerint – először középiskolás korukban találkoznak a diákok.



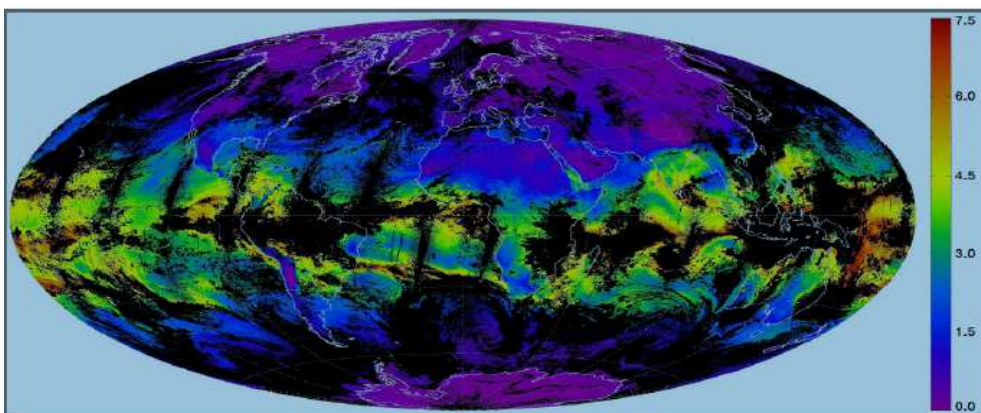
1. ábra: Földközeli pályán keringő műholdat érő sugárzások (saját szerkesztés [4] alapján)

Hőterjedés és az üvegházhatás

A hő terjedésének módjait (hőáramlás, hővezetés és hősugárzás) felsorolva, beszéljük meg, hogy ezek közül melyik nem lehetséges a világűrben. A hősugárzás illusztrálásához célszerű kivetíteni az 1. ábrát.

Ezen az ábrán jól lehet elemezni a műholdat érő különböző sugárzásokat. Együttal lehetőség nyílik a planetáris albedó fogalmának tisztázására is, mely ugyan nem tananyag, de hasznos megemlíteni. Továbbá felhívhatjuk az ábra segítségével a diákok figyelmét arra, hogy minden test sugároz ki magából hőt, aminek a tényét már Kirchhoff megállapította a 19. században. A földfelszíni sugárzást az üvegházgázok részben elnyelik, részben pedig visszasugározzák. Ennek a következménye a melegebb légkör. Ezt a jelenséget nevezzük üvegházhatásnak.

Jegyezzük meg, hogy a CO_2 – melyet az üvegházhatás fontos előidézőjeként szoktak emlegetni – a teljes üvegházhatásnak csak 10-25%-áért felelős. Ennél sokkal meghatározóbb szerep jut az üvegházhatásban a légkörben levő vízpárának: 36-72% [5]. A Föld légkörében levő vízpára eloszlást a NASA MODIS műholdas észlelőrendszere által 2006. március 1-jén készített felvétellel érzékeltethetjük a diákokkal. A vízpárára vonatkozó méréseket napszinkron pályán lévő műholdakról érdemes készíteni, mert azok közelebb vannak a felszínhez, és így pontosabb eredményeket lehet kapni.



2. ábra: A NASA MODIS műholdas észlelőrendszere által meghatározott globális vízpáraeloszlás, 2006. március 1.

Forrás: Jánosi-Tél: Bevezetés a környezeti áramlások fizikájába, 2012 [5]

Hőtágulás és a hőpajzs

Ebben a témakörben, miután elvégezzük az alapkísérleteket – gondolok itt például a Gravesend-gyűrűre, azaz a golyó és karika melegítésére –, ismét érdemes képzeletben kilépni az űrbe. Tanulságos annak a feladatnak a megtárgyalása, melyben megkérdezzük, hogy hány százalékkal volt kisebb a Masat-1 élének a hossza, felszíne és térfogata keringése közben, amikor már éppen a kritikus $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot elérte a hőmérséklete, ha feltételezzük, hogy a startnál $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt a környezet hőmérséklete. A feladat első ránézésre könnyen megoldhatónak tűnik, hiszen ha megadjuk a vázát képező fém anyagát, a függvénytáblázatból már kinézhető annak hőtágulási együtthatója. Közöljük, hogy 1 mm vastag speciális repülőgép-alumíniumból készítették a műholdat [6], majd beszéljük meg a tanulókkal, hogy most tekintsünk el a speciális jelzőtől, számoljunk egyszerűen az alumíniummal. A diákok között van olyan, aki ezután a szokott képletbe behelyettesít, majd a számolás végeztével úgy gondolja, rendben megoldotta a feladatot. Néhányan talán elolvassák a táblázat felső sora fölött levő zárójeles megjegyzést, mely szerint ezek az adatok 101 325 Pa nyomáson, azaz csak légköri nyomáson érvényesek, tehát az eredmény nem csak azért lehet különböző a valóságtól, mert nem a speciális alumíniummal számoltunk, hanem a nyomás eltérése miatt is. Ezt elemelve hatásosabban tudjuk megbeszélni, milyen nagy műszaki kihívás a tervezők számára a műhold építőelemeit úgy megválasztani, hogy ne legyen probléma az összeillesztéseknél, a forrasztásoknál, az integrált áramkörök belső kötéseinél az űrben sem.

Itt megemlíthetjük az űrtechnika fogalmát, melynek keretén belül történnek azok a kutatások és fejlesztések, melyek lehetővé teszik

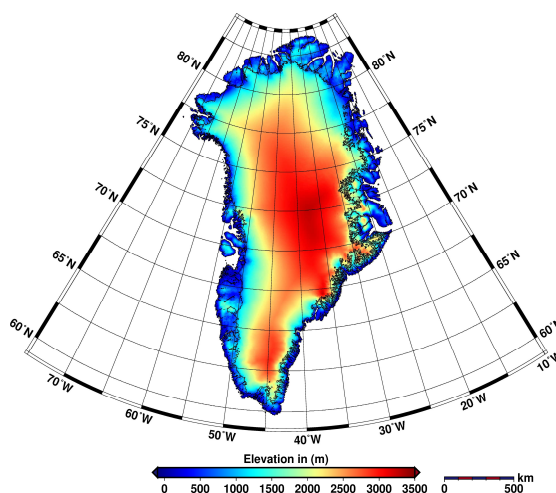
az űreszközök űrbéli működését. Példaként elmondhatjuk, hogy az űrtechnika fejlődésének köszönhetően a VesselSat-2 30 cm-es élhosszúságú kocka alakú műholdnál sikerült elérni, hogy a pálya mentén végighaladva a belső hőmérséklet-ingadozás 1 foknál ne legyen több, és az évszakok változásából eredő hőmérséklet-változás sem több 6 foknál [7]. Feladhatjuk önálló kutatómunkának a hőpajzs szerepét az űrhajók visszatérésekor. Motiválhatjuk a diákokat például úgy, hogy az órán megmutatjuk az Űr Világ űrkutatási hírportál egy ide vonatkozó ismertetését a felfújható hőpajzsról [8]. Érdekességgéppen említsük meg, hogy ezek a kutatások és fejlesztések gyakran új anyagokat, új műszaki megoldásokat eredményeznek, amelyek idővel a mindennapi életünkben is megjelenhetnek.

Gáztörvények

A gáztörvények kapcsán szóba kerül a Föld légköre. A barometrikus magasságformula szerint állandó hőmérsékleten, homogénnek tekinthető gravitációs térben a tengerszinttől felfelé haladva a részecskesűrűség exponenciálisan csökken. Felső határa nincs a légkörnek. Közelítőleg 300-400 km magasságban éri el a részecskesűrűség a Naprendszer bolygóközi részecskesűrűségének igen alacsony értékét [9]. Itt említsük meg, hogy a műholdak pályának magassága is legalább ilyen értékű kell, hogy legyen ahhoz, hogy zavar-talan legyen a működésük.

Halmazállapot-változás és az üridőjárás

A hőtanban esik szó a halmazállapot-változásról. A huszonegyedik század fizikaóráján nem tehetjük meg, hogy például az olvadásról csak egy főzőpohárban levő jég olvadása kapcsán beszéljünk. A halmazállapot-változás kapcsán ugyanis fizikaórán is felvetődik a sarki jégtakaró csökkenése, és innen már csak egy röpké gondolati lépés, és szóba jönnek a műholdak, melyek segítségével évről évre vizsgálják az állandó jégtakarók alakulását. Az alábbi ábra szemlélteti az ESA „jeges” műholdjának az utóbbi né-



3. ábra: A jég magassági térképe Grönlandon, 7,5 millió mérési pont alapján. Az adatokat a Cryosat-2 2012 folyamán gyűjtötte. Forrás: Helm et al. 2014 [10a]

hány évben történt mérései alapján a jégtakaró zsugorodását Grönlandon. Itt megemlíthetjük, hogy ez a műhold közel pontosan poláris pályán kering, így az eddigi hasonló küldetésű műholdaknál magasabb földrajzi szélességeket is elér [10].

A 3. ábra kapcsán lehet beszélni a klímaváltozásról, melyre ebben a cikkben nem térek ki, de érdemes megtárgyalni, hogy az előrejelzésekhez feltétlenül szükséges a folyamatos, hosszú távú adatgyűjtés. Ez különböző mérőállomásokon történik. Alapvetően két csoportról beszélhetünk: felszíni bázisú és űrbázisú mérések. A műholdak mérései jelentős szerepet töltenek be az éghajlatváltozással kapcsolatos modellek megalkotásában. A meteorológiai műholdakkal figyelhetjük a felhőzetet, a levegő páratartalmát, a légmozgásokat, valamint a felszín hőmérsékletét. Az adatok az aktuális állapotot mutatják, amely alapján többek között az időjárási előrejelzések készülnek. A műholdak nagy előnye, hogy nagy területet egy időben látnak, amelyre korábban egyetlen eljárás sem volt alkalmas [11]. Fizikatörténeti ismeretként elmondhatjuk, hogy az első meteorológiai műholdakat 1960-ban helyezték Föld körüli pályára.

Manapság egyre gyakrabban hallani egy új fogalomról, az űridőjárásról. Fizikaórán beszéljük meg, hogy az űridőjárás nem a hagyományos időjárási paraméterek (hőmérséklet, csapadék, stb.) űrbeli változását jelenti, hanem az ionoszférában, a magnetoszférában és a földközeli interplanetáris térben végbemenő jelenségeket. Az űridőjárást befolyásoló legfontosabb hatások a napszél, a Napból kilépő anyagáramlás, a bolygóközi térben végbemenő mágneses jelenségek. Az űridőjárás megfigyelése is leginkább a Föld körül keringő műholdakon elhelyezett műszerekkel történik, jellemzően néhány száz kilométer magasan a felszín felett [12]. A diákok figyelmét felhívhatjuk arra, hogy több honlapon is nyomon lehet követni a naptevékenységet. Fontos megemlíteni, hogy a különböző űreszközök – ezeken belül a műholdak, melyek szolgáltatásaik révén egyre szélesebb területen részei a mindennapjainknak is – ki vannak téve az űridőjárás viszontagságainak, így az űridőjárás egyáltalán nem közömbös számunkra sem, hiszen az űrtávközlés zavarainak súlyos következményei lehetnek. A kommunikációban fellépő problémák komoly pénzügyi következményekkel járhatnak, gondoljunk akár a banki, tőzsdei tranzakciókra. Beszéljük meg, hogy ilyen veszélyes időszakban célszerű a műholdakat biztonsági üzemmódba helyezni [13].

A hőtan első főtétele és az űrszemét

A hőtan első főtételének tanításakor felhívjuk a diákok figyelmét, hogy igazából az energia megmaradásának törvényét fogalmazzuk meg benne. A törvény jobb megértését szolgálja, ha minél szélesebb területről veszünk rá példákat. Nézzük meg, hogy a műholdak ese-

tében milyen példákat hozhatunk fel a törvény érvényességének bizonyítására. Problémafelvetés: nézzünk egy geostacionárius műholdat. Együtt kering a Földdel, állandóan mozog. Miért nem mond el lent ez az „örök” mozgás a termodinamika I. főtételének, amely tulajdonképpen az energia megmaradásának általánosabb törvénye? Remélhetőleg minden nehézség nélkül érkezik a válasz a diákoktól, hogy valóban nem örökké maradnak pályájukon a műholdak, előbb-utóbb a sűrűlódás következtében (mely ugyan nagyon kismértékű az érintett magasságokban) lelassulnak annyira, hogy bekerülnek a Föld légkörébe. Arra az időszakra, amikor még ez a sűrűlódás olyan kis mértékű, hogy el lehet tekinteni tőle, a

$$\frac{dU}{dT} = Q + W$$

összefüggésben a műholdak esetében a munkát nullának vehetjük, a Q a műhold által felvett, illetve leadott hőnek feleltethető meg, a belső energia változása alatt pedig a műhold elektromos energiájának változását értjük. A fellépő sűrűlódás hatására bekövetkező légkörbe kerülés és megsemmisülés a műholdaknál időben nagyon elhúzódó folyamat lehet. Így előfordulhat, hogy egy már nem működő műhold évekig, esetleg évtizedekig is kering még az űrben. Például az ESA ENVISAT földmegfigyelő műholdja számítások szerint még 150 évig „kísért” majd. Ez a probléma a huszonegyedik századra egy újabb kihívást jelent az emberiség számára. A felgyülemlett űrszeméttel most már feltétlenül foglalkozni kell a kutatóknak. Fizikaórán is érdemes róla beszélni, a téma érdekessége miatt biztosan van olyan diák, aki szívesen elmélyed az „űrszemétben”. Az Űrvilág űrkutatási hírportál 2014. júniusi cikkében például megemlíti, hogy az ESA megpróbál egy új módszert kidolgozni az űrszemét begyűjté-



4. ábra: Űrszigony (Fantáziakép: Airbus Defence and Space [14a])

sére. Ez egy ősi vadászási technikát jelent: szigonnyal próbálnák le vadászni a már működésképtelen és irányíthatatlan űreszközöket [14].

A világűrben keringő irányíthatatlan űreszközök kapcsán valószínűleg a diákokban is felmerül a kérdés, hogy mi történik akkor, ha összeütköznek? Az ilyen objektumok száma ugyan mostanra már elérte a 17 000-et, de ennek ellenére az ütközés valószínűsége nagyon csekély. 2009-ben történt egy komoly űrkarambol: egy amerikai távközlési hold ütközött össze egy használaton kívüli orosz műholddal [15].

A hőtan második főtétele és a műholdak „tűzhalála”

A hőtan második főtétele középiskolában csak szemléletesen fogalmazható meg, ugyanis nincs meg hozzá az entrópia fogalma, illetve az ehhez kapcsolódó matematikai háttér. Clausius 1850-ben fogalmazta meg úgy a hőtan második főtételét, hogy a termikus energia hő alakjában hidegebb testről melegebb testre nem mehet át önként. Erre az iskolában a legklasszikusabb példa, hogy amikor egy forró tárgyat letesszünk a hideg asztalra, soha nem következik be az, hogy az asztal még hidegebb, a tárgy még melegebb lesz. Adja magát, hogy ismét kitekintsünk a világűrbe, és a műholdak esetében megbeszéljük, hogy nem létezik például, hogy a műhold a Nap sugarainak hatására lehűlne, az árnyékos részekben pedig felmelegedne. Ugyanígy lehetetlen, hogy a légkörbe kerülő műhold a súrlódás közben veszítene hőmérsékletéből. A Masat-1 hároméves életének befejezése, azaz megsemmisülése, a Föld légkörében való elége-se szintén egy konkrét bizonyítéka a második főtételnek. Ezek a példák is hozzájárulhatnak ahhoz, hogy érzékeltessük a diákoknak, hogy ez a törvény – melyet középiskolában csak úgy tárgyalunk, hogy a természetben lezajló spontán folyamatok iránya meghatározott – valóban tapasztalati törvény, és a Földön kívül is érvényben van.

Zárszó helyett

Az említett űrkutatási vonatkozásokat tanításomban évek óta alkalmazom, s úgy érzem, ennek is köszönhető, hogy az alapvetően a művészi pálya iránt érdeklődő diákjaim közül a korábbi évekhez képest többen választják a fizika érettségét, még emelt szinten is, sőt versenyeken is indulnak. A Mérei Ferenc Fővárosi Pedagógiai Intézet által meghirdetett „Fizika a tudományokban és művészetekben” versenyre diákjaim nagy számban jelentkeznének és évek óta sikeresen szerepelnek. Tavaly a Masat-1-et bemutató diákom, aki egyébként zongoraművész szeretne lenni, második helyezést ért el [16]. Idén többen is választottak űrkutatási témát, egyikük az „Origami és a

NASA” című anyagot készíti, másik csapat pedig a Föld mágneses mezejét vizsgáló műholdakról gyűjt ismereteket. Fontosnak tartom nagyon, hogy olyan diákok is közelebbi információkat szerezzenek az űrkutatásról, akik egész más területen képzelik el továbbtanulásukat.

Irodalomjegyzék:

- [1] <https://cubesat.bme.hu>
- [2] Végi András: Műholdak felhasználási területei, 2005, Szakdolgozat, SZTE TTK Kísérleti Fizika Tanszék, <http://astro.u-szeged.hu/szakdolgozatiandras/felhasznalas/vulkanok.html>
- [3] <http://blogs.esa.int/rosetta/2014/09/08/virtis-maps-comet-hot-spots/>
- [4] K.E. Trenberth, J.T. Fasullo, J. Kiehl (2009): Earth’s global energy budget. Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 90, pp. 311-323
- [5] Jánosi Imre, Tél Tamás: Bevezetés a környezeti áramlások fizikájába, 2012, Typotex, Budapest, ISBN 978-963-279-550-8, http://etananyag.ttk.elte.hu/FiLeS/downloads/EJ-Janosi-Tel_kornyaram.pdf
- [6] <http://www.magyar-mernok.hu/?view=doc;800>
- [7] www.urvilag.hu/hazai_kutatohelyek_es_uripar/20140109_vesselsat2_a_hibatlan_keteves
- [8] http://www.urvilag.hu/uj_eszkozok_es_anyagok/20090818_mukodik_a_felfujhato_hopajzs
- [8a] Clara Moskowitz: Inflatable Spacecraft Shield Works, Space Test Shows, 2009, <http://www.space.com/7144-inflatable-spacecraft-shield-works-space-test-shows.html>
- [9] Nagy Mária, Radnóti Katalin: A Boltzmann-eloszlás középiskolai feldolgozásának lehetőségei II. rész, 2013, A Fizika Tanítása, Mozaik Kiadó, Szeged, 2013/3. 3-11, http://www.mozaik.info.hu/Homepage/pdf/folyoirat/A_fizika_tanitasa_2013-3.pdf 9. oldal
- [10] http://www.urvilag.hu/kornyezetunk_vedelme/20140827_jeg_veled (a [10a] magyar nyelvű kivonata)
- [10a] V. Helm, A. Humbert, H. Miller: Elevation and elevation change of Greenland and Antarctica derived from CryoSat-2, 2014, The Cryosphere, 8, 1539-1559 (doi:10.5194/tc-8-1539-2014) <http://www.the-cryosphere.net/8/1539/2014/tc-8-1539-2014.html>
- [11] <http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/MeteorologiaiAlapismeretek/ch12s04.html>
- [12] Nagy János, Szalai Sándor: Magyar műszerek a Nemzetközi Űrállomáson - Az űridőjárás megfigyelése, 2012, Élet és Tudomány,

67. évf. 11. szám, 329-331, <http://wigner.mta.hu/hu/node/861>
[13] Ludmány András: Naptevékenység és Űridőjárás, 2012, Fizikai Szemle 62. évf. 6. szám 181-184, <http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1206/LudmanyAndras.pdf>
[14] http://www.urvilag.hu/uj_eszkozok_es_anyagok/20140625_szigonnyal_muhold_ellen
[14a] http://www.esa.int/var/esa/storage/images/esa_multimedia/images/2014/06/harpoon_used_to_capture_a_satellite/14588915-1-eng-GB/Harpoon_used_to_capture_a_satellite.jpg
[15] http://www.urvilag.hu/katasztrofak_ellen/20090212_peldatlan_muholdutkozes
[16] http://www.fppti.hu/data/cms186928/FIZ_TUD_MUV_VERSENY_2014_donto_vegeredmenye.pdf

Mit tudunk az űrszemétről?

Összefoglaló helyzetjelentés 1957-től napjainkig

**Mihályi Dávid Krisztián¹, Mészáros János²,
Farkas Alexandra^{1,3}**

¹ ELTE Biológiai Fizika Tanszék,

Környezetoptika Laboratórium, Budapest

² ELTE Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék, Budapest

³ MTA Ökológiai Kutatóközpont, Duna-kutató Intézet, Budapest

Bevezetés

Az űr meghódítása óta mindennapjainkba oly mélyen beivódott az űrtechnika, hogy nehezen tudnánk nélküle elképzelni hétköznapi életünk. A földrészek közötti kommunikációhoz, a televíziós adások vételéhez, az internet és a GPS használatához, vagy az időjárás-előrejelzéshez mind-mind műholdak segítségére van szükségünk. Ezen szerkezetek élettartama azonban nagyon változó. Működésük befejeztével irányíthatatlanul keringenek tovább a Föld körül, nem kis fejfájást okozva azoknak, akik a még működő űreszközök irányításával foglalkoznak. A balesetek elkerülése végett gyakran kell ugyanis kikerülő manővereket végrehajtaniuk. Az elromlott objektumok száma folyamatosan növekszik, hiszen minden évben sok új műholdat állítunk pályára, az elromlottak eltávolításáról vagy megsemmisítéséről pedig nem gondoskodunk.

Definíció szerint űrszemétnek nevezünk minden olyan mesterséges eredetű tárgyat, amely funkcióját elvesztette már, ám továbbra is a Föld körül kering vagy belép a légkörbe [1]. Így űrszemétként beszélhetünk például a levált gyorsítórakéta-elemekről vagy burkolólemezekről, az elromlott vagy kiöregedett műholdakról, a Nemzetközi Űrállomás (ISS) legénysége számára feleslegessé vált és általa az űrbe taszított, vagy véletlenül elhagyott tárgyakról. 2007-ben például egy ~600 kg-os ammóniatartály vált feleslegessé, valamint egy ~100 kg-os kameraállvány sodródott el véletlenül, amik egy évnyi keringés után (szerencsére) megsemmisültek a légkörben illetve a Csendes-óceánba csapódtak [2].

A fenti definíció megfelel azonban a nem Föld körüli pályára tervezett mesterséges objektumokról, amik mára már működésképtelenné, feleslegessé váltak. Ugyan e tárgyak nem okoznak közvetlen problémát az emberiség számára, ám ezeket is űrszemétként kezelhetjük. Ide tartoznak például a funkciójukat vesztetten sodródó űrszondák, a leszállóegységek és roverek a Mars, a Vénusz és a Titan felszínén, továbbá a holdraszállások során égi kísérőnk felszínén hagyott eszközök.

Az utóbbi években történt, a média által is felkapott néhány esemény rávilágított arra, hogy a Föld légkörének peremét ugyanúgy meg kell szabadítanunk a szemetünktől, mint annak felszínét. Amennyiben ezt nem tesszük meg, úgy megsérülhetnek többek között a létfontosságú meteorológiai, kommunikációs és GPS műholdak, aminek súlyos gazdasági következményei is lehetnek. Nem beszélve arról, hogy bár a Föld felszínének csak igen kis része lakott az összfelületéhez viszonyítva, mégis megeshet, hogy egy irányíthatatlanul lezuhanó, nagyobb méretű, és így a légkörben teljesen el nem égő szerkezet lakott területre esik és emberéleteket is követel. Mindezek tetejében (ahogyan az kérdőíves felmérésünkéből [3] is kiderült) a lakosság döntő többsége vagy nem vesz tudomást a jelenségről, vagy nem is ismeri, annak ellenére, hogy ugyanolyan környezeti problémával állunk szemben, mint a vizek vagy a levegő elszennyezése. Pedig talán csak az a probléma, hogy nem látható szabad szemmel.

Érintett műholdpályák

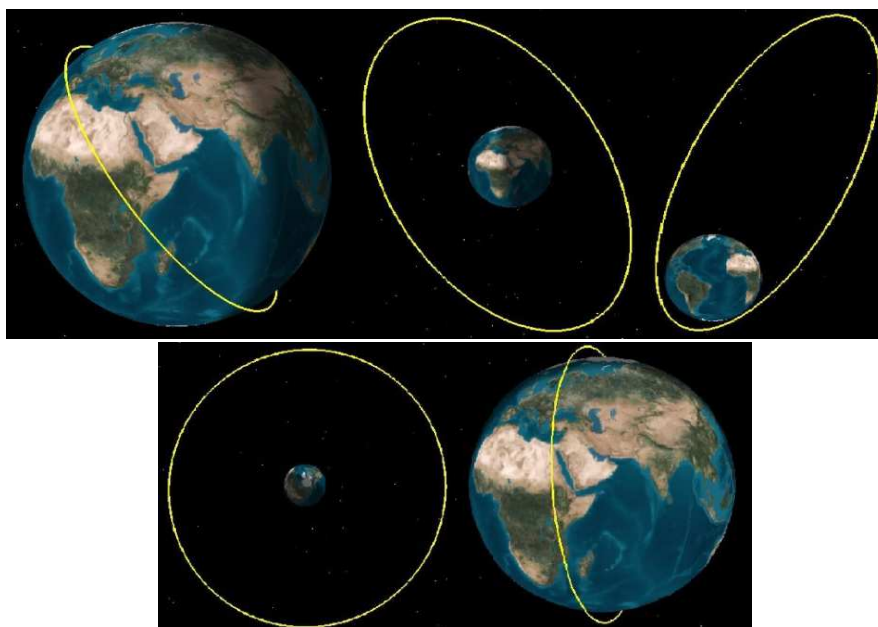
A különböző funkciójú műholdak pályáit a keringési magasság és az inklináció (a műholdpálya síkjának dőlésszöge az Egyenlítőhöz képest) alapján is lehet osztályozni, amiket az 1. táblázat és az 1-2. ábrák foglalnak össze. Az egyenlítői, normál, poláris és retrográd pályákon túl speciális műholdpályákat is megkülönböztetünk. Pontosán 35 786 km magasan az Egyenlítő felett húzódik a kiemelt fontosságú geostacionárius pálya (GEO), ahol egy műhold keringési ideje megegyezik a Föld forgási idejével, azaz az itt keringő műhold mindig ugyanazon földrajzi hely felett található. A legtöbb meteorológiai és kommunikációs műhold itt helyezkedik el. Egy másik ilyen speciális pálya a napszinkron pálya (SSO): 1000 km alatti magasságban, ha a pályamagasság és az inklináció megfelelő, akkor a műhold egy adott pont felett mindig ugyanabban a helyi időben keresztezi az Egyenlítő síkját (1. ábra). Szintén a különleges pályák közé tartoznak az úgynevezett pseudo pályák, amik két égitest közötti mozgáshoz szükségesek. Jó példa rá a holdi átmenet pálya (LTO, Lunar Transfer Orbit), amin a legkisebb energia-befektetéssel lehet a Holdat megközelíteni [4, 5].

A műholdak irányítása

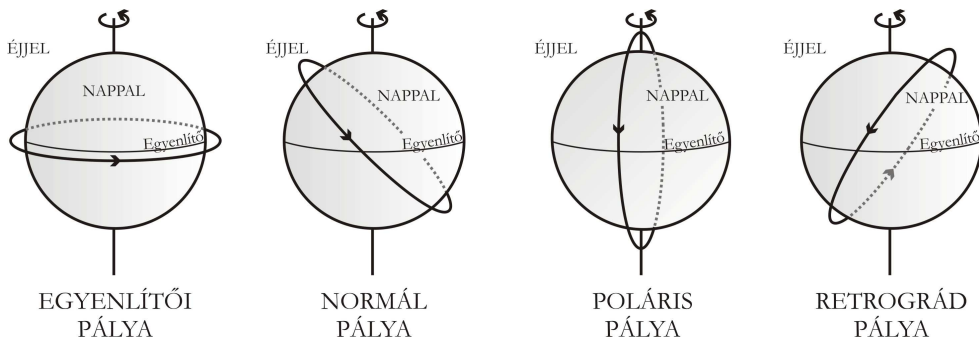
2014. augusztus 1-jén a Union of Concerned Scientists honlapja alapján 1235 db működő műhold keringett a Föld körül, ugyanez 2014. január 31-én 1167 db, 2013. augusztus 31-én pedig 1084 db műholdat számlált [6]. Az ilyen mértékben növekvő számú (3. ábra) műhold irányítását már nem lehet akárhogy végezni: pontos szabályok, megfelelő követő radarok és irányító központok szükségesek

A műholdak keringési magasság függvényében meghatározott pályái		
1	LEO pálya (Low Earth Orbit)	200 - 1 200 km között
2	MEO pálya (Medium Earth Orbit)	1 200- 35 786 km között
3	HEO pálya (Highly Elliptical Orbit)	földtávolpontja 35 786 km felett, föld-közelpontja kb. 1 000 km magasan
4	GEO pálya (Geostationary Earth Orbit)	35 786 km magasan az Egyenlítő felett
A műholdak pályainclináció függvényében meghatározott pályái		
1	egyenlítői pálya	az Egyenlítő és a műhold keringési síkja által bezárt szög 0°
2	normál pálya	a bezárt szög $0^\circ - 90^\circ$
3	poláris pálya	a bezárt szög 90° (e műholdak a sarkpontok felett haladnak el)
4	retrográd pálya	a bezárt szög $90^\circ - 180^\circ$ (a műhold keringési iránya a Föld forgásával ellentétes)

1. táblázat: Műholdpályák

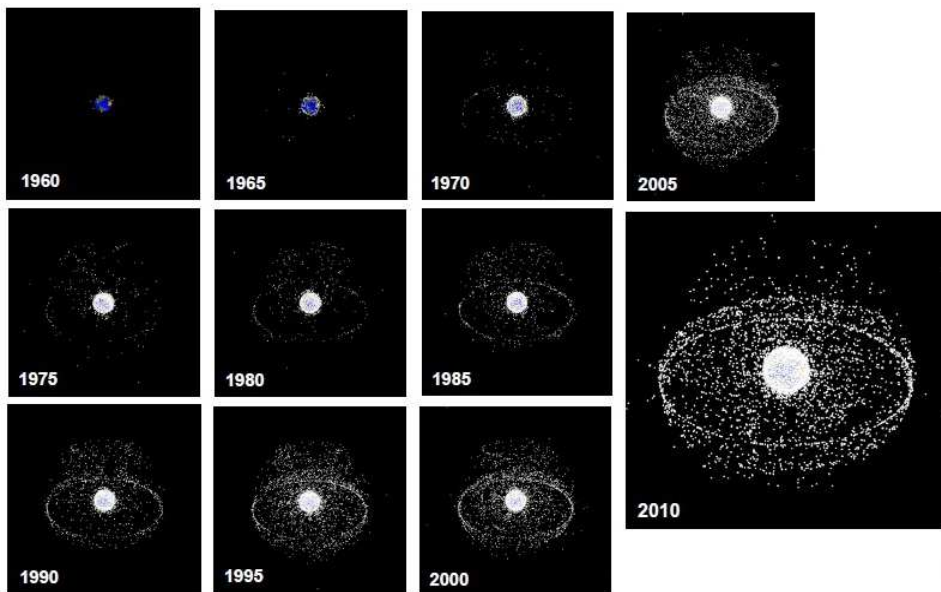


1. ábra: A LEO, MEO, HEO (első sor), GEO és SSO pályák (második sor) szemléltetése [5]



2. ábra: Az egyenlítői, normál, poláris és retrográd pályák síkjai

hozzá, amiket 1957 óta a U.S. Space Surveillance Network (SSN) irányít. Ahhoz, hogy ez hatékonyan működhessen, az egész bolygón átívelő rendszerre van szükség, aminek részeként a 4. ábrán jelölt helyszíneken radarok és optikai megfigyelő állomások foglalnak helyet [7]. A Colorado Springsben található központi irányító állomásról (4. ábra) a műholdak irányíthatók is. Itt a folyamatos monitorozás során mindig előre kiszámolják az összes detektált objektum pályáját, amiből meg tudják tenni a kellő intézkedéseket az esetleges űrbéli karambolok elkerülésére. A rendszer kiegészítésére 2010-ben felbocsátották a Space Based Space Surveillance (SBSS) műholdat is, aminek feladata a törmelékdarabok feltárása a légkör zavaró hatásától mentesen [8].



3. ábra: A Föld körül keringő műholdak száma 1960-tól 2010-ig [7]



4. ábra: A műholdak követését végző U.S. Space Surveillance Network (SSN) részeként működő radarok és optikai teleszkópok [7 alapján, szerkesztve]

Az űrszemét mennyisége és kategorizálása

Ahogy az a fentiekből látható, fejünk felett alapesetben egy megfelelően megszervezett és koordinált rendszer található, ami a tudományos fejlődésünk mellett életünk kényelmesebbé tételét is hivatott szolgálni. E rendszer működését zavarja az űrszemét. Ha a koordinálhatatlanul, szabálytalan pályán, több km/s sebességgel keringő objektumok működő berendezésekkel ütköznek, azokat károsíthatják, tönkretelhetik. Ha pedig az ütközés következtében a működő objektum letér pályájáról, teljesen meg is semmisülhet.

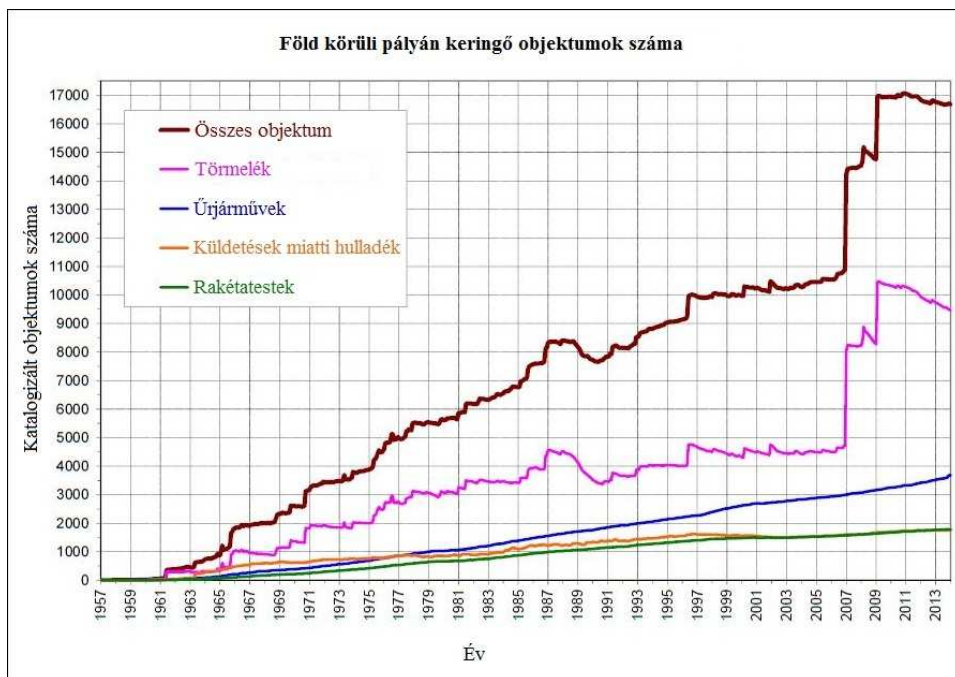
Ma már olyan nagyszámú űrszemét kering bolygónk körül, hogy azok különböző szempontok alapján kategorizálhatók. Fontos figyelembe vennünk az objektumok számát, pályáját, méretét, formáját és anyagi összetételét [7]. Az objektumok vagy törmelékek viselkedésének elemzésénél az a legfontosabb kérdés, hogy az mekkora veszélyt jelent a környezetében található többi szerkezetre. Ennek vizsgálata során különböző enyhítő körülmények is figyelembe vehetők: például a törmelék forrása, keletkezésének oka, valamint az ütközés okozásának valószínűsége.

Átlagos méret	1 mm - 1 cm	1 cm - 10 cm	> 10 cm
Mennyiség	~ 170 ezer db	~ 670 ezer db	~ 29 ezer db

2. táblázat: Az űrszemét kategorizálása méret szerint [11]

Az objektumok átlagosan 8 km/s-os sebességgel keringenek a LEO pályán (1. táblázat). Ez annyi energiát rejt magában, hogy ütközés esetén egy űreszközt könnyedén használhatatlanná tenne [9]. Egy ilyen ütközés hatása nagyban függ az űrszemét méretétől is, aminek csoportosításakor a 2. táblázatban látható három fő kategóriát különítették el [10, 11]. 1 mm alatti méretű testeket is szokás csoportosítani: 1µm alatt már űrporról beszélhetünk.

Mivel az űrszemét feltérképezése folyamatosan zajlik, a feltérképezett törmelék száma is nő. A jelenleg ismert adatokat 2013 júliusában tették közzé [11]. Az űrszemét mennyiségének jelentős növekedését főként egy nagyméretű űreszköz valamilyen okból történő megsemmisülése tudja előidézni, amikor az egy darabban lévő objektum darabok ezreire szakadhat szét. Az utóbbi években két nagyobb ilyen eset is történt. Először 2007. január 11-én Kína rakétával semmisített meg egy poláris pályán keringő kínai műholdat, majd két évvel később, 2009. február 11-én az amerikai Iridium cég egy még működésben lévő távközlési műholdja ütközött össze a használaton kívüli orosz Kozmosz-2251 mesterséges holddal [12]. Mindkét esemény nagymértékben megnövelte a Föld körüli pályán keringő objektumok számát (5. ábra).



5. ábra: Föld körüli pályán keringő, katalogizált objektumok száma [13]

Az űrszemét egy különleges formáját a hidegháborúhoz köthetjük. Az amerikaiak a felszíni rádióhullámokon és a tenger alatti kábeleken keresztül zajló kommunikációt túl sebezhetőnek tartották, ezért olyan rendszert szerettek volna kialakítani, ami bármikor működőképes. Ezért 1958-ban Walter Morrow és Harold Meyer tudósok azt javasolták, hogy vékony, szőrszál vastagságú rézszálakat (6. ábra) szórjanak szét 2-3 ezer km magasságban. Ha e tűk hossza 1,8 cm (ami a fele a 8 GHz-es rádióhullámok hullámhosszának), akkor tökéletesen használható felületet hoznak létre, amit bármilyen ellenséges szovjet tevékenység ellenére lehet rádiózásra használni. Hiába tiltakoztak a rádiócsillagászok, attól tartván, hogy az általuk kutattott, az űrből érkező jeleket nem tudják majd észlelni, a projekt 1961-ben megvalósult, de végül csak a második próbálkozás volt sikeres 1963-ban.



6. ábra: Az 1960-as években a West Ford projekt keretében 350 millió ilyen apró rézdrótot szórtak szét az Egyenlítő vonalára merőlegesen, amiket egy biztonságos kommunikációs rendszer részeként képzeltek el [14]

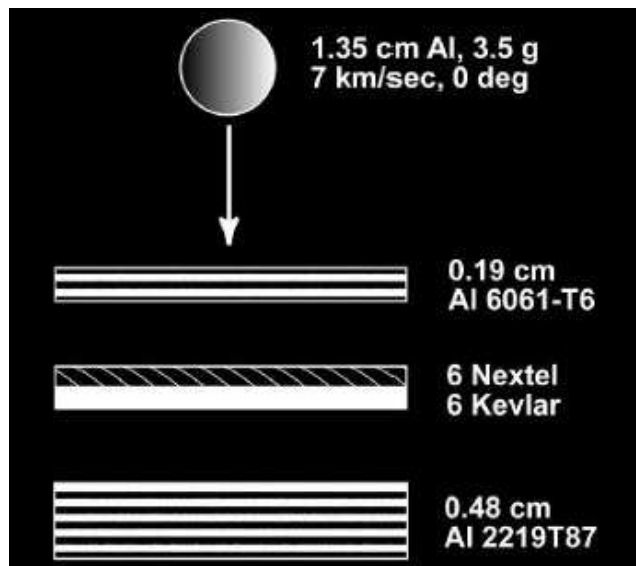
Ennek során 350 millió apró rézdrótot szórtak szét az Egyenlítő vonalára merőlegesen. A kísérlet eleinte sikeresnek tűnt, hiszen a rendszer segítségével sikeres rádió-összeköttetéseket tudtak kialakítani, ám idővel az apró réztűk eltávolodtak egymástól, ami rontotta a rádiójelek minőségét, továbbá pár év után rengeteg szál hullott vissza a légkörbe és égett el (a tervezettnél megfelelően). Szerencsére ezután megjelentek a távközlési műholdak, amik a további kísérletezést e téren feleslegessé tették, így a projektet 1966-ban leállították. Bár a tűk nagy része visszahullott, akadnak nagyobb csomók, amik az egymással való érintkezés során összetapadtak, mert felbozsátáskor naftalingélbe ágyazták őket. Az Észak-Amerikai Légi- és Űrvédelmi Parancsnokság (NORAD) számos ilyen

tűcsomót tart nyilván, melyek akár több évtizeden keresztül is keringhetnek a bolygó körül [14].

A különböző méretskálájú űrszemét-objektumok veszélyei

Az 1 cm alatti méretskálába eső törmelék nem jelent különösebb problémát az űreszközökre nézve, mert azok ún. Whipple-pajzsokkal vannak ellátva, amelyek hatékonyan elnyelik egy ilyen törmelékkel történő ütközésből származó energiát. Ám az űreszközök egyes részei így is lehetnek veszélyben, hiszen pl. az energiaellátásban fontos szerepet játszó napelemtáblákat nem lehet ilyen védelemmel el-

látni. Már az 1960-as évektől használtak egyszerűbb pajzsokat a kisebb méretű meteorok ellen, ám a mai eszközöket már jóval hatékonyabban kell óvni a lehetséges sérülésektől. Emiatt például az ISS speciális, töltött Whipple-pajzsokkal van felszerelve. A külső, vékony lökhárító, valamint az űrállomás vastag fala között különböző alumínium ötvözetek közé erősített nextel (egyfajta erős és könnyű kerámia szövet) és kevlár rétegek találhatók (7. ábra), amik az ilyen nagy energiájú ütközések energiáit is sikeresen képesek elnyelni [15, 16].



7. ábra: A Nemzetközi Űrállomás védelmére használt töltött Whipple-pajzsok szerkezete [16]

Nagyobb problémát a 10 cm feletti törmelék sem okoz, ezek ugyanis jól megfigyeltek, pályájukat rendszeresen követik, és amennyiben ütközésveszély áll fenn egy ilyen törmelékkel, úgy még van lehetőség a használatban lévő űreszközzel elkerülő manőverek végrehajtására. Ilyen műveletre egyre többször van szükség, a 3. táblázatban a 2009-ben történt pályamódosítások láthatók.

A legnagyobb problémát a néhány cm-es űrszemét-objektumok jelentik (2. táblázat), amik nyomon követése egyelőre nem megoldott, ütközés esetén viszont súlyos károk okozására képesek. Phipps és munkatársai [9] számításai alapján egy nagyobb méretű test ilyen méretskálájú objektummal történő ütközése háromévente egyszer következik be (az akkor aktuális adatok alapján, ami minden új műhold felbocsátásával változik). A 100 cm-nél nagyobb méretű és 1 t-nál nagyobb tömegű, már regisztrált és megfigyelt objektumok egymással vagy egy működő műhoddal való ütközésének va-

lőszínűsége már jóval kisebb: egyszer következik be 134 éveként, ami jól mutatja, hogy nem a nagyméretű űrszemét okozza elsősorban a problémát. A néhány cm-es méretskálájú törmelégeket is sürgető volna tehát feltérképezni és nyomon követni, de még jobb volna az eltávolításukat megoldani.

Űreszköz	Manőver dátuma	Veszélyt okozó objektum
TDRS-3	január 27.	Proton rakétatest
ISS	március 22.	CZ-4 rakéta törmeléke
Cloudsat	április 23.	Kozmosz-2251 törmeléke
EO-1	május 11.	Zenyit rakétatest törmeléke
ISS	július 17.	Proton rakétatest törmeléke
Space Shuttle	szeptember 10.	ISS hulladék
Aqua	november 25.	Fengyun-1C törmeléke
Landsat-7	december 11.	Formosat-3D

3. táblázat: Űrszeméttel való ütközés veszélye miatt szükségessé vált pályamódosítások 2009-ben [16]

Ha egy átlagosan 8 km/s sebességgel haladó test ütközik egy másikkal, akkor a tér minden irányába több kisebb darabra szakadhat szét. Azt a törmeléket, ami egy törmelékkel való ütközés során szakadt ki egy nagyobb űreszközből, kidobódott részecskéknak (ejecta) hívjuk [1]. A kidobódott részecskék ismét ütközhetnek egy másik objektummal és hasonló hatást válthatnak ki. Ez a végtelennek tűnő lánc a Kessler-szindróma. Van egy pont, amit átlépve az előzetes feltételezések szerint a folyamat olyan nagymértékű lesz, hogy az űrhajózás minden formáját le kell majd állítani, mert az űr „öntisztulása” (egyes törmelékek légkörbe belépése és elégeése) egyszerűen nem lesz olyan gyors, hogy az újonnan keletkező törmelékek számát bizonyos határokon belül tudja tartani [17].

Mi a megoldás?

Rengeteg módszert kitaláltak már az űrszemét problémájának megoldására, ám hangsúlyozandó, hogy egyelőre ezek mindegyike kizárólag elméletben létezik. Amennyiben azonnal kellene cselekednünk, úgy jelenlegi technikai fejlettségünket figyelembe véve takarító műholdak vagy kamikaze robotok bevetésével próbálhatnánk meg megsemmisíteni a veszélyes törmeléket, vagy földi bázisú lézerállomásokat tudnánk használni erre a célra [18]. Utóbbi esetében a nagy energiájú, jól fókuszált lézersugárral a homlokfelületén meglőtt űrszemét párologni kezd, ezáltal anyag távozik belőle. Ez a folyamat úgy hat a céltárgyra, hogy annak lassan csökkenni kezd a keringési magassága, végül pedig a légkörbe érve elég. Ausztráliában a CRC

kutatócsoport (Cooperative Research Centre) azon dolgozik, hogy tíz éven belül elkezdhessek a lézerrel történő takarítást. Új módszerek kifejlesztésén Svájcban is dolgoznak, ahol öngyilkos robotokat (kamikaze műholdakat) szeretnének kifejleszteni, amik a célpontot megragadva, azzal együtt semmisülnének meg a légkörbe való belépéskor.

A kérdés az, hogy mennyi időnk van még? Egy 2012-es tanulmány szerint bebizonyosodott az is, hogy az antropogén hatás miatt megnövekedett légköri CO₂ koncentráció is hatással lehet az űrszemét helyzetére [19]. Ismeretes, hogy az alsóbb légkörben a CO₂ felmelegedést okoz, ezzel egyidejűleg ugyanakkor a termoszféra (~90–700 km) hőmérséklete csökken és fokozatosan összehúzódik. Ez azt eredményezi, hogy a LEO pályákon keringő törmelékekre kisebb fékezőerő hat majd, több időt fognak Föld körüli pályán tölteni, azaz mennyiségük is adott időpillanatban jóval nagyobb lehet.

Bármelyik módszer mellett döntünk is majd, addig is a legfontosabb a további űrszemét keletkezésének minimalizálása, még inkább megelőzése volna a legcélravezetőbb óvintézkedés. Két oka van annak, hogy a takarító folyamat egyelőre lassan halad. Az első, hogy jelenleg még nagy technológiai kihívást jelent az űrben történő bármilyen tevékenységet elvégezni. Másfelől, ha az emberek vizuálisan nem érzékelik a problémát, az nem is tudatosul bennük. Ennek következtében kimondottan nem törődnek a problémával, nem fejtenek akkora társadalmi nyomást a döntéshozókra és az érintettekre, mint például egy vízszennyezés esetében. Éppen ezért szükséges lenne a problémát megismertetni az emberekkel, közelebb hozni hozzájuk az oktatás és a média segítségével. Egy olyan világban, ahol életünket ilyen mértékben áthatják a műholdas technológiák, cselekednünk kell mihamarabb, mert ha a bemutatott Kessler-szindróma beindul, annak súlyos gazdasági, társadalmi, esetleg politikai következményei lehetnek.

Hivatkozások:

- [1] Faure P. et al. (2012): Use of elemental materials for the creation an in-situ space dust impacts detector. 6th EEIGM International Conference on Advanced Materials Research, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 31, 012022
- [2] Space station crew dumps trash overboard.
<http://www.newscientist.com/article/dn12332-space-station-crew-dumps-trash-overboard.html>
- [3] Mihályi D.K. (2014): Az űrszemét mint környezeti probléma. Szakdolgozat, ELTE, 57 p.
- [4] Mucsi L. (2004): Műholdas távérzékelés. Libellus Kiadó, Szeged, 238 p.

- [5] Rieger I., Kocsis G. (2012): BME Űrtechnológia kurzus tananyaga
- [6] UCS Satellite Database.
http://www.ucsusa.org/nuclear_weapons_and_global_security/space_weapons/technical_issues/ucs-satellite-database.html
- [7] Stansbery G. (2010): Characterizing the Space Debris Environment with a Variety of SSA Sensors.
<http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20100009416.pdf>
- [8] Boeing Space Surveillance System Reduces Risk of Satellite Loss by 66 Percent.
<http://boeing.mediaroom.com/Boeing-Space-Surveillance-System-Reduces-Risk-of-Satellite-Loss-by-66-Percent>
- [9] Phipps C.R. et al. (2012): Removing orbital debris with lasers. *Advances in Space Research*, 49, 1283
- [10] Klinkrad H. (ed.) (2006): *Space Debris. Models and risk analysis*. Springer Praxis Book, 430 p.
- [11] How many space debris objects are currently in orbit?
http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering/Clean_Space
[How_many_space_debris_objects_are_currently_in_orbit](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering/Clean_Space/How_many_space_debris_objects_are_currently_in_orbit)
- [12] Pupillo G. et al. (2012): The INAF contribution to the ASI Space Debris program: observation activities. *Memorie della Societa Astronomica Italiana Supplementi*, 20, 43
- [13] NASA Orbital Debris Quarterly News. Vol. 18, Issue 1, 10 p.
<http://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/newsletter/pdfs/ODQNV18i1.pdf>
- [14] Grometstein A.A. (ed.) (2011): MIT Lincoln Laboratory. *Technology in Support of National Security*. Lincoln Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Lexington, Massachusetts, 570 p.
- [15] Christiansen E.L. et al. (1995): Enhanced meteoroid and orbital debris shielding. *International Journal of Impact Engineering*, 17, 217
- [16] Johnson N. L. (2010): Orbital debris: The Growing threat to space operations. <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20100004498.pdf>
- [17] Kirchner G. et al. (2013): Laser measurements to space debris from Graz SLR station. *Advances in Space Research*, 51, 21
- [18] Richard M. et al. (2013): Uncooperative Rendezvous and Docking for MicroSats. The case for CleanSpace One. *International Conference on Recent Advances in Space Technologies*, 12-14 June 2013, Istanbul, Turkey
- [19] Emmert J.T. et al. (2012): Observations of increasing carbon dioxide concentration in Earth's thermosphere. *Nature Geoscience*, 5, 868

Kvantumkommunikáción alapuló műholdas hálózat vizsgálata

Bacsárdi László, Kiss András

Nyugat-magyarországi Egyetem,
Informatikai és Gazdasági Intézet, Sopron

A kvantum alapú űrkommunikáció a nagy távolságot lefedő, biztonságos adatátvitel igényén alapszik. A kvantumos kulcsszétosztó protokollok a kvantummechanikai szabályoknak megfelelően működnek. A kulcsszétosztó folyamat alatt a kulcs lehallgatására irányuló kísérletek megzavarják a kvantumállapotokat, így a lehallgató észlelhetővé válik. Az elmúlt években több tanulmány is foglalkozott lézer alapú űrkommunikációval, de ez még mindig egy megvalósíthatatlan technika a Föld-űr és űr-űr kommunikációs csatornák esetében. A célunk egy olyan összetett hálózati modell fejlesztése, amely lehetővé teszi a globális méretű kvantum alapú kulcscserét. Az elmúlt évek során egy szimulációs eszközt fejlesztettünk a kommunikációs hálózat modellezésére, és elemeztünk különböző fontos jellemzőket, például a bithiba-arányt.

1. Bevezető

Napjainkban szükség van nagy távolságot lefedő, biztonságos kommunikációra és ebben a kvantum alapú műholdas kommunikáció fontos szerepet játszhat [1]. A biztonságos adatátvitel során az adatok titkosítására különböző algoritmusokat használnak. Szimmetrikus kulcsú titkosítás esetén azonos kulcsot használunk az üzenetek kódolására az adóoldalon és dekódolására a vevőoldalon. A kérdés az, hogyan történik meg a kódoláshoz szükséges kulcs cseréje a kommunikáló felek között. Ehhez több klasszikus algoritmus is rendelkezésre áll, de a probléma megközelíthető kvantumos módon is. A kvantumos kulcsszétosztó protokollok a kvantummechanikai szabályoknak megfelelően működnek. A kvantummechanika elve alapján a kulcsszétosztó folyamat alatt a kulcs lehallgatására irányuló kísérletek megzavarják a kvantumállapotokat, így a lehallgatás ténye észlelhetővé válik a kommunikáló felek számára [2].

A kvantum alapú kulcsszétosztást nem csak vezetékes hálózatban használhatjuk, hanem szabad térben is (angol szakszóval free-space quantum key distribution). Az elmúlt években több tanulmány is foglalkozott lézer alapú űrkommunikációval, de a kvantum alapú kulcsszétosztás még mindig egy megvalósíthatatlan technika a Föld-űr és űr-űr kommunikációs csatornák esetében.

Mint ahogy arról az Űrtan évkönyv 2010-2011 kötetben is már beszámoltunk [3], kutatásunk során egy olyan összetett hálózati

modell fejlesztésébe kezdünk, amely lehetővé teszi a globális szintű kvantum alapú kulcscsere modellezését és vizsgálatát [4-8]. Az egyfoton forrásokon alapuló modellünkkel lehetőségünk van modellezni a nyalábszélesedésből és célzási hibából származó különböző veszteségeket. Terveztünk egy földi állomásokból és műholdpályákból felépülő hálózatot, és kifejlesztettünk egy olyan szimulációs eszközt, amellyel a kvantum alapú kulcsszétosztást vizsgálhatjuk ebben a hálózatban.

2. A műholdas kvantumkommunikáció felé

2.1. Kvantumbit

A kvantummechanikai alapú informatikát kvantuminformatikának nevezzük, napjaink rendszereit pedig a kvantumos világ nézőpontjából a klasszikus jelzővel illetjük. A klasszikus információelméletben a legkisebb egység a bit. A digitális számítógépekben a lemezek és kondenzátorok közötti feszültség reprezentálja az információ egy bitjét, például a feltöltött kondenzátor jelenti az 1-es bitértéket, a nem feltöltött kondenzátor jelenti a 0 bitértéket. A kvantuminformatikában az alapegység a kvantumbit (angolul qubit vagy qbit), amely egy kétállapotú kvantummechanikai rendszer. Ez reprezentálható például a fotonok számával (vákuum vagy egyfoton állapot), elektron spinekkel (felfelé vagy lefelé). Kommunikációban a foton polarizációját használjuk (vízszintes vagy függőleges polarizáció) [9].

Míg a klasszikus bit a bináris 0 és 1 értékekkel jellemezhető, addig a kvantumbitnek végtelen számú állapota lehet 0 és 1 szuperpozíciójában. Egy kvantumbit a következő módon definiálható:

$$|\varphi\rangle = a|0\rangle + b|1\rangle$$

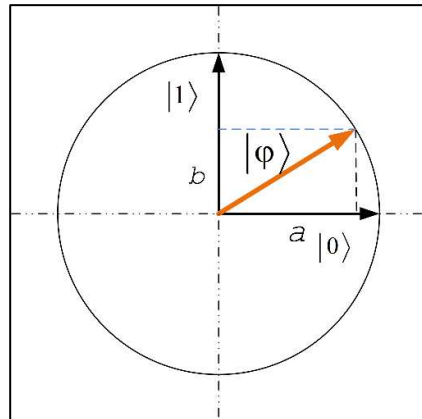
ahol a és b komplex számokat komplex valószínűségi amplitúdóknak nevezzük. $|a|^2$ és $|b|^2$ határozzák meg, mekkora valószínűséggel fogunk 0 illetve 1 értéket kapni a kvantumbitünk kiolvasása során (szakkifejezéssel akkor, ha mérést hajtunk végre a kvantumbitünkön). Az $|a|^2 + |b|^2$ egyenletnek teljesülnie kell a teljes valószínűség törvénye alapján (a kvantummechanika alapjául szolgáló ún. Hilbert-térben csak egység hosszú vektorok engedélyezettek) [10]. A kvantumbit egy illusztrációja az 1. ábrán látható.

2.2 Kvantum alapú űrkommunikáció

A kvantumbitek tere egy folytonos tér, a kvantumbiteken végzett műveletek pedig unitér transzformációk. Ezek a kvantumtranszformációk véges pontosságúak, és az ideális kvantumcsatorna megvalósításához a kvantumbitnek tökéletesen izoláltnak kellene lennie a környezetétől. Ez a gyakorlatban nehézkes, de lehetőség van a de-

koherenciából (környezettel való összefonódás) származó hibák javítására. Szabadtéri kvantumcsatorna esetében a legnagyobb problémákat a szabadtéri csatorna zaja és az optikai útból származó veszteségek jelentik [11].

Amikor földi környezet helyett űrbeli környezetről beszélünk, három különböző típusú kommunikációt különböztethetünk meg. Műhold-Föld (vagy Föld-műhold) közötti, műhold-műhold közötti, illetve két földi állomás között műholdon keresztül zajló kommunikáció. Mindezt a 2. ábrán illusztráltuk.

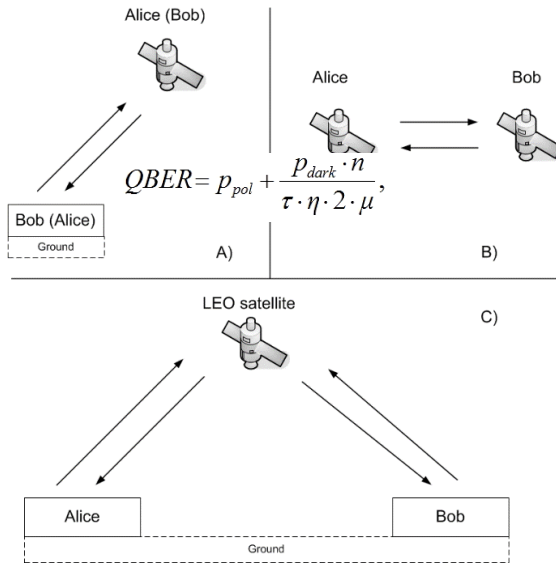


1. ábra: Egy kvantumbit vizuális reprezentációja. A narancssárga vektor jelöli az ismeretlen kvantumbitet, míg a vízszintes és függőleges vektorok az alapállapotokat reprezentálják.

2.3 Kvantum alapú kulcsszétosztás

Az 1984-ben Bennett és Brassard által publikált BB84 protokoll volt az első kvantumkriptográfiai protokoll [12]. Az eljárás során olyan véletlenszerű bitszekvenciákat hoz létre, amely csak a küldő és a fogadó fél számára ismeretek, és mindezt biztonságos és lehallgathatatlan módon teszi. Egészen pontosan, ha egy támadó megpróbál Alice és Bob közé férkőzve hozzáférni a kulcshoz, akkor arról a kommunikáló felek értesülnek. A BB84 protokollnak ez a tulajdonsága az úgynevezett másolhatatlansági elven (angolul No-Cloning Theorem) alapul. A BB84 protokoll továbbfejlesztett változata az 1992-ben megjelent B92 [13], de ezeken kívül még számos kvantum-kriptográfiai protokoll létezik, például az S09 [14] vagy a Gisin-protokoll [15].

Az első szabadtéri kvantum alapú kulcsszétosztást 1991-ben hajtották végre egy 30 cm-es optikai csatornán, amit több különböző kísérlet követett (például 205 méteren laboratóriumban illetve 75 méteren kültéri körülmények között). 1998-ban egy kutatócsoport 950 méteres szabadtéri optikai csatornán, éjszakai körülmények között hajtott végre sikeres kísérletet. Négy évvel később demonstrálták, hogy a szabadtéri kvantum kulcsszétosztás 10 km-es távolságon is megvalósítható, 2006-ban pedig egy nemzetközi kutatócsoportnak sikerült elérnie a 144 km-es távolságot [16].



2. ábra: Űrkommunikációban alkalmazható kvantumcsatorna általános esetei. A nemzetközi szakirodalom alapján a két kommunikáló felet Alice-nek és Bobnak nevezzük.

2.4 Kvantumkulcs szétosztás műholdak segítségével

Űrkommunikáció esetében számos fizikai paraméter befolyásolja a kommunikációs csatorna működését. Föld–műhold kommunikációban megkülönböztethetjük a felfelé irányuló csatornát a lefelé irányuló csatornától. A levegő jellegéből adódó fényszóródás és nyálabszélesedés miatt, lefelé irányuló csatorna esetében a szóródás és nyálabszélesedés az optikai útnak csak az utolsó szakaszában fordul elő, ami alacsonyabb veszteséget jelent, míg a felfelé irányuló csatorna esetében ez az optikai út első szakaszában fordul elő, ami a fotonok szögeltérődéséből magasabb térbeli elmozdulást tesz lehetővé az optikai csatornában, ami nagyobb veszteséget eredményezhet. Pont ezért előnyben vannak azok a megoldások, amelyek a lefelé irányuló csatornát használják. A lefelé (műhold–Föld) irányuló csatornáknak van egy másik praktikus oldaluk is: csak a földi állomást kell nagy tükrökkel és detektorokkal felszerelni, amelyekhez könnyen lehet külön hűtést biztosítani a sötét zaj csökkentéséhez. Ez egyértelműen egyszerűbb, mint műholdakra helyezni nagy és nehéz eszközöket.

Műhold–műhold kommunikáció esetében nincsenek légköri hatások, ebből adódóan a lézernyaláb terjedésének számítása is egyszerűbb a Föld–műhold változatnál.

A csatorna áteresztőképességét a transzmittanciával jellemezhetjük. Ha azonban az átvitel sikerességét szeretnénk mérni, akkor a kommunikáció bithiba-arányát határozzuk meg, egészen pontosan a

kvantum bithiba-arányt (angol szakkifejezéssel Quantum Bit Error Rate, QBER). A QBER meghatározásához számos paramétert kell ismernünk. A BB84 protokoll esetében a QBER képlete az alábbi módon írható le [17]:

$$QBER = p_{pol} + p_{op} + \frac{p_{dark} \cdot n}{\tau_{AB} \cdot \tau_{BA} \cdot \eta \cdot \mu},$$

ahol p_{pol} annak a valószínűsége, hogy a foton rossz detektorba érkezik p_{dark} a detektor által érzékelt hibás beütéseknek a valószínűsége, n a detektorok száma τ a csatorna transzmittanciája, η az átlagos fotonszám, μ a detektor kvantumhatásfoka.

BB84 esetében nem tudjuk garantálni a protokoll biztonságát, ha a QBER 11% fölötti. Ebből kiindulva meghatározhatjuk a BB84 protokoll használatával elérhető maximális csatornahosszúságot [18].

A B92 protokoll esetében a QBER számítása a következő:

$$R_{TOTAL} = \frac{R_{RAW}}{4} = \frac{1}{4} \cdot f_{pulse} \cdot \tau \cdot \eta \cdot \mu,$$

$$QBER = \frac{R_{TOTAL} \cdot p_{pol} + \frac{1}{4} \cdot f_{pulse} \cdot p_{dark} \cdot n}{R_{TOTAL}},$$

ahol f_{pulse} a lézer elsütésének frekvenciája.

Az S09 protokoll esetében a QBER-t az alábbi módon számoljuk:

ahol
 p_{op} Bob kvantumműveleteinek hatásfoka,
 p_{dark} a detektor által érzékelt hibás beütéseknek a valószínűsége,
 τ_{AB} az Alice–Bob csatorna transzmittanciája,
 τ_{BA} a Bob–Alice csatorna transzmittanciája.

A Gisin-protokoll esetében a QBER a következő:

$$QBER = \frac{R_{WRONG}}{R_{TOTAL}},$$

$$c = \tau \cdot \eta^2,$$

$$R_{TOTAL} = \frac{1}{2} \cdot f_{pulse} \cdot c \cdot (1 - p_{noise})^{n-1} + \frac{1}{2} \cdot f_{pulse} \cdot (1 - c) \cdot n \cdot p_{noise} \cdot (1 - p_{noise})^{n-1}$$

$$R_{WRONG} = \frac{1}{2} \cdot f_{pulse} \cdot c \cdot p_{depol} \cdot (1 - p_{noise})^{n-1} + \frac{1}{2} \cdot f_{pulse} \cdot (1 - c) \cdot (n - 1) \cdot p_{noise} \cdot (1 - p_{noise})^{n-1}$$

ahol

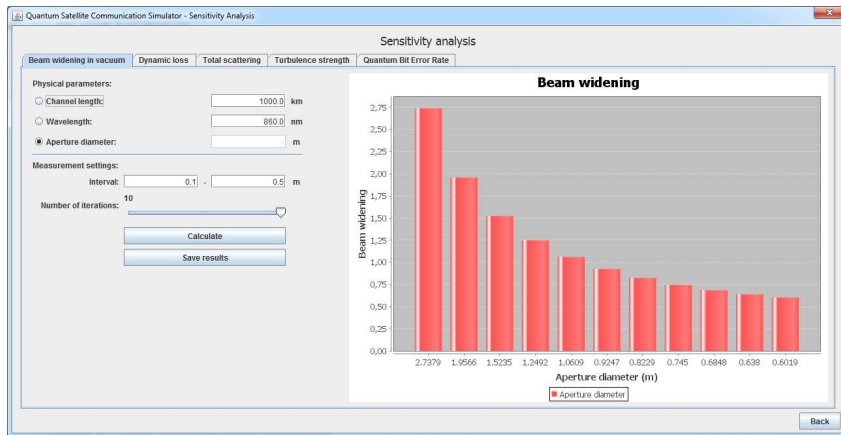
p_{depol} annak a valószínűsége, hogy a foton rossz detektorba érkezik

p_{noise} a detektor által érzékelt hibás beütéseknek a valószínűsége.

3. Műholdas szimulátorunk

Az eddigiekben láthattuk, hogy a kvantum alapú műholdas kommunikáció modellezése egy meglehetősen sokrétű és sokváltozós probléma. Azért, hogy a különböző elemzéseket minél könnyebben tudjuk elvégezni, 2011-ben egy szimulátor fejlesztésébe kezdtünk, amely támogatja a kapcsolódó hazai és nemzetközi kutatásokat. A Quantum Satellite Communication Simulator nevet viselő alkalmazásunk legfrissebb verzióját 2014 szeptemberében jelentettük meg, jelen pillanatban is ingyenesen hozzáférhető az alábbi címen: <http://mcl.hu/quantum/simulator/>.

Ebben a verzióban újdonság a *Csatorna analízis* szcenárió, amelynek segítségével különböző protokollokat vizsgálhatunk úgy, hogy egy földi állomás és egy adott műholdpályán keringő műhold közötti csatornán végezzük a szimulációt.



3. ábra: A program felülete – érzékenyvizsgálat

Az alkalmazás további öt üzemmódban működik: számítás konstans paraméterekkel, számítás változó paraméterekkel, érzékenységvizsgálat, optimalizálás és idővezérelt kommunikáció.

A *Számítás konstans paraméterekkel* scenárióban Föld-műhold, műhold-műhold és műhold-Föld csatornákra hajthatunk végre számításokat. Mindhárom csatornatípus esetében a program a különböző fizikai számítások eredményeként meghatározza az adott protokoll QBER értékét.

Quantum Satellite Communication Simulator - Optimization

Optimization

Parameters:

Aperture diameter: 0.2 m

Wavelength: 860.0 nm

Targeting angular error: 0.5 μrad

Mirror diameter: 2.0 m

Wind speed: 21.0 m/s

Lower limit of height above sea level: 5000.0 km

Upper limit of height above sea level: 10000.0 km

Height difference: 1000.0 km

Frequency of laser firing: 1000000.0 Hz

Efficiency of quantum operations by Bob: 0.2

Probability of polarization measurement error: 1.0E-4

Quantum efficiency of the detector: 0.7

Mean photon number of the signal: 0.1

Number of detectors: 4

Total noise: 2.0E-7

QBER of satellite: 0.5

Protocol: B92

Limit of safe data sending: 0.2

Climate: Alice Midlatitude, Bob Midlatitude, Carol Midlatitude

Season: Summer

Weather: Clear

Alice's and Bob's positions:

Alice: N 40° 00' 00", E 0° 00' 00"

Bob: N 40° 00' 00", E 10° 00' 00"

Carot: N 50° 00' 00", E 5° 00' 00"

Results:

Total QBER	QBER (Earth-space)	QBER (Space-space (1))	QBER (Space-space (2))	QBER (Space-Earth)
0.518844	0.036009	-	-	0.001742
0.527055	0.051808	-	-	0.002428
0.536744	0.070479	-	-	0.003237
0.547904	0.092022	-	-	0.00417
0.560528	0.116439	-	-	0.005225
0.574806	0.143728	-	-	0.006404
0.518868	0.03609	-	-	0.001718
0.527083	0.051889	-	-	0.002402
0.536776	0.07057	-	-	0.003208
0.547941	0.092125	-	-	0.004138
0.56057	0.116553	-	-	0.005181

Lowest total QBER:

Total QBER: 0.518844

QBER (Earth-space): 0.036009

QBER (Space-space (1)): ---

QBER (Space-space (2)): ---

QBER (Space-Earth): 0.001742

Number of satellites: 1

Safe data sending: No

Calculate

Back

4. ábra: Az Optimalizáció scenárió beállítási felülete

A *Számítás változó paraméterekkel* scenárióban a program által kezelt négy kvantumprotokoll használatával hajthatunk végre szimulációkat. Minden protokoll minden bemeneti változójára beállíthatunk különböző értelmezési tartományokat. A szimuláció futása alatt a program minden változó értékét változtatja, így meghatározza az adott protokoll minden lehetséges QBER értékét.

Az *Érzékenységvizsgálat* az előzőtől eltérően még összetettebb fizikai számításokat is tud kezelni. A futás alatt egyszerre csak egy bemeneti paraméter értékét változtatja, kiszámítja az adott képlet eredményét, amelyet diagram formájában meg is jelenít a felhasználói felületen.

Az *Optimalizálás* scenárió földi állomások közötti, műholdakon alapuló kulcsszétosztáshoz keresi az ideális műholdpozíciókat. Az

optimalizáló algoritmus figyelembe veszi, hogy minél kevesebb műholdat szeretnénk felhasználni, úgy, hogy a teljes hálózatra alkalmazott protokoll QBER értéke is a lehető legalacsonyabb legyen. Számítási korlátok miatt a szcenárió legfeljebb három földi állomásból és legfeljebb három műholdból felépülő hálózatra alkalmazható.



5. ábra: Szimulációs eredmények mentése és tárolása.

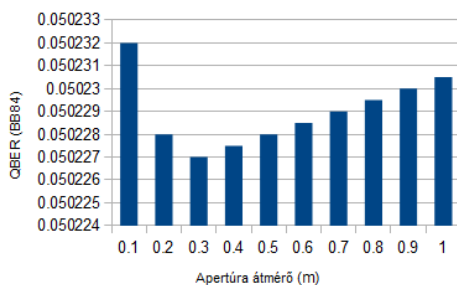
Az *Idővezérelt kommunikáció* szcenárió földi állomások és előre definiált műholdpályák használatával hajt végre egy valós életszerű szimulációt. A földi állomásokban véletlenszerűen adatküldési igények generálódnak, és ha lehetséges a küldés a fogadó földi állomás felé (van szabad rálátás), akkor megtörténik a továbbítás. Minden végrehajtott adatküldésre a program kiszámítja a QBER értéket és a várakozási időt. Ezekből az adatokból egy statisztikai áttekintés látható a program felületén.



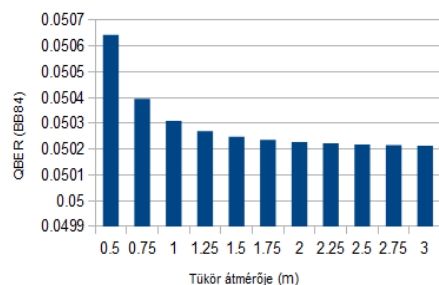
6. ábra: Külső osztálykönyvtárak és források használata

Az alkalmazás eredménykezelésének módja az 5. ábrán látható. Minden scenárió esetében megjelennek a szimulációs eredmények a felhasználói felületen, az eredmény pedig elmenthető TXT, CSV és HTML formátumokban.

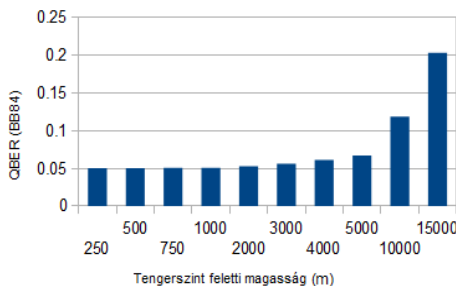
Néhány esetben a program külső forrásokat és osztálykönyvtárakat használ, a 6. ábrán szemléltetett módon. Minden scenárióban, amelyekben Föld-műhold vagy műhold-Föld csatornákra történik transzmittancia számítás, a program figyelembe veszi a Föld légkörének különböző rétegeire értelmezett abszorpciós és szórási értékeket. A felhasználói felületen a diagramok a JFreeChart osztálykönyvtár segítségével jelennek meg. A Föld forgását és a műholdpályák animációját Java OpenGL (JOGL) osztálykönyvtár segítségével jeleníti meg a program.



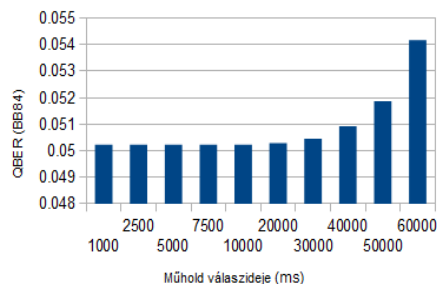
7. ábra: Különböző apertúra átmérőkre értelmezett QBER értékek



8. ábra: Különböző tükörátmérőkre értelmezett QBER értékek



9. ábra: Különböző tengerszint feletti magasságokra kiszámított QBER értékek.



10. ábra: BB84 protokollra értelmezett QBER értékek különböző műhold válaszidők eseteiben

4. Eredmények

A 7. ábrán különböző apertúra átmérők függvényében ábrázoltuk a QBER értékeket. Eredményeink alapján a legalacsonyabb QBER érték 0,3 méteres apertúra átmérővel érhető el. A 8. ábrán láthatók a BB84 protokoll QBER értékei, különböző tükrátmérők függvényében. A 9. ábrán láthatók a különböző tengerszint feletti magasságokra kiszámított QBER értékek. A nagyobb műholdpálya magasság nagyobb távolságot jelent a küldő és a fogadó között, és a nagyobb távolság esetében nagyobb QBER értéket kapunk. A 10. ábrán láthatók a különböző műhold válaszidőkre számított QBER értékek. Ebben az esetben a válaszidő akkor kezdődik, amikor az üzenet megérkezik a műholdra és akkor ér véget, amikor a műhold továbbküldi a fogadó felé. A hosszabb válaszidő nagyobb csatornahosszt és nagyobb zenitszöget eredményez, elsődlegesen ezek okozzák a megnövekedett QBER értékeket.

5. Összefoglalás

Egy olyan szimulációs eszközt fejlesztettünk, amely alkalmas a kvantum alapú műholdas kommunikációs hálózat modellezésére. A hálózat különböző pályán keringő műholdak segítségével különböző földi állomások közötti kvantum-kulcsszétosztást tesz lehetővé, miközben a minimális átviteli hibára törekszik. Szimulátorunk segítségével elkezdtük elemezni a kvantum alapú műholdas hálózat teljesítményjellemzőit. A fentiekben ismertetett eredményeinket 2014 őszén a Nemzetközi Világűrkonferencián is bemutattuk [19].

Bacsárdi László kutatása a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 Nemzeti Kiválóság Program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Irodalomjegyzék:

- [1] Bacsardi L. (2013): Efficient Quantum Based Space Communications, LAP Lambert Academic Publishing
- [2] Imre S. (2014): Quantum Computing and Communications – Introduction and Challenges. Computers & Electrical Engineering, 40(1), 134
- [3] Galambos M., Kiss A., Bacsárdi L. (2012): Kvantum alapú kommunikáció műholdas csatornában, Űrtan évkönyv 2010-2011, 58
- [4] Galambos M., Bacsardi L., Kiss A., Imre S. (2011): Analyzing Quantum Based Protocols in LEO and GEO Satellite Communication, In: Proc. 62th International Astronautical Congress, Cape Town, South Africa
- [5] Bacsardi L., Imre S. (2012): Supporting Space Communications

with Quantum Communications Links, Global Space Exploration Conference, Washington D.C., USA

[6] Bacsardi L., Galambos M., Imre S., Kiss A. (2012): Quantum Key Distribution over Space-Space Laser Communication Links, In: Proc. AIAA SPACE 2012 Conference & Exposition, Pasadena, USA

[7] Galambos M., Bacsardi L., Imre S. (2013): Comparison of BB84 and S09 Quantum Key Distribution Protocols in Space-Space Links, In: Proc. 31st AIAA International Communications Satellite Systems Conference, Florence, Italy

[8] Kiss A., Bacsardi L. (2014): Analyzing a Satellite-based Quantum Key Distribution Network, In: Proc. Global Space Application Conference, Paris, France

[9] Hanzo L., Haas H., Imre S., O'Brien D., Rupp M., Gyongyosi L. (2012): Wireless Myths, Realities, and Futures: From 3G/4G to Optical and Quantum Wireless, Proceedings of the IEEE, 100, 1853

[10] Imre S., Ferenc B. (2005): Quantum Computing and Communications: An Engineering Approach, Wiley, New York

[11] Bacsardi L. (2007): Satellite Communication Over Quantum Channel. Acta Astronautica, 61(1-6), 151

[12] Bennett C.H., Brassard G. (1984): Quantum cryptography: Public key distribution and coin tossing, In: Proc. IEEE International Conference on Computers, Systems and Signal Processing. Bangalore, India

[13] Bennett C.H. (1992): Quantum Cryptography Using Any Two Nonorthogonal States, Physical Review Letters, 68, 3121

[14] Serna E.H. (2009): Quantum Key Distribution Protocol with Private-Public Key, [online] arXiv:0908.2146v3

[15] Branciard C., Gisin N., Kraus B., Scarani V. (2005): Security of two quantum cryptography protocols using the same four qubit states. Physical Review A, 72, 032301

[16] Bacsardi L. (2013): On the Way to Quantum-Based Satellite Communication, IEEE Communications Magazine, 51(8), 50

[17] Galambos M., Bacsardi L., Imre S. (2010): Modeling and Analyzing the Quantum Based Earth-Satellite and Satellite-Satellite Communications, In: Proc. 61th International Astronautical Congress, Prague, Czech Republic

[18] Gisin N., Ribordy G., Tittel W., Zbinden H. (2001): Quantum cryptography. [online] arXiv:0101.098v2

[19] Bacsardi L., Kiss A. (2014): Overview of a Space Based Quantum Key Distribution Network, In: Proc. 65th International Astronautical Congress, Toronto, Canada

Újdonságok a kis tömegű exobolygók kutatása terén

Futó Péter

Nyugat-magyarországi Egyetem,
Földrajz és Környezettudományi Intézet, Szombathely

Két évtized telt el az első, fősorozati csillag körül keringő exobolygó, az 51 Pegasi b felfedezése óta. Akkoriban az exoplanéták csillagukra gyakorolt fizikai hatásának megfigyelésére szolgáló műszerek érzékenysége még alkalmatlan volt a Földével összevethető méretű objektumok kimutatására. Napjaink technológiájával már lehetőség nyílik olyan viszonylag kisméretű planéták kimutatására is, mint bolygósomszédunk, a Mars. Erre a célra a legalkalmasabb módszer a csillagok előtti bolygóátvonulások (tranzitok) megfigyelése, amiből nemcsak a csillag/bolygó átmérőarányra következtethetünk, hanem a bolygópálya adott paramétereire is. Az ily módon felfedezett bolygók létének megerősítése a tömegük meghatározására irányuló módszerek alkalmazásával egészül ki.

A Kepler-űrtávcső küldetése mérőföldkőnek számít Galaxisunk részletesebb megismerése terén, s az exobolygó-kutatás minőségileg új korszakát nyitotta meg. Mérési eredményei alapján tömegével fedeznek fel Föld-típusú bolygókat is a Tejútrendszernek a Naphoz hasonló és a nála kisebb tömegű csillagai körül. A Kepler-misszió egyik vitathatatlan érdeme annak bebizonyítása, hogy az exobolygók világában jóval gyakoribbak a szuper-Föld kategóriájú és a még kisebb objektumok, mint a Jupiter-szerű óriásbolygók.

A változatosság erejével

A kis tömegű exobolygók kutatása nemcsak a Föld-szerű planéták keresése miatt izgalmas tudományterület, hanem azért is, mert a hozzávetőlegesen 10 földtömegnél kisebb tömegű bolygók adott szempontok alapján történő kategorizálása széles skálán mozoghat a különféle típusokba és altípusokba való besorolás terén. Általában összetételük és a csillagtól való távolságuk következtében kialakult fizikai tulajdonságaik figyelembevételével történik az osztályozás.

Az exobolygók érdekes populációját alkotják az anyacsillagtól 0–0,25 csillagászati egység (CSE) távolságtartományban, kis excentricitású pályákon keringő forró szuper-Földek és kisebb tömegű forró Föld-típusú bolygók. Valószínűleg speciális típusokat képviselnek a Kepler-70b és c katalógusjelű exobolygók, amelyek 0,759 (b) és 0,867 (c) földsugarúak, tömegük pedig a Földének 44 (b) illetve 66%-a (c). Egy lehetséges forgatókönyv szerint ezek eredetileg gázbolygók voltak, gázburkuk azonban elpárolgott, amikor anyacsilla-

guk kiterjedt légkörében keringtek a vörös óriás fázis idején. A folyamat végére a lecsupaszított közetmagok maradtak meg (Khthonoszi bolygók), teresztrikus típusú objektumokként [1].

A bolygókeletkezés folyamatát leíró elméletek szerint minden bizonnyal nagy számban léteznek olyan planéták, melyek tömegének jelentős részét egy, a fémes mag és szilikátos köpeny felett húzódó, vízből álló gömbhéj alkotja (ice-, icy planets). Valószínű, hogy az ilyen jellegű bolygók felfedezésére a vörös törpecsillagok környezetében lehet majd leginkább számítani. A csillaguk közelségébe vándorolt, ezen típusba tartozó planéták külső rétegét magasabb effektív hőmérsékletük miatt sűrű vízgőzlégkör alkothatja. A lakhatósági zónában keringő bolygókon megfelelő felszíni atmoszférikus feltételek teljesülése esetén pedig mély, összefüggő vízóceán boríthatja a teljes felületet.

Bolygók fémből és bolygók szénből

Az eddig felfedezett kis tömegű exobolygók között szép számban akadnak olyanok, amelyek átlagsűrűsége arra utal, hogy az össztömegükhöz képest viszonylag nagy tömegű fémes magjuk van. Az ilyen jellegű planéták kialakulásának magyarázatára több hipotézis is napvilágot látott. Ezek közül is csupán csak egy lehetséges forgatókönyv a fentiekben felvázolt folyamat a Kepler-70b és c esetében.

Adott esetekben megtörténhet az is, hogy egy bolygónak egy másikkal történő gigantikus ütközése során a köpenyanyag jelentős része (vagy egésze) leszakad (mantle-stripping event) az egyik planétáról (miközben a két objektum fémes magja egybeolvad, vagy az egyikük megsemmisül). A folyamat eredményeként pedig egy nagy részben (vagy teljes egészében) fémötvözetből álló bolygó jön létre. Hasonló folyamat játszódhatott le a Hold keletkezésében döntő szerepet játszó találkozás alkalmával is, amikor egy Mars méretű bolygóembrió (Theia) a fiatal Földnek ütközött. A katasztrofális ütközés során a Theia megsemmisült, fémes magja pedig vélhetően egybeolvadt bolygónkéval. A két égitest köpenyanyagából származó törmelék Föld körüli pályán keringő részének későbbi akkréciója által jött létre a Hold.

Ha a protoplanetáris korong anyagában a C/O arány magasabb mint 1, akkor a szén alapú ásványok (SiC, TiC) fognak dominálni a keletkező bolygók köpenyét felépítő ásványok között. Ha a C/O arány kisebb 0,8-nél, akkor a szilícium szilikátásványokban van jelen. Abban az esetben pedig, ha a bolygókeletkezés alapjául szolgáló koronganyagban a C/O arány 0,8–1 közötti, karbidok és szilikátok egyaránt magas arányban részt vesznek a kialakuló kis tömegű bolygók alsó köpenyének felépítésében (szén-szilikát bolygók). A

Föld-típusú bolygók köpenyében és alsó kérgében megtalálható szilikátásványaiban –szénben gazdag ásványi környezetben megfelelő hőmérsékleten és nyomáson – az oxigént helyettesítheti a szén. Az ily módon létrejövő ásványok az úgynevezett oxikarbidok (a következő képlettel írhatók fel: $\text{SiO}_x\text{C}_{4-x}$) [2]. A szén-szilikát bolygók köpenyének komplex szilikátásványaiban is létrejöhetett az oxigén szénnel történő szubsztitúciója, aminek eredményeként az oxikarbidok alkotó ásványként szerepelhetnek ezen típusú bolygók köpenyében és alsó kérgében. Magjuk néhány tömegszázaléknyi szenet tartalmazhat, ami főként vaskarbidok formájában van jelen. Légkörük felszínhez közeli rétegeiben pedig a metán dominánsabb összetevő, mint a vízgőz. Az ilyen égitestek tulajdonképpen Föld-típusú (teresztrikus) bolygók széngazdag összetétellel. Sugaruk kisebb átlagsűrűségük következtében – ugyanolyan tömeg és szerkezet esetén – néhány százalékkal nagyobb, mint egy tipikus kőzetbolygóé [3].

John Moriarty (Yale University, USA) és munkatársai modellje [4] szerint a szénben gazdag exobolygók jóval gyakoribbak lehetnek, mint azt korábban gondoltuk. Eredményeik alapján szénbolygók a 0,8-nél nagyobb C/O arány esetén nemcsak a csillag közelében alakulhatnak ki, hanem attól nagyobb távolságban is. Ráadásul a modell rávilágít arra is, hogy a protoplanetáris korongokban 0,65-nél kisebb C/O arány esetén is keletkezhetnek szénben gazdag planéták a csillag közelségében.

Föld-szerű világok felderítése

Az eddigi eredmények azt mutatják, hogy jó úton haladunk a Földhöz hasonló bolygók felderítése felé. A műszerek érzékenysége már jelenleg is lehetővé teszi a kisméretű, csillaguk lakhatósági zónájában keringő bolygók megtalálását. A jövőben tervezett korszerű űreszközök (például a Webb-űrtávcső) pedig már alkalmasak lesznek e világok légköri összetételének vizsgálatára is. Ettől azt reméljük, hogy majd sikerül kimutatni biomarker gázok jelenlétét kedvező paraméterekkel rendelkező planéták atmoszférájában. A Föld-szerű bolygók felderítése meglehetősen nehéz feladat, a kisméretű bolygók légköri analízise azonban egy határozottan nagy előrelépést fog jelenteni a cél irányába.

A legújabb kutatások rávilágítanak arra, hogy a komplex életformák keresését egy még szűkebb tömegtartományban érdemes végezni, mint ahogyan azt eddig gondoltuk. Helmut Lammer és kollégái eredményei szerint [5] a 0,5–1,5 földtömeg közötti kőzetmagok sokkal kisebb mennyiségű gázt (H_2 , H, He) tudnak csupán megtartani, aminek következtében az élet számára alkalmasabb légkörük lesz. A több mint 1,5 földtömegű kőzetmagok – nagyobb gravitációs hatásuk révén – sokkal több gázt vonzanak magukhoz, aminek

eredményeként mini-Neptunuszokká fejlődnek, sokkal vastagabb, sűrűbb, az élet számára valószínűleg kedvezőtlen atmoszférával.

A Kepler-űrtávcsővel végzett megfigyelések eredményei szerint az 1,5–5 földtömeg ($M_{\text{Föld}}$) közötti tömegkategóriába sorolható, vastag légkörrel rendelkező planéták nagyon gyakoriak lehetnek a Tejútrendszerben. Ugyanakkor az 1,5–5 $M_{\text{Föld}}$ tömegtartományba tartozó égitestek között a sűrű, vastag atmoszféra nélküli kőzetbolygók sem számítanak ritkaságnak, azonban úgy tűnik, ezek a csillagok közelségében jellemzőek a leginkább.

A 0 és 1 közötti számmal kifejezhető Föld-hasonlósági index (Earth Similarity Index, ESI) azt mutatja meg, hogy – meghatározott paramétereket figyelembe véve – egy adott exobolygó mennyire hasonlít a Földhöz. Az index meghatározásánál figyelembe veszik egy exobolygó alapvető fizikai paramétereit – átmérő, tömeg, átlagsűrűség – csakúgy, mint például a becsült felszíni hőmérsékletet vagy a légköri összetételt. Minél jobban közelít az ESI értéke az 1-hez, annál inkább hasonló a mi bolygónkhoz a vizsgált planéta. Viszonylag magas ESI értéknek számít a Kepler-62e (0,83) vagy a Gliese 667 C c jelű (0,84) exoplanéták indexe. 0,8 feletti Föld-hasonlósági index esetén a kutatók feltételezik az élet kialakulásához szükséges leg-alapvetőbb sajátosságokat: Föld-típusú összetétel, megfelelő sűrűségű légkör és hőmérséklet.



A Kepler-186f az első Föld-méretű exobolygó, amely csillaga lakhatósági zónájában kering. (Fantáziakép: NASA Ames / SETI Institute / JPL-Caltech)

A NASA a Kepler-űrtávcső adatai alapján olyan planéta felfedezését adta közre, amely méretét tekintve hasonlít a Földre, átmérője csupán 11 %-kal nagyobb a saját bolygónkénál. A Kepler-186f az elsőként megtalált olyan földméretű exobolygó, amely csillaga lakha-

tósági zónájában kering. Egy M színeképtípusú vörös törpecsillag, a Kepler-186 több ismert bolygót is tartalmazó rendszerében található, mintegy 493 fényévnyi távolságra, a Hattyú csillagképben [6]. Tömege még nem ismert, a Földéhez hasonló méretét tekintve azonban valószínű, hogy inkább kőzetbolygóról van szó, mintsem vastag gázburokkal rendelkező bolygóról. ESI indexe csupán 0,64, ami a valószínűsíthetően hűvös klímájának köszönhető.

Szuper-Földek Napunk galaktikus szomszédságában

Két bolygót is felfedeztek az egyik Napunkhoz legközelebbi csillag, a 12,76 fényévre levő Kapteyn-csillag (GJ 191, HD 33793) körül. A kutatók szerint a 0,281 naptömegű és 0,291 napátmérőjű, M1.0 színeképtípusú szubtörpe – a hozzánk legközelebb eső halo-csillag – egy törpegalaxisban keletkezett, amelyet később a Tejútrendszer bekebelezett [7] [8]. A 11,5 milliárd éves vörös törpe erősen elnyúlt pályán kering galaxisunk középpontja körül. A kutatók az egykori törpegalaxis magjának maradványaként pedig az ω Centauri gömbhalmazt azonosítják.

Az b jelű planéta keringési ideje 48,616 nap, átlagos keringési távolsága 0,168 CSE. Tömege mintegy 4,8-szerese a Földének. A c jelzéssel ellátott bolygó a sajátunkénál mintegy 7-szer nagyobb tömegű szuper-Föld, 0,311 CSE távolságra kering központi csillagától, keringési ideje 121,54 nap.

Ausztrál csillagászok a Daru csillagkép irányában megfigyelhető, mindössze 16 fényévre található Gliese-832 katalógusjelű vörös törpe [9] környezetében egy szuper-Föld jellegű bolygó felfedezését jelentették be. Ez központi csillagát 35,68 nap alatt járja körül, mintegy 0,162 CSE távolságban, kis excentricitású pályán, a lakhatósági zóna belső szélé közelében. A csillaghoz való közelség miatt fennáll a kötött keringés lehetősége. A radiálissebesség-mérés eredményei alapján tömege a Föld-tömeg 5,4-szeresének bizonyult. A rendszerben egy, a Jupiternél kisebb tömegű ($0,69 M_{\text{Jupiter}}$) gázbolygó (b) is kering, 3,6 CSE távolságban.

Bolygórendszerbeli helyzete és viszonylag nagy tömege alapján a Gliese-832c a kutatók szerint „szuper-Vénuszként” kategorizálható, s valószínűleg vastag légkörrel rendelkezik, amely a meglehetősen nagy csillagközelséggel együttesen a bolygó felszínén a Vénusznál is erőteljesebb üvegházhatást idéz elő. Felszíni vizsgálatok hiányában a planétán uralkodó fizikai viszonyok leírása nem lehetséges, az ismert adatok figyelembevételével azonban hozzávetőleges becslésként annyi elmondható, hogy egy ilyen jellegű bolygó felszínén a hőmérséklet akár az 1000 K-t is elérheti.

Bolygókereső űrtávcsövek

A jövőben ismét intenzíven folytatódik majd a precíz technikai apparátussal történő exobolygó-keresés, különböző űrtávcsöves megfigyelési programok keretében.

A Kepler-űrtávcső további hasznosítására (K2) vonatkozóan több érdekes javaslat látott napvilágot [10] [11]. A tervezeteket a megvalósíthatóság és egyéb szempontok figyelembevételével erősen szelektálták, s csak azok kerültek elfogadásra, amelyek kitűnően beleilleszkedtek a K2 program kínálta lehetőségekbe.

Az exobolygós keresőprogramok közül kétségtávol az egyik legérdekesebbet dolgozták ki M. Kilic és kollégái az Oklahomai Egyetemről [12]. A javaslat szerint a fehér törpék körül keringő exobolygókat fősorozati csillagok körüli társaiknál könnyebben lehetne felfedezni a tranzit módszer alkalmazásával. A fehér törpe és bolygójának átmérőaránya ugyanis jóval kisebb lehet, mint a fősorozati csillagok és a körülöttük keringő planéták esetében.

A már ismert exobolygók központi csillagainak fényességét ultraprecíz fotometriával mérő CHEOPS (CHAracterizing ExOplanet Satellite) működtetése a 2018–2021 közötti időszakra tervezett üzemidőre korlátozódik. A CHEOPS esetében magyar szakemberek részéről az exoholdak detektálására kidolgozott módszer alkalmazása jelenti majd a fő kutatási témát.

A TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) várhatóan a 2017-es évtől a Föld körül fog keringeni magas pályán (HEO, High-Earth Orbit), és keringési ideje 2:1 arányú rezonanciában áll majd a Holdéval. Ez a pálya elég stabil környezetet biztosít az exobolygó-megfigyelések számára. Ennek eredményeképpen a műszer érzékenysége a legfényesebb csillagok esetében elérheti majd a 60 milliomodrész (ppm).

Összegzés

A viszonylag kis tömegű exobolygók típusainak és altípusainak tárháza meglehetősen gazdag. A Neptunuszhoz hasonló méretű planétáktól a mini-Neptunuszokon át az esetleg jelentős jégtömegfrakciót is tartalmazó kisebb tömegű kőzetbolygóig sokféle változat fordul elő Galaxisunkban.

Még megválaszolatlan kérdés, hogy mennyire gyakoriak az exoholdak az óriásbolygók, s főként a kőzetbolygók körül. A tranzitkereső űrtávcsövek következő generációjának mérésein alapuló vizsgálatok talán a problémakör megoldását jelenthetik majd a közeljövőben.

A Tejútrendszer dinamikai viszonyait, kémiai összetételét és az egyes objektumtípusok várható gyakoriságát figyelembe véve az élet utáni kutatás szempontjából azok a kis tömegű bolygókat tartalma-

zó rendszerek lesznek a különösen érdekesek, amelyek a Napéhoz hasonló távolságban keringenek a galaktikus centrum körül. A Kepler-űrtávcső méréseit követő vizsgálatok során pedig kiderült, hogy a Földhöz hasonló méretű bolygók keletkezése gyakoribb más csillagok körül, mint azt korábban feltételeztük. A kisméretű exobolygók kimutatása tehát izgalmas kihívást jelent, s a fő cél természetesen egy igazi Föld-analóg planéta megtalálása.

Irodalomjegyzék:

- [1] P. Futó (2014): Structural modeling for the low-mass transiting exoplanets: Kepler-70b and Kepler-70c. Lunar and Planetary Science Conference XLV, □ 1045, Houston
- [2] Sen S. et al. (2013): Carbon substitution for oxygen in silicates in planetary interiors. Proceedings of the National Academy of Sciences, 110, 15904
- [3] P. Futó (2014): A new planet-class: carbon-silicate planets. Lunar and Planetary Science Conference XLV, □ 1046, Houston
- [4] <http://www.csillagaszat.hu/exobolygok/20140602-gyemantbolygok-sokkal-gyakoribbak.html>
- [5] Lammer H. et al. (2014): Origin and loss of nebula-captured hydrogen envelopes from 'sub'- to 'super-Earths' in the habitable zone of Sun-like stars. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 439, 3225
- [6] <http://www.csillagaszat.hu/exobolygok/20140419-kepler-186f.html>
- [7] <http://www.csillagaszat.hu/exobolygok/20140605-kapteyn-csillag.html>
- [8] Anglada-Escudé G. et al. (2014): Two planets around Kapteyn's star: a cold and a temperate super-Earth orbiting the nearest halo red-dwarf. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society Letters, 443, L89
- [9] <http://www.csillagaszat.hu/exobolygok/20140722-mi-teszi-alakhato-bolygot.html>
- [10] Dálya G., Hanyecz O., Szabó R. (2014): Új feladat vár a bolygó-vadászra. Természet Világa, 145, 161
- [11] Molnár L. (2014): Kepler: a kötéláncos űrtávcső. Fizikai Szemle, 64 (6), 182
- [12] Kilic M. et al. (2013): Habitable planets around white dwarfs: an alternate mission for the Kepler spacecraft. arXiv:1309.0009

A Magyar Asztronautikai Társaság 2014. évi tevékenysége

Beszámoló

Műegyetemi fiatalok az űrben

Az első magyar műhold, a Masat-1 felbocsátásának második évfordulóját a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) fiatal hallgatói és oktatói űrvonatkozású kutatásait bemutató előadásokkal ünnepelték. A rendezvény a Villamosmérnöki és Informatikai Karon (VIK) volt, február 13-án délután. A társszervező MANT az aulában bemutatta A világűr emberközelségben című vándorkiállítását. Emellett a műegyetemi kutatásokat részletező posztereket is kiállítottak – olyan témákról, amelyekre nem jutott elég idő a szűkre szabott előadási programban.



A rendezvényt megelőzően az épület bejárata előtt rádióamatőrök felbocsátottak egy héliumos ballonra helyezett jeladót, amely a Happy Birthday Masat-1 üzenetet sugározta. Bent Kovács Kálmán, a BME Egyesült Innovációs és Tudásközpont igazgatója és Bacsárdi László, a MANT főtitkára köszöntötte a megjelenteket.

Ezután az „ünnepelt” Masat-1-gyel kapcsolatban az elmúlt egy évben történeteket, illetve a program hatásait, a jövőre vonatkozó terveket mutatta be Horváth Gyula és Dudás Levente. Megtudhattuk, hogy a két évvel ezelőtt a Vega rakétával indult többi egyetemi pikoműhold (CubeSat) közül már egy sem üzemképes, a Masat-1 sikere így okkal keltett nemzetközi érdeklődést. Megismerkedhettünk a BME E épületében kialakított új elsődleges vezérlőállomással, amely immár lehetővé teszi azt is, hogy a műhold távvezérlése az interneten keresztül bárholnan megoldható. A Masat-1 – választható tárgyak, önálló laborok, diplomamunka-témák formájában – még jobban beépült az egyetemi oktatásba, szakmai publikációk,

kutatás-fejlesztési eredmények, ipari technológiák, új együttműködések, nyertes pályázatok is születtek. Már tervezik a következő, ugyancsak egy egységes (1U, 10 cm-es élhosszúságú kocka alakú) CubeSat, a reménybeli Masat-2 programját. Erre az elképzelések szerint összetettebb kamera, sugárdózismérő műszer is kerülne, és megoldanák háromtengelyes stabilizálását. Távlatibb terv a Masat-3, ami már egy nagyobb méretű magyar műhold lenne, 20-100 m-es felszíni felbontású űrfelvételek készítésére. Az ilyen távérzékelési adatokra azután már szolgáltatásokat, alkalmazásokat lehetne építeni.

A Masat-1 után következett a többi téma, amelyek kiválasztásával az volt a szervezők célja, hogy bemutassák a BME különböző karain folyó változatos, az űrkutatás változatos területeivel kapcsolatos munkát. Grósz Veronika és Lőrinczi Ottó Botond az Európai Űrügynökség (ESA) ballonos és rakétás diákprogramjaiban való részvételről szólt. Jelenleg már a negyedik ilyen kísérletük előkészületei folynak. Ezekre a lehetőséget az ESA REXUS/BEXUS programjának pályázatain, más európai egyetemi csoportokkal versenyben tudták elnyerni. Tuchband Tamás a műholdas helymeghatározást és széles körű alkalmazásait mutatta be, Kiss Annamária a GRACE műholdpáros gravimetriai adatainak felhasználásáról beszélt, például az antarktiszi jégtakaró változásainak követésében. Mindketten a BME Építőmérnöki Karán, az Általános és Felsőgeodéziai Tanszékén dolgoznak. A Gépészmérnöki Karról érkezett Varga Gábor István a Naprendszer kutatására küldött űreszközök számítógépes pályatervezésének fontosságáról tartott előadást. Utána rövid, egy-két perces poszterbemutatók következtek.

Az ünnepi esemény végén Péceli Gábor, a BME rektora, Vajta László, a VIK dékánja, és Cséfalvay Zoltán, a Nemzetgazdasági Minisztérium államtitkára Gschwindt Andrással együtt köszöntötte azokat a rádióamatőröket, akik a legtöbb segítséget nyújtották az elmúlt két évben a Masat-1 adatcsomagjainak vételében.

Legvégül Vajta László dékán ünnepélyesen meghirdetett egy új típusú pályázatot is. Ennek keretében kisműholdak fedélzetére kerülő, a Föld környezetét, vagy a Föld felszínét vizsgáló méréseket lehet javasolni. A kétfordulós pályázattal a 18 év alatti, illetve a 18 és 35 év közötti fiatalokat kívánják megszólítani. Az előadásokat a Galileo Webcast élőben közvetítette az interneten. Aki tehát minderről lemaradt, az anyagot megtalálhatja archívumukban.

(Frey Sándor, www.urvilag.hu)

Szakmai kirándulás a Kecskeméti Repülőkórházba

Budapestről induló, egész napos buszos kirándulást szerveztünk az érdeklődőknek 2014. február 22-én (szombaton) Kecskemétre, a Magyar Honvédség Repülőorvosi, Alkalmasságvizsgáló és Gyógyító Intézetébe. Az alábbiakban az egyik résztvevő élménybeszámolóját közöljük.

Elgondolkodtató előadások, kórházlátogatás, városnézés. Ez a program várt ránk február 22-én, amikor kis csoportunk a MANT által szervezett szakmai kirándulás keretében elutazott Kecskemétre. A bevezető előadások során megismerhettük a Repülőkórház 1950-es évekig visszanyúló múltját, illetve betekintést nyerhettünk a jelenleg is folyó munkálatokba, amelyek nemcsak repülőorvosi és katonai alkalmasságvizsgálati, hanem tudományos kutatási és oktatási tevékenységet is jelentenek. Az előadásokat kötetlen beszélgetés követte: Dr. Szabó Sándor András orvos alezredes, intézetvezető főorvos helyettes és Hornyik József alezredes főpszichológus megosztották saját tapasztalataikat és meglátásaikat, amelyek közelebb vittek minket ahhoz, hogy megértsük, mit is jelent igazából pilótának lenni. A záró előadás, amit nem kevés kérdés és eszmecsere követett, az űrutazások élettani hatásait, illetve az általuk felvetett kérdéseket és problémákat feszegette.

Az előadások után kórházlátogatás következett, melynek első állomása a Pszichológiai Osztály volt. Itt megtudtuk, hogy miért létfontosságú évente megismételni az alkalmassági vizsgálatokat, majd megismerhettünk néhány régi és új pszichológiai vizsgálati eszközt is. Mindennél nagyobb érdeklődéssel fogadtuk a Magassági, Élettani és Funkcionális Diagnosztikai Osztály barokamráját, ahol elmagyarázták, hogy mi történik az emberrel, ha hypoxiás állapotba kerül, és hogy hogyan is zajlik le egy barokamrás alkalmassági vizsgálat.

A kecskeméti programunkat az ebéd utáni városnéző sétával zártuk le. A bakonybéli szakmai kiránduláshoz hasonlóan ezen is sok új dolgot tanulhattam, láthattam és tapasztalhattam meg. Köszönöm a lehetőséget!

(Oravecz Éva)

Tudomány születik – könyvbemutató

Történelmi kötetet jelentetett meg a MANT, Tudomány születik címmel. Elek László beszélgetéseit tartalmazza a könyv tíz magyar űrkutatóval, akik annak idején hozzájárultak ennek a tudománynak a hazai születéséhez. A történelmi jelző azért is illik ide, mert hosszú időről van szó. Több mint fél évszázad telt el az első Sziputnyik indítása óta, ami – ha belegondolunk – lassan két emberöltő. És ebben az időszakban talán többet változott a világ, mint korábban évezredek alatt, aminek egyik motorja éppen az űrkutatás volt.

A bemutató helyszíne is kapcsolódik az űrtevékenységhez, hiszen Budapesten a Kossuth Klub hosszú évekig helyszíne volt a MTESZ Központi Asztronautikai Szakosztálya, majd utóda, a MANT DATA Szakosztálya üléseinek. Itt gyűltek tehát össze az érdeklődők 2014. március 13-án, és jelen voltak a kötetben szereplő beszélgetőpartnerek is, akik közül – érhető okokból – csak a Torontóban élő Ill Márton nem tudott eljönni.



Solymosi János, a MANT elnöke nyitotta meg a bemutatót, kiemelve, hogy a kötettel nem emléket állítanak, hanem megünnepelni szeretnék a hazai űrtevékenység kezdeteit és létrehozóit. Elek László, a könyv szerkesztője és a beszélgetések riportere elmesélte a kötet születésének történetét. Almár Iván kereste meg két évvel korábban azzal, hogy meg kellene örökíteni a hazai űrkutatás kezdeteiről azoknak az emlékeit, akik részt vettek benne és még köztünk vannak. (S hogy a kezdeményezés mennyire „időszerű” volt, azt az is mutatja, hogy Gál Gyulával már nem sikerült találkozni és beszélgetni, róla a függelékben emlékezik meg a kiadvány.)

Az elkészült interjúk írott változatát tartalmazza tehát a könyv, amit Elek László egy állomásnak és nem végterméknek tart. Az elképzelések szerint a könyv része lesz egy digitális archívumnak, amely magyar űrkutatás kezdeteiről további dokumentumokat, fényképeket tartalmaz majd. Az est folyamán érkezett is felajánlás Schuminszky Nándor részéről, aki egyedülálló gyűjteményéből ajánlott fel anyagokat.

Természetesen szót kaptak a kötet főszereplői is, akik válaszoltak a közönség kérdéseire és egy-egy érdekes történettel tették színesebbé a könyvbemutatót. A rendezvény formális részét Bacsárdi László,

a MANT főtítkára zárta le, de sokan éltek az alighanem egyszeri lehetőséggel és dedikáltatták a könyvet az alkotókkal.

A kötet kereskedelmi forgalomba nem kerül, de a MANT-tól beszerezhető. További információ a könyv honlapján (www.mant.hu/tudomanyaszuletik) olvasható, ahonnan különlegességeképpen a tíz kutatóval folytatott beszélgetés hanganyagának egy-egy rövid részlete is letölthető.

(Trupka Zoltán, www.urvilag.hu)

Úrturizmus – civilek a világűrben: diákpályázatunk eredménye

A MANT évente hirdeti meg ifjúsági pályázatát, melyre általános és középiskolás diákok jelentkezhetnek. A pályázat kiemelt célja az űrtevékenység népszerűsítése a fiatalok körében. A 2013/2014-as pályázat témája Úrturizmus – civilek a világűrben volt. A pályázók öt műfajban adhatták be műveiket: írhattak esszét, rajzolhattak, egy tervezési feladatot készíthettek el, a zsűri által meghatározott feladatok megoldásait adhatták be, vagy videót is készíthettek az adott témában. A 2013 októberében meghirdetett ifjúsági pályázat pályamunkáinak beadási határideje 2014. február 20. volt. A MANT öt kategóriában várta a pályamunkákat: a 11-14 éves, valamint a 15-18 éves korosztályból egyaránt jelentkezhetnek egyéni vagy csapat kategóriában a diákok, emellett most is meghirdettük a látássérült kategóriát. Az egyes műfajokhoz rendelt zsűrik több mint 100 pályamunkát bíráltak el.

Az április 11-én Szegeden, a Szent-Györgyi Albert Agórában tartott ünnepségen a díjakat a MANT részéről Bacsárdi László főtítkár adta át. A legjobb helyezést elért diákok oklevél mellett könyvjutalomban részesültek, illetve az idősebb korosztály helyezettjei a MANT nyári Úrtáborában való ingyenes, illetve kedvezményes részvételt nyerték. Emellett minden helyezett meghívást kapott egy űrtevékenységgel foglalkozó hazai intézménybe szervezett szakmai kirándulásra is, amire várhatóan 2014 őszén kerül majd sor. A megjelent diákok és kísérőik részt vehettek a MANT Élet a Földön kívül című ismeretterjesztő rendezvényének előadásain és megtekinthették A világűr emberközelben című vándorkiállítást Szegeden. (Az idei esztendő volt az első, hogy nem a fővárost választottuk a díjátadó helyszínének.)

A pályázat eredménye:

11-14 éves korcsoport, egyéni indulók:

1. hely: Medvegy Anna, Illyés Gyula Gimnázium és Közgazdasági Szakközépiskola, Budaörs; felkészítő: Bencsikné Nagy Márta
2. hely: Mohácsi Zoltán, Kertvárosi Katolikus Általános Iskola, Hódmezővásárhely; felkészítő: Sós Csabáné

3. hely: Bánfi Dóra, Kertvárosi Katolikus Általános Iskola, Hódmezővásárhely; felkészítő: Sós Csabáné

Junior különdíj: Meszlényi Jázmin Liza, Rózsahegyi Kálmán Általános Iskola, Gyomaendrőd

11-14 éves korcsoport, csapatok:

1. hely: Kenéz Kata és Kovács Emese, Kertvárosi Katolikus Általános Iskola, Hódmezővásárhely; felkészítő: Sós Csabáné

2. hely: Varga Dániel, Bachmann Laura, Huszár Dóra, Makán Benedek, Herman Ottó Gimnázium, Miskolc; felkészítő: Kóródi Zoltán

3. hely: Balaskó Dominik, Heim Vilmos, Horváth Roland, Kiss Regina, Széchenyi István Gimn., Sopron; felkészítő: Lang Ágota

15-18 éves korcsoport, egyéni indulók:

1. hely: Olej Dóra, Széchenyi István Gimnázium, Sopron; felkészítő: Lang Ágota

2. hely: Farkas Lili, Katona József Gimnázium, Kecskemét; felkészítő: Nádházy Borbola Éva

3. hely: Bunkóczi Vivien, Bessenyei György Gimnázium, Kisvárd; felkészítő: Sztojka Viktória

Küldő: Szöllősi Vivien Kira, Eszterházy Károly Gyakorló Általános, Közép-, Alapfokú Művészeti Iskola és Pedagógiai Intézet, Eger; felkészítő: Bulla Márta

15-18 éves korcsoport, csapatok:

Küldő: Csonka Nikolett, Gulyás Marcell, Jenes Botond, Mustos Gergely, Tóta Patricia, Váradi Ákos, Eszterházy Károly Gyakorló Általános, Közép-, Alapfokú Művészeti Isk. és Pedagógiai Int., Eger; felkészítő: Bulla Márta

Elismerő oklevélben részesültek a helyezéseket elért diákok felkészítő tanárai.

Az idei bíráló zsűri tagjainak névsora: Kovács Zsuzsanna, Illés Erzsébet, Frey Sándor (esszé), Horváth András, Milánkovich Doroty, Tari Fruzsina, Bérczi Szaniszló (rajz), Kocsis Gábor, Vizi Pál Gábor, Sik András (tervezés, videó), Both Előd (feladatmegoldás).

Felfedezők Napja

A MANT standja ismét ott volt Budapesten, a Millenáris D csarnokában zajló egész napos ingyenes tudománypopularizáló rendezvényen. Tavaly először rendezte meg a Felfedezők Napját A Földgömb Az Expedíciós Kutatásért Alapítvány. Szakmai partnerként a MANT már akkor is jelen volt a nagysikerű eseményen, hozzájárulva a gazdag programkínálathoz. A nap idei fő témája a barlangkutató volt, de emellett számos más érdekességet is tartalmazott a program, köztük az űrkutatást is. A 2014. május 17-én (szombaton) 10 és 19 óra között zajlott rendezvényre a látogatóktól belépődíjat nem kértek. A MANT standján kiadványainkkal, játékokkal és nyereményekkel, filmek és bemutatók vetítésével, igazi űrműszerekkel, a kedvezményes űrtábori jelentkezés, és persze a személyes beszélgetés lehetőségével vártuk az érdeklődőket. A nagyszínpadon Sik András tartott előadást Mikor találunk végre életet a Marson? címmel. Részvételünket a programon a Kutatási és Technológiai Innovációs Alap támogatta (szerződésszám: URKUT_10-1-2011-0037).



Űrtábori élménybeszámoló

Az idei Űrtábor június végén volt Felsőtárkányban, egy Eger melletti faluban. Szállásunk az ottani erdei iskola volt, amelyhez egy nagy udvar is tartozott.

Vasárnap este, miután elfoglaltuk a szobákat és vacsoráztunk, elkezdődött a tábori program: egy előadás a kommunikációról, majd bemutatkozás és a szokásos tábori póló kiosztása. Ezután két csoportba osztottak minket, és megkaptuk az egész héten átívelő csapatfeladatot. Ennek témája az volt, hogy mi történne, ha valamilyen okból kifolyólag leállna az összes műhold, milyen következményei lennének, milyen területekre lenne hatása, hogy lehetne megoldani

ezt a problémát, stb. A hét során többször is kaptunk időt a feladat megoldására, majd pénteken délelőtt egy előadás keretében be kellett mutatnunk a megoldásainkat.

A tábor ideje alatt kétszer is ellátogattunk az egri főiskolára, ahol megtekinthettük a camera obscurát, érdekes fizikai és kémiai kísérleteket láthattunk, és több előadást is meghallgattunk, pl. az űrkutatás és a történelem kapcsolatáról, a marsi élővilág kutatásáról, az űrhajósok élelemellátásáról. Egri tartózkodásunk alatt megtekintettük a Minaretet, a Bazilikát és a Várat Gárdonyi Géza sírjával együtt. Ellátogattunk a Szalajka-völgybe, ahol vonatoztunk, megnéztük a Fátyol-vízesést és sétáltunk. Érdekes előadásokat hallhattunk Bacsárdi László, Zombori Ottó és Sik András tolmácsolásában, továbbá részt vehettünk egy kerekasztal-beszélgetésen Illés Erzsébettel és Almár Ivánnal. Péntek délután ellátogattunk az egri fürdőbe, ahol mindenki nagyon jól érezte magát.

A táborban keveset aludtunk, és a tavalyi táborral ellentétben rengeteg szabadidőt kaptunk, amit tollasozással, frizbizéssel és beszélgetéssel töltöttünk el. Összességében tetszett a tábor, és már nagyon várom a következő évit!

(Olej Dóra)



Tudományok és Tehetségek Kertje 2014

A MANT 2014-ben is saját standdal jelent meg a Tudományok és Tehetségek Kertje című tudománynépszerűsítő rendezvényen. Szeptember 19-én (pénteken) reggeltől estig vártuk az űrkutatás iránt érdeklődőket – az óvodás korúaktól egészen a legidősebbekig – rejtvényekkel, játé-

kokkal, poszterekkel, kiadványainkkal, űrműszer-bemutatóval, a beszélgetés és a MANT-ba való belépés lehetőségével. A helyszín a Magyar Nemzeti Múzeum kertje (1088 Budapest, Múzeum krt. 14-16.) volt.

Űrkutatás Napja 2014

A MANT és a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) Villamosmérnöki és Informatikai Kara (VIK) 2014. december 4-én a Műegyetemen rendezte meg az Űrkutatás Napja elnevezésű

ismeretterjesztő rendezvényt. Az Űrkutatás Napja szakmai partnere idén a SES Astra, a világ vezető műholdas távközlési vállalata volt.

A rendezvény helyszíne a BME V1 épületének Demola-csarnoka volt. A megjelent érdeklődők az első programblokkban szakmai előadásokat hallgathattak meg aktuális űrkutatási témákról. Almár Iván, a MANT örökös tiszteletbeli elnöke az űrszemét okozta problémákkal foglalkozott. Újszerű megközelítéssel összegyűjtötte az űrszemét és a globális éghajlatváltozás problémáiban meglevő hasonlóságokat és különbségeket, sőt a kettő kapcsolódásait is. Apáthy István, az MTA Energiatudományi Kutatóközpontjának munkatársa a hazai űrelektronikai fejlesztések négy évtizedét elevenítette fel. Előszörként az Interkozmosz-12 műhold fedélzetén 1974-ben repült egy mikrometeorit-detektor, amelynek elektronikája Magyarországon készült. Tari Fruzsina, a Nemzeti Fejlesztési Minisztérium osztályvezetője Magyarországnak az Európai Űrügynökséghez (ESA) való csatlakozásáról, a megindult folyamatról és teljes jogú tagságunk jelentőségéről beszélt. A közönség soraiban jelen levő szakemberek érdeklődéssel hallgatták a sok konkrét információt, majd a kérdésekre adott válaszokat. Egy viszonylag hosszú folyamatot követően teljes jogú ESA-tagságunk kezdete a ratifikációt követően, 2015 végétől várható. Előtte, várhatóan jövő tavasszal Budapesten írják majd alá a magyar kormány és az ESA képviselői a csatlakozási szerződést. A magyar belépéssel együtt Észtország ESA-csatlakozása is küszöbön áll.



A szünetben a megjelenteknek alkalmuk nyílt játszani, a rendezvényt támogató SES Astra pedig ajándékokkal is készült. A kávészünetet követően a második programblokkban a műegyetemi fiataloké volt a főszerep. A Masat-1 sikere, mely nem kis részben a BME VIK hallgatóinak sikere, igazolja a BME-n folyó mérnökképzés magas színvonalát, mely megfelelő alapot jelent a Masat program folytatására, a hazai űrtechnológiai tudományos kísérletek, kutatások és ipari alkalmazások intenzívebbé tételére. A rendezvényen szó volt két most folyó műegyetemi kisműholdas fejlesztésről, a Masat-2-ről

és a SMOG-1-ről. Egy előadás szólt az ESA oktatási programjában szerzett tapasztalatokról, a magyar részvételről. A szép számban megjelent hallgatóság értesülhetett a 18-35 éves fiatalok „űrgenerációját” képviselő nemzetközi szervezet, a Space Generation Advisory Council céljairól, tevékenységéről. Bacsárdi László, a MANT főtitkára az Űrkutatás Napján jelentette be, hogy az űrkutatás hazai népszerűsítésével foglalkozó társadalmi szervezet hagyományos, diákoknak szóló nyári űrtáborát 2015 júliusában Sopronban rendezi majd meg. Kedvezményes vagy akár ingyenes űrtábori részvételt jelenthet, ha valaki részt vesz vagy előkelő helyezést ér el a MANT ősszel meghirdetett diák pályázatán. Ezzel párhuzamosan ismertette az űrtábori mentorprogram részleteit, amely keretében egy-egy középiskolás diák űrtábori részvételét lehet támogatni.

Az érdeklődők a helyszínen megtekinthették a MANT A világűr emberközelben című vándorkiállításának anyagát is. Ez a 2013-as Űrkutatás Napján mutatkozott be először, s azóta bejárta az ország számos városát.

Kitüntetések

A **Nők a Tudományban Kiválósági Díj** idei nyertese az űrkutatás területén 2014-ben Barta Veronika, az MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont soproni Geodéziai és Geofizikai Intézetének fiatal kutatója lett. A Nők a Tudományban Egyesület által meghirdetett díjat október 17-én adták át Budapesten, az Innotrends Hungary 2014 konferencián.

Az ENSZ támogatásával működő, 35 év alatti fiatalokat tömörítő nemzetközi űrkutatási szervezet, a Space Generation Advisory Council egyik rangos elismerésében részesült Bacsárdi László, a MANT főtitkára. Ő lett a **Hónap embere** 2014 novemberében, amivel szakmai szervezőképességét és odaadását ismerték el. A díj 2009-es alapítása óta ez volt az első alkalom, hogy egy magyar tag munkáját ismerte el a szervezet.

2014-ben **Gábor Dénes-díjat** kapott Solymosi János, a MANT elnöke. A rangos díjat a NOVOFER Alapítvány kuratóriuma ítéli oda, 1989 óta minden évben. A cél a kimagasló szellemi alkotásokat létrehozó és az új ismereteket a gyakorlatba átültető szakemberek – mérnökök, kutatók, feltalálók – fokozott erkölcsi megbecsülése. A díj Gábor Dénesről, a holográfia felfedezőjéről, a Római Klub alapítójáról, korunk egyik legnagyobb humanista gondolkodójáról, az 1971-ben Nobel-díjjal kitüntetett tudósról kapta nevét. A Gábor Dénes-díjakat december 18-án a Parlament felsőházi termében adták át.

TARTALOMJEGYZÉK

Előszó.....	3
Válogatás az űrkutatás 2014-es eseményeiből	4
Tudományos mérések magyar részvétellel a 67P/Csurjumov– Geraszimenko-üstökös felszínén.....	36
Űreszközök fedélzeti autonómiájának kialakítása a Naprendszer távoli objektumainak kutatásához	44
A Rosetta Lander fedélzeti autonómiájának validálása.....	52
Új sokcsatornás földmegfigyelő műholdcsalád születik, avagy a Sentinel–2 MSI-MMTH projekt technikai kihívásai	62
A Sentinel–1A műhold és első hazai észlelései, az adatok műholdradar-interferometriás alkalmazási lehetőségei	69
Űrtan a hótanban	76
Mit tudunk az űrszemétről?	86
Kvantumkommunikáción alapuló műholdas hálózat vizsgálata	97
Újdonságok a kis tömegű exobolygók kutatása terén.....	108
A Magyar Asztronautikai Társaság 2014. évi tevékenysége	115
Műegyetemi fiatalok az űrben	115
Szakmai kirándulás a Kecskeméti Repülőkórházba	117
Tudomány születik – könyvbemutató	117
Űrturizmus – civilek a világűrben: diákpályázatunk eredménye.....	119
Felfedezők Napja.....	121
Űrtábori élménybeszámoló	121
Tudományok és Tehetségek Kertje 2014.....	122
Űrkutatás Napja 2014	122
Kitüntetések.....	124

A MAGYAR ASZTRONAUTIKAI TÁRSASÁGRÓL

A Magyar Asztronautikai Társaság (MANT) első jogelődje, a Társadalom- és Természettudományos Ismeretterjesztő Társulat Asztronautikai Bizottsága 1956 májusában alakult meg. Ne feledjük, hogy ekkor még „hivatalosan” meg sem kezdődött az űrkorszak, hiszen az első mesterséges hold, a szovjet Szputnyik-1 csak 1957 októberében állt Föld körüli pályára. Az űrtevékenység fontosságával, a küszöbön álló űrkorszak jelentőségével már akkor tisztában levő, a téma iránti érdeklődést tanúsító szakemberek azért alakították meg szervezetüket, hogy segítsenek az asztronautika tudományának hazai megismertetésében, elfogadtatásában. Almár Iván, az Asztronautikai Bizottság egyik alapító tagja és titkára, ma a MANT örökös tiszteletbeli elnöke így fogalmazott az egyesület fél évszázados történetét bemutató 2006-os kötetünk előszavában: „Mi volt a küldetésünk? Terjeszteni a meggyőződést, hogy az emberiség hamarosan történelmi tettet hajt végre, amikor kiküldi eszközeit a világűrbe; nemsokára maga is követi őket, miközben modern űrhajókat és űrállomásokat épít; ezek az eszközök feltárják majd a Föld tágabb környezetét, a csodálatos Naprendszer; mindenki számára hasznos, gyakorlati feladatokat látnak el, amelyek egyszer majd jelentősen megkönnyítik az életünket; végül az ember maga is eljut az idegen égitestek felszínére.”

Az Asztronautikai Bizottságból alakult meg 1959-ben a Műszaki és Természettudományi Egyesületek Szövetsége (MTESZ) Központi Asztronautikai Szakosztálya, amely aztán 1986-ban alakult át a mai Magyar Asztronautikai Társasággá. Az egyesület 1962-ben belépett a Nemzetközi Asztronautikai Szövetség (International Astronautical Federation, IAF) tagjai közé, ahol máig képviseli Magyarországot.

Az Asztronautikai Bizottság megalakulása óta eltelt közel 60 év nagyon hosszú idő – felöleli a teljes eddigi űrkorszakot. Elég a hazánkban ez idő alatt végbement jelentős társadalmi-gazdasági átalakulásra, vagy arra gondolni, hogy mekkora fejlődésen ment át maga az űrtevékenység. Már az 1960-as évek végére emberek jutottak el a Holdra, manapság pedig állandó személyzettel működő, széles nemzetközi összefogással épített kutatólaboratóriumot üzemeltet az emberiség a Föld körüli pályán. Mesterséges holdak ezrei szolgálták és szolgálják nem csak a tudományos kutatást, de modern társadalmunk mindennapi szükségleteit is. A Naprendszer minden nagybolygója közelében járt űrszonda, s az ember alkotta űreszközök közül már van olyan (az amerikai Voyager-1), amelyik elérte a csillagközi teret. Az űrkutatás, űrtevékenység vívmányai fokozatosan, egyre gyorsuló ütemben beépültek mindennapi életünkbe, s ez a folyamat napjainkban is tart. Példaként megemlíthetjük a műholdas távközlést, a televíziós műsorszórást, a meteorológiai műholdakról származó adatok felhasználását az időjárás-előrejelzésekhez, a földmegfigyelő űreszközök szerepét a környezetvédelemtől a termésbecslésen át a katasztrófa-elhárítás segítéséig, vagy a műholdas hely- és időmeghatározás széles körű elterjedését. Ezzel párhuzamosan alakult, erősödött az asztronautika társadalmi ismertsége, elfogadottsága is. Magyarországon létrejöttek az űrkutatás egyes ágaival foglalkozó szakmai műhelyek, majd az ismeretek fokozatosan beépültek az oktatásba. Kialakultak a nemzetközileg is versenyképes hazai űripar kezdemé-

neyei, a további fejlődést pedig 2015 után minden bizonnyal elhozza Magyarország teljes jogú tagként való csatlakozása az Európai Űrügynökséghez (ESA).

Az űrkutatási ismeretek terjesztésében, valamint a kapcsolódó szerteágazó tudományterületeken dolgozó szakemberek összefogásában eddig is meghatározó szerepet játszott a MANT. Tagjainak lelkesedése, elhivatottsága, társadalmi munkája tette lehetővé, hogy az egyesült sikeresen kiállta az elmúlt hat évtized próbáit. A MANT alapvető céljai ma is változatlanok, legfeljebb a hangsúlyok tolódtak el, alkalmazkodva a változó körülményekhez és igényekhez. Az egyesület nyitva áll nem csak a szakemberek, de mindazok számára is, akik fontosnak és érdekesnek tartják az asztronautikát – képzettségre és korra való tekintet nélkül. Egyaránt sorainkban tudhatjuk a tapasztalt űrkutató-generáció képviselőit és tizenéves diákokat is, akik közül sokan talán a kutatók következő nemzedékét adják majd. Szeretnénk terjeszteni az űrtevékenységgel kapcsolatos ismereteket, nem csupán tagjaink, de minél több ember körében. Ennek érdekében előadásokat, kiállításokat rendezünk, szakmai kirándulásokat szervezünk, kiadványokat jelentetünk meg, internetes honlapot tartunk fenn. Rendszeresen megjelenünk az utóbbi években örömdetesen megszaporodott nagyszabású tudománynépszerűsítő rendezvényeken is, ahol minden eddiginél több emberhez juttathatjuk el üzeneteinket.

Az 1990-es évek óta különös hangsúllyal szerepel a MANT céljai között a fiatal korosztállyal való foglalkozás. Évente más-más űrkutatási témában, változatos műfajokban diákpályázatokat hirdetünk. Minden nyáron megrendezzük a MANT népszerű és színvonalas űrtáborát. Az elmúlt évek, évtizedek eredményei magukért beszélnek: a legtehetségesebb egykori diákok közül nem egy ma már az űrkutatás valamely tudományterületén dolgozik, részt vesz egyesületünk irányításában. De ha közülük nem is mindenki ezt a pályát választotta, megmaradt benne az érdeklődés a világűr iránt.

Ha sikerül továbbra is hozzájárulnunk, hogy az űrkutatás hazánkban megkapja a méltó társadalmi elismerést, mindennapi életünket megkönynyító vívmányaival pedig minél többen tisztában legyenek, akkor ezzel – mintegy „automatikusan” – a MANT jövője is biztos alapokon nyugszik majd. Aki szeretne többet megtudni egyesületünk tevékenységéről, keresse fel honlapunkat a www.mant.hu címen. Aki pedig úgy érzi, hogy aktívan tudna és szeretne tenni az űrkutatás népszerűsítése érdekében, vagy érdeklődőként szívesen csatlakozna közösségünkhöz, azt örömmel várjuk tagjaink sorába!



A MANT standja a Felfedezők Napján (fent) és a Tudományok és Tehetségek Kertje című tudománynépszerűsítő rendezvényen. Reggeltől estig vártuk az űrkutatás iránt érdeklődőket – az óvodás korúaktól egészen a legidősebbekig – rejtvényekkel, játékokkal, poszterekkel, kiadványainkkal, űrműszer-bemutatóval. (Fotó: Trupka Zoltán)



A hátsó borítón Magyarország teljes országos lefedettségű műholdradaros amplitúdóképe. A mozaik az európai Sentinel-1A műhold 2014. október vége és december eleje között, felszálló pályákon végzett észleléseiből készült. A Sentinel-1A alkalmazásairól szól Hevér Renáta cikke évkönyvünkben. (Kép: Copernicus data 2014 / ESA / FÖMI KGO)

