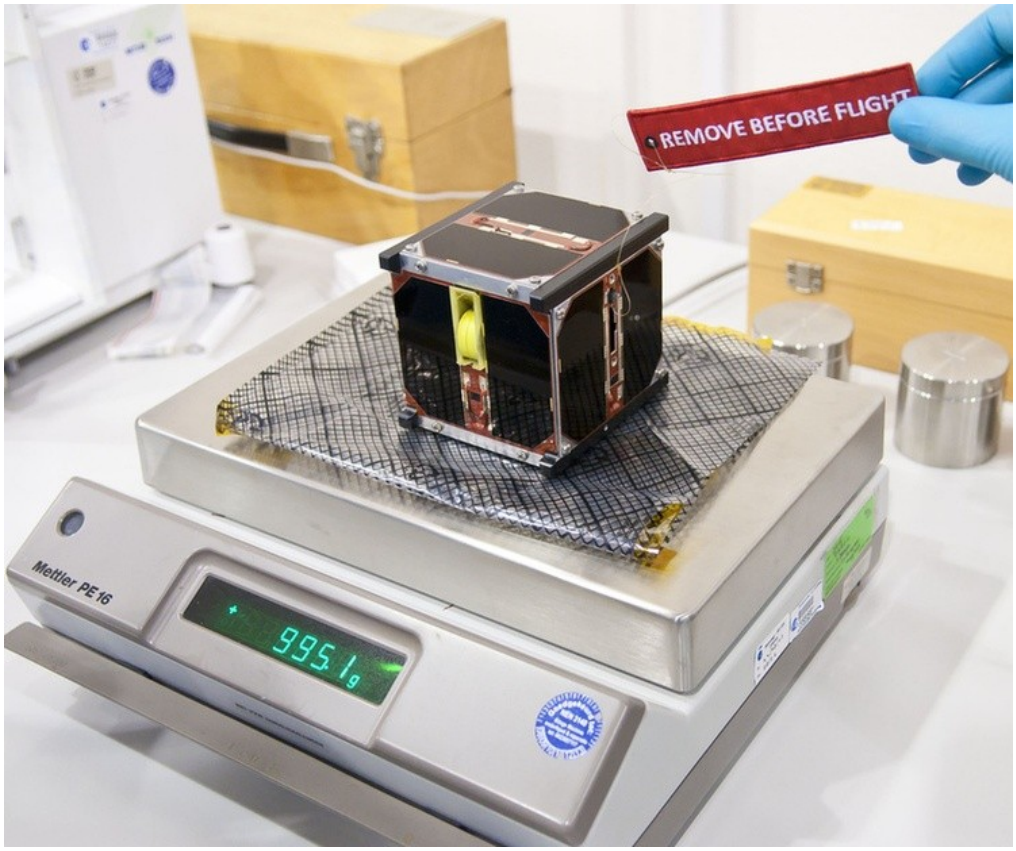
ŰRTAN ÉVKÖNYV 2012



Az *Asztronautikai Tájékoztató* 64. száma

Kiadja a Magyar Asztronautikai Társaság

A MANT és vele az űrtevékenység is bemutatkozott a 2012. szeptember 22-én tartott Jövő Hídja rendezvényen, a Lánchíd pesti hídfőjénél. Az előző évihez hasonló tudománynépszerűsítő esemény ismét rendkívül sikeres volt a nagyközönség körében, a mi sátrunkat is sokan látogattak meg – reggeltől estig egyfolytában.

(Fotó: Frey Sándor)

A címlapon: **A Masat-1 repülő példánya a mérlegen, az Európai Űrügynökség (ESA) technológiai központjában (ESTEC, Noordwijk, Hollandia), 2011 októberében. Az 1 dm^3-es, kocka alakú műhold tömege a CubeSat szabvány szerint legfeljebb 1 kg lehet. Az első magyar készítésű műholdat a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen (BME) fejlesztették, és 2012. február 13-án startolt Francia Guyanából, az ESA új Vega hordozórakétájával.**

(Fotó: Czifra Dávid / cubesat.bme.hu)

ŰRTAN Évkönyv 2012

Az *Asztronautikai Tájékoztató* 64. száma

Kiadja a Magyar Asztronautikai Társaság

Magyar Asztronautikai Társaság

ŰRTAN Évkönyv
2012

Asztronautikai Tájékoztató
64. szám

Szerkesztette: Dr. Frey Sándor

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

Felelős kiadó: Dr. Bacsárdi László főtitkár

A nyomdai előkészítő munkálatokat az A-terv Kft. végezte

kézirat gyanánt

HU ISSN 1788-7771

Készült 400 példányban

Előszó

Az *ŰRTAN Évkönyv* 2012. évi kötetével újra vissza tudunk térni az elmúlt időszakban megszokott kétévenkéntiről a „normális” évenkénti megjelenéshez – remélhetőleg majd hosszabb időtávon is. Ezt ebben az évben annak köszönhetjük, hogy a Nemzeti Fejlesztési Minisztérium támogatja a Magyar Asztronautikai Társaság (MANT) űrkutatást népszerűsítő tevékenységét, amiért ezúton is köszönetünket fejezzük ki.

Ahogy az már Évkönyvünk címlapjára pillantva is rögtön látható, 2012-ben a magyar űrtevékenység kétségtelenül legfontosabb eseménye volt az első önálló magyar mesterséges hold, a *Masat-1* elkészítése, pályára állítása, és nemzetközi viszonylatban is rendkívül sikeres működtetése. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) oktatóiból és hallgatóiból álló, lelkes és felkészült fejlesztő csapat szakmai sikerén túl a Masat-1 nagy társadalmi népszerűséget vívott ki magának. A Magyar Posta például alkalmi bélyeget, a Magyar Nemzeti Bank emlékérmét bocsátott ki az első hazai műhold tiszteletére. Ami ennél is fontosabb, a Masat-1 ráirányította a sajtó, a közvélemény és talán a politikai döntéshozók figyelmét is az űrkutatás, az űrtevékenység fontosságára.

A MANT, mint megalakulását egészen 1956-ig visszavezető társadalmi szervezet, az elmúlt évben is tette a dolgát: igyekezett erejéhez mérten összefogni és képviselni a hazai űrkutatókat, kiadványokat megjelentetni, népszerűsítő rendezvényeket tartani, külön hangsúlyt fektetve a fiatal korosztály megszólítására. Tevékenységünkről átfogó képet kaphatnak az Évkönyv végén olvasható beszámolókból.

Az idei Évkönyv is egy nemzetközi esemény-összefoglalóval kezdődik – olyan hírek gyűjteményével, amelyekről valószínűleg évek-évtizedek múlva is elmondható, hogy jól jellemzik a 2012-es év űrtevékenységét. Utána magyar szerzők tollából, változatos témákban rövid szakmai-ismeretterjesztő cikkeket közlünk. Örömmel adunk fórumot a hazai űrkutatásban dolgozóknak, hogy minél szélesebb körben megismertethessék munkájukat és eredményeiket. Ezeket a cikkeket szerzőik az Évkönyv olvasói számára készítették, nyilvános felhívásunkra jelentkezve.

Lényegében a cikkek sorát folytatva, ebben a kötetben közöljük azoknak a szakmai előadásoknak a rövid írásos anyagait is, amelyek 2013. március 7–9. között, a Kecskeméten megrendezett *XXVIII. Ionoszféra- és Magnetoszférafizikai Szemináriumon* hangzottak el. E cikkek szerzői vállalták, hogy kéziratuk leadásával igazodnak az Évkönyv szoros megjelentetési határidejéhez.

Szerzőink nevében is bízom benne, hogy a könyvet végiglapozva olvasóink idén is úgy találják majd: az Évkönyv – korlátozott terjedelme és fekete-fehér nyomdai kivitele ellenére – színes, változatos és átfogó képet ad az elmúlt évről.

Budapest, 2013. március

A szerkesztő

Válogatás az űrkutatás 2012-es eseményeiből

Összeállította: Dr. Frey Sándor

Összeállításunkban elsősorban az *Űrvilág* internetes hírportál (**www.urvilag.hu**) anyagaiból válogattunk. Az eredeti hírek, beszámolók, összefoglalók szerzői: *Frey Sándor, Németh Péter, Pálfalvi József, Takács Endre*. A felhasznált képek túlnyomó része NASA, ESA és JAXA fotó.

2012. január

Műholdindítás Kínából – magyar vonatkozással. A kínai Hosszú Menetelés-4B hordozórakéta január 9-én emelkedett a magasba Tajjüanból. Kína, és egyben a világ első 2012-es startja során a rakéta fő terhe a **Cöjüan-3** (Ziyuan-3) távérzékelő műhold volt. A nagy (2,5 méteres) felszíni felbontású képek készítésére alkalmas űreszközt polgári alkalmazásokra, a természeti erőforrások feltérképezésére, mezőgazdasági távérzékelésre, a vízgazdálkodás segítésére, várostervezéshez, katasztrófák megelőzésére használják majd. Három kamerája közül egy-egy a menetirányhoz képest előre illetve hátra, egy pedig lefelé néz. A fedélzeten egy infravörös spektrométert is elhelyeztek. A 2,6 tonnás műhold kb. 500 km magas poláris napszinkron pályára került.

Ugyancsak a kínai rakétán utazott, és hasonlóképpen poláris pályára került az alig 28 kg-os **VesselSat-2**. Feladata az amerikai ORBCOMM cég számára a tengeri hajóforgalom követése, a fedélzetén elhelyezett AIS *(Automatic Identification System)* rádiós vevőberendezések segítségével. A luxemburgi LuxSpace cég által épített űreszköz egyik beszállítója a magyar *BHE Bonn Hungary Elektronikai Kft.* A budapesti űripari cég az adatcsatorna legfontosabb láncszemét, a fedélzeti digitális modulátort készítette, ahogyan a tavaly felbocsátott VesselSat-1 esetében is. Ez utóbbi műhold egyébként, amely egy indiai PSLV rakétával startolt 2011 októberében, már szolgálatba állt és kitűnően működik.

Az egyenlítői pályán keringő VesselSat-1 és a most felbocsátott, erre merőleges síkban keringő VesselSat-2 az ORBCOMM most épülő új, 18 műholdból álló ún. második generációs rendszerét (OG2) egészíti majd ki. Ez utóbbiaknak a pályára állítása hamarosan elkezdődhet, méghozzá a SpaceX vállalat Falcon-9 rakétájával. Az új ORBCOMM távközlési holdak – mintegy „mellékesen" – AIS vevőberendezésekkel is fel lesznek szerelve. A két VesselSat holddal kiegészítve jó globális lefedettséget adnak majd a világtengerek hajóforgalmának folyamatos követéséhez.

Fobosz-Grunt: vége, leesett. Visszatértek a bolygónk környezetét elhagyni nem tudó orosz űrszonda darabjai – már amelyek átvészelték a sűrű légkörben való fékeződést. A Fobosz-Grunt szonda roncsai – fokozott médiafigyelem és aggodalom után – végül január 15-én a Csendes-óceán fölött értek felszínt, a szakemberek jóslatainak megfelelően semmilyen kárt nem okozva. A közelgő esemény hírét óhatatlanul is felkapta a sajtó. Valójában a becsapódás helyét képtelenség volt pontosan előre jelezni. A légköri fékeződés folyamata ugyanis nagyban függ a felsőlégkör pillanatnyi kiterjedésétől, amit a naptevékenység előre megjósolhatatlan változásai befolyásolnak. Az sem ismert, hogy az űreszköz milyen helyzetben bukdácsol, mekkora az éppen rá ható légellenállás. Egy dolog volt biztos: valahol 51,4° északi és 51,4° déli szélesség között kellett bekövetkezzen az esemény. Mivel a légkörbe lépés előtt a műholdak szűk másfél óra alatt végeznek egy teljes keringést a Föld körül, csak háromnegyed órás előrejelzési bizonytalanság is épp azt jelentené, hogy a bolygó átellenes pontján zuhanna le az űreszköz. Az időbeli bizonytalanság tehát nagy térbeli pontatlanságot okoz, ami az előrejelzéseket illeti.

Az előzetes modellszámítások szerint a 13,5 tonnás Fobosz-Grunt üzemanyaga nem, csak kb. 200 kg-nyi darabjai érték el a felszínt. A nagyjából 20-30 darab több száz km-es hosszú és több tíz km széles sávban szóródott szét. A megmaradt nagy mennyiségű (kb. 7,5 tonna) hajtóanyag tartályai szerencsére viszonylag alacsony olvadáspontú fémből, alumíniumból készültek. Így a fékeződés során keletkező hő miatt már mintegy 100 km magasban kilyukadhattak, a mérgező üzemanyag nem jutott le a felszínig.

A Fobosz-Grunt szonda programja nagy reményekkel indult, de szomorúan végződött. A Mars Phobos holdjának kutatására, onnan felszíni anyagminta visszahozatalára szánt orosz űrszonda, rajta a kínaiak első Mars körüli keringésre tervezett űreszközével, 2011. november elején hiába startolt Bajkonurból. Nem sikerült elhagynia a Föld körüli pályát, mivel nem indult be az erre szolgáló hajtómű. A Fobosz-Grunt lényegében némán keringett a Föld körül, kezdetben nagyjából 300 km magasságban, majd pályamagassága fokozatosan csökkent, amíg az űreszköz meg nem semmisült a légkörben.

Magyar kísérlet az űrállomáson. Vége felé közeledik a magyar pszichológusok kutatómunkája a Nemzetközi Űrállomáson (ISS). Január 3-án végezte el André Kuipers holland asztronauta a *NeuroSpat* kísérlet egyik utolsó mérését. Kuipers volt az előzetesen leegyeztetett utolsó kísérleti alanya a kutatásnak, noha a nemzetközi kutatógárda reménykedik még egy ajándék alanyban.

A 2006-ban indult kísérletsorozat két fő kérdéssel vágott neki a szokásos földi vizsgálatokhoz képest összehasonlíthatatlanul több szervezést igénylő kutatáshoz. Egyrészt arra a kérdésre szerettek volna választ kapni, hogy a földi gravitáció által biztosított téri vonatkoztatási rendszer hiányában az asztronauták milyen más vonatkoztatási pontokra hagyatkoznak. Egy számítógépes téri tájékozódási feladatban felerősödnek-e az olyan elemek hatásai, mint a monitorhoz igazodó négyszögletes keret? Az űrhajósok mindennapi életére lefordítva ez azt jelenti, hogy a fent és lent hiányában milyen módszerekkel lehet a térben mozogni, tájékozódni. Egyáltalán szükség van-e ilyen vonatkoztatási rendszerekre mikrogravitációban?

A másik, legalább ilyen fontos kérdés az volt, hogy a közvetlenül az agyi elektromos jeleket rögzítő idegtudományi módszerek alátámasztják-e azt a feltételezést, hogy az űrben a prefrontális lebeny funkciói zavart szenvednek. Sokféle oka lehet ennek a diszfunkcionalitásnak, többek között alváshiány, túlterhelés, illetve mindenekelőtt a súlytalanság. A prefrontális lebeny által biztosított képességek az emberi agy legmagasabb fokú képességei, amelyek elengedhetetlenek az emberre jellemző komplex és rugalmas viselkedéshez. Az ítélethozatal és a munka megszervezése is kisebb hatásfokú akkor, ha ez az agyi terület nem megfelelően működik. A hipotézis tesztelésére a MTA kutatói olyan ún. újdonságingereket helyeztek el a téri tájékozódási feladatban, amelyek nagyban elütnek a feladat kontextusától, pl. állatok vagy tipikus városi táj fényképei. Az ilyen képekre való reakciót is a prefrontális kéreg szabályozza. Az űrhajósokat behatóan vizsgálták a Földön, így az űrben kapott eredmények megmutatják, hogy az asztronauta idegrendszere a Földön megszokott szinten működik-e.

2012. február

A harmadik műhold Iránból. Miközben az ország nukleáris programjával kapcsolatban egyre nő a nemzetközi feszültség, Irán ismét bebizonyította, hogy képes saját erőből űreszközöket készíteni és pályára állítani. A **Navid** földmegfigyelő hold február 3-án startolt egy észak-iráni katonai bázisról, kétfokozatú, feltehetőleg továbbfejlesztett Safir rakétával. A kocka alakú, 50 kg tömegű Navid az eddigi legnagyobb műhold, amelyet a perzsa országból indítottak. Korábban 2009-ben az Omid kommunikációs hold mintegy 27 kg-os, 2011-ben a földmegfigyelő feladatú Rasad csak 15 kg-os volt. A hivatalos közlések szerint a 250 és 370 km közötti magasságban keringő új űreszköz meteorológiai adatokat és a természeti katasztrófák elhárításához szükséges információt gyűjt fedélzeti kamerájával.

Pályán az első magyar műhold, a Masat-1. A francia guyanai Kourou űrközpontból február 13-án, magyar idő szerint 11:00-kor emelkedett a magasba az új európai Vega hordozórakéta első példánya. Orrkúpjában kilenc kis műhold volt. A legnagyobb közülük az olasz LARES, egy lézeres távmérésre alkalmas passzív űreszköz. A többi nyolc európai egyetemi műhold, köztük hét 1 dm^3 térfogatú, 1 kg tömegű ún. *CubeSat*. Az egyik ilyen kis kocka a magyar pikoműhold, a Masat-1, amelyet a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen (BME) építettek. 12:10-kor önállóan Föld körüli pályára állt a Masat-1, és fél óra csendes üzemmód után 12:40-kor kezdte el sugározni rádiójeleit a 437,345 MHz frekvencián. Három óra környékén már sikeresen vezérelték a műholdat.

A magyar műhold nem csak az első működési hónapot élte túl, de a legsikeresebbnek bizonyult a vele együtt induló többi egyetemi holddal való összehasonlításban. Kategóriájában szinte minden rekordot megdöntött. Az Évkönyv szerkesztésének idején, több mint egy évvel a start után még tökéletesen működik. A számítások szerint a pályára állást követően akár 3 évig is a világűrben maradhat, mielőtt az eredetileg 300 km és 1450 km között változó pályamagassága annyira lecsökken, hogy a sűrű légkörbe érve a műhold megsemmisül. A Masat-1 napokkal a működésének megkezdése után OSCAR *(Orbiting Satellite Carrying Amateur Radio)* rádióamatőr besorolást is kapott (MO-72).

A Masat-1-et a Műegyetemen lévő elsődleges, valamint az Érden található másodlagos földi állomásról vezérlik, valamint a műhold követésében és az adatcsomagok vételében a világ több mint 170 hazai és külföldi rádióamatőr állomása is nagy segítséget nyújt, amelyek a világhálón küldik át az adatcsomagokat a budapesti központba. A műhold egy éves üzemeltetése alatt beérkező adatcsomagok száma meghaladta az ötmilliót, ezek mintegy 300 MB-nyi adatnak felelnek meg. Az adatoknak közel a fele érkezett az elsődleges és a másodlagos földi állomásokra, a fennmaradó csomagokat a világ rádióamatőrei szolgáltatták.

A pályára állítás első évfordulóján a Masat-1 minden redundáns alrendszerében még az elsődleges áramkör dolgozik. Minden a vártnak megfelelően működik, mind a hőmérsékleti, mind az elektromos paraméterek a normál működési tartományban vannak. A műholdon helyet kapott egy 640×480 képpont felbontású kamera is, amellyel a műhold 2012. március 8-án készítette az első felvételeket. A mágneses stabilizáló rendszer passzív része a várakozásoknak megfelelően beállította a Masat-1-et a megfelelő orientációba, így az a Föld déli féltekéjéről képes űrfelvételeket készíteni. Ehhez az üzemeltetők az exponálás időpontját az elsődleges és a másodlagos vezérlőállomások egyikéről küldik fel a műholdnak.

1,25 milliárd euró új meteorológiai holdakra. Az Európai Űrügynökség (ESA) ekkora értékben kötött megállapodást a harmadik generációs Meteosat műholdak gyártására. A szerződés tárgya összesen hat űreszköz, amelyek majd geostacionárius pályáról segítik az időjárás előrejelzését. A műholdépítés fővállalkozója a *Thales Alenia Space* vállalat lesz. A sorozat neve **Meteosat Third Generation (MTG)**, vagyis a Meteosat holdak harmadik generációja. Az új eszközök biztosítják majd a folytonosságot a jelenleg már működő és addig még indítandó európai meteorológiai holdakkal, a tervek szerint legalább 2037-ig. Az európai műholdas meteorológiai programot az ESA és a kontinens erre szakosodott szervezete (*European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites*, EUMETSAT)

közösen irányítja. Az ESA feladata maguknak az űreszközöknek a kifejlesztése, elkészítése és felbocsátása. Az EUMETSAT hatásköre a rendszer üzemeltetése, a földi hálózat fenntartása. Az ESA és az EUMETSAT együttműködése egy 1977-ig visszanyúló sikertörténet: akkor indult az első Meteosat. Jelenleg a második műhold-generáció (*Meteosat Second Generation*, MSG) tagjainál tartanak, és ugyancsak használnak alacsonyabb, poláris pályákon keringő holdakat (MetOp). Az MSG holdak közül a harmadik 2012. július 5-én indult egy Ariane-5 rakétával. A kifutó generáció utolsó darabja, a negyedik MSG műhold 2014-ben repülhet.

2012. március

Úton a harmadik európai teherűrhajó. Az **ATV-3** március 23-án startolt Kourouból. A teljes 777 tonnás tömegével (rakéta + űrhajó) ez volt az Ariane-5 hordozórakéta eddigi legnagyobb terhe. Az ISS ellátására kifejlesztett európai teherűrhajók sorozatának harmadik tagját Edoardo Amaldi olasz fizikus tiszteletére nevezték el. Az ATV-1 (Jules Verne) 2008 márciusában, az ATV-2 (Johannes Kepler) pedig 2011 februárjában startolt. Az amerikai űrrepülőgépek leállítása óta az ATV a használatban levő legnagyobb méretű űreszköz. A személyzet nélkül, automata üzemmódban repülő teherűrhajó célja rakomány (élelmiszer, ruházat, egyéb felszerelések, kísérleti eszközök), levegő, víz, a manőverezéshez szükséges hajtóanyag szállítása az űrállomásra. Az ISS-hez való kapcsolódás után saját hajtóműveivel időnként megemeli az űrállomás pályáját, amivel a ritka légkör fékező hatását kompenzálják. Az ATV-3 végül az űrállomáson feleslegessé vált hulladékkal megpakolva, október 3-án belépett a Föld sűrű légkörébe és ott megsemmisült.

Az eredeti terveknek megfelelően az ATV-ből összesen öt épül. Az összeszerelésük már folyik Németországban illetve Olaszországban. A negyediket, amely 2013 elején startol majd, Albert Einsteinről nevezték el. Az ötödik és egyben utolsó ATV repülése 2014-re várható. Ezzel az európai fél 2017-ig rendezi is a rá jutó „tartozást", ami az ISS üzemeltetéséhez és használatához való hozzájárulását illeti. Az űrállomás üzemben tartását ugyanakkor 2020-ig kitolták, ami nagyjából egy újabb ATV-nyi, 450 millió eurós plusz kötelezettséget róna az ESA-ra. Egy 2013 eleji megállapodás szerint ennek fejében a fejlesztés alatt álló amerikai Orion űrhajóhoz egy kiszolgáló modult építenének meg az európaiak, az ATV technológiájának részbeni felhasználásával.

2012. április

Az oroszok beszállnak az ExoMarsba. Az amerikaiakat az oroszok váltják az Európai Űrügynökség partnereként a Mars kutatására az évtized második felében induló programban. Erről moszkvai találkozójukon állapodott meg Vlagyimir Popovkin, az Orosz Szövetségi Űrügynökség (Roszkoszmosz), és Jean-Jacques Dordain, az ESA vezetője. (A hivatalos megállapodást 2013 márciusában írták alá.) Az ExoMars korábban európai–amerikai együttműködésben valósult volna meg, de februárban a NASA bejelentette, hogy pénzügyi problémák miatt kénytelen kiszállni a programból.

Az ExoMars két lépcsőjében 2016-ban és 2018-ban indítanának egy-egy űreszközt külső bolygószomszédunk felé. Elsőként egy Mars körül keringő szonda (Trace Gas Orbiter, TGO), másodjára már egy felszínre leszálló eszköz startolna. Az orosz fél legfontosabb szerepe az indításokhoz egy-egy nagyteljesítményű Proton hordozórakéta biztosítása lesz. Az együttműködés alapja a közös tudományos érdeklődés a Mars kutatásával kapcsolatban.

A 2016. januári indításra tervezett ExoMars TGO űrszonda építésének fővállalkozója a Thales Alenia Space. A fedélzeten a Mars légkörében levő metán és más, nyomokban előforduló gázok koncentrációjának mérésére alkalmas berendezések lesznek. A szondával re-

pül egy kísérleti, statikus leszálló egység is, amely a felszínre érve elsősorban meteorológiai jellegű méréseket végez majd.

A mozgó felszíni egység (rover) az Astrium Satellites cég vezetésével épül, és a tervek szerint 2018-ra lesz indításra kész. Az orosz partner készíti hozzá a légkörbe lépést, fékezést és sima leszállást biztosító rendszert. A korábbi változatban az amerikai Mars Science Laboratory (Curiosity rover) „légi daruján" alapuló leszállító rendszerrel számoltak. Ugyancsak a NASA bocsátotta volna rendelkezésre az Atlas-5 hordozórakétákat.

2011-ben is szépen növekedett a globális űripar. Az amerikai *Space Foundation* bemutatta be a 2011-es folyamatokat elemző jelentését. Eszerint az előző évben az űrtevékenységgel kapcsolatos ágazatok világszerte, összesítésben 12,2%-os növekedést produkáltak. Ez a szám egyáltalán nem rossz, ha figyelembe vesszük, hogy a világgazdaság sok más ágazata közben válságos időszakát éli. Az űripar és az űralkalmazások növekedése ráadásul hosszabb távon is töretlennek bizonyult: az elmúlt öt évben a Space Foundation szakértői által gyűjtött adatok 41%-os növekedést jeleznek. A tanulmány azt sugallja, hogy az űrtevékenységnek nem csak fontos társadalmi és kulturális-tudományos jelentősége van, de egyúttal kitűnő üzlet is.

Indiai radarműhold indult. Az ázsiai ország ezzel belépett azon űrhatalmak szűk körű klubjába, amelyek képesek saját radaros távérzékelő hold gyártására és pályára állítására – mind polgári, mint katonai felderítő alkalmazások céljára. A **RISAT-1** jelzésű műhold az indiai PSLV *(Polar Satellite Launch Vehicle)* hordozórakéta április 26-án végrehajtott startjával állt Föld körüli pályára, Sriharikota szigetéről. India optikai és infravörös távérzékelő holdjai után jelentős előrelépés a RISAT-1. A radaros elven működő műholdak nagy előnye, hogy éjjel, valamint borús időben is képesek megfigyeléseket végezni. Az Indiai Űrügynökség (*Indian Space Research Organization*, ISRO) célja a fejlesztéssel elsősorban a mezőgazdasági termőterületek, erdők megfigyelése, termésbecslés, valamint segítségnyújtás a természeti katasztrófák (például árvizek, trópusi ciklonok) következményeinek megelőzéséhez és elhárításához. Emellett a radarképeknek közelebbről nem részletezett katonai felhasználása is lehetséges, feltehetően elsősorban az ország határai mentén, a szomszédos államokban a csapatmozgások figyelemmel kísérése. A mintegy 95 millió dollárnak megfelelő összegbe került, kb. 1,8 tonnás RISAT-1 a legnagyobb tömegű űreszköz, amelyet eddig PSLV rakétával felbocsátottak. A C-sávú fedélzeti radarral felszerelt műhold közel 540 km magas poláris (pontosabban 97,6° hajlásszögű) pályán működik. Naponta 14 alkalommal kerüli majd meg a Földet, és 25 naponként repül el ismét ugyanazon adott felszíni pont fölött. India már korábban, 2009-ben is pályára állított egy radaros műholdat (RISAT-2), de az X-sávú berendezés külföldön, Izraelben készült.

Kettőt egy csapásra. Most először bővítették dupla starttal a kínaiak a navigációs műholdrendszerüket. A Beidou-2 (magyaros átírással: Pejtou, másik elterjedt nevén Compass) rendszer újabb két tagja ezúttal közepes magasságú Föld körüli pályára került. Kína 2020-ra szeretné elérni saját műholdas helymeghatározó rendszere globális kiépítettségét, amit jelenleg csak az amerikai GPS és az orosz GLONASSZ tud biztosítani felhasználóinak. A Compass ekkor 35 működő holddal rendelkezik majd. A mostani start április 29-én Hszicsangból, Hosszú Menetelés-3B hordozórakétával.

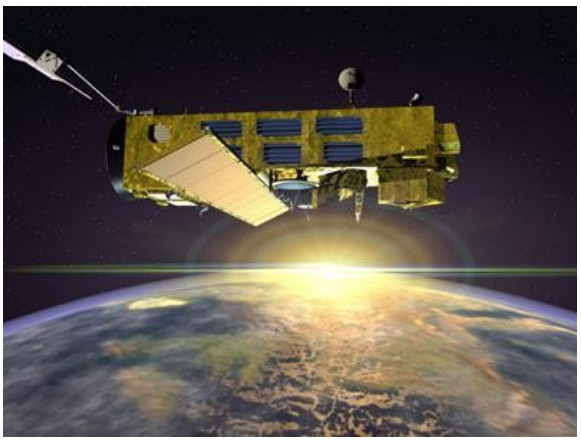
Kína tavaly decemberben indította a rendszer próbaüzemét. Jelenlegi aktív műholdjaikkal főleg az ázsiai és csendes-óceáni térséget tudják jól lefedni. A rendszerben magasabb, geostacionárius, valamint 55°-os hajlásszögű geoszinkron pályákon keringő holdak is vannak. (A mostani kettő előtt összesen 11 Compass műhold indult, közülük eddig egy közepes magasságú pályára.) A kínai navigációs műholdak rádiójelei például a közlekedésben, a tengeri halászatban, a térképezés területén dolgozók számára könnyítik meg a munkát. A legnagyobb pontossággal a kínai hadsereg és a kormányzati szervek erre feljogosított felhasználói tudják meghatározni mindenkori helyzetüket. Polgári célra 10 m-es pontosságot nyújt majd a Compass, mindenütt a Földön, ha egyszer kiépül.

2012-ben korábban február 24-én, később még szeptember 18-án (ismét egyszerre kettőt) és október 25-én is indítottak további kínai navigációs műholdakat. December 27-én pedig hivatalosan, kínai és angol nyelven is közzétették a rendszer működését leíró, a gyártók által régóta várt teljes dokumentációt (*Interface Control Document*, ICD), amelynek nyomán megnyílik a Beidou vevőberendezések fejlesztésének lehetősége. Így a kínai műholdas navigációs rendszer megnyílt az általános polgári (kereskedelmi) hasznosítás számára.

2012. május

Envisat: élt tíz évet. Csak néhány hét telt el a felbocsátásának tizedik évfordulója után, amikor minden idők legösszetettebb távérzékelő műholdjáról, az Envisatról nem tudtak több jelet venni a földi irányítók. Az ESA legnagyobb földmegfigyelő műholdja április 8-án hallgatott el. Bár a szakemberek még megkísérelték újból felélesztени vele a rádiókapcsolatot, az erőfeszítések nem jártak sikerrel. Mostanra hivatalosan is elveszettnek jelentették az Envisatot, bár az természetesen – immár némán – tovább rója köreit az alig 800 km magas Föld körüli pályán.

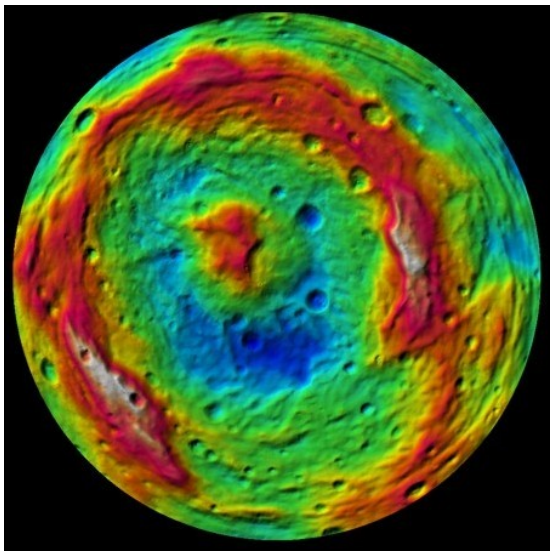
Az Envisat eddigi kitűnő teljesítménye, az eredetileg 5 évesre tervezett élettartam dupláját kitevő működési idő azt engedte remélni, hogy a bő 8 tonnás műhold még kibírja azt az időszakot, ameddig a felváltására épülő Sentinel holdak pályára nem kerülnek. Ez azonban sajnos nem vált valóra. A több ezer terabájtnyi megfigyelési adat, a kb. 2500 tudományos publikáció mutatja, mekkora szerepe volt az Envisatnak a földfelszín, a légkör, az óceánok és a jégtakaró szemmel tartásában. Fedélzetén tízféle különböző tudományos műszer repült. Nem csak tudományos célú adatokat gyűjtött, de szolgálatszerű megfigyeléseket is végzett, amelyekkel például árvizek, olajömlések, más természeti és ember okozta katasztrófák elhárításában segített.



Működésének tíz éve alatt az Envisat mérte az Északi-sarkvidék tengeri jégtakarójának csökkenését, nyaranta tanúja volt az Északnyugati átjáró rendszeres megnyílásának. Más műholdakkal együtt rendszeresen mérte a tengermagasságot, a vízfelszín hőmérsékletét. Hozzájárult az óceáni áramlások megfigyeléséhez és a víz klorofill-koncentrációjának globális méréséhez. Megállapította, hogy Ázsiában nő, Európában és Észak-Amerikában stagnál a levegő szennyezettsége. Szolgálatszerűen mérte a szén-dioxid és a metán koncentrációját, az antarktiszi ózonlyuk kiterjedését.

A szárazföldön figyelte az Antarktisz és Grönland gleccsereinek haladási sebességét, az erdősültség változását. Radarberendezésének ismételt mérései alapján földrengések, vulkánkitörések nyomán bekövetkezett felszínváltozások feltérképezéséhez segített, de alkalmas volt más eredetű felszínmozgások kimutatására – hazai vonatkozása miatt kiemeljük a kolontári vörösiszap-tározó gátjainak visszamenőleges mozgásvizsgálatában játszott szerepét.

Az Envisatról még vagy 150 évig kering egyre alacsonyabb pályán, mielőtt a földi légkörbe lép és (részben) megsemmisül. Addig az irányíthatatlan, hatalmas tömegű és meglehetősen nagy kiterjedésű űrszemét potenciális veszélyforrásként lesz jelen. A legnagyobb bajt az okozná, ha egy-egy elháríthatatlan ütközés nyomán elkezdene szétdarabolódni, láncreakció-szerűen egyre több és több veszélyes részre bomlani. Egyelőre azonban még egyben van, s reméljük, hogy egy kis szerencsével hosszú időn át így is marad...



Egy nagy kisbolygó titkai. A Vesta körül keringő amerikai **Dawn** űrszonda mérései nyomán kiderült, hogy egy keletkezésekor félbemaradt bolygóról van szó, és hogy számos földi meteor valóban erről az égitestről származik. Ez volt az első alkalom, hogy egy nagyméretű kisbolygó körül keringve sikerült egy űreszköz segítségével sokrétű, hosszú időn át tartó megfigyelés-sorozatot végezni, amiből fontos új ismereteket szereztek az égitest keletkezéséről, fejlődéséről, a Föld-típusú bolygókkal és a Holddal való hasonlóságáról. Bebizonyosodott, hogy a Vesta a Naprendszer korai korszakának megmaradt tanúja, változatosabb felszínnel, mint korábban gondolták. Többféle bizonyíték is arra utal, hogy sokkal inkább hasonlít egy kőzetbolygóra vagy a Holdra, mint egy tipikus kisbolygóra.

A Vesta belső felépítése réteges: kéreggel, köpennyel és egy vasból álló belső maggal rendelkezik. Ez az egyetlen ismert bolygókezdemény, amely ilyen formában visszamaradt abból a négy és félmilliárd évvel ezelőtti időszakból, amikor a Naprendszer bolygói kialakultak. A vasmag átmérője mintegy 225 km, közel 40%-a a teljes égitest átlagos átmérőjének. Ugyanígy és ugyanekkor jöttek létre a kőzetbolygók és saját Holdunk is. Az azóta eltelt idő óriási kozmikus becsapódásai olyan sebeket ejtettek a Vesta kérgén, főleg a déli féltekén, amelyekből a napvilágra kerültek az egykori felszín alatti magmaóceán létezésére utaló ásványok. A valamikori magma olyan égitestre utal, amelynek anyaga szinte teljes mértékben olvadt állapotban volt, s kihűlése során alakult ki a réteges felépítése.

A kutatók már korábban is gyanították, de a kisbolygó körüli pályáról végzett színképelemző mérések alapján bebizonyosodott: a Vesta anyagából ered a Földre hullott meteorok egy számottevő része, mintegy 6%-a. Így a kisbolygó az egyik legnagyobb azonosított „meteoritforrás", ráadásul az első, amelyet űreszközzel sikerült közelről is tanulmányozni, miután darabjait korábban már ismerték a Földön.

A Vesta felszínét változatos, meredek formák jellemzik. Néhány kráter igen meredek lejtőkön alakult ki, a közel függőleges falaknál talajcsuszamlások jöttek létre. Váratlan felfedezés, hogy a déli féltekén fekvő Rheasilvia nevű becsapódásos eredetű medence központi csúcsa sokkal magasabb és szélesebb, mint amit például a Holdon várhatnánk egy ugyanek-

kora méretű krátertől. A Vesta felszínét tekintve sok szempontból hasonlít más kisebb égitestekre, mint a Szaturnusz jeges holdjaira, világos és sötét területek váltakoznak rajta.

A Dawn feltárta a Vesta történetének legjelentősebb felszínformáló eseményeit, más kisebb égitestek becsapódásait is. Sikerült meghatározni két hatalmas becsapódási medence keletkezésének időpontját. Az ugyancsak a déli féltekén található Veneneia mintegy 2 milliárd, a Rheasilvia 1 milliárd évvel ezelőtt jött létre. Ez utóbbi a legnagyobb becsapódásnyom a Vestán. Viszonylag fiatal kora meglepetés, a Holdon ezek a medencék jóval idősebbek. Mindkét órásbecsapódás teljesen szétdarabolhatta volna a Vestát – az 500 km átmérőjű Rheasilvia keletkezéséért egy kb. 50-60 km-es test lehetett a felelős –, az égitestet a vasmagja mentette meg. Így „csupán" mintegy egymillió köbkilométernyi törmelék hagyta el a Vestát. Ezekből kisebb kisbolygók jöttek létre, meg persze meteoritok, amelyekből juthatott bőven a Földre is.

A NASA Dawn szondája 2007-ben indult, 2011 közepe óta kering a fő kisbolygóöv második legnagyobb tagja, a 4 Vesta körül. 2012 augusztusában eltávozott onnan, hogy 2015-re a Ceres törpebolygót is közelről tanulmányozhassa.

Elindult a „tehersárkány". A május 22-én a floridai Cape Canaveralből felemelkedett **Dragon** teherűrhajó célja volt, hogy bemutassa: el tud jutni a Nemzetközi Űrállomáshoz, sikerül a robotkaros befogás és csatlakozás, majd vissza is tud térni a Földre. Sokak szerint új korszak kezdődött ezzel az űrtevékenységben, amikor először indult el egy magánfejlesztésű, nem állami vagy nemzetközi űrügynökség által épített űrhajó az ISS-hez. A Dragon (jelentése: sárkány) és a pályára állításához használt Falcon-9 hordozórakéta is a *Space Exploration Technologies* (röviden: SpaceX) amerikai vállalat fejlesztése, amihez a NASA-n keresztül költségvetési támogatást is felhasználtak. A Dragont egyelőre teherszállításra alkalmas módon alakították ki, a mostani repülés célja pedig elsősorban az éles próba volt. A sikeres tesztrepülés megnyitotta az utat a rendszeres teherszállítmányok előtt. Közben már tervezik a Dragon emberek fel- és lejuttatására is alkalmas változatát.

A Dragon teherűrhajó következő példánya aztán október 8-án megkezdte a 12 tervezett teherszállító repülésből álló sorozatát is. A SpaceX elképzelései szerint 2016-ig évente nagyjából három Dragonnal teljesítenék a NASA szállítási megbízásait. A mintegy 4,4 m hosszú és 3,6 m átmérőjű Dragon az ISS ellátását biztosító teherűrhajók közül a legújabb, s egyben az egyedüli amerikai. Az orosz Progressz, az európai ATV és a japán HTV teherűrhajók azonban nem rendelkeznek azzal a képességgel, hogy vissza is tudjanak hozni a Földre kísérleti eszközöket vagy anyagokat – egyikük sem rendelkezik hővédő pajzzsal, így működésük végén megsemmisülnek a légkörben. Az amerikai kereskedelmi űrrepülési program másik versenyzője, az *Orbital Sciences* 2012-ben még nem állt készen a kezdésre. Ők Cygnus űrhajójukkal 9 teherszállító repülésre szerződtek a NASA-val.

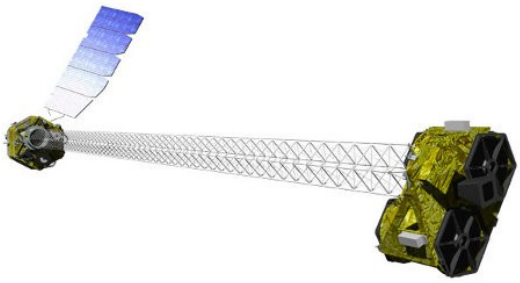
DOSIS-3D. Magyar részvétel az ESA újabb nagyszabású programjában a Nemzetközi Űrállomáson. A program ötlete már 2010-ben felmerült, és részleteinek kidolgozása is befejeződött 2011 elejére, újabb lendületet csak a **Szojuz TMA-04M** űrhajó 2012. május 15-i startjával nyert. Ennek az ESA által létrehozott, sok ország részvételével folyó programnak a lényege egy mindenki által elérhető, internetes adatbázis létrehozása, amelyben a ISS-en valaha is mért kozmikus sugárzásra vonatkozó adatok szerepelnek. Valamint cél még a korábbi

mérések kiterjesztése még nem, vagy keveset vizsgált területekre, és az új eredmények adatbázisba való elhelyezése.

A Szojuz május 17-én kapcsolódott az ISS-hez. A háromtagú legénység mellett a program keretében nagy mennyiségű, a kozmikus sugárzás detektálására alkalmas mérőeszközt is vitt magával. Az eszközök egy-egy orosz, japán és ESA csomagban érkeztek. Az MTA Energiatudományi Kutatóközpontja az orosz és az ESA csomagban is küldött sugárzásmérő detektorokat, melyek három orosz modulban (Zvezda, Pirsz, MRM-2), valamint az európai Columbus modulban kerültek elhelyezésre május 17-én és 21-én. A japán csomag detektorai a Kibo modulba kerültek, szintén 17-én.

Ez a mérési ciklus fél évig tart és még további öt ciklus követi 2015 végéig. Az adatbázis létrehozása, amihez a NASA is hozzájárul, már elkezdődött. Rövidesen megtekinthető is lesz és folyamatosan bővül, teljessé 2016-ra válik.

2012. június



Úton a NuSTAR röntgentávcső. Az új amerikai csillagászati műholdat a csendes-óceáni Marshall-szigetekhez tartozó Kwajalein-atollról indulva állították pályára június 13-án, egy repülőgépre szerelt Pegasus-XL hordozórakétával. A 350 kg-os NuSTAR tudományos programjában elsősorban a galaxisok középpontjában található szupernagy tömegű fekete lyukak körüli aktivitást vizsgálják röntgentartományban. Néhány évtizede az ilyen fekete lyukakat még ritkán előforduló objektumoknak gondolták, de mára kiderült, hogy minden nagyobb galaxis centrumában van hasonló – még ha aktivitásuk szintje messze nem is egyforma. A NuSTAR érzékeny vizsgálatait olyan égboltterületeken kezdi, amelyeket más hullámhosszakon – például a NASA nagy űrtávcsöveivel, a Hubble-, Chandra- és Spitzer-űrobszervatóriumokkal – korábban már tüzetesen felmértek. Olyan, a sűrű por- és gázanyag mögött rejtőző fekete lyukak felfedezését várják tőle, amelyek még az alacsonyabb energiatartományokban működő röntgenteleszkópok számára sem láthatók. (A NuSTAR detektorai az 5 és 80 keV közötti tartományban érzékenyek.) Ugyancsak kiemelt vizsgálati terület lesz saját galaxisunk középpontja, a Sagittarius A* nevű rádióforrás környezete. Az űrtávcső egyéb célpontjai között szerepelnek szupernóva-maradványok, köztük a híres 1987A jelű csillagrobbanás maradványa, de a Nap koronája is. A műhold tervezett működési élettartama legalább 2 év.

A kb. 600 km magas, közel egyenlítői (6°-os hajlásszögű) pályára került NuSTAR műhold technikai érdekessége a röntgensugarakat összegyűjtő Wolter-telkeszkóp 10 m-es fókusztávolságát biztosító rácsszerkezet. A hosszú, árbocszerű szerkezet mintegy száz rúdból áll. A NuSTAR a NASA kis tudományos holdakat alkalmazó Small Explorer sorozatának tizenegyedik darabja (SMEX-11).

Sencsou-9: egy nő, két férfi a kínai űrhajón. A Csiucsüanból, Hosszú Menetelés-2F rakétával június 16-án indult negyedik kínai emberes űrrepülést számos „elsőség” jellemzi. A Sencsou-9 fedélzetén repült az első kínai női űrhajós (Liu Jang). Most fordult elő először, hogy egy kínai űrhajós – Csing Haj-peng, a parancsnok – visszatért a világűrbe. Sosem repült még egyszerre három kínai a Föld körül; a személyzet harmadik tagja Liu Vang. A Sencsou-9 küldetése volt az eddigi leghosszabb, és először érkeztek látogatók a tavaly ősszel felbocsátott Tienkung-1 űrállomásmodulra. A Szovjetunió és az Egyesült Államok mellett Kína a harmadik ország, amely az emberes dokkolást megvalósította a világűrben.

Belső-Mongóliában június 29-én szerencsésen földet ért a kínai űrhajó visszatérő kabinja. A program során a Tienkung-1 kísérleti űrállomásmodulhoz 18-án először automatikus módban, majd 24-én kézi irányítással is dokkoltak. Közel 10 napot töltve ott, első látogatókként „belakták" az űrállomást. A fedélzeten elsősorban a Tienkung-1 rendszereit próbálták ki, valamint orvosi kísérleteket hajtottak végre. A mostani küldetés egy fontos következő lépés volt az ázsiai ország ambiciózus űrprogramjában. A tervek szerint 2020 körül már egy állandóan lakott, a mostaninál nagyobb űrállomást szeretnének üzemeltetni. Később szóba jöhet a holdraszállás is.

2012. július

Lengyelország belép az ESA-ba. Az Európai Űrügynökség Tanácsában a tagországok képviselői egyhangú szavazással támogatták Lengyelország csatlakozását. Ezzel felhatalmazták Jean-Jacques Dordain főigazgatót, hogy az európai űrkutatási szervezet nevében aláírja a csatlakozási egyezményt Waldemar Pawlak lengyel gazdasági miniszterrel. Lengyelországban most kezdődik majd a hivatalos ratifikációs eljárás, amelynek a végén a parlament szavaz az ESA-ba való belépésről. Lengyelország lesz az ESA huszadik tagállama. A középeurópai térségből Lengyelország előtt Csehország, majd Románia is megelőzött bennünket az ESA-tagsághoz vezető úton.

Felszállt a „fehér gólya". Elindult a harmadik japán teherűrhajó a Nemzetközi Űrállomás felé. A **Kounotori-3** (fonetikus magyar átírással Kónotori-3, jelentése fehér gólya), korábbi „száraz" jelölésével HTV-3 *(H-2 Transfer Vehicle-3)* július 21-én emelkedett a magasba a Japán Űrügynökség (JAXA) H-2B hordozórakétájával. Az indítás szokásos helyszíne Japán déli részén Tanegashima szigete volt. A HTV első példánya 2009 szeptemberében, a második 2011 januárjában teljesítette feladatát.

Az ember nélkül repülő teherűrhajó feladata a kb. 400 km-es magasságban keringő ISS ellátásának segítése. A Kounotori-3 fedélzetén most összesen mintegy 4,6 tonna tömegű élelmiszer, ruházat, egyéb felszerelés, kísérleti eszköz jutott fel. Az űrállomás közelébe érve az űrhajósok a robotkarral fogták be, majd csatlakoztatták az ISS Harmony moduljához. A japán teherűrhajó másfél hónapot töltött, szeptember 14-én a sűrű légkörbe lépve megsemmisült. Előzőleg megrakták az ISS-en már feleslegessé vált felszereléssel és hulladékkal.

A HTV teherűrhajókon minden alkalommal van valami új fejlesztés. Ezúttal japán készítésű, fejlett technológiájú kommunikációs berendezés és hajtóműrendszer mutatkozott be a világűrben. A rakomány nagyobb része, kb. 3,5 tonna a nyomás alatt levő tárolóegységben (*Pressurized Logistics Carrier*, PLC) kapott helyet. A mintegy 1,1 tonna, ami a másik, nem nyomás alatt levő részben (*Unpressurized Logistics Carrier*, ULC) utazott, az űrállomás Kibo moduljának külső részére kerülő kísérleti berendezés-együttes, valamint egy amerikai kísérleti kommunikációs és navigációs műszer.

2012. augusztus

Egyesül a DigitalGlobe és a GeoEye. Egy 900 millió dolláros adásvétel keretében a nagyfelbontású műholdfelvételek piacát uraló két amerikai vállalat közül a DigitalGlobe magába olvasztja eddigi versenytársát, a GeoEye céget. Tavasszal még az terjedt el, hogy a felvásárlás fordított irányú lesz. Az egyesülést ötletét kiváltó ok azonban megmaradt, sőt azóta bizonyossá is vált: az amerikai kormányzati szektor takarékossági okokból a korábban ígértnél jóval kevesebbet költ nagyfelbontású műholdképek beszerzésére. A fő megrendelő visszatáncolása a 2010-ben kötött, húsz évre szóló keretmegállapodástól érzékenyen érinti mindkét céget. Az egyesített vállalat a DigitalGlobe nevet tartja meg, és a vezetőségét is a felvásárló

cég adja majd. A DigitalGlobe és a GeoEye korábbi részvényesei 64:36 arányban ellenőrzik az új céget, az igazgatótanácsba 6, illetve 4 főt delegálhatnak. Bár a műholdfelvételek piacán nem csak az amerikai kormányzat, hanem a hadsereg, külföldi kormányok, illetve egyes vállalatok – például közlekedési vagy ingatlancégek – is vevőként lépnek fel, az árbevétel fele mégis kormánymegrendelésekből származik. Így az amerikai szövetségi költségvetési megszorítások miatt szükség lesz a fúziótól remélt 1,5 milliárdos megtakarítására. Ez elsősorban abból adódik, hogy lassabban építenek és indítanak majd új kereskedelmi távérzékelő műholdakat, amelyekkel a már meglevő flottájukat frissítenék fel. A GeoEye üzemelteti a GeoEye-1 és IKONOS, a DigitalGlobe a QuickBird, WorldView-1 és -2 műholdakat.

A Curiosity a Marson. Augusztus 6-án sikeresen leszállt a vörös bolygóra, a Gale-kráter belsejébe az új amerikai marsjáró. A NASA szakemberei előzetesen – félig komolyan, félig tréfásan – csak a „rettegés hét perce” néven emlegették a **Mars Science Laboratory** (MSL) űrszonda repülésének azt a szakaszát, amikor a Curiosity marsjáró belépett a bolygó légkörébe, majd hőpajzsa, később ejtőernyője segítségével csökkentette sebességét. Végül rakétás fékezéssel, a rovert kábelek segítségével a saját kerekeire leengedő, majd onnan eltávolodó „légi daru” közreműködésével oldották meg a sima leszállást a Marson. Hasonló, számtalan hibalehetőséget rejtő, összetett módszerrel eddig még sosem landolt űreszköz.

Az eddigi legnagyobb tudású űrszonda, amelyet idegen égitestre küldtünk, legalább egy marsi éven (két földi éven) át végzi kutatómunkáját. De ha minden jól megy, ennél lényegesen tartósabb is lehet. A Curiosity nem az első marsjáró, de sokkal nagyobb, mint elődei – köztük a legutolsó, a 2004 januárjában érkezett, még ma is működőképes Opportunity. A nagy tömeg elsődleges oka, hogy a tudományos műszeregyüttes lényegesen összetettebb. A fejlődést az előző generációhoz képest jól érzékelteti, hogy a Curiosity műszerei összességében mintegy 15-ször akkora tömegűek, mint az azonos felszereltségű Spirit és Opportunity marsjáróikrekéi. A nagy (kb. 900 kg-os) össztömeg miatt volt szükség az újszerű landolásra is: a Mars ritka légkörében a hővédő pajzsos, majd ejtőernyős és légzsák-burkolatos fékezés nem lett volna elég hatékony.

A 3 m hosszú, 6 kerékkel ellátott, egy kis autó méreteivel vetekedő Curiosity a Marson. Az űreszköz „önarcképe” a robotkar végén levő Mars Hand Lens Imager (MAHLI) kamerával, 55 részletből összerakva, 2012. október 31-én készült. (Kép: NASA / JPL-Caltech / MSSS)

Az is fontos szempont, hogy ezzel a módszerrel pontosabban meg lehet célozni az előre kijelölt leszállóhely körzetét. Az összetett műszerpark energia-felvétele, valamint a biztonságos, a napszakoktól és évszakoktól független működtetés érdekében nem napelemekkel, hanem radioaktív termoelektromos generátorral „hajtják meg" az űrjárművet.

A Curiosity megépítésére és Marsra küldésére a NASA mintegy 2,5 milliárd dollárt költött. A program fő célja, hogy megállapítsa, milyenek lehettek a környezeti körülmények a korai Marson. Előfordulhatott-e, hogy a klíma valaha is alkalmas volt ott az élet kifejlődéséhez és fennmaradásához. Esetleg megmaradt-e mostanáig is olyan bizonyíték, amely az egykori életre utal. Itt mikrobiális, és nem valamiféle magasabb rendű életformákra kell gondolni. A programban részt vevő kutatók nem győzik hangsúlyozni, hogy a Curiosity nincs felkészítve az esetleges jelenlegi marsi élet kimutatására – még akkor sem, ha netán volna ilyen a rendkívül sivár felszíni körülményeket kínáló égitesten. A várható (és persze a váratlan) tudományos eredmények mellett a Curiosity szerepe, hogy méréseivel előkészítse a Mars kutatásának soron következő fázisait: például anyagminta-visszahozó, vagy az aktuális élet helyszíni detektálására alkalmas automata űreszközök látogatását, végső soron pedig az emberes Mars-utazást.

A Curiosity leszállóhelye, a marsi Egyenlítőtől valamivel délre fekvő Gale-kráter egy rendkívül érdekes, minden bizonnyal egyedülálló lehetőségeket kínáló helyszín a bolygón. A 154 km átmérőjű krátert hosszas, a Mars körül keringő szondák eredményeit alapul vevő kutatómunka után jelölték ki célpontnak. Közepén egy kb. 5 km-re kiemelkedő hegy magasodik, amit a marsjáró módszeresen „megmászik" majd. A hegy oldalában feltárulnak a Mars történetének különböző korszakaiból származó kőzetrétegek – alulról felfelé először a régiek, aztán az egyre újabbak. Maga a kráter alja, ahová a Curiosity megérkezett, a Mars egyik legalacsonyabban fekvő területe. Ezért ha egykor folyékony víz borította a felszínt, annak a jeleit itt fel kellene ismerni.

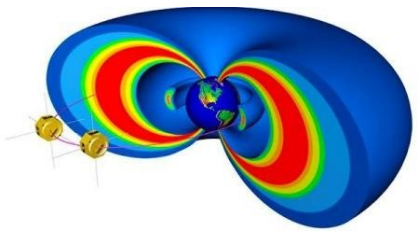
A leszállás után a NASA szakemberei fokozatosan ellenőrizték a műszerek és kiszolgáló berendezések működését, és szinte mindent rendben találtak. A Curiosity 2012-es méréseiből később kiderült többek közt, hogy a rover állomáshelyén valaha állandó vízfolyás volt. A Mars felszínén most először sikerült kavicsokat tartalmazó konglomerátumot megfigyelni. A kőzet vizsgálatával azt is meg lehetett becsülni, hogy milyen mély és milyen gyors volt az egykori vízfolyás. A légkör összetételének első elemzése nem mutatta ki metán jelenlétét. A talajból vett első minta összetételének laboratóriumi vizsgálata is megtörtént novemberben. A SAM *(Sample Analysis at Mars)* műszer talált szerves anyagra, például nyomokban klórmetánra utaló jelet. A NASA kutatói biztosak voltak abban, hogy a molekulákban levő klór marsi eredetű, de a szénről nem voltak meggyőződve, azt a műszerben maradt földi eredetű anyagnak tulajdonították. Egyértelmű eredményekhez még egy sor további elemzésre lesz szükség.

Elhunyt Neil Armstrong. A 20. század méltán egyik leghíresebb embere, az első, aki a Holdra tette a lábát, 82 éves volt. Az augusztus 25-én elhunyt Neil Armstrong, korábban a koreai háborúban harcoló vadászrepülő-pilóta, később berepülőpilóta, űrhajósként 1969. július 21-én írta be végleg magát a történelembe. Az Apollo-11 parancsnoka lépett – az első emberként – egy idegen égitest, a Hold felszínére. A korabeli tévéközvetítések nyomán Armstrong egyszerre nem csak amerikai hős lett, de világhírnévre tett szert. Nem az Apollo-11 volt Armstrong első űrrepülése, hiszen 1966-ban a Gemini-8 parancsnokaként már járt a világűrben, végrehajtva az első űrdokkolást. Röviddel a holdraszállás után Armstrong elhagyta a NASA kötelékeit. Életét inkább a repülési-műszaki vállalkozásainak szentelte, mintsem hogy kihasználta volna hírnevét. Meglehetősen zárkózott volt, ritkán adott interjúkat, és csak nagyobb évfordulók alkalmával jelent meg a nyilvánosság előtt.

Amerikai műholdpáros a Van Allen-övezetek kutatására. A NASA **Radiation Belt Storm Probes** (RBSP) nevű (később James Van Allen tiszteletére átnevezett) küldetése a Földet körülvevő sugárzási övezetek tulajdonságait deríti fel. A két műholdat egy Atlas-5 hordozórakéta emelte a magasba a floridai Cape Canaveral 41-es indítóállásáról, augusztus 30-án.

Bár a sugárzási övezetek létezésére már több mint fél évszázaddal ezelőtt, az űrtevékenység hajnalán fény derült, tulajdonságaikról távolról sincs minden információ a birtokunkban. A Földet körülvevő, elektromosan töltött részecskéket tartalmazó övek, amelyek alakja egy-egy tóruszra emlékeztet, egy belső és egy külső részre tagolódnak. A belső Van Allen-öv a felszín felett kb. 600 és 6000 km-es magasságban húzódik, a külső akár 65 ezer km-ig is kiterjedhet (a részecskék sűrűsége itt 15–20 ezer km körül a legnagyobb). A belső övben a kozmikus sugárzás hatására létrejövő, pozitív töltésű protonok dominálnak. A külsőben inkább jellemző elektronok a napszél következtében jelennek meg.

A nagy energiájú töltött részecskék számára nem számít akadálynak a műholdak és űrhajók fémburkolata vagy az emberi szövetek, így űreszközeink és űrhajósaink számára veszélyt jelentenek. Nem véletlen, hogy a belső övnek megfelelő pályamagasságokat a műholdakkal és űrhajókkal általában elkerülik. A bolygónkig elérő napkitörések hatására, az űridőjárás kénye-kedvének engedelmeskedve a sugárzási övezetek elhelyezkedése, kiterjedése megváltozhat. Különösen a külső öv változékony. A Földhöz közel kerülve a felgyorsított részecskék zápora kárt tehet a műholdakban vagy akár a felszíni elektromos hálózatokban, zavarhatja a GPS navigációs rendszer használatát, extra sugárdózist jelenthet a poláris útvonalakon közlekedő repülőgépek utasainak.



A 686 millió dolláros költséggel készült műholdpáros tagjainak feladata, hogy kötelékben berepülve a Van Allen-övezetekbe, érzékeny műszereikkel felmérjék azok folyamatos változásait. A hely és az idő függvényében mérik a részecskék különböző típusainak eloszlását, a plazmában terjedő hullámokat, az elektromágneses teret. A különböző műszerekkel a lehető legnagyobb energiatartományt igyekeznek átfogni. Az elektronok és protonok mellett nagyobb tömegű töltött részecskék, például oxigén és hélium ionok is találhatók az övekben. A két, lényegében azonos felszereltségű, egyenként kb. 650 kg-os műhold elnyúlt, 600 és 37 000 km közötti magasságú, 10°-os hajlásszögű pályára került, ami átvezeti őket mindkét sugárzási övezeten. Működésük során a távolságuk néhány száz km-től több tízezer km-ig változik majd. Remélt működési élettartamuk legalább 2 év.

2012. szeptember

Grasshopper: az első szökkenés. A SpaceX megtette az első lépést a teljesen újrafelhasználható hordozórakéták kifejlesztése felé. Szeptember 21-én, a vállalat texasi telephelyén végrehajtotta első, még nagyon rövid ideig tartó „repülését” a *Grasshopper* („Szöcske”) nevű vadonatúj technológiai demonstrátor. Elon Musk cége ezzel az eszközzel kívánja kikövezni az utat a Falcon-9 hordozórakéta első fokozatának sérülésmentes visszanyerése felé, ami a nagyobb cél, a teljes újrafelhasználhatóság elérése felé mutat. Maga az első „tesztfelszállás” kevesebb mint 3 másodpercig tartott, és alig 2 méter magasra emelkedett a teszteszköz, amely egy Falcon-9 első fokozatból, egy Merlin-1D rakétahajtóműből, és négy acéllábból, illetve az azokat összefogó keretből épül fel. A tervek szerint függőlegesen fognak majd földet érni az égből visszatérő rakétafokozatok, a demonstrátor feladata ezen megoldás részleteinek kikísérletezése. Az év végéig még két próbát végeztek, a decemberi során már 40 m-es magasságig emelkedett, és majdnem fél percet töltött a levegőben az eszköz.

2012. október

Új, modern GPS hold indult. A legújabb generáció harmadik képviselőjével frissítették a már világszerte nélkülözhetetlenné vált amerikai navigációs műholdrendszert. A GPS (*Global Positioning System*, globális helymeghatározó rendszer) Block 2F-3 jelzésű műholdja október 4-én startolt egy Delta-4 hordozórakétával, Cape Canaveralről. A nagyteljesítményű rakéta és végfokozata nem átmeneti pályára, hanem közvetlenül a tervezett végső helyére, a 20 ezer km magasan, 55°-os hajlásszögű pályákon keringő GPS konstelláció *A* jelű pályasíkjába, annak is az 1. számú pozíciójába juttatta az új űreszközt. A repülés a starttól a műhold önállósodásáig három és fél órán át tartott. A GPS Block 2F-3 műhold egy már 19 éve működő társát váltja le. A Boeing által épített 2F sorozattal lassan de biztosan tovább modernizálják az amerikai navigációs műholdrendszert. Az új holdak pontosabb méréseket tesznek lehetővé, könnyebben átprogramozhatók, jobban ellenállnak az esetleges zavarásnak, és a polgári repülés számára kialakított új navigációs jelet is sugározzák. A 2F jelzésű műholdsorozat első tagja 2010-ben, a második 2011-ben állt pályára. A GPS Block 2F műholdakból összesen 15 készül majd.

Az amerikai katonai irányítás alá tartozó, de világszerte számtalan civil hely- és időmeghatározási alkalmazásra is használt GPS a tőle megszokott stabilitással működik. Pillanatnyilag összesen 31 aktív műholdja sugározza rádiójeleit a Föld körül egyenletesen elosztott pályákról a vevőkészülékek felé. Napjainkra a műholdas helymeghatározás megkerülhetetlenül fontossá vált a szárazföldi, légi és vízi közlekedés, a mezőgazdaság, a földmérés, a tudományos kutatás, és még egy sor más gazdasági terület számára. De a GPS nyújtotta pontos időszinkronizációt használják például a banki tranzakciókhoz is

Deep Impact: pályamódosító manőver. A NASA veterán, már kétszer sikeresen használt űrszondája még 2020-ban is megközelíthet egy kis égitestet. A Deep Impact szondán október 4-én 71 másodpercre bekapcsolták a fedélzeti hajtóműveket. Ennek nyomán 2 m/s sebességváltozást értek el. A száraz híradás azt jelenti, hogy a 2005 januárjában indított űreszköznek még egy alkalma lehet, hogy megmutassa, mit tud. A pályamódosító manővert ugyanis azért végezték, hogy a szonda később egy kisméretű, a Földéhez közeli pályán keringő kisbolygó, a 2002 GT mellett repülhessen el.

Ha lenne a Deep Impact szondán kilométeróra, az most 6,75 milliárdot mutatna. Ennyi kilométert haladt már a Naprendszerben az űreszköz. Amiért eredetileg készítették, az a Tempel-1 üstökös megközelítése volt, ahová egy becsapódó egységet is eljuttatott 2005 júliusában. Már 16 nappal az esemény után, a megmaradt hajtóanyag egy részének felhasználásával úgy alakították a pályáját, hogy 2010 novemberében elrepülhessen a Hartley-2 üstökös mellett is. Menet közben ráadásképp a fedélzeti kamerával ismert exobolygókkal rendelkező csillagokat is megfigyeltek. A harmadik célpontnak választott, 2002-ben felfedezett, 800±400 m-es átmérőjű kisbolygóról szinte semmit sem tudunk. Csak reménykedhetünk benne, hogy a 2020-ra már 15 éve a világűrben repülő Deep Impact műszerei szolgálnak még meglepetésekkel róla. A számítások szerint a találkozásra 2020. január 4-éig kell várnunk. Addig persze még gyűlnek majd az információk a kis égitestről, földi távcsövek segítségével is. Különösen, hogy jövő nyáron 18 millió km-re jut a Föld „közelébe". Az óvatos várakozás továbbá azért is indokolt, mert a NASA hivatalosan még nem adta áldását a projekt tényleges folytatására. Finanszírozási kérdések ide vagy oda, a Deep Impact mindenesetre most már a „célra állt".

Újabb két Galileo IOV hold indult. A starttal négyre emelkedett az európai navigációs rendszer műholdjainak száma. A mostani tesztfázis sikere után a többi új űreszköz sorozatban kerül majd pályára, 2013-tól kezdve. A kettős indítás a francia guyanai Kourou űrközpontból, Szojuz hordozórakétával történt, október 12-én. Ez volt a Szojuz rakétatípus harma-

dik, VS03 jelzésű startja a dél-amerikai indítóhelyről. 2011. október 21-én, majdnem pontosan egy ével ezelőtt, a Szojuz kouroui bemutatkozása alkalmával is két Galileo műhold állt pályára. Az akkori és a mostani műholdpár együtt alkotja a Galileo rendszer próbafázisát (*In-Orbit Validation*, IOV). Bár a fázis célja egyelőre a rendszer működésének – a fedélzeti berendezéseknek, a jelsugárzásnak, a földi követésnek és irányításnak – a kipróbálása „élesben", a most pályára állított űreszközök már részei lesznek a hamarosan kiépítendő teljes, 30 tagú Galileo műholdrendszernek is. Négy az a minimális műholdszám, amivel helymeghatározást lehet végezni. Így a két új műhold bekapcsolása után már ilyen mérések is lehetővé válnak. A kb. 23 ezer km magasan, a Föld körül egyenletes térbeli eloszlásban keringő műholdak 30-as konstellációjára azért lesz szükség, hogy bármilyen időpontban és lényegében bárhonnan nézve mindig rendelkezésre álljon egyszerre legalább négy műhold a horizont fölött.

A Galileo hasonló elven, kódolt rádiójeleknek a földi vevőberendezések felé történő kisugárzásával működik majd, mint a legismertebb amerikai GPS, valamint az orosz GLONASSZ és a kínai Compass rendszer. Míg azonban azok katonai fennhatóság alatt üzemelnek, a Galileo irányítása civil kézben marad. A Galileo régóta húzódó kiépítésétől az európai ipari, közlekedési és szolgáltatási szektor fejlődését, a műholdas helymeghatározáson és időszinkronizáción alapuló alkalmazások még jobb elterjedését várják. Így térülhet meg az a befektetés, amit az Európai Unió a műholdrendszer létrehozására költött. A következő 22, immár a teljes kiépítés kezdetét jelentő műhold közül az első pár 2013 elején állhat pályára, ugyancsak Szojuz rakétával. A tervek szerint az első 18 űreszköznek 2014 végéig repülnie kell, amivel már beindítható egy kezdeti szolgáltatás.

A mostani két Galileo IOV műhold újdonsága, hogy már olyan berendezést is magukkal visznek, amivel a nemzetközi KOSZPASZ-SARSAT műholdas keresési és mentési rendszer munkájában is részt tudnak venni.

2012. november

Az űrállomás hatása, új szabadalmakban mérve. Egy tanulmány szerint 1981 óta folyamatosan nő a súlytalansággal kapcsolatos kutatások nyomán született szabadalmak száma az Egyesült Államokban. A közeljövőben, mivel a Nemzetközi Űrállomás immár lényegében kész van, ez a növekedő trend várhatóan folytatódni, sőt gyorsulni fog. A szabadalmaztatott eljárások száma valójában a kutatások egyre növekvő gazdasági potenciáljára jellemző. A tanulmányban figyelembe vett, már megítélt szabadalmakon túl az elmúlt évtizedben 580 alkalommal nyújtottak be súlytalanságban végzett kutatásokhoz köthető szabadalmi kérelmeket az USA-ban. Jelentőségük szerint sorrendben az első négy kategória, amelyben a vizsgált szabadalmak születtek, azt is megmutatja, hogy az űrállomáson végzett munka mely területeken a leggyümölcsözőbb. A szabadalmak több mint egyharmadával a biotechnológia vezet (36%). Ezt követik a műszeres és vizsgálati eljárások (13%), az anyagtechnológia (12%) és az űrberendezések gyártása (12%). Úgy tűnik, hogy a makromolekulák kristályainak növesztése súlytalanságban, valamint a kórokozó baktériumok elleni oltóanyagokkal végzett kísérletek jelentik a legnagyobb gazdasági és egészségügyi potenciált az űrállomáson folyó kutatások közül. Míg kezdetben az amerikai kormányzati szektorban született eredmények domináltak az új szabadalmakban, mostanra az ipari szereplők vették át a vezető szerepet ezen a téren.

Tovább csökkentik a GOCE pályamagasságát. A Föld gravitációs terét feltérképező európai műhold már meghosszabbított programját tölti. Az alacsonyabb pályától még jobb térbeli felbontású adatokat várnak. A különleges, áramvonalas alakú, a nem gravitációs eredetű pályamódosító hatásokat – elsősorban a ritka felsőlégkörben a légellenállást – ionhajtóművekkel kompenzáló GOCE *(Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer)* 2009

májusa óta kering a Föld körül. Méghozzá egyedülállóan alacsony, 255 km-es poláris pályán. (A földmegfigyelő holdak többsége jellemzően 700-800 km magasban kering.) Az eredeti számítások szerint már véget kellett volna érnie küldetésének, de a várakozásoknál gyengébb naptevékenység, s így a kevésbé kiterjedt légkör lehetővé tette, hogy a légköri fékeződés ellen alkalmazott ionhajtóművek működtetéséhez kevesebb xenon üzemanyagot használjanak fel. Ezért vált most lehetővé, hogy fokozatosan még 20 km-rel, 235 km-re csökkentsék a GOCE repülési magasságát. Az augusztusban kezdett manőversorozat 2013. februárig tart.

A felszínhez még közelebb húzódó pálya azt jelenti, hogy a GOCE eddigi méréseiből már elkészült, nagy felbontású geoidmodellt még tovább finomíthatják. Ennek főleg az óceánkutatók örülnek majd, akik az áramlások még pontosabb felmérését remélik az új adatoktól. Egyesek egyenesen egy új küldetésnek tekintik a GOCE hátralevő működési idejét. Az ESA szakemberei szerint 2013 végéig kitarthat az űreszköz.

Befektetés az európai űrjövőbe. Novemberben Olaszországban, Nápolyban zajlott az ESA tagállamainak miniszteri értekezlete, a szervezet legfőbb döntéshozó fóruma. Fontos (űr)politikai döntések születtek, amelyek meghatározzák majd az európai űrtevékenység közeli és kicsit távolabbi jövőjét is. Az ESA húsz teljes jogú tagállama (köztük a legújabb Lengyelország) és Kanada miniszterei 10 milliárd euró sorsáról határoztak, amikor kijelölték a fejlesztések fő irányait a 2013–2017 közötti időszakra. A következő miniszteri tanácsülés 2014 tavaszán lesz.

A leginkább várt döntések közül kiemelendő, hogy az európai űrminiszterek elfogadták Oroszország csatlakozását az ExoMars programhoz. Ez a fontos, az ExoMars „túlélését" biztosító fejlemény közel egy évvel azután történt, hogy az amerikaiak pénzhiányra hivatkozva kiszálltak a közösen elképzelt programból, amely előbb egy a bolygó körül keringő egységet (start 2016 januárjában), majd egy önjáró laboratóriumot (2018 áprilisában) küldene a Marsra. Mindkét startra orosz Proton hordozórakétákat használnak majd. Végül a NASA is benne maradt az ExoMarsban, de az eredetinél tervezettnél sokkal kisebb mértékben, egyes műszerek elkészítésével járul majd hozzá.

A legnagyobb vitát ígérő hordozórakéta-fejlesztési témában kompromisszumos megoldás született. A jelenleg szolgálatban levő, nagy teherbírású, igen megbízható, de meglehetősen drága Ariane-5 felváltására a franciák gyorsították volna a kisebb, egyszerűbb és ezért olcsóbb Ariane-6 tervezését. Német javaslatra előbb az Ariane-5 továbbfejlesztésére költenek, de – s ebben áll a kompromisszum – már a következő rakéta igényeit is a lehető legjobban figyelembe véve. Most úgy tűnik, az Ariane-6 legkorábban 2021-ben mutatkozhatna be. A feljavított Ariane-5 ME *(mid-life evolution)* kapacitása mintegy 20%-kal növekedne, egy új fejlesztésű, újraindítható, folyékony hidrogén üzemanyagú rakétafokozattal. A Vinci nevű hajtómű alkotná később az új Ariane-6 második fokozatát is. Az Ariane-5 ME orrkúpja alá a mostaninál nagyobb űreszközöket is el tudnak majd helyezni. Az Ariane rakéták fejlesztésével kapcsolatos munkákat most két évre finanszírozzák, a folytatás mikéntjéről 2014-ben döntenek.

Némi meglepetésre a britek jelentősen megnövelték hozzájárulásukat a közös ESA költségvetéshez. Ennek egy részéből aztán futotta arra is, hogy a miniszterek zöld utat adjanak az amerikai Orion űrhajó fejlesztéséhez való európai hozzájáruláshoz. Eszerint a NASA készülő új űrhajójához kiszolgáló modult gyártana az ESA. Ezzel letudná az ISS 2017–2020 közötti működési élettartamára jutó hozzájárulását is. A döntés stratégiai jelentősége, hogy a NASA és az ESA együttműködése révén Európa sem maradna ki az emberes űrhajózás következő nagy lépéseiből, az alacsony Föld körüli pályán túlra tervezett küldetésekből.

Az ESA miniszteri tanácsa emellett olyan fejlesztésekhez biztosított anyagi forrást, amelyekben a legnagyobb növekedési potenciált látják, vagy közvetlen gazdasági-társadalmi hatását fontosnak tartják. Ilyenek például az űrtávközlés, a meteorológia, a földmegfigyelés. Már a tanácsülés előestéjén nyilvánosságra került viszont, hogy egyelőre lekerül a napirend-

ről a Holdra leszálló európai automata űrszonda terve. A javaslatot szívügyüknek tekintő németek nem tudtak elegendő pénzbeli hozzájárulást összegyűjteni más „nagy" európai űrnemzetektől, mivel a franciák és az olaszok számára eltérőek voltak a prioritások.

A Merkúr jege. Amire eddig már több közvetett bizonyíték is volt, azt most az amerikai **MESSENGER** (MErcury Surface, Space ENvironment, GEochemistry, and Ranging) űrszonda újfajta mérésekkel is igazolta: vízjégréteg húzódik a bolygó egyes sarkvidéki kráterеinek alján. A MESSENGER – hosszadalmas utazás után – 2011 márciusában állt pályára a Naprendszer legbelső bolygója körül. A jég persze nem a 400 Celsius-fok körüli maximális hőmérsékletű felszínen, hanem a pólusoknál fekvő kráterek belsejében, a felszíni törmelékréteg alatt, állandó árnyékban található. Ezzel egy két évtizedes, földi radarmérések alapján megfogalmazott, akkoriban különösen meglepőnek számító sejtést sikerült újabb, egybehangzó mérésekkel igazolni. A bizonyító erejűnek tekintett méréseket egyrészt a szonda fedélzetén repülő neutron-spektrométer végezte, amely alkalmas a talaj összetételének meghatározására. A detektorba kerülő neutronok akkor repülnek ki a felszín anyagából, amikor a kozmikus sugárzás nagyenergiájú részecskéi becsapódnak oda. Ami a neutronokat illeti, magas északi szélességeknél pont úgy csökken a számuk a Merkúron, ahogyan azt a vízmolekulákban megkötött hidrogén hatására megjósolják a modellek. A neutron-spektrométerrel végzett mérések térbeli felbontása arra nem elegendő, hogy adott esetben a pontos helyszíneket (kráterеket) is azonosítani lehessen a bolygó térképén. De az kiderül belőlük, hogy egy 10–20 cm mély, hidrogént tartalmazó anyagban szegény borítás alatt több deciméternyi vastagságú, szinte tiszta vízjégből álló réteg lehet. A teljes víztömeg nagyságrendileg 10^{10}–10^{12} tonna között lehet, ami üstökösök és kisbolygók becsapódásai révén gyűlhetett fel a Naprendszer létezésének korai korszakaiban.

Elvileg elképzelhető volna, hogy a hidrogén nem víz-, hanem másféle molekulákban kötött állapotban van a Merkúron. Más mérések azonban ezt igen valószínűtlenné teszik. Az egyik szerint a közeli infravörös tartományba eső impulzusokat kibocsátó lézeres magasságmérő adatai a felszín más-más részein nagyon eltérő visszaverő képességről tanúskodnak. Például a kb. 110 km átmérőjű, az északi pólus közelében fekvő Prokofjev-kráter árnyékban levő belső oldala egyes foltokban 2-4-szer jobban veri vissza a beeső infravörös sugárzást, mint a környezete, ami felszíni jégréteg jelenlétére utal. Az árnyékos helyeken találtak sötét foltokat is, amelyekről egyelőre inkább csak feltételezik, hogy szerves anyagokat tartalmazhatnak, és mintegy hőszigetelő burkolatként védik a mélyebben húzódó jeget. A szerves anyagok ugyancsak az üstökösökkel kerülhettek a Merkúrra.

A lézeres magasságmérővel kapott pontos felszínmodell arra ad lehetőséget, hogy megállapítsák: hova süt be néha a nap, és hova nem süt sohasem. Az ebből levezetett hőmérsékleti modell szerint az örök árnyékban levő kráterfalak és kráteraljzatok hőmérséklete nem emelkedik kb. 50 K (–223 °C) fölé. Ha ide valahonnan víz jut, az a Merkúr forgástengelyének stabilitása miatt hosszú időn át biztosan meg is marad.

A poláris vízjég kimutatása vagy jelenlétének cáfolata a Merkúron a MESSENGER tudományos programjának egyik előzetesen meghatározott fő célja volt.

A Föld jege. Ellentétben a Merkúrral, a saját bolygónkkal kapcsolatban nem az a kérdés, hogy vannak-e poláris jégsapkák. Inkább az, hogy milyen ütemben fogyatkoznak. Erről közölt egy minden eddiginél átfogóbb, műholdas mérési adatokon alapuló tanulmányt egy nagy nemzetközi kutatócsoport. A világ 26 kutatóintézetében dolgozó 47 társszerző az amerikai (NASA) és az európai (ESA) űrügynökségek támogatásával amerikai, európai, kanadai és japán műholdak különféle méréseit dolgozták fel és értelmezték. Az adatok közt szerepelt pontos műholdas magasságmérésekből, radar-interferometriával végzett megfigyelésekből és gravitációs mérésekből származó információ is, valamint repülőgépes méréseket is végeztek. Ezek együttes feldolgozása is lehetővé vált a térbeli és időbeli átfedések miatt.

Az eredmény: az északi és déli poláris jégtakaró tömegváltozásának pontos meghatározása, a különféle technikák jóvoltából az eddigieknél megbízhatóbban. Északon különösen a Grönland területére, délen a Nyugat-Antarktiszra és az Antarktiszi-félszigetre vonatkozó eredmények figyelemre méltók.

Az 1992 és 2011 közötti időszakból származó műholdas mérések szerint a jég tömege a leggyorsabb ütemben Grönland területén csökkent, évente átlagosan 142±49 milliárd tonnával (Gt/év). Míg az Antarktisz keleti részén a változás a hibahatáron belül elhanyagolgató (+14±43 Gt/év), a földrész nyugati felén (–65±26 Gt/év) és némileg az Antarktiszi-félszigeten (–20±14 Gt/év) összességében ugyancsak a jég fogyatkozása tapasztalható. Ami különösen érdekes, hogy az olvadás az elmúlt két évtizedben felgyorsult, most már átlagosan háromszor gyorsabb, mint a 90-es években volt. A helyzet Grönland esetében a legnyilvánvalóbb, ott húsz év alatt majdnem ötszörösére növekedett a jégolvadás sebessége.

A modellszámítások szerint a sarkvidéki jégtakaró olvadásának hatására 0.59±0.20 mm/év sebességgel emelkedik a világ tengereinek vízszintje. (Ennél az összes vízszintemelkedés mintegy ötször nagyobb, de ez főleg amiatt van, hogy a globális hőmérséklet-növekedés hatására az óceánokban levő víz tágul, s a szint emelkedéséhez a szárazföldi gleccserek olvadása és a talajból való vízkivétel is hozzájárul.)

Összevetve a mért adatokat azokkal az előjelzésekkel, amelyeket a klímaváltozást vizsgáló nemzetközi szakértői csoport (IPCC, *Intergovernmental Panel on Climate Change*) 2007-es jelentésében publikáltak, jó egyezés látható. Igaz ugyanakkor, hogy az IPCC jelentésében jókora bizonytalanságok voltak a különböző becslésekben. Az Antarktiszra vonatkozóan öt éve például még nem tűnt egyértelműnek, hogy ott a jég mennyisége csökken, állandó, vagy éppenséggel lassan növekszik. Az új számok, amelyek az analízisbe bevont nagy mennyiségű műholdas adatnak köszönhetően több mint kétszer megbízhatóbbak, egyértelművé teszik az olvadást.

2012. december

A katonai mini-űrrepülőgép harmadik útja. Floridából december 11-én titkos küldetéssel pályára állították az amerikai **X-37B** első megépült példányát, amely 2010-ben egyszer már járt az űrben. Az ember nélküli, titkos katonai feladatokkal repülő, automata visszatérésre alkalmas űrrepülő akkor 224 napot töltött Föld körüli pályán, mire leszállt. Utána az X-37B második példányán volt a bemutatkozás sora. Ez az azonos felépítésű űreszköz 2011 márciusában indult, és csak 469 nap elteltével tért vissza, épségben. Közben már folyt az első példány felkészítése az újabb repülésre, amivel egyúttal az X-37B újrafelhasználhatóságát is demonstrálják. Ahogy a korábbi repülések alkalmával, úgy most sem közöltek semmi érdemlegeset a végrehajtandó programról. Lényegében csak a start időpontja volt nyilvános. Szakértők szerint a programban újfajta technológiai megoldások kipróbálása, valamint kémfelvételek készítése szerepelhet.

Észak-koreai rakétaindítás. A nemzetközi tiltakozásokra és szankciókra fittyet hányva, december 12-én ismét startkísérletet hajtottak végre Kim Dzsung Un diktatúrájából – ezúttal sikeresen. Ez idén már a második olyan rakétaindítás volt a Koreai Népi Demokratikus Köztársaság területéről, amely során az állítólagos cél egy mesterséges hold pályára állítása. Az előző, áprilisi próbálkozás sikertelenül végződött az Unha-3 jelű rakétával. Akkor egy kb.

100 kg-os tömegű, a hivatalos verzió szerint földmegfigyelési célú műhold veszett el, miután a déli irányban indított rakéta a levegőben felrobbant, roncsai a Koreai-félszigettől nyugatra a tengerbe zuhantak. Egy sikertelen észak-koreai műholdstartot már 2009-ben is feljegyezhettünk.

A mostani start előkészületeit, a rakéta felállítását külföldi megfigyelők nagyfelbontású műholdképek segítségével folyamatosan nyomon követhették. A dél-koreai, japán és amerikai aggodalmak szerint a műholdindítás valójában fedőtörténet, az igazi cél a nagy hatótávolságú, akár robbanófejek célba juttatására is alkalmazható észak-koreai fejlesztésű rakéta kipróbálása. Az amerikai védelmi megfigyelőrendszer adatai megerősítették a start tényét, és azt, hogy az elhasznált első rakétafokozat a Sárga-tengerben, a második a Fülöp-szigetek térségében zuhant a vízbe. A jelek arra mutatnak, hogy a rakéta által szállított eszköz elérte a Föld körüli pályát. Erről szólt az észak-koreai állami hírügynökség sikerjelentése is, ami szerint a **Kvangmjongszong-3** (angolos átírással Kwangmyongsong-3, jelentése fényes csillag) földmegfigyelő műhold pályára állt. Később minden jel arra mutatott, hogy maga a feljuttatott űreszköz nem volt működőképes.

A Hold legpontosabb gravitációs térképe. A NASA **GRAIL** *(Gravity Recovery and Interior Laboratory)* programjának A és B jelű szondája (később pályázaton kapott nevükön Apály és Dagály) 2011. szeptemberben indult, és már majdnem egy éve, újévkor állt pályára égi kísérőnk körül. A kötelékben repülő, egymástól való távolságukat pontosan mérni képes űreszközök alacsony Hold körüli pályán keringve képesek az égitest gravitációs terének apró változásait is kimutatni, a pillanatnyi távolságuk változásából. Az új térkép az eddigieknél részletesebb információt nyújt a kutatóknak a Hold belső szerkezetéről és anyagi összetételéről. Egy sor olyan alakzatot is sikerült felismerni, amelyekről eddig nem volt tudomásuk. Ilyenek például vulkanikus felszínformák, tektonikus eredetű szerkezetek, medencéket övező gyűrűk, becsapódási kráterek központi csúcsai, s egy csomó egyszerű formájú kráter.

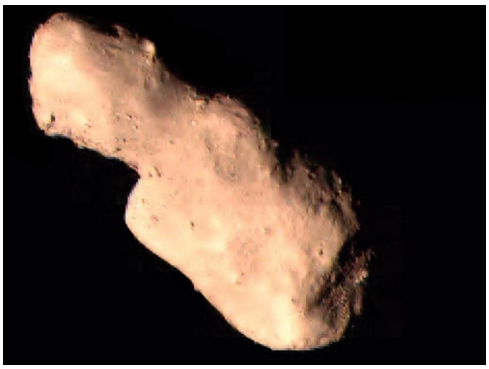
A Hold gravitációs terének térképe összevethető a felszíni alakzatokról űrszondákkal készített részletes térképpel. Mindkettő mutatja az égitestet a fennállása óta ért külső „bombázások" nyomait. A kettő között igen jó, majdnem tökéletes az összhang. A gravitációs adatokban felbukkanó eltérések alapján nem csak a felszíni sebhelyekről, hanem a kisebb-nagyobb becsapódásoknak a kéreg alsóbb rétegeiig, sőt talán a köpenyig is eljutó hatásairól is többet tudhatunk meg. Ezek a vizsgálatok nem csak a Hold, de a Naprendszer más kőzetbolygói és -holdjai szempontjából is érdekesek lehetnek, ahol nem vagyunk képesek olyan pontos űrszondás méréseket végezni, mint a közeli Hold esetén.

A GRAIL szondák másik eredménye, hogy a holdi felföldeken a kéreget alkotó kőzet átlagos sűrűsége (2,55 g/cm^3) alacsonyabb annál, mint amit eddig gondoltak. A távérzékeléssel és az 1970-es években az Apollo programban helyszíni mintavételezéssel kapott adatokkal összevetve a kéreg anyagának porozitása 12% körüli, akár több km-es mélységig. A kéreg vastagságára 34–43 km adódott, ami 10–20 km-rel kisebb a korábban feltételezett értéknél, és összhangban van az Apollo szeizmikus méréseivel. A mérésekből az is kikövetkeztethető, hogy a Hold és a Föld anyagának összetétele nagyon hasonló, ami egy újabb érv azon modellek mellett, amelyek szerint kísérőnk anyaga valaha a Földből szakadhatott ki, egy hatalmas égitestütközés nyomán.

Az égitesten számos keskeny, egyenes vonalú, akár több száz kilométer hosszú gravitációs anomália figyelhető meg. A kutatók szerint ezek segítségével a Hold korai történetébe pillanthatunk vissza, a kéreg akkori deformációival hozva kapcsolatba őket. A becsapódási kráterek az ilyen nyomokat a felszínen azóta már eltörölték, de a nagy felbontású gravitációs térkép alapján a „kozmikus nehézbombázás" előtt korszakba visszatekintve, a kéreg repedéseiből a fiatal Hold sugarának növekedésére, az égitest általános tágulására lehet következtetni.

Ezek csak az első eredmények, a márciustól májusig tartó elsődleges programszakasz alatt gyűjtött adatok felhasználásával. A GRAIL-A és -B (Apály és Dagály) azóta tovább dolgozott. A meghosszabbított küldetés augusztus vége óta tartott, és december 17-én fejeződött be. A szondák felszín feletti magassága fokozatosan csökkent, sorsuk végül a Holdba való becsapódás lett. A NASA a 2012-ben elhunyt első amerikai női űrhajós, Sally K. Ride tiszteletére nevezte el a becsapódás helyét, a Hold északi pólusának közelében fekvő Goldschmidt-kráter mellett.

Földközeli kisbolygó, kínai űrfelvételeken. A kínaiak második, már kiszolgált és ráadásprogramját végző holdszondája, a **Csang'e-2** (Chang'e-2) igazi meglepetést okozott a Toutatis kisbolygó 3,2 km-es megközelítésével és fényképezésével. A manővert előzetesen nem kísérte különösebb nemzetközi hírverés – talán azért, mert csak a sikerről szerettek volna a nyilvánosság előtt beszámolni. Mindenesetre a Hold körüli pályát tavaly júniusban elhagyó, majd onnan – immár bónuszprogramként – a Nap–Föld rendszer külső Lagrange-pontja (L2) körzetébe jutó űrszonda 2012. december 13-án, a legnagyobb közelségkor mindössze 3,2 km-es távolságban repült el az épp a Föld közelében tartózkodó Toutatis mellett. A találkozás a Földtől mintegy 7 millió km távolságban történt.



A Csang'e-2, a második kínai holdszonda 2010 októberében startolt, hogy az égitest körüli pályáról részletesen, elődjénél 17-szer nagyobb felbontással feltérképezze a teljes felszínt. A 7 m-es felbontású kínai Hold-térképet 2012 elejére készítették el. A Csang'e-2 januárra már 10 millió km-re jut el a Földtől, távolabb, mint eddig bármilyen kínai űreszköz. A szonda már eddig is egy sor űrrekordot állított fel. A teljes nagyfelbontású Hold-térképezés végrehajtásán túl az első űrszonda volt, amely a Hold körüli pályáról közvetlenül az L2 pont környezetébe jutott. Onnan a nyáron indult tovább a Toutatis kisbolygóval végrehajtandó randevúra.

A Csang'e-2 képei 10,73 km/s relatív sebesség mellett készültek, méghozzá a szonda egyszerű kamerájával, amit eredetileg olyan célokra szántak, hogy megfigyeljék a fedélzeten zajló fontosabb eseményeket, például a napelemtáblák kinyitását vagy a rakétahajtóművek működését. A krumplira emlékeztető alakú, 4,8 km hosszú 4179 Toutatis a mostani elrepüléssel az egyik legjobban vizsgált kisbolygó lett, méghozzá úgy, hogy soha nem is indítottak hozzá célzottan űreszközt. Mivel Nap körüli pályáján időnként a bolygónk közelébe jut, így – az optikai fényességváltozás-méréseken túl – földi radarmérésekkel is részletesen vizsgálható az alakja és forgása. Ezt természetesen a mostani közelség idején is megtették, a NASA követőállomás-hálózatának (*Deep Space Network*, DSN) a kaliforniai Goldstone mellett fekvő 70 m-es rádiótávcsövével. A Toutatis pályáját elég jól ismerik, és így biztonsággal állíthatják a kutatók, hogy a következő négy évszázadban semmiképp nem veszélyezteti a Földet egy esetleges becsapódással.

A kínaiak számára jelentős eredmény, hogy a bolygóközi térségbe kilépő első űrszondájukkal ilyen pontos megközelítést voltak képesek végrehajtani. Fényképezni tudták a kisbolygót olyan berendezésekkel, amelyeket eredetileg teljesen más jellegű feladatra készítettek fel. Mindehhez saját követőállomásaikat és irányító központjukat használták.

Ballon technológiai platform fejlesztése a kozmikus sugárzás monitorozására az Európai Űrügynökség BEXUS programja keretében

Zábori Balázs
TECHDOSE csapatvezető, MTA Energiatudományi Kutatóközpont

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatóiból álló CoCoRAD diákcsapat Magyarországról elsőként vehetett részt 2011-ben az Európai Űrügynökség BEXUS (Balloon Experiments for University Students) programjában. A kísérlet sikerén felbuzdulva – valamint tekintetbe véve a kozmikus sugárzás kutatásának jelentőségét és tudományos fontosságát – az idei évben is sikerrel jutott be a BEXUS program hivatalos csapatai közé a hazai egyetemek hallgatóiból álló TECHDOSE diákcsapat, hogy az előző évi kísérletet tovább bővítvén egy még komplexebb és a jövőben is felhasználható ballon technológiai platformot és mérési módszert alkossanak meg a kozmikus sugárzás és hatásainak mérésére a sztratoszférában.

A TECHDOSE diákcsapat és a BEXUS program

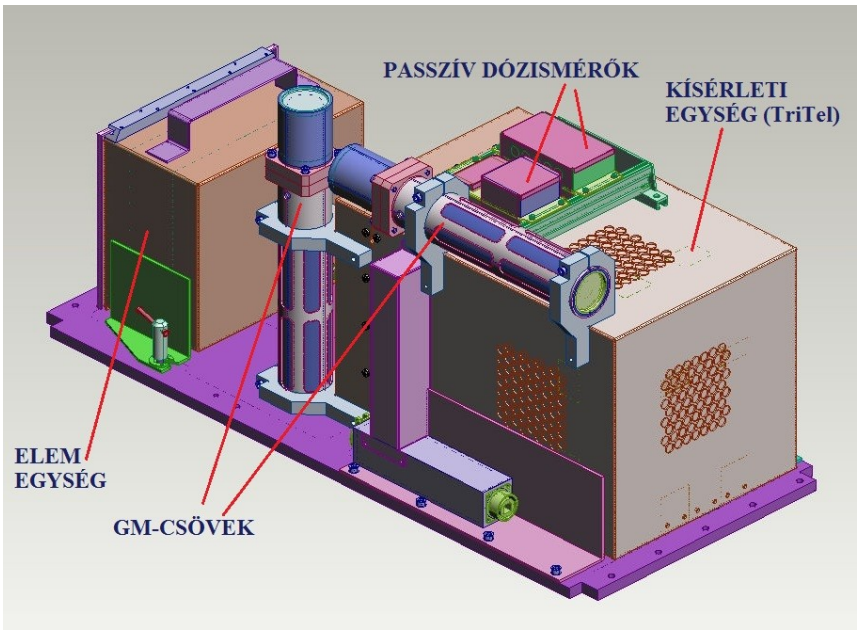
Az Európai Űrügynökség (ESA) oktatási programja keretében évről évre meghirdetésre kerül diákcsapatoknak a REXUS/BEXUS sztratoszférikus rakéták és ballonok fedélzetén kísérletek kivitelezésének lehetősége. Hazánkból 2011-ben jutott be elsőként egy diákcsapat (CoCoRAD), melyet a rákövetkező évben további sikeres magyar pályázatok követtek, közöttük a TECHDOSE kísérlet. A csapat egyik különlegessége, hogy a tagjai Magyarország számos régiójának egyetemein tanulnak (Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Pázmány Péter Katolikus Egyetem, Pannon Egyetem, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Debreceni Egyetem), valamint a kísérlet hazai kutatóhelyek összefogásával valósul meg, hogy a nemzetközi tudományos közösség számára is színvonalas eredményeket mutathassanak fel a diákok.

A kísérlet felépítése és a tudományos célok

Napjainkban a kozmikus sugárzási környezet tanulmányozása egyre nagyobb hangsúlyt kap a növekvő légi forgalom és az emberes űrutazások gyakorisága következtében. A sugárzás szempontjából legkevésbé ismert térségek egyike a sztratoszféra, ahol változatos kozmikus környezet alakul ki a Föld mágneses mezeje, valamint a légkör és az elsődleges kozmikus részecskék kölcsönhatása eredményeképpen. Ezen régió vizsgálata csak légköri kutatóballonokkal lehetséges, melyek akár huzamosabb ideig is képesek egy adott magasságban repülni és méréseket végezni.

A BEXUS ballonok átlagos repülési magassága mintegy 25–30 km, a repülési idő megközelítőleg 4–6 óra. A felbocsátás helyszíne az Észak-Svédországban található ESRANGE űrbázis [1]. Mindezen tulajdonságok ideálissá teszik a BEXUS programot a kozmikus sugárzás vizsgálatára irányuló kísérletek kivitelezésére. A TECHDOSE kísérlet az előző évben repült CoCoRAD kísérlet kibővítése további sugárzásmérő műszerekkel, annak érdekében, hogy a lehető legteljesebb képet kapjuk a mérési eredményekből a sugárzást alkotó részecskékre vonatkozólag. A kísérletben helyet kapott az MTA Energiatudományi

Kutatóintézetében kifejlesztett TriTel háromtengelyű űrdozimetriai teleszkóp [2], amely egy félvezető technológián alapuló sugárzásmérő műszer. Ezen kívül két Geiger–Müller-számlálócső alkotta még az aktív, valós idejű monitorozást a repülés során. Felhasználtunk még számos passzív mérőrendszert is. Ezek közé sorolhatóak különböző termolumineszcens anyagok és TL dózismérő rendszerek (pl. Pille, [3]), illetve neutron nyomdetektorok, melyek kiértékeléséből a termikus neutronok részarányára vonhatunk le következtetéseket. Ez utóbbi különösen nagy jelentőséggel bír, hiszen ebben a magasságtartományban a neutronok aránya a 40%-ot is megközelítheti [4].



1. ábra *A TECHDOSE kísérlet felépítése (kép: Csőke Antal)*

A BEXUS-14 felbocsátása az ESRANGE bázisról

A felbocsátás egy közel egy éves munka végső állomása, melynek keretében számos szakmai felülvizsgálatot teljesítettünk, tervezési és kivitelezési problémákat oldottunk meg és végül eljutottunk az ESRANGE űrbázisra, hogy felkészüljünk a program utolsó szakaszára.

A bázisra való megérkezés és a felbocsátás között alig telt el több mint három nap, így a munka meglehetősen feszített tempóban zajlott. A megérkezést követő napokban került sor a kísérletünk integrációjára a gondolába, egy teljes funkcionális rendszertesztre, valamint a legfontosabb kritérium vizsgálatára, ami az elektromágneses kompatibilitás vizsgálata a ballon saját kommunikációs rendszerével. A gondolán egy német csapattal osztoztunk, akik a gyors neutronok mérését tűzték ki célul. Az Űrügynökség szándékosan helyezte ezt a két kísérletet közös gondolára az eredmények későbbi összehasonlíthatósága érdekében, hiszen a TECHDOSE kísérletben felhasznált nyomdetektorok főként a termikus (lassú) neutronokra érzékenyek, míg a német csapat a gyors neutronokat szándékozott mérni. Így a két mérés eredményeinek összevetéséből a neutronenergia tartomány egy jelentős részére vonatkozólag vonhatunk majd le következtetéseket.

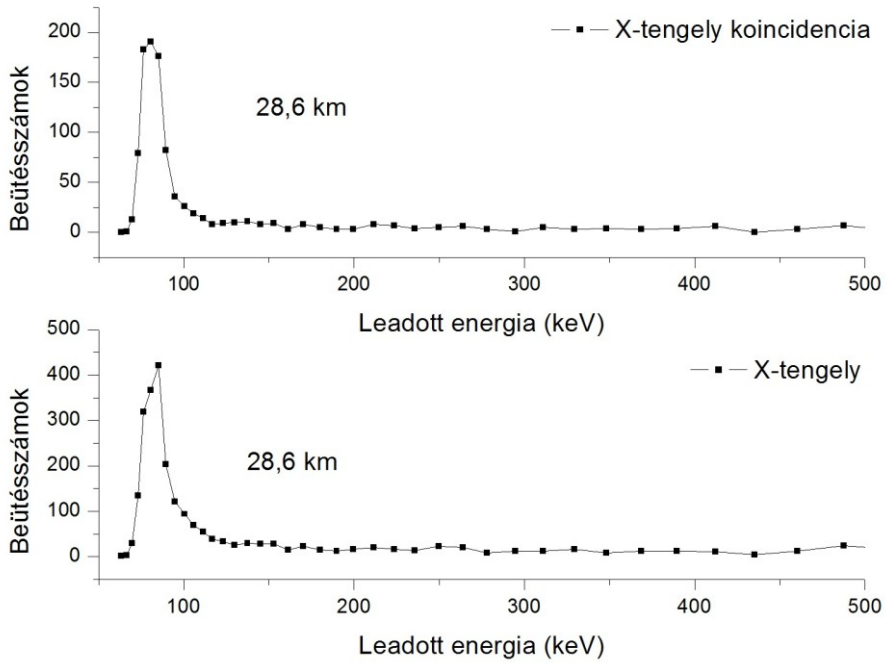
2. ábra *A BEXUS-14 előkészítése a repülésre (kép: SSC)*

A BEXUS-14 felbocsátására 2012. szeptember 24-én 13 óra tájékán került sor. Ragyogó napsütésben kísérhettük végig a repülést, melyhez alig társult szélmozgás, így a ballon mindösszesen 50 km-re távolodott el a bázistól és a tiszta időben a levágást is láthattuk szabad szemmel megfigyelve. A repülési magasság mintegy 28,6 km volt. A repülés teljes időtartama alatt – fel- és leszállással együtt 4 óra – hibátlanul kommunikáltunk a kísérletünkkel, megkaptuk az összes adatot és az előzetes feldolgozást végző szoftverünk segítségével az első eredményeket is élőben követhettük nyomon. A rákövetkező napon helikopter hozta vissza a gondolánkat, melyből kiszereltük a kísérletet, letöltöttünk minden adatot és kiolvastuk a passzív dózismérők egy részét a helyszínen.

3. ábra *A Föld megközelítőleg 22 km magasságból nézve a BEXUS-14 fedélzetéről (kép: TECHDOSE)*

Előzetes mérési eredmények és jövőbeli kilátások

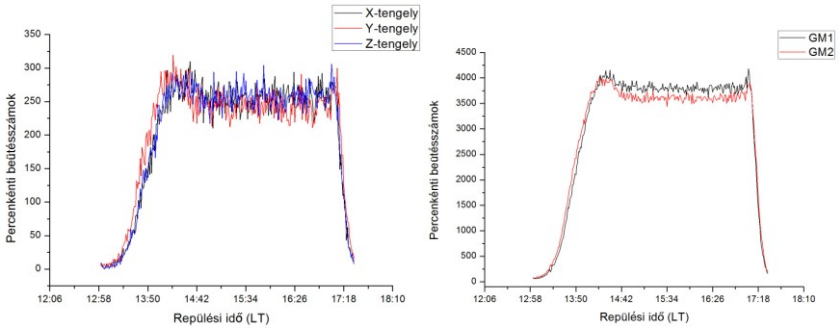
A repülés során tíz percenként rögzítettünk energiaspektrumokat a TriTel segítségével, valamint perces időlépéssel időspektrumokat a TriTellel és a Geiger–Müller-számlálókkal. A számlálócsöveket egymásra merőlegesen helyeztük el, így lehetővé téve irányfüggés detektálását is. A 4. ábrán a TriTel által 28,6 km magasságban rögzített egyik energiaspektrum látható. Az alsó grafikon a koincidencia mérést mutatja (a TriTel minden detektora két, párhuzamos szilícium lapot tartalmaz, melyek együttes detektálása esetében beszélünk koincidenciáról). A grafikonokon azt láthatjuk, hogy a beütések jelentős hányada a spektrum kisenergiás részében található (1 MeV alatt), valamint az egészen nagy energiák esetében is tapasztalunk beütéseket, melyek különösen nagy energiás kozmikus részecskéktől származnak.



4. ábra *Alul egy TriTel által mért energiaspektrum, felül egy TriTel által mért energiaspektrum koincidencia módban*

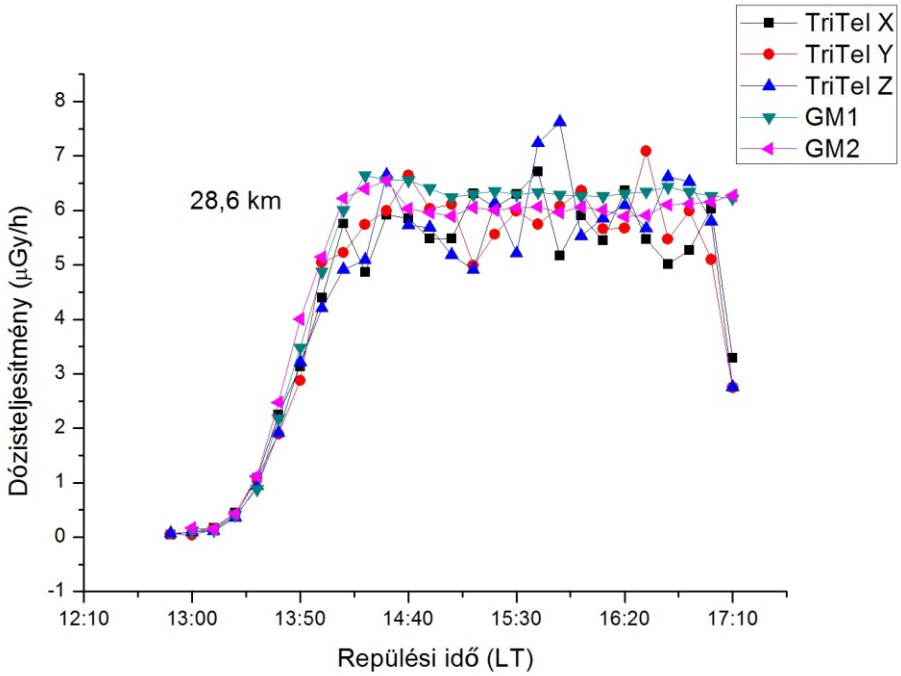
Az 5. ábrán a TriTel és a Geiger–Müller-számlálók által mért időspektrumok vannak együtt feltüntetve. A két mérőműszer által mért grafikonok lefutásukban jó egyezést mutatnak. Mindkét esetben megjelenik 20 km magasság környékén a várt Pfotzer-maximum, amely a másodlagosan keletkező részecskék által okozott részecskefluxus-maximum. Szintén jól megfigyelhető a sugárzás irányfüggése és ennek változása a repülés során mindkét adatsor esetében. A TriTelnél a vízszintes síkban mért két tengely és a függőleges síkban elhelyezkedő tengely adatai között, valamint a GM-csövek esetében a két, egymásra merőleges cső adatsora között tapasztalunk összefüggést. A fel- és a leszállás során a vízszintes síkban érzékenyebb műszerek adtak nagyobb beütésszámokat, míg ez a tendencia a Pfotzer-maximum környékén megfordult a függőleges irányban érzékenyebb műszerek javára. Mindez azt jelenti, hogy egyre nagyobb magasságok felé haladva a részecskesugárzás irányítottsága megváltozik és a többsége a világűr irányából érkezik. Kisebb magasságokban a légkör

szóró hatása következtében és a másodlagosan keletkező részecskék miatt ez a hatás már nem érvényesül.



5. ábra *A TriTel (balra) és a Geiger–Müller-számlálók (jobbra) által mért időspektrumok*

A 6. ábrán a TriTel és a GM-csövek által rögzített dózisteljesítményeket tüntettük fel. A két műszer által mért eredmények jó egyezést mutatnak, továbbá a passzív dózismérő rendszerek segítségével előzetesen nyert eredmények is hasonló dózisokról tanúskodnak. Megállapíthatjuk, hogy a közel 4 órás BEXUS-14 repülés többletdózisa mintegy 15,2 µGy volt, az átlagos dózisteljesítmény a repülési magasságban pedig 6-6,5 µGy/h. Összehasonlításképpen ez az érték a Föld felszínén a kozmikus sugárzásból eredő dózisteljesítménynél mintegy két nagyságrenddel nagyobb.



6. ábra *A TriTel és a Geiger–Müller-számlálók által mért dózisteljesítmények*

A nyomdetektorok által mért eredmények elemzése jelenleg is folyamatban van. Előzetesen megvizsgáltuk, hogy a detektorok érzékenységi határa feletti beütésszámokat rögzítettünk, így hamarosan lesznek számszerű adataink a termikus neutronokra vonatkozólag is.

A jövőbeli terveink között szerepel esetleges további ballonos mérések megvalósítása ezzel a mérési összeállítással, valamint egy tervezett rakétakísérlet a GM-csövek felhasználásával. Ez mintegy 50–60 km magasságig bővítené ki a BEXUS-14 repülése során kapott adatokat, további elemzésre biztosítva lehetőséget.

Zárszó és köszönetnyilvánítás

A TECHDOSE diákcsapat sikerrel tervezett meg és épített fel a korábbi CoCoRAD BEXUS kísérletet felhasználva egy kozmikus sugárzást monitorozó és vizsgáló kísérleti összeállítást, mely 2012 szeptemberében repülhetett az ESRANGE űrbázisról. A repülés teljes sikerrel zárult, az összes mérési adatot megkaptuk, melyeknek a részletes kiértékelése jelenleg is folyamatban van. A kapott adatok tudományos szempontból is jelentős eredményeket szolgáltattak, melyekből a közeljövőben a hazai tudományos közösséget gazdagító nemzetközi publikációk születnek majd.

A szerző köszönetét fejezi ki mindazoknak a munkájáért, akik nélkül a TECHDOSE kísérlet nem valósulhatott volna meg. Elsősorban azoknak a hallgatóknak, akik a csapat tagjaként munkájukkal hozzájárultak a sikerhez: Gyovai Ágnes, Ludmány Orsolya, Korsós Marianna Brigitta, Hurtony Tamás, Pálfalvi József és Mesterházy Dávid. Köszönet illeti Dr. Zagyvai Pétert, aki a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem tanáraként elvállalta, hogy támogató professzora lesz a csapatnak. Külön köszönet illeti Dr. Hirn Attilát, akinek áldozatos segítsége és támogatása folyamatos támasza volt a magyar diákoknak a program során. Köszönet az MTA Energiatudományi Kutatóintézet mindazon munkatársainak, akik időt és fáradságot nem kímélve segítették munkánkat (Apáthy István, Cseri Sándor, Csikós József, Csőke Antal, Dr. Deme Sándor, Dr. Pázmándi Tamás, Szántó Péter). A csapat köszönetét fejezi ki a BL-Electronics cégnek az elektronikai fejlesztésekben nyújtott segítségéért. Köszönet az Űrvilág szerkesztőségének a folyamatos tudósításokról a TECHDOSE kísérlet kapcsán.

Továbbá a szerző külön köszönetét fejezi ki az ESA szakértőknek és az Oktatási Iroda mindazon munkatársainak, akik a munkájukkal, tanácsaikkal folyamatosan segítették a TECHDOSE csapatot az előrehaladásban: Alex Kinraid, Dr. Alan Owens, Helen Page, Koen Debeule, Mark Fittock, Martin Siegl, Olle Persson, Paul Stevens, Mikael Inga.

A BEXUS TECHDOSE kísérlet finanszírozása a 4000107210/12/NL/KML számú PECS szerződés keretében valósul meg.

Irodalomjegyzék

[1] EuroLaunch: BEXUS User Manual (2010), REXUS User Manual (2010)

[2] Pázmándi T., Deme S., Láng E. (2006): Space dosimetry with the application of a 3D silicon detector telescope: response function and inverse algorithm. *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 120, pp. 401–404

[3] Fehér I., Deme S., Szabó B., Vágvölgyi J., Szabó P. P., Csőke A., Ránky M., Akatov Yu. A. (1981): A new Thermoluminescent Dosimeter System for Space Research. *Advances in Space Research*, Vol. 1, pp. 61–66

[4] EURADOS, radiation protection 85. In: McAulay, I., et al. (eds.), Exposure of air crew to cosmic radiation. *EURADOS Report* 1996-01, Luxembourg, pp. 1–77, 1996

7. ábra *A BEXUS-14 gondolája repülés előtt és a TECHDOSE csapat néhány tagja (balról jobbra: Pálfalvi József, Zábori Balázs, Gyovai Ágnes, Hurtony Tamás)*

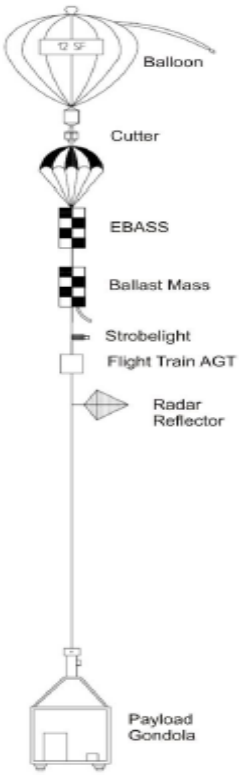
BioDos – Egyetemi hallgatók asztrobiológiai kísérlete sztratoszférikus ballon platformon

Grósz Veronika
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

A 2012-es évben három magyar diákkísérletet is felvettek az ESA, SNSB és DLR által egyetemistáknak meghirdetett REXUS/BEXUS (Rocket/Balloon Experiments for University Students) programjába. Az alábbiakban a Semmelweis Egyetem és a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem közreműködésével megvalósult BioDos kísérletről lesz szó, amely az UV-sugárzás biológiai hatásait volt hivatott vizsgálni egy sztratoszférikus ballon fedélzetén.

A BEXUS platform

Az évente induló REXUS/BEXUS program a DLR (Német Légügyi és Űrkutatási Központ) és az SNSB (Svéd Nemzeti Űrkutatási Bizottság) űrügynökségek közti kétoldalú megegyezés eredménye. A svéd oldal az Európai Űrügynökséggel (ESA) együttműködve lehetővé tette a programba való bekapcsolódást más európai országok, így Magyarország számára is. A BioDos kísérlet finanszírozása a Magyar Űrkutatási Iroda segítségével a PECS keretből történt.



1. ábra *A BEXUS rendszer felépítése*

A BEXUS program keretében minden évben két 12 000 m^3 térfogatú, héliummal töltött sztratoszférikus ballont indítanak a svédországi Esrange Űrközpontból, amelyek gondolája hordozza a hasznos terhet, így a kiválasztott kísérleteket is. Az elért maximális magasság a rendszer súlyától függ, és 25–30 km közé tehető. A rendszer az 1. ábrán bemutatott egységekből épül fel. Legfontosabb elemei (a gondolán kívül) a *cutter*, amely a repülés végeztével felhasítja a ballont, és a fedélzeti egységek vezérlését és a telemetriai adatok gyűjtését lehetővé tevő EBASS *(Esrange Balloon Service System)*. A fedélzeten levő kísérletek rádiós kapcsolatban vannak az esrange-i földi egységekkel és így a kísérletező csoporttal és a jelenlevő szakértőkkel. A kommunikáció a ballon teljes repülési ideje alatt működik, lehetővé téve a mérési adatok azonnali lekérdezését és a kísérlet irányítását.

A ballon repülési ideje a környezeti faktorok és a kísérletezők igényeinek függvénye; az előbbiek közé tartozik az időjárás illetve azon terület adottságai, amely felett a ballon éppen tartózkodik. Esrange Észak-Svédországban helyezkedik el, közel a finn és az orosz határhoz. Ez a terület ritkán lakott; ennek előnye, hogy a ballon repülése és landolása nem jelent potenciális veszélyt a lakosságra. A szétszórtan jelen levő falvak védelme érdekében az esrange-i biztonsági szakemberek a repülés ideje alatt folyamatosan figyelik a ballon útirányát, és amennyiben az valamely település felé venné az irányt, a ballont levágják és a repülés befejeződik. Ugyanez igaz arra az esetre, ha a ballon előreláthatóan

tavakkal tarkított területre érne, hiszen a vízben landolás nem csak a kísérleteket, hanem a ballon rendszereit is tönkretenné, lehetetlenné téve az elemek újrafelhasználását a következő BEXUS ciklusban.

A programban részt vevő kísérletek a természettudományos kutatási területek széles spektrumát ölelik fel. A 2012-es csoportok vizsgálatai között a sugárzási fizika, az atmoszférafizika és az asztrobiológia kérdéskörei szerepeltek, melyekhez a sztratoszféra megfelelő vizsgálati környezetet jelentett. Az UV-sugárzást vizsgáló BioDos asztrobiológiai kísérlet számára például a 25 km-es magasságban erősen megritkuló ózonréteg, és az ennek hatására megnövekedett UV-B és UV-C sugárzás miatt volt ideális a BEXUS platform.

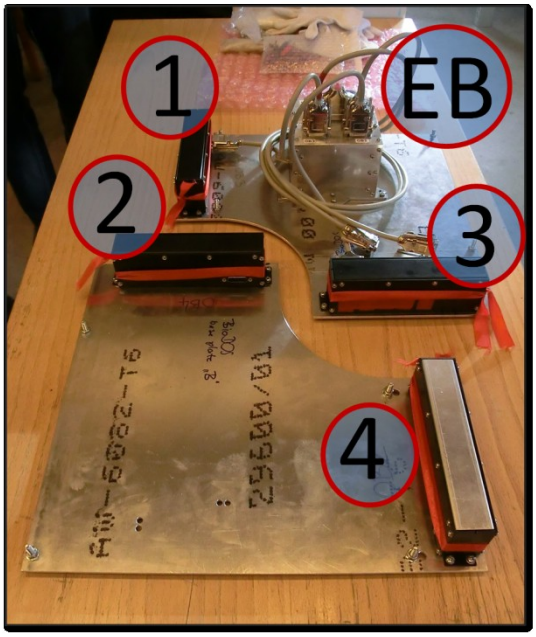
BioDos – a csoport és a kísérlet

A kísérlet célja a sztratoszférikus UV-sugárzás hatásainak vizsgálata volt biokémiai mintán. Molekuláris szinten az ultraibolya sugárzás által leggyakrabban kiváltott sérülések alapja az a fotokémiai folyamat, melynek során a DNS egyes alkotóelemei, a pirimidin szerves bázisok összekapcsolódnak (dimerizálódnak) és ciklobután pirimidin dimereket (CPD-ket), illetve 6,4 fototermékeket képeznek. Ezen termékek jelenléte a DNS megkettőződése során báziscseréhez, tehát helytelen replikációhoz vezet, így fejtve ki az élő szervezetekre káros, mutagén hatást. Mindezek alapján látható, hogy az UV-sugárzás hatására bekövetkező molekuláris sérülések biokémiai és biológiai modelleken elemezhetőek, mely modellek kritériuma a fototermék-képződésben központi szerepet játszó pirimidin bázisok (timin, citozin, uracil) jelenléte. A BioDos kísérletben kvarc hordozóra vékonyrétegben felvitt uracil bázist használtunk. UV-tartományú besugárzás hatására két egyidejű folyamat játszódik le a vékonyrétegben: az uracil bázisok dimerizációja, illetve ennek ellentéte, vagyis a dimerek szétkapcsolódása, monomerizációja. E két folyamat a besugárzás hullámhossztartományától függő arányban történik; nagyobb hullámhosszak a dimerizáció, rövidebb hullámhosszak (~240 nm alatt) pedig a monomerizáció irányába tolják el a folyamatot. A dimerizáció és a monomerizáció folyamata az uracil abszorbanciájának, vagyis optikai denzitásának („fényelnyelési képességének") változását vonja maga után. Elmondható, hogy a molekulák összekapcsolódása az optikai denzitás csökkenésével, a dimerek szétbomlása pedig ugyanezen tulajdonság növekedésével jár, változásának mértéke pedig arányos az UV-besugárzás mértékével.

Az optikai denzitás változása UV-VIS spektrofotométerrel követhető, ám ez nem teszi lehetővé a folyamatos mérést. Így a pirimidin biodoziméterek űrbéli alkalmazása esetén, ahol a mintákhoz csak a felbocsátás előtt és után lehet hozzáférni, kizárólag a kezdeti és a végállapotról kaphatóak adatok, az optikai denzitás változásának dinamikájáról nem. A tudományos célkitűzésekkel egybefonódva a kísérlet műszaki célja tehát egy olyan technológiai megoldás fejlesztése volt, amellyel folyamatos, *in situ* biodozimetriai mérések végezhetőek el első lépésként a BEXUS ballonon, majd földi mérőállomásokon, valamint műholdfedélzeten is. A mérés alapja az optikai denzitás és a sugárzási intenzitás összefüggése. Az optikai denzitás csökkenése azt jelenti, hogy a ráeső sugárzás egyre nagyobb részét fogja változatlanul áteresztení a minta. UV-tartományban érzékeny fotodetektort helyezve a minta mögé, ez a fokozódó fényáteresztés a detektor kimeneti jelének növekedésével jár együtt. Egy, a csillapítatlan sugárzást mérő referenciadetektor segítségével a nyert intenzitás-adatok egyszerűen átszámolhatók optikai denzitássá. Megfelelően választott mintavételezési frekvenciával megvalósítható a folyamatos mérés és a változások dinamikájának pontos követése.

A BioDos kísérlet elrendezése a fentiekben ismertetett elveket formázta a ballon által nyújtott lehetőségekhez. Az elrendezés két fő elemet tartalmazott; a kísérlet elektronikai központi egységét: az adatgyűjtésért, kommunikációért, energiaelosztásért felelős Elektronikai Dobozt és a sugárzásnak kitett, illetve a sugárzástól védett, referenciaként szolgáló uracil mintákat és UV fotodiódákat tartalmazó négy Optikai Dobozt (2. ábra). Ez utóbbiakat a gon-

dola négy oldalára rögzítettük, így biztosítva azt, hogy akárhogyan fordul a gondola, minden időpillanatban legyen sugárzást kapó minta. Az adatgyűjtést irányító fedélzeti, illetve földi szoftver lehetővé tette a kísérleti adatok tárolását, azonnali megjelenítését és (például a mintavételi frekvencia változtatására irányuló) utasítások kiadását.



2. ábra *A BioDos kísérleti felépítése.*
1–4: optikai dobozok; EB: elektronikai doboz

A BioDos kísérlet két űrkutatással foglalkozó egyetemi műhely diákjainak és szakértőinek közös eredménye. A csoport tagjai a BME informatikus, villamos-, gépész- és biomérnök hallgatói. Ez a sokszínűség a kísérlet megvalósításához szükséges tudományterületek sokféleségét tükrözi. A biológiai, biofizikai kérdéseket a Semmelweis Egyetem Biofizikai Kutatócsoportjának szakértői, a műszaki megoldásokkal kapcsolatban felmerülő problémákat a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Űrkutató Csoportjának szakemberei konzultálták. Atmoszférafizikai kérdésekben a Magyar Tudományos Akadémia Geofizikai és Geodéziai Kutatóintézetének szakértője nyújtott segítséget.

Mérföldkövek

A BEXUS programot szervező űrügynökségek a kísérlet fejlesztését a rendelkezésre álló, közel tíz hónapos időszakban folyamatosan figyelemmel kísérték. A BioDos kísérlet fejlesztése 2011 decemberétől 2012 szeptemberéig tartott, az eredmények kiértékelése pedig 2013 folyamán fejeződik be.

A BEXUS program időrendje a következő volt:

- *Selection Workshop* (2011. december 5–9.)
- *Preliminary Design Review* (PDR, 2012. február 27.–március 3.)
- *Critical Design Review* (CDR, 2012. május 24–25.)
- *Integration Progress Review* (IPR, 2012. augusztus 1.)
- *Experiment Acceptance Review* (EAR, 2012. szeptember 6.)
- *Launch Campaign* (2012. szeptember 20–30.)
- *Experiment Results Symposium* (2013. június 9–13.)

A szervezőkkel való kommunikáció elsődleges eszköze a SED *(Student Experiment Documentation)*, amely az űrprogramok során készített dokumentumok egyszerűsített változata. Ez tartalmazott minden, a kísérlettel kapcsolatos információt: a tudományos háttér magyarázatát, az alkalmazott áramkörök kapcsolási rajzát, a kísérleti dobozok mechanikai terveit, de még a projektmenedzsment részleteit is. A SED a kísérleti tervek kidolgozottságának és a kísérlet pillanatnyi állásának megfelelően az első pillanattól az utolsóig bővült.

3. ábra *Tesztelés az Experiment Acceptance Review-n*

A munka első szakaszában (*Selection Workshop*–PDR) készültek el a kísérlet előzetes tervei, és megkezdtük az alkatrészek megrendelését és tesztelését. A PDR során a szervező űrügynökségek szakértői véleményezték ezeket a terveket, felhívták a figyelmet az esetleges problémákra, illetve megoldási javaslatokat is tettek. A program következő fázisában (PDR–CDR) a kísérleti terv véglegesítése, a mérési módszer validálása (vagyis a detektorok és az uracil minták tesztelése), valamint az áramkörök deszkamodelljeinek kifejlesztése zajlott.

A CDR után kezdődött a kísérleti egységek elkészítése: a deszkamodellek tesztelése, majd a repülő példány nyomtatott áramköreinek megtervezése, beültetése és tesztelése, továbbá a kábelek elkészítése. Ez a fázis felölelte a két utolsó felülvizsgálatot is, az IPR-t és az EAR-t, amelyekre a ballon felengedése előtti egy hónapban került sor. Míg a PDR és a CDR esetében a csoport tagjai utaztak el Hollandiába illetve Svédországba, hogy bemutassák a kísérlet aktuális állapotát, az IPR és az EAR során a program két szakértője jött Budapestre, akik megtekinthették a csoport rendelkezésére álló laboratóriumokat és műhelyeket.

Az utolsó fázisban (a *Launch Campaign* előtt és alatt) a teszteken volt a hangsúly. A fejlesztés lezárásaként az egyetemi berendezésekkel végeztük el az utolsó rendszerteszteket szimulált UV-környezetben, a teljes kísérleti setupot összeállítva. A startra a csoport négy tagja utazott ki az Esrange Űrközpontba, ahol a tesztelési fázis folytatódott az egyéni és központilag szervezett funkcionális és interferenciatesztekkel, melyek során a diákcsapatok és az ottani szakértők azt vizsgálták, hogy egyrészt a kísérletek képesek-e együttműködni a gondola rendszereivel, másrészt az egyes kísérletek nem zavarják-e egymást.

A BEXUS-15 ballon, amelyen a BioDos kísérlet egy francia–japán, egy olasz és egy német diákkísérlettel együtt kapott helyet, 2012. szeptember 25-én, magyar idő szerint 12 óra 18 perckor emelkedett fel. Hosszú repülési idő jutott neki osztályrészül: sötétedés után, 18 óra 28 perckor vágták le. A gondola Finnországban landolt, és két nap múlva szállították vissza az űrközpontba.

4. ábra *A felengedés pillanata*

A 2012-es év utolsó hónapjaiban a csoport a kísérleti és telemetriaadatok kiértékelésén és a dokumentáció véglegesítésén dolgozott, ám a program még nem fejeződött be. Zárása a 2013 júniusában rendezendő konferencia lesz, amelyen a BEXUS-14/15 programban részt vevő csapatok bemutatják kísérleteik tudományos és technikai eredményeit, valamint tanulságait.

Kitekintés

Az itt bemutatott kísérlet és a hozzá kapcsolódó biodozimetriai módszerfejlesztés feldolgozása nem ért véget a BioDosszal. A projekt folyamán, de főleg a ballon repülése alatt szerzett adatok és tapasztalatok kiindulási alapot szolgáltatnak a módszer finomításához. A következő, 2013-as BEXUS-ciklus résztvevői között szerepel a BioDos utódja, a Daemon kísérlet, így a hallgatói csoportban felmerült új műszaki és tudományos megoldások, ötletek 2013 folyamán megvalósulhatnak.

A Mars jeges lejtőformáinak vizsgálata keringőegység-adatok térinformatikai integrálásával

Dr. Sik András
adjunktus, ELTE Földrajz- és Földtudományi Intézet, Természetföldrajzi Tanszék, Budapest

Napjainkban a planetológia egyik legizgalmasabb részterülete a vörös bolygó lakhatóságának kutatása, s ennek részeként a H_2O előfordulási helyszíneinek azonosítása. A közepes marsrajzi szélességű övezetekben a felszínközeli rétegek jelentős mennyiségű fagyott vízjeget tárolhatnak, így az aprózódás és a tömegmozgások során köves-jeges anyagú, periglaciális törmeléklejtők jöttek létre. Ezek a nagyméretű, látványos képződmények pedig eredményesen vizsgálhatók a keringőegységek által gyűjtött adatok, illetve korszerű térinformatikai módszerek felhasználásával.

A Mars tanulmányozása távcsöves megfigyelések helyett napjainkban már a térségébe juttatott űrszondákkal zajlik. Ezek egyik fajtája a keringőegység *(orbiter)*, amely sikeres pályára állás után megkezdi a teljes bolygóra kiterjedő térképezést és adatgyűjtést. A másik alaptípus, a leszállóegység *(lander)* célba juttatása sokkal kockázatosabb feladat, ám ha épségben eléri a felszínt, részletes mérésekkel és anyagvizsgálatokkal „terepi bizonyosság" szerezhető a leszállóhely szűk környezetéről – vagyis módszerei közvetlenek, de eredményei nem vonatkoztathatók az egész égitestre.

Ezért a globális marsrajzi viszonyok, valamint a nagyobb térségek formakincsére jellemző sajátosságok elemzéséhez elsősorban a bolygó körül keringő űreszközök megfigyelései használhatók. Az érzékelő-berendezéseik által, távérzékelési eljárásokkal gyűjtött optikai űrfelvételek, digitális domborzatmodellek (DTM), valamint más típusú adatok internetes adatbázisokban [1] nyilvánosan kereshetők és hozzáférhetők, így – a szükséges ismeretek birtokában – bárki elemezheti azokat.

A marsi térinformatika szabványai

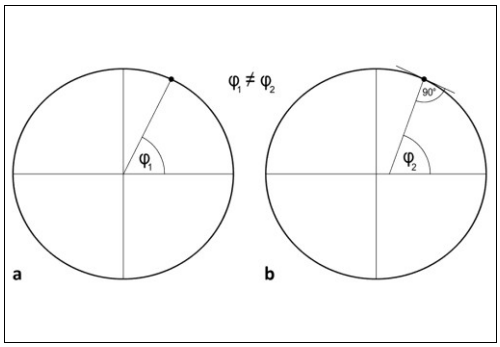
Az űrkorszak kezdete óta a keringőegységek felvételei alapján egyre jobb minőségű globális térképek készültek a bolygóról – kezdetben papíron, majd digitális változatban [1].

A különböző típusú érzékelő-berendezések mérési eredményei természetesen csak egy vizsgálati mintaterületre is összegyűjthetők, az eltérő küldetésekből származó adatok integrált kezeléséhez azonban számos technikai nehézséget kell megoldani konvertálási műveletekkel, például a térbeli vonatkoztatási rendszer (ellipszoid, fokhálózat, vetület), a terepi felbontás, vagy a fájlformátum egységesítését [2].

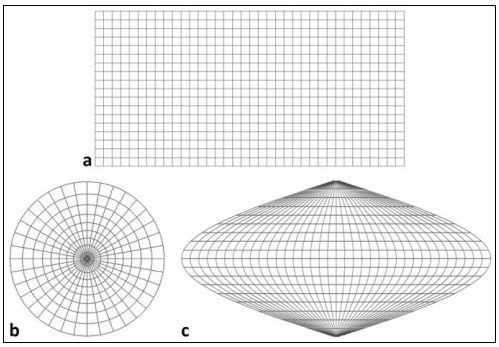
Jellemző	Szabvány
Ellipszoid	IAU2000-definíció [3]
Egyenlítői sugár	3396,19 km
Poláris sugár	3376,2 km
Szélességi fokok rendszere	planetocentrikus [4]
Hosszúsági fokok rendszere	kelet felé 0°-360° között
Domborzati alapfelület	MGS MOLA DEM
Globális térképvetület	ekvirektanguláris gömb (központi $\lambda = 0°$)
Nem globális térképvetület	poláris sztereografikus vagy szinuszoidális
Raszter-formátum	PDS IMG vagy GEO-JPEG2000 [1]

1. táblázat *A marsi térinformatika szabványai*

Szerencsére az elmúlt évek során megszilárdultak a marsi térinformatika szabványai (1. táblázat), s így egyre ritkábban okoznak már problémát például a szélességi fokok eltérő meghatározási módjai (1. ábra), vagy az alkalmazott térképvetületek típusai (2. ábra).



1. ábra *Szélességi fok meghatározási módjai – a) planetocentrikus; b) planetografikus*



2. ábra *Alkalmazott térképvetületek – a) ekvirektanguláris gömb (központi λ = 0°); b) poláris sztereografikus; c) szinuszoidális*

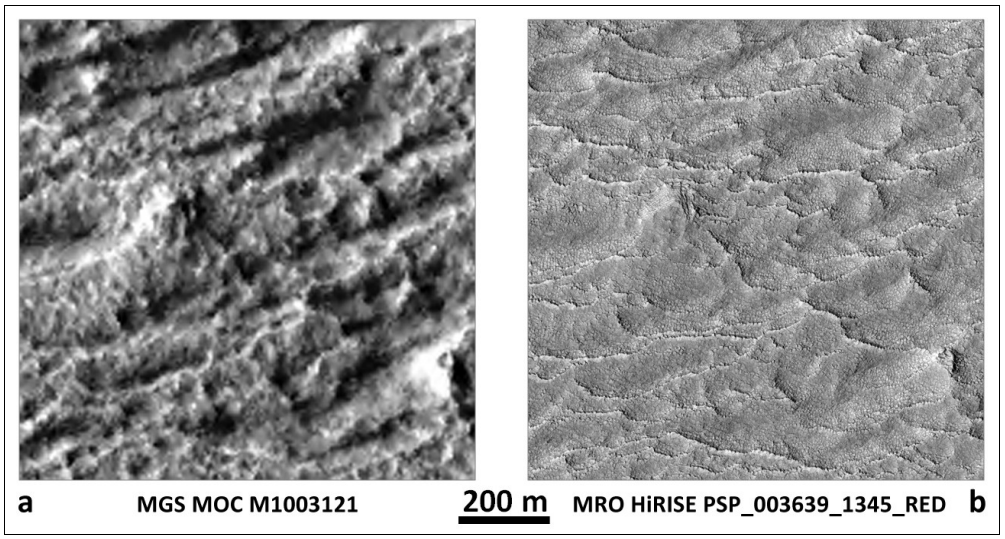
Adatforrások és pontosság

A marsi formakincs teljes körű elemzéséhez a keringőegységek érzékelő-berendezései közül elsősorban az optikai kamerákra, a domborzati adatgyűjtő műszerekre és a spektrométerekre van szükség – ami legalább tíz különböző adatforrás összehangolását jelenti (2. táblázat).

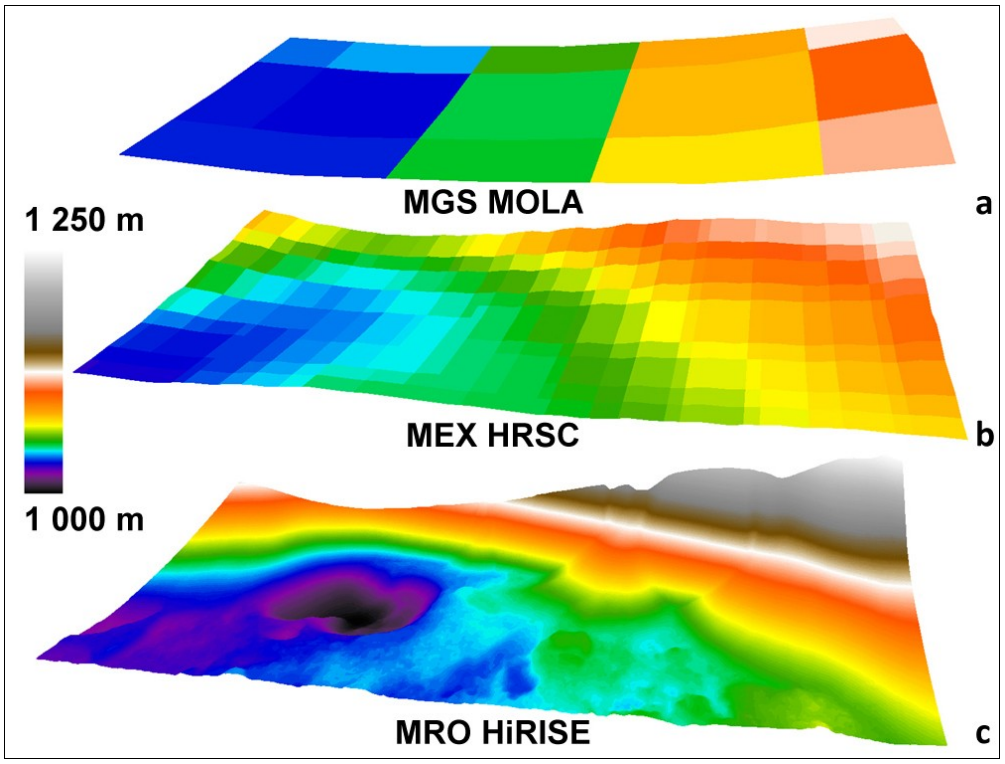
Küldetés elnevezése (rövidítése) időtartama	**Érzékelő-berendezés rövid elnevezése**	**Érzékelő-berendezés felhasználása**	**Érzékelő-berendezés max. terepi felbontása**
Mars Global Surveyor (MGS) 1996 – 2006	MGS MOC	optikai kamera	1,5 m/pixel
	MGS MOLA	DTM-készítés (lézeres magasságmérő)	300 m/pixel
	MGS TES	spektrométer	3 000 m/pixel
2001 Mars Odyssey (MO) 2001 – jelen	MO THEMIS VIS	optikai kamera	18 m/pixel
	MO THEMIS IR	spektrométer	100 m/pixel
Mars Express (MEX) 2003 – jelen	MEX HRSC	optikai kamera	12,5 m/pixel
	MEX HRSC sztereo	DTM-készítés	50 m/pixel
	MEX OMEGA	spektrométer	300 m/pixel
Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) 2005 – jelen	MRO CTX	optikai kamera	6 m/pixel
	MRO HiRISE	optikai kamera	0,25 m/pixel
	MRO HiRISE sztereo	DTM-készítés	1 m/pixel
	MRO CRISM	spektrométer	18 m/pixel

2. táblázat *A marsi keringőegységek fontosabb érzékelő-berendezései*

A távérzékelési eljárásokkal gyűjtött felszíni adatok részletessége a terepi felbontás értékével jellemezhető. Az egymást követő keringőegységek műszerei természetesen egyre pontosabb űrfelvételeket és digitális domborzatmodelleket készítenek, így a Mars néhány térségéről jelenleg már jobb minőségű állományok érhetők el (3–4. ábra), mint például hazánk nagyvárosairól a legnépszerűbb internetes térképszolgáltatók adatbázisaiban.

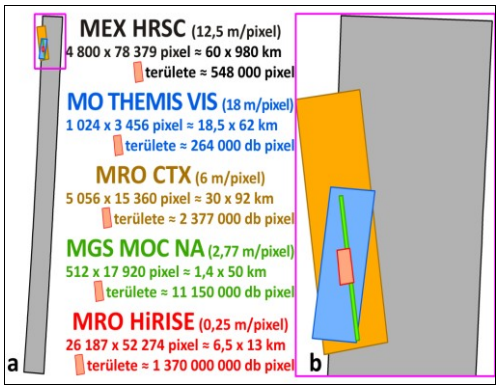


3. ábra *Azonos terület látványa tíz év különbséggel (eltérő terepi felbontással) – a) MGS MOC 2001-ben (3 m/pixel); b) MRO HiRISE 2011-ben (0,25 m/pixel)*

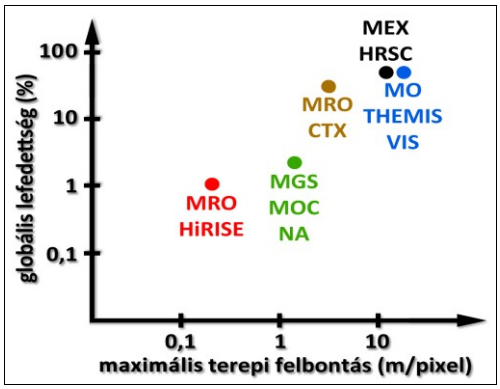


4. ábra *Azonos terület formakincse eltérő terepi felbontású digitális domborzatmodelleken – a) 2001-ben (300 m/pixel); b) 2006-ban (50 m/pixel); c) 2011-ben (1 m/pixel)*

A javuló felbontás természetesen növekvő adatmennyiséget eredményez (5. ábra), illetve általában kisebb területi lefedettséggel jár együtt (6. ábra).



5. ábra *Optikai űrfelvételek összehasonlítása – a) jellemző térbeli kiterjedés; b) MRO HiRISE-felvétel területének pixelszáma*

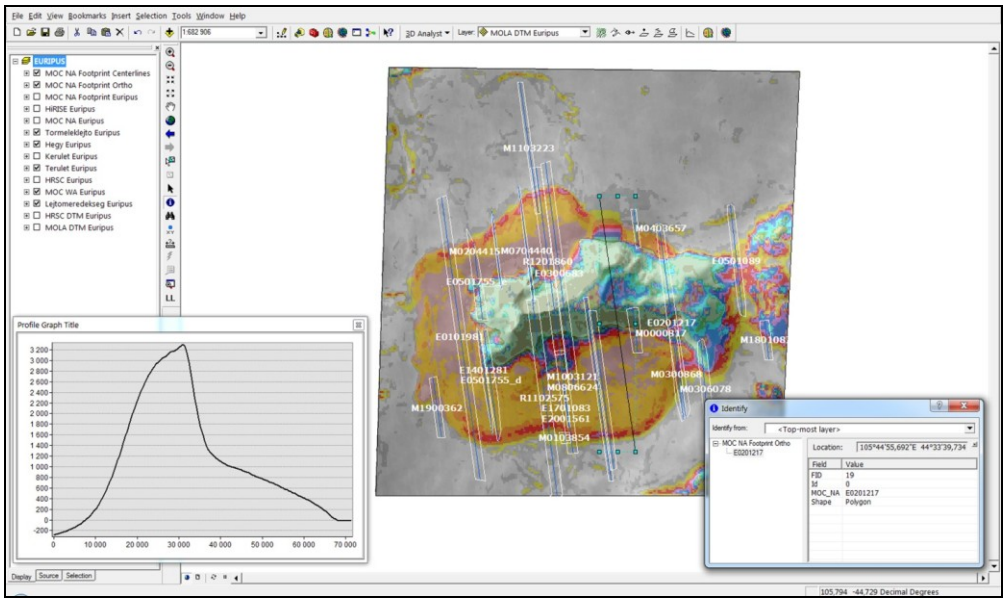


6. ábra *Optikai űrfelvételek összehasonlítása maximális terepi felbontás és globális lefedettség alapján*

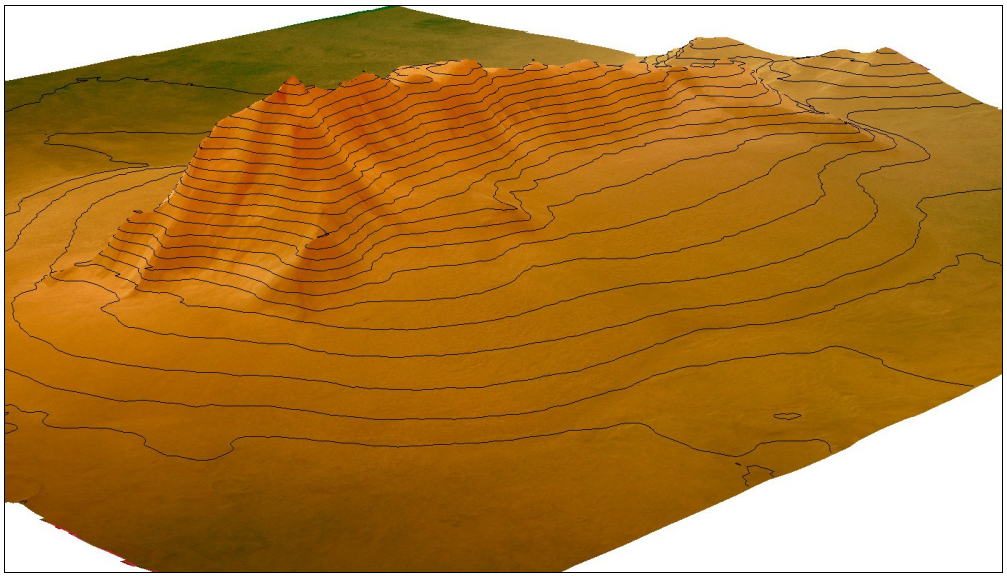
Szoftver-választás

A különböző adatforrások integrálásához és az elemzések végrehajtásához olyan térinformatikai szoftverre van szükség, amely ismeri a marsi állományok speciális térbeli vonatkoztatási rendszereit, s kezeli azok egyedi fájlformátumait, illetve adatbázisait [5].

Számos program tesztelése után kialakult véleményem szerint összességében az ESRI ArcGIS Desktop a legalkalmasabb szoftvercsomag a vörös bolygó formakincsének tanulmányozásához, valamint az eredmények megfelelő nevezéktannal [6] ellátott térképi ábrázolásához (7. ábra) és háromdimenziós megjelenítéséhez is (8. ábra).



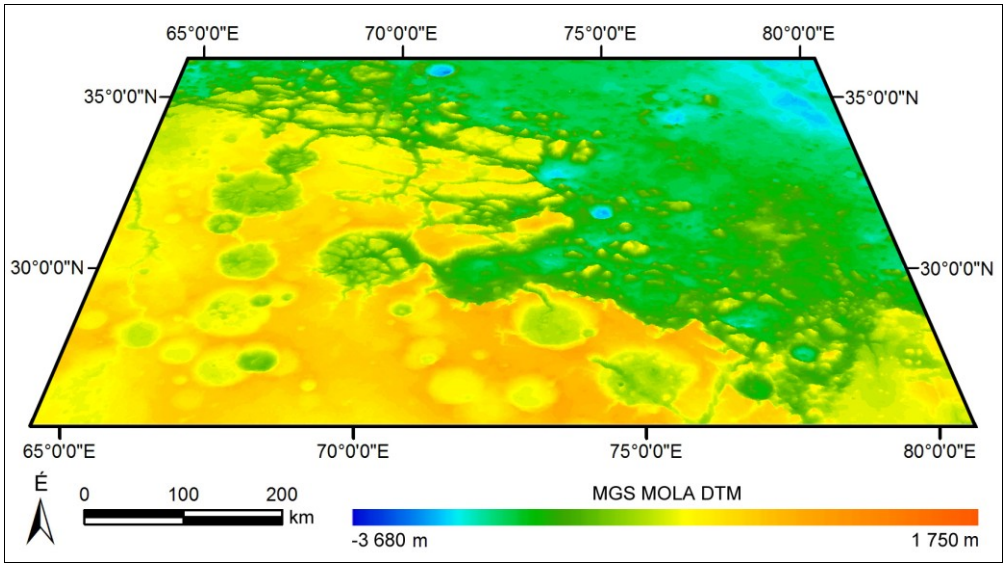
7. ábra *A mintaterület elemzésének térképi megjelenítése ESRI ArcGIS Desktop szoftverrel: eltérő tulajdonságú felszínrészletek lehatárolása környezeti áttekintő felvétellel kombinált lejtőmeredekség-térképen, valamint nagyfelbontású optikai űrfelvételek felszíni poligonjai, a terület jellemző keresztszelvénye és az egyik nagyfelbontású kép attribútumai*



8. ábra *A mintaterület domborzatának háromdimenziós megjelenítése színes űrfelvétel és szintvonalak kombinálásával, kb. 3-szoros függőleges torzítással*

Periglaciális törmeléklejtők

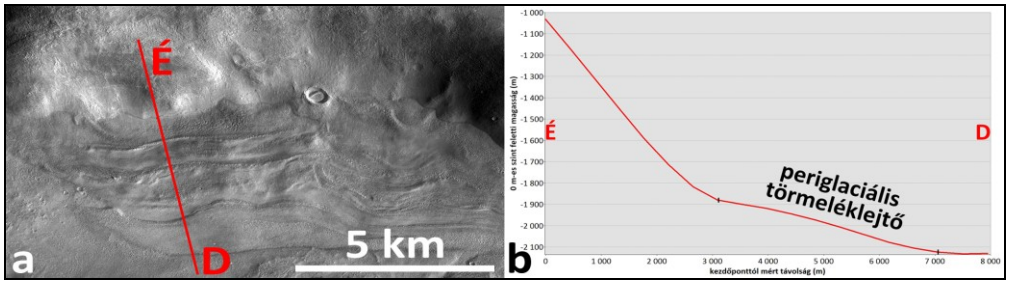
A Mars törmelékkel borított, fagysivatagos felszínén jellegzetes tájtípust alkotnak a közepes szélességű övezetek kimart területei, ahol az idősebb felföldek és a fiatalabb mélyföldek fokozatos átmenete figyelhető meg. Eleinte a magasabb térszín nagyobb kiterjedésű platókra tagolódik, amelyek több kilométerrel emelkednek az őket elválasztó széles, lapos aljzatú völgyek fölé, s végül már ezek a mélyföld-jellegű felszínrészletek kerülnek túlsúlyba a néhány kilométer magasságú, elszórt táblahegyekhez képest (9. ábra).



9. ábra *A kimart területek jellemző formakincsének látványa digitális domborzatmodell alapján*

A meredek falú platók és szigetszerű táblahegyek oldalán, valamint a völgyek fala mentén pedig fiatalabb korú formák láthatók: a periglaciális törmeléklejtőnek nevezett képződmények (10. ábra). Ezek a Mars legnagyobb méretű jeges lejtőformái, s alapvető morfológiai/morfometriai sajátosságaik az alábbiak:

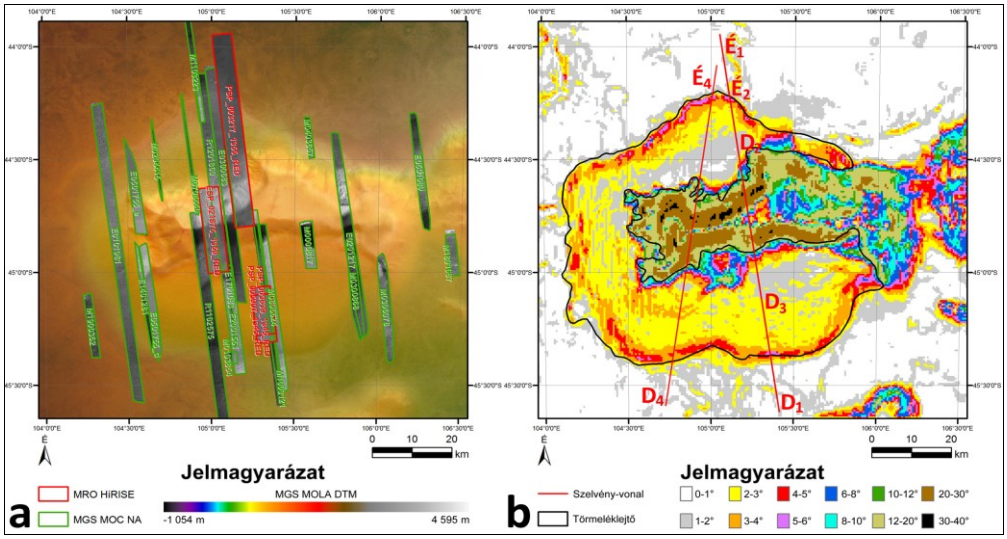
- éles meredekség-változással különülnek el a mögöttük húzódó kiemelkedéstől;
- hosszúságuk 2–20 km közötti, de akár néhányszor tíz km is lehet;
- relatív magasságuk több száz méter;
- hossz-szelvényük konvex, átlagos lejtőszögük 1,5–3° közötti;
- homlokfrontjuk viszonylag meredeken végződik el;
- keresztszelvényük általában domború, de oldalsáncaik nem mindig jelölhetők ki;
- gyakran lebenyes alakú részekre tagolódnak;
- felszínükön íves gerincek és barázdák összetett mintázata látható.



10. ábra *Periglaciális törmeléklejtő – a) domborzati helyzet; b) jellemző szelvény*

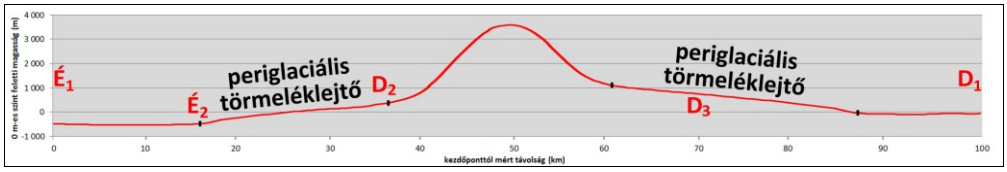
Euripus-hegy mintaterület

A 73 kilométer hosszúságú és a síksági tájból 4 500 méter magasra emelkedő, kelet-nyugati csapásirányú Euripus-hegy (D. sz. 44,8°; K. h. 105,1°) a Hellas-medence keleti peremvidékén helyezkedik el, s egy kiterjedt, lebenyekből álló periglaciális törmeléklejtő veszi szoknyaszerűen körbe (11/a. ábra).



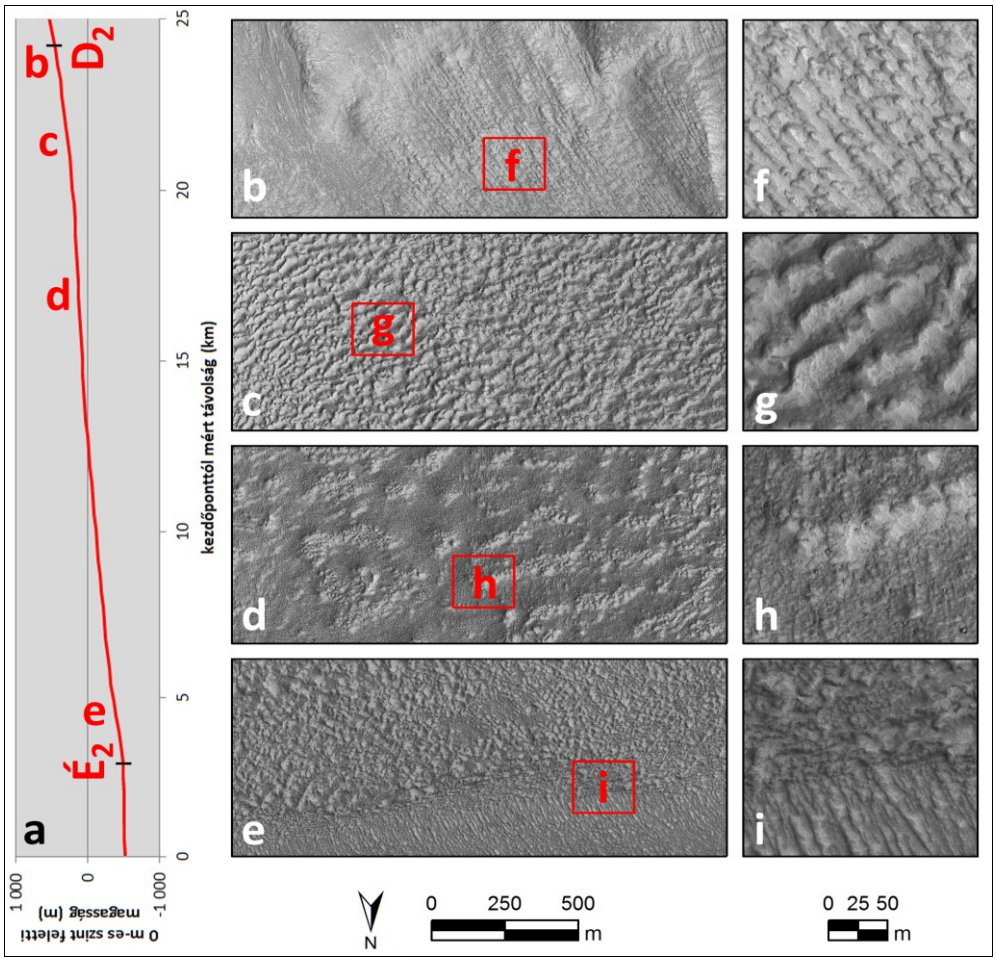
11. ábra *Euripus-hegy mintaterület – a) magassági színezésű áttekintő térkép nagyfelbontású optikai űrfelvételekkel; b) lejtőmeredekség-térkép az $É_1$-D_1 keresztszelvény helyzetével*

Az Euripus-hegy gerincvonalától sugárirányban kifelé szétterülő törmeléklejtő legnagyobb átmérője kb. 90 kilométer, hosszúsága 5–30 kilométer, vastagsága pedig kb. 300–1 200 méter között változik (feltételezve, hogy közel sík térszín található alatta). Domborzati viszonyait látványosan szemlélteti a terület lejtőmeredekség-térképe (11/b. ábra), illetve keresztszelvénye (12. ábra).



12. ábra *Az Euripus-hegy mintaterület keresztszelvénye a 11/b. ábrán látható $É_1$-D_1 vonal mentén*

A periglaciális törmeléklejtő részletes morfológiai vizsgálatához a 11/a. ábrán látható nagyfelbontású optikai űrfelvételek állnak rendelkezésre (22 db MGS MOC- és 4 db MRO HiRISE-kép). Ezek integrált elemzésével többféle felszíni mintázat-típus különíthető el a táplálóterület és a homlokfront között (13/a. ábra):



13. ábra *Az Euripus-hegy körüli periglaciális törmeléklejtő felszíni mintázat-típusai*

- a sziklafal és a törmelékösszlet határvonala mentén (13/b. ábra) számos helyen lejtésiránnyal párhuzamos sáv-mintázat figyelhető meg (13/f. ábra), amelynek jellemzően 10–20 m szélességű egységei a falról a törmelékösszletre hullott, nagy méretű kőzettömbök irányítottság szerinti elrendeződésével jöhettek létre, a terület lassú lejtőkúszására utalva;
- a táplálóterület alsó részén (13/c. ábra) durva szerkezetű, egyenetlen sziklás térszín látható, néhányszor tíz méter nagyságú blokkok mintázatával, valamint lejtésirányra merőleges íves gerincek és barázdák váltakoznak (13/g. ábra);
- a törmeléklejtő középső szakaszát „ritkább megjelenésű" felszíni mintázat borítja, gyakran szintén a lejtésirányra merőleges gerincek rajzolódnak ki, ám távolságuk itt nagyobb és sokkal lepusztultabbak is (13/d. ábra), a közöttük lévő mélyebb helyzetű térszíneket pedig osztályozatlan sötét törmelékanyag tölti ki elszórt sziklatömbökkel (13/h. ábra);
- az elvégződő szakaszt (13/e. ábra) nagyobb meredekségű homlokfront zárja le, ahol szinte „oldalról" látható a törmeléklejtő összletének réteges szerkezete, alóla pedig a táplálóterület felső részére jellemző, párhuzamos sávokhoz hasonló mintázat indul ki (13/i. ábra) – ez talán a múltban zajlott aljzati olvadásból származó víz eróziós munkájának terméke lehet.

Mindezek alapján az Euripus-hegy körüli periglaciális törmeléklejtő változatos morfológiájú terület, recens aktivitásának vizsgálatához azonban hőmérsékleti adatokra is szükség van.

Két különböző spektrométer nyári, helyi időben mérve 13.00–14.00 közötti napszakra (vagyis a mintaterület legmelegebb pillanataira) vonatkozó felszíni hőmérséklet-értékeinek integrált elemzése alapján úgy tűnik, hogy azok rövid ideig akár 0 °C-nál magasabbak is lehetnek (14. ábra). Ez pedig arra utal, hogy a jelenlegi éghajlat a marsi év legmelegebb pillanataiban elvileg lehetővé teszi a vízjég időszakos megolvadását, így akár jelenleg is történhetnek olyan morfológiai változások a törmeléklejtő mintázatában, amelyek nagyfelbontású optikai űrfelvételek összehasonlításával kimutathatók.

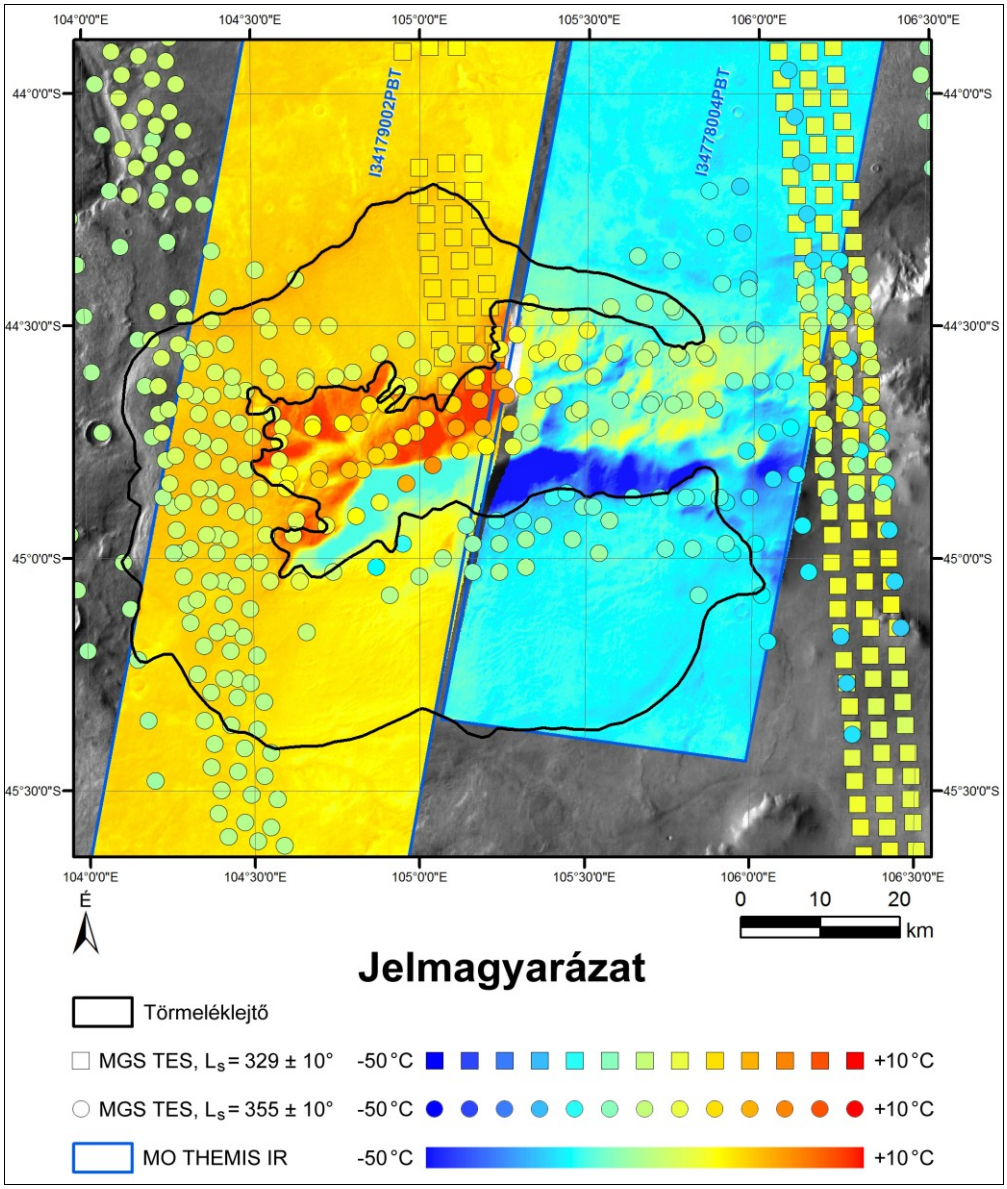
A rendelkezésre álló 0,25 m/pixel pontosságú felvételpár összehasonlítása során azonban sajnos nem sikerült ilyen évszakos változásokat találni. Ennek ellenére napjainkban is lehet nagyobb mennyiségű fagyott H_2O az Euripus-hegy periglaciális törmeléklejtőjében, ami talán csak azért nem okoz formakincs-változást, mert

- a vízjég-tartalmú réteget kiszáradt törmelékborítás fedi be, s a rövid ideig tartó nyári hőmérséklet-maximum lefelé haladó olvadáshulláma nem képes áthatolni azon;
- a 0 °C feletti maximális felszíni hőmérséklet ehhez nem biztosítja elég hosszú ideig a vízjég részleges megolvadását a törmeléktakaróban;
- a marsi légkör sűrűsége közel esik a H_2O hármaspontjának légnyomásértékéhez, s így az esetleg keletkező folyékony víz szinte azonnal elpárolog.

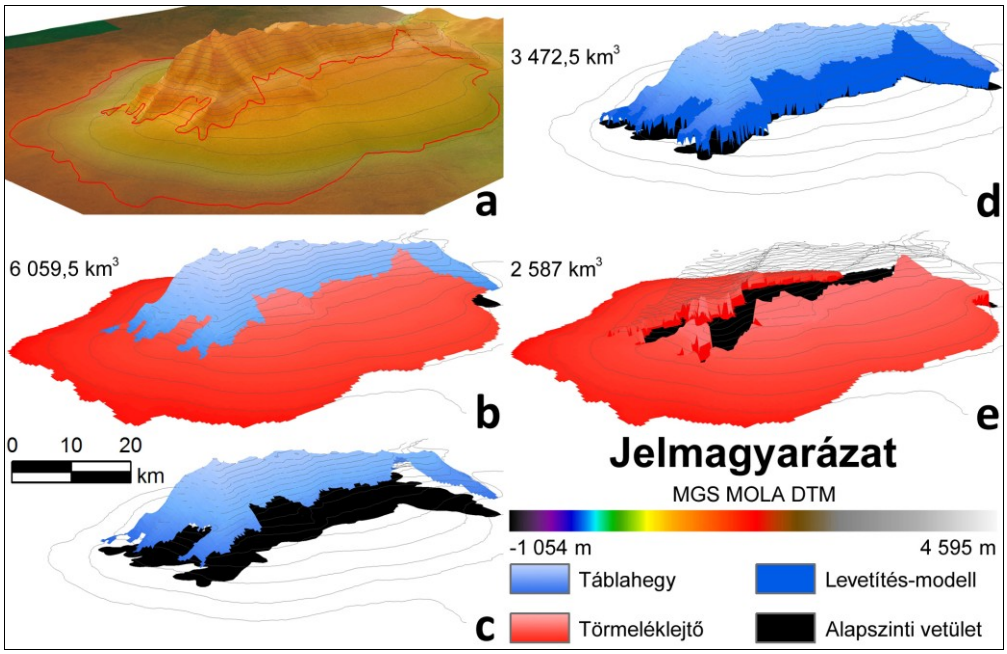
A mintaterület digitális domborzatmodelljét felhasználva az Euripus-hegy körüli periglaciális törmeléklejtő térfogata is megbecsülhető, az alábbi módszerrel (15. ábra):

- a teljes formaegyüttes, vagyis a hegy és a törmeléklejtő össztérfogatának meghatározása a terület legmélyebb pontjához igazított, –569 méteren húzódó helyi alapszint felett;
- a hegy törmeléklejtő fölé emelkedő részének helyi alapszintre történő levetítése (a sziklafalak eredeti meredekség-értékének bizonytalansága miatt első lépésben csak függőleges oldalvonalakkal);
- az így kapott hegymodell helyi alapszint feletti térfogatának kivonása a teljes formaegyüttes térfogatából.

A becsült eredmény 6 059,5 km^3 – 3 472,5 km^3 = 2 587 km^3, ami a vetítővonalak függőleges helyzete miatt csak közelítő felső határértéke a törmeléklejtő valódi térfogatának. Ugyanis a 12. ábra alapján a hegy sziklafalainak jellemző meredeksége 15–25° között változik, ezért legfeljebb 17%, de legalább 8% többletet hozzá kell adni a függőleges hegymodell alapján kiszámolt térfogathoz. A törmeléklejtő kiterjedéséből viszont le kell vonni ugyanezt, tehát annak valódi térfogata 2 000–2 300 km^3 között lehet. S mivel az egyik keringőegység földradar-berendezésének mérései alapján kb. 90%-ra becsülhető a vízjég aránya a törmeléklejtő összletében [7], annak belsejében összesen akár 2 000 x 10^9 t fagyott H_2O is tárolódhat.



14. ábra *Az Euripus-hegy térségének nyári időszakra vonatkozó felszíni hőmérséklet-térképe az MGS TES- és az MO THEMIS IR-spektrométerek adatai alapján*



15. ábra *Az Euripus-hegy körüli periglaciális törmeléklejtő térfogat-számítási módszere – a) színes fotó-térkép, a háttérben magassági színezéssel; b) a táblahegy és a törmeléklejtő felülete; c) a táblahegy és alapszinti vetülete; d) a táblahegy függőleges falú térbeli modellje; e) a törmeléklejtő térbeli modellje*

További mintaterületek

A periglaciális törmeléklejtők további három mintaterületére vonatkozó eredmények bemutatását jelen tanulmány terjedelmi korlátai sajnálatos módon nem teszik lehetővé.

Következtetések

A közepes marsrajzi szélességű övezetekben látható periglaciális törmeléklejtők cementált belső szerkezetű, köves-jeges összletek lassú lejtőirányú elmozdulásával, illetve az ennek során belsejükben zajló plasztikus deformációk eredményeként jöttek létre, kráterborítottságuk és felszíni mintázataik lepusztultsága alapján valószínűleg az utóbbi néhány százmillió évben.

Morfológiai és morfometriai sajátosságaikat, valamint formakincsük változatlanságát figyelembe véve napjainkban fosszilis vagy inaktív képződményeknek tekinthetők, amelyek a jelenlegitől eltérő éghajlati viszonyokra utalnak az égitest késői fejlődéstörténete során. Így ha a következő évtizedek/évszázadok során lassú felmelegedés indul be a Marson, akár újra is aktivizálódhatnak majd.

Ezek tehát a felszínközeli rétegek vízjég-tartalmának múltbeli, részleges olvadásával magyarázható formák, amelyeknek a lakhatóság szempontjából is jelentősége van, ugyanis a Marson található fagyott és/vagy folyékony H_2O-készlet biztos előfordulási helyszíneinek, valamint könnyen elérhető forrásainak tekinthetők.

Mindezek mellett a periglaciális törmeléklejtők felszínalaktani elemzése azt is látványosan szemlélteti, hogy a korszerű térinformatikai módszerek eredményesen alkalmazhatók a planetológiai kutatások során.

Köszönetnyilvánítás

Kutatási tevékenységemet az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatja, amit ezúton is köszönök!

Irodalomjegyzék

[1] Sik A. (2011): Távérzékelés és felszínalaktan: Keringőegység-adatok térinformatikai integrálása a Mars jeges lejtőformáinak vizsgálatához. *Doktori értekezés, ELTE Természetföldrajzi Tanszék*, Budapest, 155 p.

[2] Sik A. (2010): GIS a Marson. *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában Konferencia és Szakkiállítás I.*, Debrecen, pp. 191–198

[3] Seidelmann P.K. et al. (2002): Report of the IAU/IAG Working Group on cartographic coordinates and rotational elements of the planets and satellites: 2000. *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*, Vol. 82, No. 1, pp. 83–111

[4] Sik A., Kereszturi Á. (2006): A Mars felszínalaktani vizsgálata űrfelvételek alapján. *Geodézia és Kartográfia*, Vol. LVIII, No. 9, pp. 12–20

[5] van Gasselt S., Nass A. (2011): Planetary mapping – The datamodel's perspective and GIS framework. *Planetary and Space Science*, Vol. 59, No. 11–12, pp. 1231–1242

[6] Hargitai H. (2008): Földön kívüli égitestek geológiai és rétegtani tagolása és nevezéktana. *Földtani Közlöny*, Vol. 138, No. 4., pp. 323–338

[7] Holt J. W. et al. (2008): Radar Sounding Evidence for Buried Glaciers in the Southern Mid-Latitudes of Mars. *Science*, Vol. 322, Issue 5905, pp. 1235–1238

Az űrlogisztika dimenzióváltása – előttünk az univerzum
Az űrlogisztika kihívásai, jövőképe és jövőértékei a XXI. században

Dr. Estók Sándor
szakközgazdász, civil és katonai logisztikus, tanúsított logisztikai szakértő

„A Föld az emberiség bölcsője, de az emberiség nem élhet örökké bölcsőben”
(Konsztantyin Eduardovics Ciolkovszkij)

A múlt század az űrkorszakkal fémjelezett időszakként vonult át felettünk és a múlt emlékei dimenziójában maradt. A XXI. században egyre távolabbra látunk a minket körülvevő Naprendszerben és azon túlra is, és egyre több nagy ívű terv megvalósítása a kitűzött cél. Az ezredforduló előtt az űrkutatók, tudósok és a tudományok képviselői nagy küldetést terveztek, amelyet a XXI. században valósíthatnak meg. A küldetésben cél a Marsra szállás, az életfenntartás, a letelepedés és önellátó társadalom létrehozása lehet. Ezzel párhuzamosan a kínai elképzelések már a XXI. század elején születtek, ők a Holdra szállás iparosítását tervezték. Úgy a Hold, mint a Mars teljes körű munkájában a logisztikatudomány és logisztikai ipar a tudásbázisával, szükséges rendszereivel, erőivel és eszközeivel részt kíván venni. Úgy gondolom, most már a logisztika nélkül a fentebb említett célkitűzéseket nem lehet megvalósítani. Valószínűsítem mindezeket azért, mivel a logisztika eddig is része volt az űrkutatásnak. Azt is állíthatom, minden egyes kutatási feladatban részt vett, de kevés területen közölték eredményeit. Nem kapott nyilvánosságot, mint a tudományos kutatás csendes társaként végezte dolgát. Viszont napjainkban a logisztika, mint tudomány minden értékteremtő és szolgáltató tevékenységnek részese. Nem valószínű, hogy kimarad a századunk legnagyobb vállalkozásaiból. Azt is vélelmezem, hogy kulcsszerepet kap, úgy a Marson, mint a Holdon a logisztikai támogatásban. Az a gondolat sem áll tőlem távol, hogy logisztikusok tagjai lesznek a nagy küldetésnek. Remélem még azt, hogy magyar felkészített űrlogisztikus is részt vehet az űrfeladatok megoldásában.

Kulcsszavak: űrlogisztika, űrlogisztikus, Hold-logisztika, a Hold iparosítása, Marsra szállás, Mars-logisztika, Mars-bázis, létlogisztika

Lehet, egyeseknek mosolyt hozok az arcára, de ne felejtsük el: a logisztika elvei, módszerei, tudományos felkészültsége, technológiájának alkalmazási képessége már sok területet lefed. A Föld legnagyobb horizontális ipara az űr környezetében és körülményei között el tud végezni alkalmazói képességével olyan feladatokat, amelyeket kihívásként élünk meg napjainkban. Nem szabad figyelmen kívül hagyni azt sem, hogy a küldetésre elég hosszú felkészülési idő, célirányos tanulási és begyakorlási lehetőség van. Nem megfeledkezve a meglévő tudásbázisokról és a kutatások félkész termékeként már jelen lévő új eredményekről.

Az univerzum a nyitott lehetőségek tárháza

A Holdra és a Marsra szállás, nagy kihívás az emberiségnek

Napjainkban már több ország is megfogalmazta igényét az űr hasznosítására. A kínaiak 2020-ig űrállomást építenek. 2020 után űrbázist terveznek építeni a Holdra, az ipari hasznosítás, az érdekeiknek megfelelő feltárás mellett. Az Amerikai Egyesült Államok tervbe

vette a Marsra szállást,[1] annak hasznosítását, az űrturizmust, az űrvállalkozásokat a magánszektorba kiszervezték – civilek kezébe adták. A Naprendszer, és azon túli távoli bolygók látogatása már megvalósítási fázisához közeli helyzetben van.

A Holdra és a Marsra szállás logisztikai támogatását és eredményességét a jól megépített és biztonságosan működő személy- és teherűrhajók alapozzák meg. Erre a komplex feladatra speciális tervezésű és többfunkciós, többfokozatú repülésű, föl- és leszállást kis területen megvalósító űrhajók szükségesek. A marsi feladatokhoz kompok, nagytestű erős teherszállító űrhajók lehetnek alkalmasak.

Az űrkutatók, tudósok által legjobban ismert bolygó a Mars, ezért hasznosítása már a múlt évtizedben megfogalmazódott, az ipari, üzleti érdekeknek megfelelően. Mindezeket több szempont szerint is alátámasztották érvekkel. A tudósok már a kialakított elképzelések alapján hozzákezdtek *„a Mars projekt”* megvalósításához, az űrszondák kialakításához, több generációs *csillaghajó elkészítéséhez.*

A kutatók összegzett véleménye valószínűsíti azt, hogy a Mars alkalmas lehet az életfeltételek kialakítására. Többek véleménye alátámasztja, hogy sok élethez szükséges ásvány, vegyület található a bolygón. A felszín közelében fagyott állapotban van *vízjég*, a levegő összetételében nagy mennyiségű szén-dioxidot találtak. Hegyei gyomrában számos barlang található, a bolygó talaját vöröses, vas-oxidban gazdag por fedi.

Az életfeltételek és az életvédelmi biztonság megteremtése – oxigén, levegő, víz, élelem, szállás, sugárzás, napszél, a szélsőséges hőmérséklet, hosszan tartó homokvihar elleni védelem – komoly kihívás a bolygó élhetővé tétele érdekében. Védelmet, biztonságot adhat az embereknek, űrjárműveknek, működő rendszereknek a barlangok és barlangrendszerek adottságainak kihasználása és ezen kívül többcélú logisztikai hasznosítása. Hangárak, raktárak, védett bázisok kialakítására, víz, levegő tisztító–átalakító berendezések működtetésére. Más célú hasznos feladatokra, mint fűtött, egyenletes hőmérsékletet fenntartó szálláshelyek és munkakörnyezet kialakítására. Lehetőség nyílik tavak, vízgyűjtő területek kijelölésére és feltöltésére, a hegyekből begyűjtött hó olvasztására.

Űrlogisztika – Mars-logisztika fogalmi értelmezése

Az új fogalmak területeinek behatárolása[2]

Az űrlogisztika fogalmi keretei körében értelmezhető minden olyan logisztikai értékteremtés és szolgáltatás, amit a Földön kívüli térségben valósítanak meg. A Calgary Egyetem kutatói[3] szerint a világűr kezdete 118 km magasságban van a Föld felszíne felett. Az asztronauták szerint a Kármán-határ[4] 110 km. A NASA szerint 122 km a visszatérési magasság.[5]

Mars-logisztika: az űrlogisztika része és a Mars bolygón, felszínén és felszíne felett értelmezhető logisztikai értékteremtés és szolgáltatás minden változata. Az űrlogisztikában az előttünk levő években sok új tudományos eredmény alkalmazása valósulhat meg. Kialakul

[1] Érdekességként említem, hogy az amerikai Holdra szállás befejezését (1972) követően többen állították, hogy a *technika készen állt a Mars meghódítására emberrel a fedélzeten,* de ez a küldetés elmaradt.

[2] A szerző saját fogalmi értelmezése és kidolgozása.

[3] http://www.stop.hu/tudomany/megallapitottak-a-vilagur-hatarat/477885/

[4] A hagyományos repülőgép ebben a magasságban felhajtó erő hiányában nem használható; Kármán Tódorról nevezték el, mivel ő határozta meg elsőként.

[5] Az űrhajósok itt kapcsolják ki a kormányzást és kezdik meg a levegőbe való belépést.

egy új típusú logisztikai környezet, amelyben az űrlogisztika jelentős stratégiai szerepet kap. Előtérbe kerül a teljes felépítményével, szervezeteivel, feladataival, technikai eszközeivel, az űrbázison levő képességeivel és más feltételrendszereivel. Mindezeken túl az űrlogisztikai támogatás alkalmazásának lehetséges változataival.

Ahogy századunk időszalagján haladunk előre, az űrlogisztikai feladatok ismertté válnak. Az előzőeket a Mars- és a Hold-misszióval és feladattal együtt lehet értelmezni. Természetesen az űrlogisztikai szolgáltatás és kiszolgálás célterülete továbbra is a Marson, Holdon levő földi ember tevékenységének, feltételrendszerének megteremtése. Nem valószínűsítem, hogy a logisztika funkciói és elvei nagy változásokat élnének meg. Az űr jellemzői, a technológiai folyamatok és annak rendszerei más súlypontra hangolják át logisztikai szemléletet és gondolkodást.

A tér tágul, a fejlődés felgyorsul, a rendszerek, sajátosságok igazodnak a változó körülményekhez. Ebben a környezetben többlépcsős támogatási rendszerek, folyamatok, hálózatok működnek stratégiai érdekeket szolgálva.

A hibrid logisztikai támogatás (humán erő és robotok) széles körű alkalmazása új mérföldkő az űrlogisztikai támogatásban és környezetben. Az elővetített jövőképet a tudomány eredményei és annak a gyakorlatban történő alkalmazása válthatja valóra, az előttünk álló évtizedekben.

A Mars-logisztikai támogatás feltételei és lehetőségei[1]

A teherszállító űrhajókkal szemben követelmény, hogy nagy raktérrel biztonságosan legyenek képesek szállítani a felszerelést, anyagot és eszközöket. Legyenek képesek többszöri szállítási feladat végrehajtására a Föld és a Mars között, főleg a kezdeti logisztikai ütemek időszakában.

A Marson a szállítási, ellátási feladatok elvégzéséhez új technikai eszközök kialakítása, kikísérletezése is egy újabb kihívás. Ezek közé sorolom az ionhajtóművek, napvitorlák, mágneses vitorlák, nukleáris meghajtás alkalmazását. Úgy a felszíni szállításban és közlekedésben, mint a Mars felszínén megszerezhető nagytömegű építőanyag mozgatását, szállítását és beépítését illetően. A repülési biztonság és műszaki megbízhatóság érdekében egy szerviz- és segélyűrhajót a Marsra érés után műszaki mentési készenlétbe kell helyezni a később beérkező űrhajók biztonsága érdekében. Ezeken a helyeken a mentesítést és szervizellenőrzést elvégezhetik, lehetőséget adva számos váratlan rendellenesség orvoslására.

A Mars felszínére történő leszállás több lépcsőben valósulhat meg. Esőként az előkészítő űrhajók 2-3 egységének leszállásával lehet számolni. Ők elvégzik a helyszíni pontosítást az elkészített projekt alapján. Pontosítják a földi tervezett protokoll szerinti feladatok rendszerét. Mars-kompokkal helyszíni pontosítást, állapotfelmérést, helyzetelemzést végeznek. Megszervezik az első és a második ütemben érkezők fogadását.

A Mars-bázis állandó összeköttetésben van az űrhajókon kívüli eszközökkel, szerviz-űrhajókkal és minden munkacsoporttal, szálláshellyel. Mindezeken túl az űrállomással, a szervizállomással, a földi bázis vezetési és irányítási központjával, a földi logisztikai központtal, a földi logisztikai bázissal, úgy a Marson, mint a Földön. Ezen kívül e-mail kapcsolat és üzenet közvetítésre és továbbításra is használható.

[1] A szerző saját fogalmi értelmezése és kidolgozása.

A létlogisztika[1] a Mars-küldetés kritikus eleme

A létlogisztika a Marson új logisztikai kultúrát teremt és alakíthat ki más bolygókon is. A Mars logisztikája ***elsődlegesen a létlogisztika***, amely meghatározóan rányomja bélyegét a kialakuló logisztikára, de ugyanígy lesz ez minden más bolygón, és csak ezután következik a bolygó logisztikája.

Teljesen új környezet mindenhol, mondhatom embertől idegen minden, amiről csak közvetett információval rendelkezik a tudós társadalom és a földlakó, aki marslakóvá lesz egykoron. A logisztika kialakítása ***nulla pozícióból indul***, a megismerés folyamatától kezdődik. Itt jelen van már a bolygó szempontjából nézve a *bolygóidegen ember,* aki már ismer egy földi logisztikai kultúrát és abból a szemléletből és gondolkodásból tudja megkezdeni a Mars-logisztikát és ***a Mars bolygó ellátási láncainak*** kialakítását és fenntartását. Erre épül és vele párhuzamosan fejlődik a kutatás, feltárás, lehetőségek és az életfeltételek kialakítása, a földi determinált logisztikai értelmezés szerint.

A Mars-logisztika egyik nagy feladata az életfenntartó rendszerek kialakítása és fenntartásával párhuzamosan a ***letelepedés a bolygón***. Földi ember lakta ***település önálló létrehozása*** és hosszú távú fenntartása. E nagyszabású vállalkozáshoz több nagy mérföldkő van és a követelményeinek megvalósulása elengedhetetlen. Mint a Marsra jutás idejének lecsökkentése, élelmi anyagok termesztésének megalapozása és növelése, ki- és átalakítása, az értékteremtő ember jelenléte minden logisztikai folyamatban.

Meglátásom szerint az ember mellé szükséges a ***robotok alkalmazása***, ahol csak lehet. Mindezeken túl fel kell tárni ***számos energiaforrást, építőanyagokat, energiát*** és azt feldolgozni. A szállításhoz viszont a marsi környezethez illeszkedő ***szállítórendszerek*** elegendő kapacitása szükséges. Mindezeket figyelembe véve nem másról van szó, mint egy önálló társadalom létrehozásáról a Marson, amely önellátó.

A letelepedés logisztikai kihívása az erőforrások, energiaforrások feltárása, szállítása és a kijelölt helyszínre eljuttatása. Az építőanyagok forrása, lelőhelyei lehetnek a Mars hegyei, köves felszíni területei. A települések megépítéséhez a jövőbeli energiák közül a napenergia bőséggel áll rendelkezésre, állandóan jelen van, amelyből elektromos áramot lehet nyerni, valamint ezer fokos hő is előállítható. Logisztikai szempontból az átalakító rendszerek, hő- és áramelosztó rendszerek kialakítása nagy lépés lesz a települések, és mindennemű emberi környezet elviselhetővé tételéhez. Viszont ehhez nagyméretű erőműveket is rendszerbe kell állítani, a napenergia elektromos energiává való konvertálásához. A Mars kedvező feltételt teremthet a nukleáris energia előállítására. Ebben a környezetben a hűtési rendszer kiépítése szükséges, ismert, hogy a hőmérséklet +20 és –140 Celsius-fok között mozog. E probléma megoldása után a nukleáris energia nagy mennyiségben segítheti a marsi élet kialakítását a földi ember számára.

A logisztika és az ellátási lánc kialakítása a Marson és más bolygón

Az ellátási lánc egy új marsi logisztikai kultúra alappillére. Új logisztikai környezet alakul ki bármelyik más bolygón, ahol a földi élet feltételei nincsenek meg. Másfajta alapú élet még létezhet ismeretlen összetevők szerint a Naprendszerben és azon túl is, a logisztika ott is más lesz. Az űrlogisztika, Mars-logisztika eltérő alapokról indul, mint a Földön, amelyet már megszoktuk és kifejlesztettük.

Az ellátási lánc kialakítása a Marson új szemlélettel és gondolkodással indul, hiszen más feltételek állnak előttünk – időjárás, légköri összetétel, más anyagok, más környezetben és állapotban. Szükséges az átalakítás, hasznosítás az emberi élet és a logisztikai kultúra

[1] A szerző saját fogalmi értelmezése és kidolgozása.

szerint. Más technikai kultúrát és technikai eszközöket igényel és új módszerek alkalmazását teszi szükségessé a Mars logisztikai környezete.

Az ellátási láncban az anyagáramlás más értelmet kap. Első fázisban az anyag összegyűjtése, szállítása, vagy raktározása. Ebből a helyzetből a feldolgozás körzetébe szállítás, ha szükséges, raktár kialakítása, és azt követően indul a hasznos anyaggá átalakítás. Ez a logisztikai folyamat nem ilyen egyszerű, meg kell küzdeni az elemekkel, mint a nagy hideg, napszél, sugárzás és nem utolsó sorban a porvihar, valamint a nagy távolságok.

Az ellátási láncban nagy jelentőséget kaphat nagyszámú robot bevonása, mivel az emberi erő kis számban van jelen és nagyon sérülékeny, ami veszélyeztetheti az életet a nehéz körülmények között. A szállítási feladatokhoz speciális technikai eszköz szükséges, mint szállító űrrepülő, nagyobb távolságra is alkalmas szállító űrhajó. Szükséges kialakítani a napelemes, vagy mágneses energiával működő marsi szállító–repülő eszközt, amely 3-5 tonna szállítására képes.

Ha a Marson az ellátási lánc fejlesztése, tökéletesítése a robotok alkalmazásával, földi termelési technológiák, gépek használata lehetővé válik, akkor minőségi változáshoz érkezik a marsi logisztika. A termeléshez a források és a szállítás feltételei adottak, a termelő üzemek kiépítettek, a szükséges robotika és az automatizálás rendelkezésre áll, az emberi felügyelet és irányítás adott. Ha számos más feltétel együtt van, akkor elkezdődhet a Marson az ipari területek kialakítása – azaz az *iparosítás a Marson.*

A Marson a földi ember csak akkor tud hosszú távon tartózkodni, letelepedni, ha képes olyan körülmények kialakítására, amit a Földön a bioszféra ad mindenkinek. Először kis területen és azt később növelve, fokozatosan lehet e kérdésben eredményeket elérni. Nos, a Marson a fentieket csak gépesített életfenntartó rendszerek képesek támogatni. A letelepüléshez a ***létlogisztika rendszerét és ellátási láncait éltetni kell*** és alkotó elemeit következetesen, szigorú pontossággal a marsi környezetben kiépíteni és mindenki számára elérhetővé tenni bárhol és bármikor.

A túléléshez számos feltétel együttléte szükséges, mint oxigén a levegőben, víz, élelmi anyagok, elviselhető, emberi léptékű hőmérséklet, gravitáció és levegőnyomás, tápanyagot újratermelő környezet, klíma, lakható–élhető feltételrendszer. Célszerű egyéni szén-dioxid-átalakító berendezés alkalmazása, amely oxigént állít elő, de elengedhetetlen az orvosi és egészségfenntartó rendszer kialakítása. Mindezek mellett az űrkolónia lakói pszichés és fizikai állapotának, egészségének fenntartása. Értelmezésem alapján a létlogisztikához tartozónak vélem a kozmikus sugárzás elleni védelmet, a napszél és a mágneses viharok kivédését.

Az értékalkotási környezet az inkább a megszerzett anyag átalakítása, átformálása, hasznossá tétele az ember és a környezete érdekében. Aktuális példa erre a hegyek hósapkáiból, gleccserekből a hó és a jég kibányászása, átalakítása, tisztítása és iható vízzé alakítása, vagy technikai vízként a növények termesztéséhez való felhasználása. Viszont alkalmas lehet tárolásra a barlangokban, mesterséges víztárolókban. Másik fontos energiaforrás a napenergia hasznosítása, átalakítása hőenergiává a szállások fűtésére, vagy alkalmazható növények termesztésére.

Nagyon fontos a kinyert energia elosztása, hálózatok kialakítása – hő, víz, elektromos áram. Egyes vélemények szerint az elektromos energia végül az űrbéli települések fő exportcikkévé válhat, például vezeték nélküli energiaátvitellel, mikrohullám-nyalábokon keresztül, amik a Földre vagy a Holdra továbbítják az energiát. Ennek a módszernek nincsen káros kibocsátása.[1]

[1] http://hu.wikipedia.org/wiki/%C5%B0rkoloniz%C3%A1ci%C3%B3#Energia

A kommunikációt és az információáramlást két nagy hálózatrendszerben célszerű működtetni. Az első a marsi környezetben, a másik a földi logisztikai bázissal összeköttetésben az alap ellátási lánc elemei között. Ebben a láncban nem az igények szerinti kielégítés kerül előtérbe, hanem a lehetőségek és az emberi képességek, valamint a jelen levő technika és a robotok teljesítménye a meghatározó.

Összegzés, jövőkép

A Marsra szállás és ott a létfenntartásra törekvés a teljesen idegen környezetben nagy kihívás. A XXI. század heroikus küldetése, a tudomány által vezérelt logisztikai ipar és rendszerei képesek lehetnek együttesen egy példátlan misszióra. Megalkotják az **új űrlogisztikát, az új létlogisztikát és a Mars-logisztikát, ezzel egy logisztikai korszakváltás nyílhat meg.** Annak új elveit, módszereit és alkalmazását tárhatja fel. A XXI. század végére a Naprendszer bármelyik bolygólyát elérheti és **a logisztikatudományt új tudással, tökéletesedő űrlogisztikával vértezheti fel.** Így tágul a tér, és a Föld kutatói, tudósai, lakói kitekinthetnek a Naprendszeren túli bolygókra és azok környezetére.

Felhasznált források:

[1] Dragon űrhajó (Wikipédia) http://hu.wikipedia.org/wiki/Dragon_%C5%B1rhaj%C3%B3

[2] Egykor a Mars is kék bolygó volt (SG.hu hírportál, 2001.12.04.) http://www.sg.hu/cikkek/19241/egykor_a_mars_is_kek_bolygo_volt

[3] Németh Péter: Vörös Sárkány a Marsra (Űrvilág hírportál, 2012.01.29.) http://www.urvilag.hu/urszondak_a_marsnal/20120129_voros_sarkany_a_marsra

[4] Mars (bolygó) (Wikipédia) http://hu.wikipedia.org/wiki/Mars_%28bolyg%C3%B3%29

[5] SimonTamás, Sik András (1999): A Mars-kutatás legújabb eredményei. *Természet Világa*, 130. évf. 11. szám, 494–498. old.

[6] Mars http://csillagaszat.uw.hu/mars.html

[7] Megállapították a világűr határát! (STOP hírportál, 2009.04.10.) http://www.stop.hu/tudomany/megallapitottak-a-vilagur-hatarat/477885/

[8] Horvai Ferenc: A Mars-utazás nehézségei (Űrvilág hírportál, 2006.02.11.) http://www.urvilag.hu/tavoli_vilagok_kutatoi/20060211_a_marsutazas_nehezsegei

[9] Frey Sándor: Légi start – amilyen még nem volt (Űrvilág hírportál, 2011.12.19.) http://www.urvilag.hu/urturistak_es_maganurhajok/20111219_legi_start_amilyen_meg_nem_volt

[10] Estók Sándor (2011): Űrlogisztika katonai és civil módra. *Hadtudományi Szemle,* 4. évf. 4. szám, 2–4. old.

[11] Űrkolonizáció (Wikipédia) http://hu.wikipedia.org/wiki/%C5%B0rkoloniz%C3%A1ci%C3%B3#Energia

Pozicionálás szenzorhálózatokkal egy naprendszerbeli égitesten

Szeile Aliz[1], Dr. Bacsárdi László[1,2], Dr. Huszák Árpád[1]
[1] Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
[2] Nyugat-magyarországi Egyetem, Informatikai és Gazdasági Intézet, Sopron

Napjainkban egy-egy naprendszerbeli égitest felszíni vizsgálatára költséges űreszközöket készítenek és küldenek. A jövőben azonban elképzelhető, hogy néhány nagyon drága eszköz helyett nagyszámú olcsóbb mérőeszközt juttatnak el egy-egy bolygó vagy kisbolygó felszínére, amelyek autonóm módon mozogva végeznek méréseket és juttatják el az eredményeiket egy földi irányítóközpontba. Jelen cikkben azt vizsgáljuk, hogy egy szenzorokból álló hálózat mozgása hogyan oldható meg anélkül, hogy megszakadna a kapcsolat az egyes szenzorokkal, illetve különböző körülmények (például egy porvihar) milyen hatást gyakorolnak egy ilyen hálózatra.

1. Szenzorhálózatok egy távoli égitesten

A bolygók felszínének feltérképezésében nagy segítséget nyújthatnak a szenzorok, szenzorhálózatok. A szenzorok olyan eszközök, amelyek különböző fizikai jelenségek megfigyelésére képesek (pl. hőmérséklet, fény, páratartalom) és a mért adatokat továbbítani tudják egy speciális eszköz, a nyelő felé. Ezáltal az égitest felszínén végbement mérések eredményeit a nyelő össze tudja gyűjteni és képes lehet továbbítani a Föld felé.

A szenzorhálózatok nagy darabszámú egyszerű szenzor egységből álló, autonóm működésre képes elosztott számítógépes hálózatok. Az érzékelő egységekből kifolyólag megfigyelő, adatgyűjtő funkciót valósítanak meg, esetenként adatfeldolgozó és analizáló feladatokra is képesek. Az alkalmazás költséghatékonyságát növeli, hogy a szenzor elemei olcsón előállíthatók, ugyanakkor gondot okozhat az erőforrás utánpótlása. Pl. egy bolygó felszínére elhelyezett szenzorhálózat esetében a szenzorok nem rendelkezhetnek nagy napelemmel, illetve akkumulátorral/generátorral. Ezért fontos a lehető legkisebb energiafelhasználásra való törekvés. A hatékonyságot növelheti, hogy ha néhány szenzor képes nagy energiatartalékok tárolására. Tipikusan ezek a nyelő szenzorok, amelyek alkalmasak kell legyenek a kommunikációra nem csak a szenzorokkal, hanem a Föld felé is, műholdak segítségével. Mivel a szenzorhálózaton belül vezeték nélküli hálózati összeköttetés van jelen a szenzorok között, így könnyű azok mozgatása, ami két szempontból hasznos [1]. Egyrészt a kezdetben le nem fedett területekre is kerüljenek szenzorok, illetve a szenzorok adott területen belüli egyenletes eloszlását könnyebb legyen fenntartani. Másrészt pedig a szenzorhálózat megfelelő összetételével egy hatékony alkalmazás jöhet létre a felszíni vizsgálatokhoz. A továbbiakban egy általunk feltételezett szenzorhálózatot mutatunk be, majd ezen a szenzorhálózaton egy saját szimulációs programmal elvégzett vizsgálatokat és eredményeit szemléltetjük.

2. A pozicionálás nehézsége

A pozicionálás igen nagy jelentőséggel bír a szenzorhálózatok alkalmazásánál, főleg egy égitest vizsgálatánál. Elengedhetetlen, hogy ismerjük a mérések pontos helyzetét, hiszen például ha vizet keresünk, vagy talajmintákat vizsgálunk, az eredmények pozíciója szükséges a további kalkulációkhoz.

2.1 A kialakított szenzorhálózat alapvető felépítése

A mérési környezettel kapcsolatban nagyon sok kérdés vetődik fel, melyeket figyelembe kell venni a feltételezett szenzorhálózat kialakítása során. A szenzorhálózatok több lehetséges felépítésének vizsgálata után arra jutottunk, hogy az alább felsorolt szempontok a legfontosabbak számunkra [2, 3, 4, 5].

Egy bolygón mérhető adatok

Egy bolygó felszínén többfajta adatot eredményező vizsgálat végezhető. Fontos meghatározni, hogy ezeknek az adatoknak mennyire kell naprakésznek lenniük. Pl. víz keresésénél, vagy talajminta vizsgálatánál nem okoz gondot, ha a mért adat csak később jut el a Földre, attól még ugyanúgy érvényes marad. Ezzel szemben, ha pl. hőmérsékletet mérünk, akkor fontos, hogy az eredmény időben megérkezzen. Ezen kívül meg kell adni, hogy periodikusan, folytonosan, vagy esemény hatására történjenek a mérések [6]. Olyan szenzorhálózatot választottunk, ahol az adatok sokáig érvényesek, és a mérések periodikusan valósulnak meg.

Műholdak igénybevétele

A műholdak igénybevétele teszi lehetővé, hogy az égitest felszínén mért adatok eljuthassanak a Földre. Ha több műholdat használunk, akkor biztosított az állandó lefedettség, ugyanakkor ez nagyon költséges és sok helyen kivitelezhetetlen. Ezért a hálózatunkban csak kevés műhold alkalmazását feltételezzük.

Szenzorok mozgása

A mobilitás meghatározásánál a véletlenszerű és az előre meghatározott pályán való mozgatást kombináltuk [7]. A szenzorok kezdetben egy véletlenszerű irányt kapnak, ebbe az irányba kezdenek el mozogni. Ahhoz, hogy a szenzorok egy bolyban maradjanak, és ne szakadjanak le egymástól, a modellünkben kijelöltünk egy biztonsági sávhatárt, amely az y irányú elmozdulásra ad korlátot. Ha eléri valamelyik szenzor ezt a korlátot, akkor az iránya megváltozik. Az irányváltáskor az elmozdulás y koordinátája változik meg, így kisebb lesz az esély a leszakadásra. Leszakadás esetén megszakad a kapcsolat a szenzorral, és elveszítjük az eszközt.

Nagyobb teljesítményű szenzorok a hálózatban

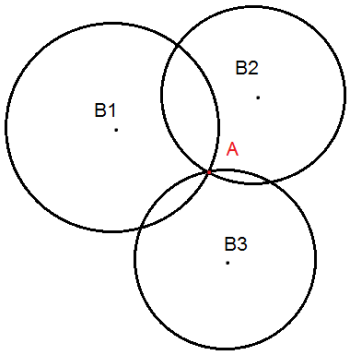
A nagyobb teljesítményű nyelő szenzorokat ezentúl szuperszenzorként fogjuk nevezni. A szuperszenzorok gyűjtik össze a többi szenzortól az adatokat és továbbítják műholdon keresztül a Földre. A működtetésük drágább a műholdakkal való kommunikáció miatt, mint a többi szenzornak, azonban ha megfelelő számban találhatóak a hálózatban, akkor sokkal hatékonyabb és hosszú távon gazdaságosabb lesz az alkalmazás, mint nélkülük. A szuperszenzorok is mozognak az egyszerűbb mérésre szánt szenzorokkal együtt, ezáltal biztosítják, hogy mindig rendelkezésre álljanak, ha adatküldésre kerül sor.

Szenzorok közötti kommunikáció

Ha a mérésre szánt szenzorok egymással is képesek kommunikálni (*multi-hop* hálózat), akkor ez jóval költségesebb megoldást kínál, mintha csak a szuperszenzorokkal lehetne megvalósítható (*single-hop* hálózat). Az első esetben több lépésben tudna eljutni az adat a szuperszenzorokhoz, biztosítottabb lenne az összegyűjtésük. A második esetben mindenképp meg kell várnia egy szenzornak, amíg egy szuperszenzor a közelébe ér. Esetünkben ez nem okoz gondot, hiszen a szuperszenzorok is mozognak, ezért a költséghatékonyság szempontjából az utóbbi módszert választottuk.

2.2 Háromszögelés alkalmazása a kialakított szenzorhálózatban

Navigációs műholdrendszer hiányában egy naprendszerbeli égitest felszínén nem használhatók a Földön megszokott, GNSS-alapú *(Global Navigation Satellite System)* módszerek, mint az amerikai GPS vagy az európai Galileo. Ezért a helymeghatározáshoz a háromszögelés módszerét alkalmaztuk (1. ábra) [8, 9, 10]. Ez alapján 3 szenzor helyzetét ismerve meghatározható egy negyedik szenzor pozíciója is, ha ez a szenzor beleesik a másik három hatótávjába, abba a távolságba, amelyen belül még képesek érzékelni egymást.



1. ábra *A háromszögelés szemléltetése*

A *B1*, *B2* és *B3* jelöli az ismert helyzetű szenzorokat, a középen látható *A* pedig a negyedik szenzor, melynek pozícióját meg akarjuk határozni. A módszer körmetszést alkalmaz. Ha a *B1*, *B2* és *B3* szenzor hatósugarai nagyobbak, mint az *A* szenzortól való távolság, akkor alkalmazható a megoldás. *B1*, *B2* és *B3* középpontú és *B1A*, *B2A* és *B3A* sugarú körök megadják az *A* pozícióját. Ebben az esetben a *B1*, *B2* és *B3* szenzor referencia pontnak minősül. Referencia pont egy olyan szenzor, amely segítségével helymeghatározás végezhető. Miután kiszámoltuk az *A* helyzetét, ő is referencia pont lesz. A módszert rekurzívan folytatva az egész szenzorboly helyzete ismert lesz, azzal a feltétellel, hogy nincs leszakadó szenzor. Ha van ilyen, akkor az azt jelenti, hogy nincs olyan három másik referencia pont a bolyban, amely az adott szenzor helyzetét meg tudná határozni. A kezdeti referencia pontok esetünkben lehetnek a szuperszenzorok, hiszen az ő helyzetük mindig ismert, mert képesek kapcsolatot létrehozni a műholdakkal.

2.3 Hibatorlódás

A háromszögelés során a helymeghatározás következtében felléphet némi eltérés a számított és a valós koordináták között. Ez azért van, mert a mérési eredmények nem teljesen pontosak (pl. jelszint ingadozás) és a számítások következtében is előfordulhat minimális kerekítésből adódó eltérés. Kezdetben ez a differencia nagyon kicsi, azonban több lépcsős helymeghatározás esetén a hiba halmozódik és jelentőssé válhat.

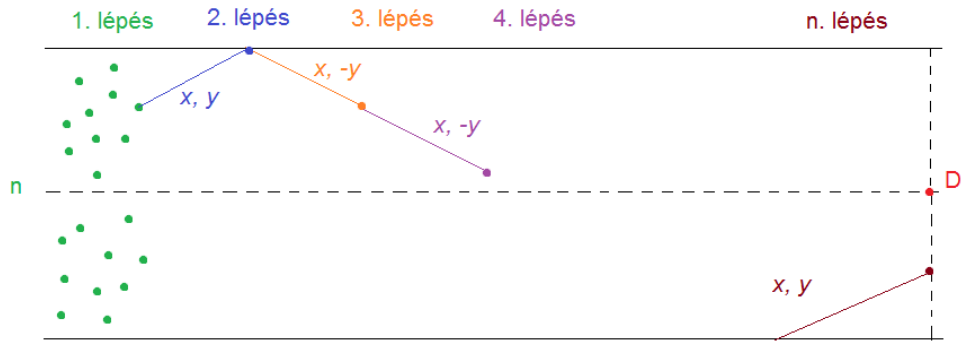
A kezdeti referencia pontokból számított koordináták esetében jelenik meg először a helymeghatározásból adódó hiba. Ezután már a kiszámolt pozíciójú szenzor is referencia pont lesz és a további szenzorok pozíciójának számításakor már az eltéréssel megtoldott eredményt viszi magával. A hiba így továbbterjed és a sokadik számítás után már akkora mértékű lehet, ami gondot is okozhat. Probléma lehet, ha egy szenzor igazából benne van egy szuperszenzor hatótávjában és képes lenne kommunikálni vele, viszont a hibatorlódás miatt ő úgy érzékeli, hogy nincs benne ebben a hatótávban. Ezért nem küldi el neki a mért

adatokat, a kommunikáció tehát elmarad és az eredmények nem kerülnek hozzánk. Ezen okok miatt tartottuk fontosnak a hibatorlódás figyelembevételét és vizsgálatát.

3 A szenzorhálózat szimulálása

3.1 A szenzorok mozgása

A mozgás szimulálásához elmozdulás vektorokat alkalmaztunk. Kezdetben minden szenzor kap egy véletlenszerű számpárt, ami az elmozdulásának lesz az *x* és *y* koordinátája. Ezzel a vektorral mozdul el a kiindulási helyzetből és halad tovább egészen addig, amíg el nem éri a meghatározott sávhatárt. Amint eléri az *y* koordinátája a sáv *y* koordinátáját, onnantól a mínusz egyszeresére változik, így váltva irányt. Az új elmozdulás vektorral halad tovább mindaddig, amíg újra el nem éri a korlátot. A szenzorboly mozgása egy adott *D* pont irányába történik. A *D* ponttal jelöltük ki a vizsgálni kívánt terület egyik határát. Ha valamelyik szenzor eléri ezt a *D* pontot (azaz *x* koordinátája nagyobb vagy egyenlő lesz a *D* pont *x* koordinátájával), akkor a szimuláció befejeződik (2. ábra).



2. ábra *Egy kiválasztott szenzor mozgása*

Az ábrán a zöld pontok (balra) jelölik a bolyban lévő *n* darab szenzor kiindulási helyét, ebből kiválasztva egyet megfigyelhető annak mozgása az *x, y* koordinátákkal. A kék pont az első lépés utáni helyzetet mutatja, itt a szenzor eléri a megadott sávhatárt. Ezután az *y* koordinátája a leírt módon megváltozik és az új iránnyal halad tovább egészen eddig, amíg el nem éri a *D* pont sávját.

3.2 Kráter és porvihar

Eddig a naprendszerbeli égitest felszínén vagy a felszín felett akadálymentesen közlekedő szenzorokról beszéltünk. A modellünket azonban bővítettük két olyan jelenséggel, amelyek egy ideális helyzethez képest jobban jellemezhetik az égitest felszínén uralkodó valós körülményeket. Egyik a kráter, másik pedig a porvihar jelensége.

Kráter

A kráter esetében felszíni egyenlőtlenséget vizsgáltuk. Mi történik akkor, ha a szenzorboly nem sík terepen halad, útjukba kerül egy mélyedés is? A válaszhoz a szimulációba beépítettünk egy krátert. A szenzorok kapnak egy meredekségi változót, ami azt nézni, hogy aktuálisan sík, leejtős vagy emelkedős terepen haladnak. Attól függően, hogy a szenzor a

kráter melyik részén van, változik a sebessége. Lefelé haladva gyorsabb mozgása lesz, felfelé haladva pedig lelassul. Ez jelentős hatással van a pozicionálás hatékonyságára, hiszen a szenzorok folyamatosan távolodnak illetve közelednek a meredekség változásának hatására.

Porvihar

A porvihar jelensége nem csak a felszínen, hanem a felszín felett haladó szenzorokat is érinti. Ennek hatására megszűnik a kommunikáció a szenzorok között, ellenben a mozgásuk nem marad abba. Egy megadott időintervallumban jelentkezik a vihar, ez alatt az idő alatt a szenzorok helymeghatározása nem működik. Ez problémás lehet, hiszen így nagyobb valószínűséggel válhatnak a szenzorok leszakadókká, túlléphetik a sávhatárt úgy, hogy nem veszik észre. A vihar megszűnése után újra fel kell venni a kapcsolatot egymással, de ez már nehezebb, hiszen sok szenzor veszett el időközben. Ez nem csak az érzékelő eszközök elvesztésével jár, a mért adatokat sem kapjuk meg.

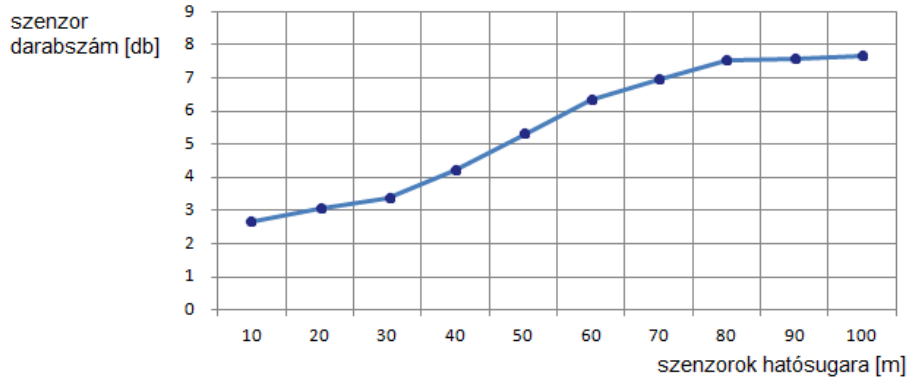
4 A szimulációs vizsgálatok eredményei

Az eddig leírtak egy víziót alkotnak, ami elképzeléseinket mutatja be. A konkrét számításokat első lépésként egy kisebb hálózatra végeztük el, de az elméleti összefüggések így is jól kivehetőek. Terveink között szerepel nagyobb méretű hálózatok vizsgálata is ugyanilyen felépítésben.

A szimulációk során többek között az alábbi paramétereket és alapértelmezett értékeiket vettük alapul, melyeket egyes mérésekben változtattunk: szenzorok száma: 20 db, biztonsági sávok távolsága: 40 m, elmozdulás maximális értéke: 4 m, szenzorok hatótávolsága: 30 m, hiba maximális mértéke: 1 m, *D* pont (a cél) távolsága: 1000 m.

Szenzorok darabszámváltozása a hatósugár függvényében

Vizsgáltuk, hogy a szenzorok hatósugarának változása miként befolyásolja azoknak a szenzoroknak a darabszámát, amelyek közvetlenül a szuperszenzorokból számíthatóak ki (3. ábra).



3. ábra *Szuperszenzorokból számolt szenzorok számának változása a hatótávolság függvényében. Szenzor darabszám: szuperszenzorokból kiszámolt helyzetű szenzorok darabszáma átlagolva*

Megfigyelhető, hogy minél nagyobb a szenzorok hatótávja, annál nagyobb a vizsgált számosság is. Ennek oka, hogy a szuperszenzorok hatósugara is növekszik és több másik szenzor kerül bele a látómezejükbe, vagyis egyre több szenzor helyzetét képesek kiszámolni.

Egy stagnálás alakul ki ~80 m hatósugár után, hiszen ennél nagyobb táv esetén már a bolyban szereplő összes szenzor pozíciója kiszámolható a szuperszenzorok segítségével egy lépésben.

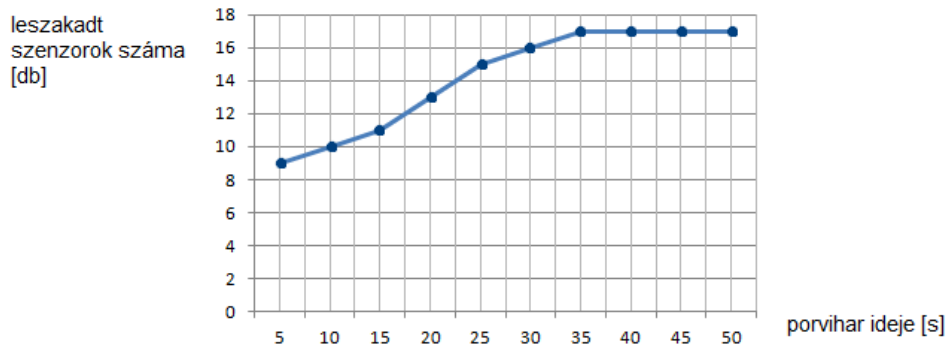
Átlagolt hiba változása a hatósugár függvényében

Vizsgáltuk azt is, hogy a szenzorok hatósugarának változtatása miként befolyásolja az átlagolt hibát. Jelen esetben az átlagolt hiba a valós és a számolt koordináták közötti különbség a szenzorokra átlagolva.

Minél nagyobb a hatósugár értéke, annál kisebb lesz az átlagolt hiba. Ennek az oka az, hogy nagyobb hatótáv esetén több szenzor pozíciója határozható meg a szuperszenzorokból, így kevesebb lépésben torlódik a hiba, a becsült érték pontosabb lesz. Itt is jelen van egy stagnáló érték, hiszen bizonyos nagyságú hatósugárnál már az összes szenzor helyzetét kiszámolhatjuk egy lépésben a szuperszenzorokból, csak egy lépés hibájával tolódik el a koordináták értéke.

Porvihar

Vizsgáltuk azt is, hogyan függ a leszakadó szenzorok száma a porvihar időtartamától (4. ábra).

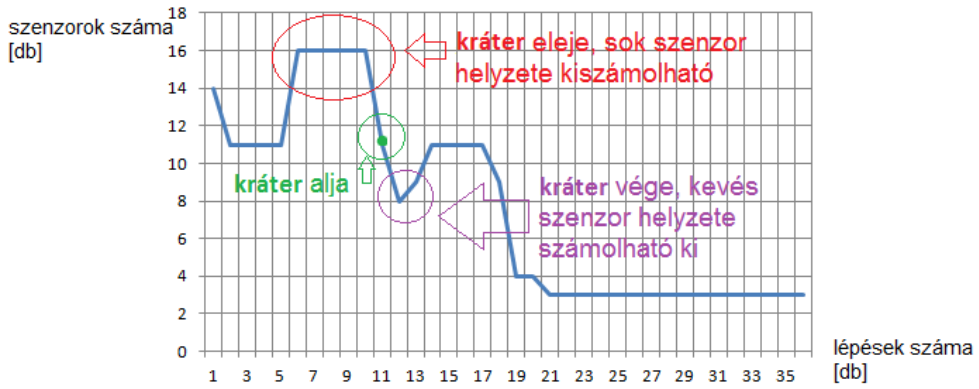


4. ábra *A leszakadó szenzorok száma a porvihar idejének függvényében*

Leolvasható, hogy minél tovább tart a vihar, annál több szenzor szakad le a bolytól, hiszen több idő alatt egyre nagyobb az esélye a szenzoroknak a leszakadásra. Nem veszik észre, hogy túllépnek a biztonsági sávhatáron, vagy nagyon lemaradnak a bolytól. Egy stagnálás alakul ki ~35 s körül, ennek az oka az, hogy itt már az összes szenzor leszakadt és nem képesek a porvihar ideje után visszaállítani a kapcsolatot.

Kráter hatása a pozicionálás sikerességére

Vizsgáltuk azt is, hogy a kráter jelensége milyen hatással van a szenzorhálózaton belüli helymeghatározásra, milyen mértékben segíti elő, ill. csökkenti annak sikerességét (5. ábra).



5. ábra *Szenzorok helyzetének kiszámíthatósága a kráter függvényében.*
Lépések száma – x tengely, kiszámolt helyzetű szenzorok száma [db] – y tengely

Megfigyelhető, hogy a kráter hol helyezkedik el, a szenzorok hányadik lépésnél esnek bele. A piros körrel jelzett területen kezdődik a kráter, ahol ugrásszerűen megnő a meghatározható pozíciójú szenzorok száma, hiszen a szenzorok összetorlódnak egy helyre. A zöld körrel jelölt területen van a kráter alja, itt a szenzorok sebessége visszaáll a kráter előtti sebességre. A lilával jelölt rész pedig a kráter vége, az emelkedős részen a szenzorok mozgása lelassul, jobban szétszóródnak és kevésbé esnek bele egymás hatótávjába, így a helymeghatározás lehetősége is csökken.

5. Összefoglalás

A szenzorhálózatok alkalmazása hatékonyabbá teheti a Naprendszer égitestein zajló kutatásokat, ugyanakkor újszerű kihívásokkal és problémákkal szembesít minket egy ilyen jellegű hálózat. Cikkünkben egy kérdésre, a pozicionálásra fókuszáltunk, és elméleti modell mellett szimulációs számításokat végeztünk arra, hogy egy háromszögelésen alapuló pozicionálási megoldás hogyan befolyásolja a szenzorok mozgását. Egyik legjelentősebb problémánkkal foglalkoztunk tovább, a hibatorlódással, aminek nagymértékű jelenléte adatvesztést eredményezhet. Olyan összefüggésekre mutattunk rá, amelyek kellően jellemzik ezt a jelenséget és felhasználhatóak annak korlátozására.

Irodalomjegyzék

[1] Vincze Z., Vida R. (2007): Mobil eszközök alkalmazása szenzorhálózatokban http://web.tmit.bme.hu/~vida/cv/hiradastechnika_v6.pdf

[2] Shah R.C., Roy S., Jain S., Brunette W. (2003): Data MULEs: Modeling a three-tier architecture for sparse sensor networks. *Proc. IEEE Workshop on Sensor Network Protocols and Applications (SNPA)*, pp. 30–41, Anchorage, AK, USA

[3] Tong L., Zhao Q., Adireddy S. (2003): Sensor networks with mobile agents. *MILCOM 2003 – IEEE Military Communications Conference*, Vol. 22, No. 1, pp. 688–693, Boston, MA, USA

[4] Chakrabarti A., Sabharwal A., Aazhang B. (2003): Using predictable observer mobility for power efficient design of sensor networks. *Proc. IPSN'03, Second*

International Workshop on Information Processing in Sensor Networks, pp. 129–145, Palo Alto, CA, USA

[5] Luo J., Hubaux J.-P. (2005): Joint mobility and routing for lifetime elongation in wireless sensor networks. *Proc. IEEE INFOCOM'05*, pp. 1735–1746, Miami, FL, USA

[6] Wang G., Cao G., Porta T. (2004): Movement-assisted sensor deployment. *Proc. IEEE INFOCOM'04*, pp. 640–652, Hong Kong

[7] Butler Z., Rus D. (2003): Event-based Motion Control for Mobile Sensor Networks. *IEEE Pervasive Computing*, Vol. 2, No. 4, pp. 34–42

[8] Fang B. (1990): Simple solution for hyperbolic and related position fixes. *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, Vol. 26, No. 5, pp. 748–753

[9] Kanaan M., Pahlavan K. (2004): A comparison of wireless geolocation algorithms in the indoor environment. *Proc. IEEE Wireless Commun. Netw. Conf.*, Vol. 1, pp. 177–182

[10] Sahinoglu Z., Gezici S., Güvenc I. (2008): *Ultra-wideband Positioning Systems*. Cambridge University Press

Csapadék mezők előállítása műholdas adatok felhasználásával, ezek vizsgálata Magyarország területére egy nemzetközi projekt keretében

Gerhátné Dr. Kerényi Judit
Országos Meteorológiai Szolgálat

Az 1986-ban alakult EUMETSAT (European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites, Meteorológiai Műholdak Hasznosításának Európai Szervezete) fő feladata a meteorológiai műholdak operatív működtetése, adatok biztosítása, továbbítása a felhasználók felé. Az EUMETSAT-nak 26 ország tagja, ebből 5 társult tag. Magyarország 1999-től teljes tagja az EUMETSAT-nak. Az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) képviseli Magyarországot a szervezetben. A szervezet keretein belül nyolc munkacsoport működik, melyek egy-egy speciális felhasználási területtel kapcsolatos fejlesztésekkel foglalkozik. A munkacsoportok közül egyedül az Operatív Hidrológiai és Vízgazdálkodási Munkacsoportban (Hidrology SAF) vesz részt az OMSZ fejlesztő státuszban. A projekt 2006-ban indult és 2017 februárjában ér véget. A H-SAF csoport tevékenységét Olaszország koordinálja. Hazánk mellett még részt vesz benne Ausztria, Belgium, Bulgária, Finnország, Franciaország, Lengyelország, Németország, Szlovákia és Törökország. A munkacsoport feladata három részre tagolódik: csapadék, hó, párolgás adatok meghatározása, illetve ezek hidrológiai alkalmazása, tesztelése. Az Országos Meteorológiai Szolgálat a csapadék produktumok verifikálásában vesz részt.

Verifikáláshoz felhasznált adatok

A verifikálás két részből tevődik össze:

- statisztikai számítások elvégzése (POD, FAR, CSI, RMS, STD),
- vizuális összehasonlítás felszíni radar adatokkal.

A vizuális összehasonlításhoz az OMSZ által kidolgozott megjelenítő szoftvert (HAWK, *Hungarian Advanced Weather worKstation)* használjuk. A radar hálózat 3 Doppler radarból tevődik össze, ezek méréseiből készült kompozit képet használjuk fel az összehasonlító vizsgálatokhoz. A 15 percenként, 2012 márciusától pedig már 5 percenként rendelkezésre álló adatok térbeli felbontása 2 km × 2 km.

H-SAF csapadék produktumok

Eddig hat csapadék produktumot dolgoztak ki a fejlesztők: H01, H02, H03, H04, H05, H06. A H04 produktum kivételével már valamennyi adat operatívan elérhető[1]. A következőkben ismertetjük, hogy az egyes produktumok számításánál milyen adatokat használnak fel, illetve milyen módszereket alkalmaznak a csapadék mezők meghatározásánál.

A *H01 produktum* meghatározása a mikrohullámú tartományban kúp-szkennelés segítségével történő mérésen alapul. A napszinkron műholdon elhelyezett SSMI/I és SSMIS *(Special Sensor Microwave Imager/Sounder)* műszerek méréseit használják fel.

A *H02 produktum* abban tér el a H01 produktumtól, hogy a kúp-szkenneléshez képest itt keresztirányú mérés történik.

A *H03 produktum* meghatározásánál a geostacionárius műhold negyedóránként rendelkezésre álló adatait használják fel. A fényességi hőmérséklet adatokat kalibrálják a H01-nél és H02-nél is használt mikrohullámú műholdas mérések csapadékintenzitás becsléséhez.

[1] http://hsaf.meteoam.it

A *H04 produktumnál* a mikrohullámú méréseket extrapolálják az infravörös mérések alapján számított elmozdulás-vektorok felhasználásával a két mikrohullámú észlelés közötti időszakban.

A *H05 produktum* a H03 csapadék adatok időbeli integrálásával áll elő. Az összegzést négy időlépcsőre végzik: 3, 6, 12 és 24 óra.

A *H06 produktum* meghatározásánál geostacionárius és napszinkron műholdas adatokat, valamint numerikus modell eredményeket használnak fel. A H05 produktumhoz hasonlóan négy időlépcsőre végzik az összegzést.

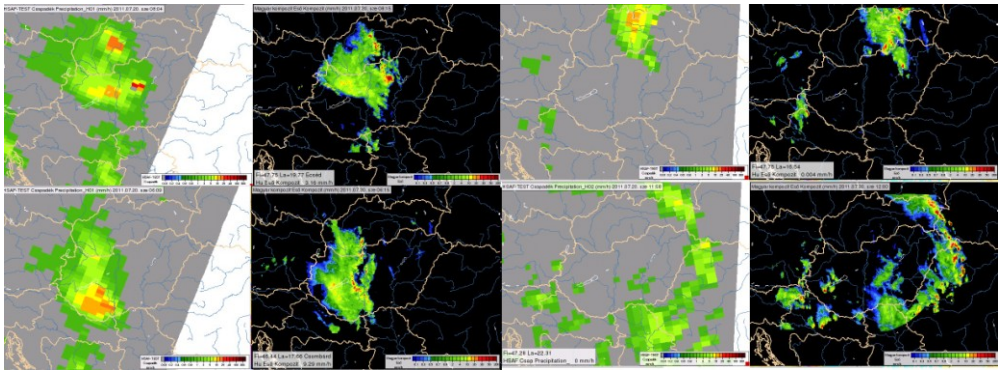
Részletesebb információt a produktumokról a H-SAF beszámolóban olvashatunk [1].

Esettanulmányok a különböző csapadék produktumokra

Az esettanulmányok során vizsgáljuk a csapadék produktumok pontosságát különböző időjárási helyzetekben, mind térben, mind időben. Ezen vizsgálatok a fejlesztők számára sok hasznos információt nyújtanak az egyes produktumok megbízhatóságáról, hibáiról. A következőkben néhány példa segítségével szeretnénk bemutatni az egyes produktumokat. Elsősorban zivataros helyzeteket vizsgáltunk, mert hidrológiai alkalmazás szempontjából az intenzív, hirtelen lezúduló nagy mennyiségű csapadék minél pontosabb becslése, detektálása az egyik fontos feladat.

H01 és H02 produktum

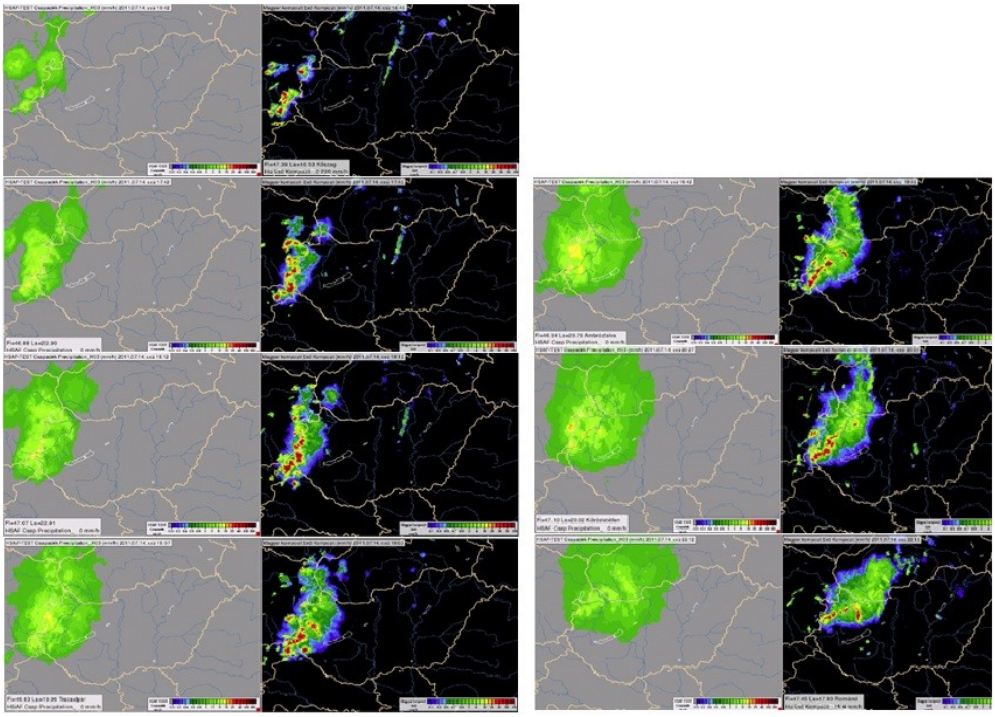
2011. július 11-én egy Európa felett elhelyezkedő ciklon határozta meg Magyarország időjárását. Az átvonuló ciklon heves esőzést, zivatarok kialakulását okozta. Az 1. ábra négy különböző időpontban mutatja be a két műholdas produktumot, radar mérésekkel összevetve. A csapadék mezőket (bal oldalon) összehasonlítva a radar mezőkkel (jobb oldalon) jó egyezést mutatnak mind értékeket tekintve, mind térbeli elhelyezkedés szempontjából. Látható, hogy mind a két produktum a leghevesebb (piros színnel jelölve) zivatargócokat is jól azonosította.



1. ábra *Esettanulmány H01 és H02 produktumokra, 2011. július 11-én. Bal oldalon a H01 produktum látható 6:15-kor és 8:15-kor, a radar mezőkkel együtt feltüntetve. Jobb oldalon a H02 produktum látható 0:45-kor és 12:00-kor. Az időpontok világidőben (UTC) értendők*

H03 produktum

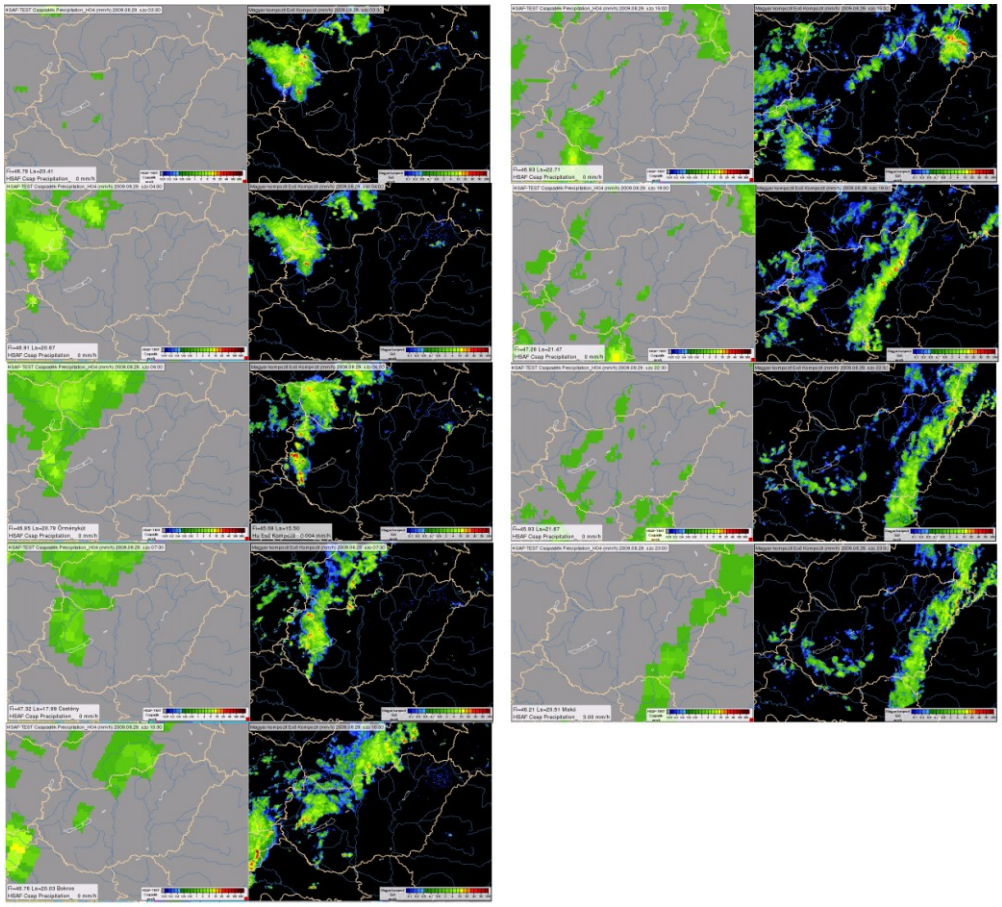
E produktum legfőbb előnye, hogy negyedóránként áll a felhasználók rendelkezésére. A 2. ábra egy zivatarrendszer átvonulását mutatja be. A rendszer legintenzívebb csapadékos területét a produktum nagyon jól detektálja végig az egész időszakon, azonban az intenzitás értékeket sajnos felülbecsüli, kivéve a legintenzívebb területeket, ahol alulbecsüli a csapadék értékeket.



2. ábra *Esettanulmány H03 produktumra, 2011. július 14-én 16:45, 17:45, 18:15, 19:00, 19:45, 20:30 és 22:15 UTC időpontokban. A H03 produktum a képpárok bal oldalán, a radar kompozit kép a jobb oldalon látható*

H04 produktum

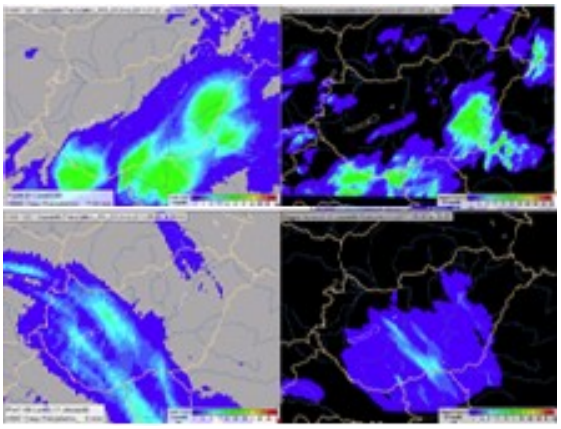
Az itt bemutatásra kerülő esettanulmány egy példát mutat be a H03 és H04 produktumok meghatározásánál felmerülő problémára. A 3. ábra 2009. augusztus 29-én Magyarország felett átvonuló zivatarrendszert mutatja be. Az első időpontra vonatkozó képet összehasonlítva a radar képpel jól megfigyelhető, hogy a műholdas produktum nem detektálta a keleti országrész felett kialakult nagy kiterjedésű zivatarrendszert. Azonban ha a következő ábrát megnézzük, akkor már e rendszer jól megfigyelhető a műholdas mezőn is. Hasonló helyzet – amikor a zivatarfelhőt nem detektálta a H04 – figyelhető meg a 3. ábrán a hatodik, hetedik és nyolcadik időpontban, majd a kilencedik képen hirtelen feltűnik a vonalba rendeződött felhőrendszer. Mint a cikk elején leírtuk, a csapadék mező meghatározásához mikrohullámú méréseket használnak. A fényességi hőmérsékleti értékeket ezekhez a mérésekhez kalibrálják. Az itt bemutatott képeken megfigyelhető „ugrás” ennek a kalibrálási módszernek a következménye.



3. ábra *Esettanulmány H04 produktumra, 2009. augusztus 29-én 3:30, 4:00, 6:00, 7:30, 10:30, 15:00, 19:00, 22:30 és 23:00 UTC időpontokban. A H04 produktum a képpárok bal oldalán, a radar mező a jobb oldalon látható*

H05 produktum

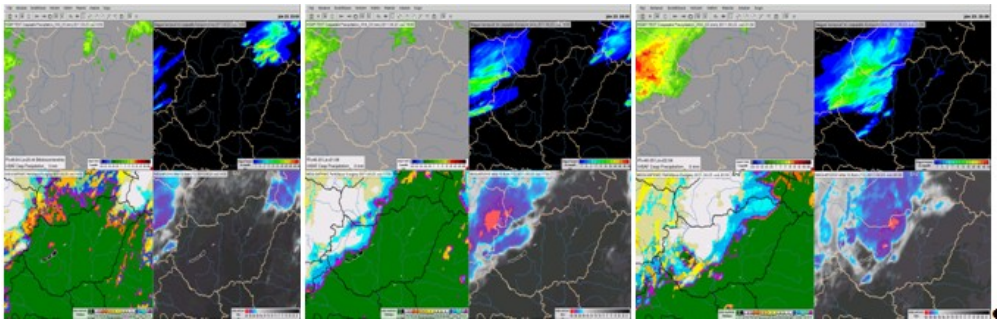
A 4. ábra két különböző időjárási helyzetben mutat be példát a H05 összegzett csapadékmezőre. Az első példa konvektív időjárási helyzetben összegzett csapadék mezőt mutat be. Számos zivatar alakult ki Magyarország délkeleti részén. Jól látható, hogy a műholdas produktum mind területileg, mind intenzitási érték szempontjából jó egyezést mutat a radaros méréssel. A másik példa egy frontális időjárási helyzetet mutat be. Jól megfigyelhető, hogy a műholdas produktum kicsit felülbecsüli a csapadékmezőt.



4. ábra *Esettanulmány H05 produktumra (3 órás összegzett kép a bal oldalon) két különböző időpontban: 2011. július 23-án 18:00 UTC, és 2011. szeptember 20-án 9:00 UTC. Három órás összegzett radar kompozit kép a jobb oldalon*

H06 produktum

2011. június 23-án délután Magyarország nyugati részén szupercellák alakultak ki, heves esőzést okozva. Az 5. ábrán 15:00, 18:00 és 21:00 UTC-kor mért 3 órás csapadék összegeket mutatjuk be a 3 órás összegzett radar mérésekkel összevetve. Látható, hogy a H06 produktum helyileg jól adja vissza a zivataros gócokat, de az értékeket felülbecsüli.



5. ábra *H06 produktum (fent balra), radar kép (fent jobbra), felhő típus (lent balra), METEOSAT-9 IR fényességi hőmérséklet kép (lent jobbra) 15:00, 18:00 és 21:00 UTC időpontokban, 2011. június 23-án*

Összefoglaló

A cikkben bemutatott esettanulmányok szemléltették, hogy a műholdas csapadék produktumok konvektív csapadékot adó helyzetekben ígéretesek: szinte valamennyi esetben térben jó egyezést mutattak a radar mérésekkel. Mennyiségileg – a H01 és H02 produktumok kivételével, melyek értékben is jó egyezést mutattak – általában felülbecslés figyelhető meg. A sztratiform felhőkre vonatkozó csapadékbecslés még további fejlesztést igényel. Az itt bemutatott esettanulmányokat sok hasznos információt nyújtanak a fejlesztőknek a további munkájukban.

A következő időszakban számos új produktum fejlesztését tervezik, melyeknél más műholdas méréseket, illetve újabb módszereket fognak felhasználni. A fejlesztők egyben tervezik a havazás intenzitásának becslését is műholdas adatok felhasználásával.

Irodalomjegyzék

[1] H-SAF Project Team (2012): *EUMETSAT Satellite Application Facility on Support to Operational Hydrology and Water Management (H-SAF)*, Product requirement Document, Doc. No: SAF/HSAF/PRD/1.2 Issue version 1.2 date: 10/01/2012

[2] Kerényi J. (2012): Satellite-derived precipitation estimations developed by the Hidrology SAF project – Cases studies for the investigation of their accuracy and features in Hungary, *2012 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference*, 3–7 September, Sopot, Poland, EUMETSAT P.61

A XXVIII. Ionoszféra- és Magnetoszférafizikai Szeminárium előadásaiból

A XXVII. Ionoszféra- és Magnetoszférafizikai Szeminárium 2013. március 7-től 9-ig zajlott a MANT szervezésében. A helyszín a Kecskeméti Planetárium volt. A következő hét cikk a szemináriumon elhangzott szakmai előadások egy részének írásos anyaga.

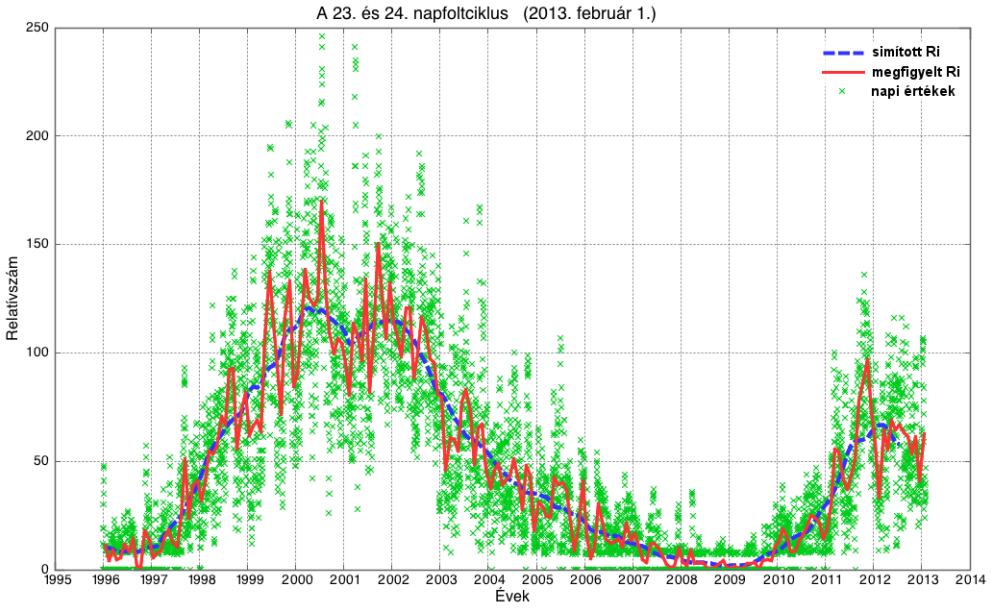
Mi a baj a napfoltokkal?

Dr. Kálmán Béla
MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet, Budapest

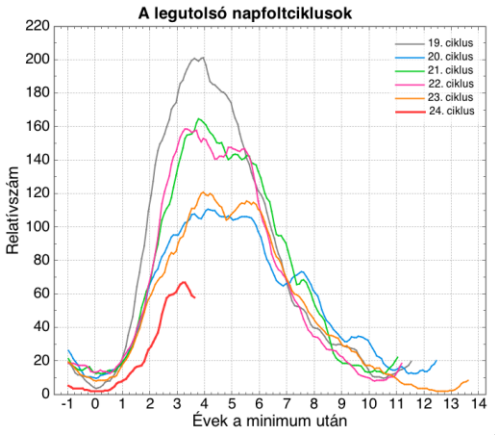
A 24. napciklus rendben folyik, és bár vannak rá jelek, még valószínűleg nem érte el maximumát. A szokásosnál jóval alacsonyabb a naptevékenység. Egy érdekes aktív vidék a NOAA 11654 (2013. január), amelyben valószínűleg két napfoltcsoport rakódott egymásra. A napfolt-relatívszámok meghatározásában az 1945 előtti értékeket valószínűleg meg kell növelni 20%-kal, ez megmagyaráz több kérdést is. Egyes mérések szerint a napfoltok intenzitása az utóbbi évtizedekben folyamatosan csökken; kérdés, hogy ez meddig folytatódik.

A napfizikusokat meglepte a 24. napciklus késése és alacsonysága. Az eredetileg várt 2006 helyett a naptevékenységi minimum egyre késett, és végül 2008 decemberében következett be. Azóta növekedett a naptevékenység, jelenleg, 2013 elején lehetséges, de nem valószínű, hogy elértük a 24. ciklus maximumát (1. ábra). A meglepetést az okozta, hogy a legutóbbi ciklusok elég egyenletesek voltak (2. ábra), de az új, gyenge ciklusra is találunk nagyon hasonlókat az eddigiek között (3. ábra). Az is látható, hogy ezekben a maximum elhúzódik, így ez várható most is.

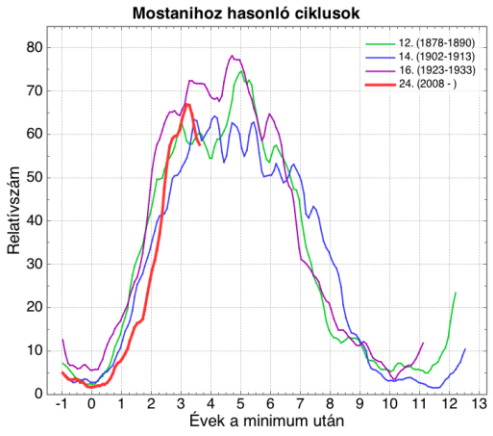
Az is a későbbi maximum mellett szól, hogy a Nap pólusai körzetében még nem történt meg teljesen a mágneses polaritásváltás, ami a maximum táján esedékes.



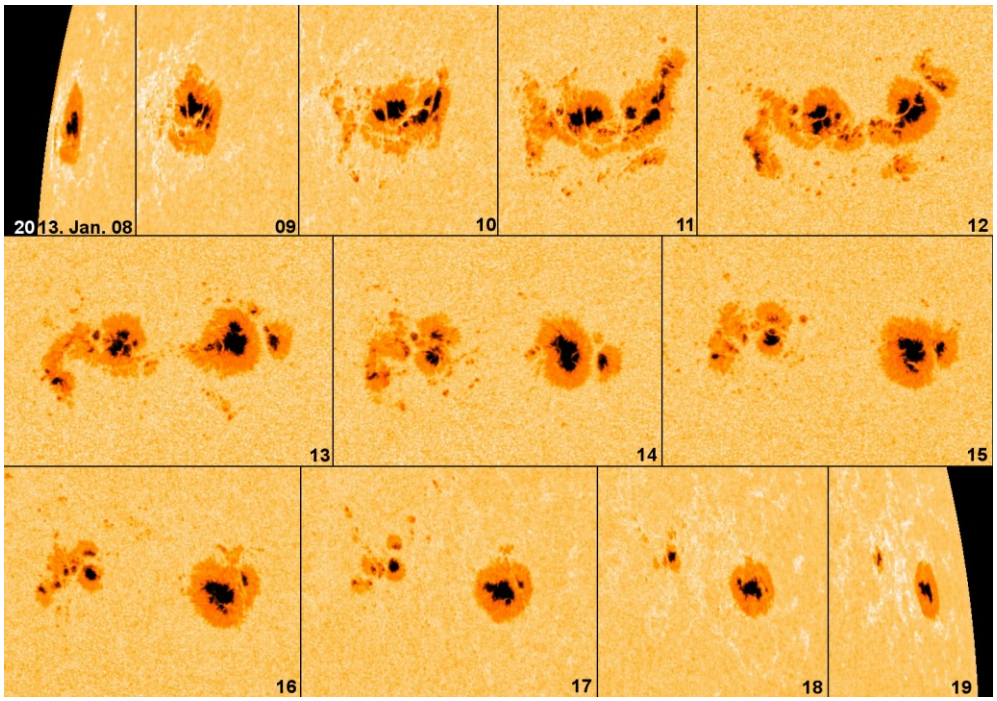
1. ábra *A jelenlegi és az előző napfoltciklus menete*



2. ábra



3. ábra

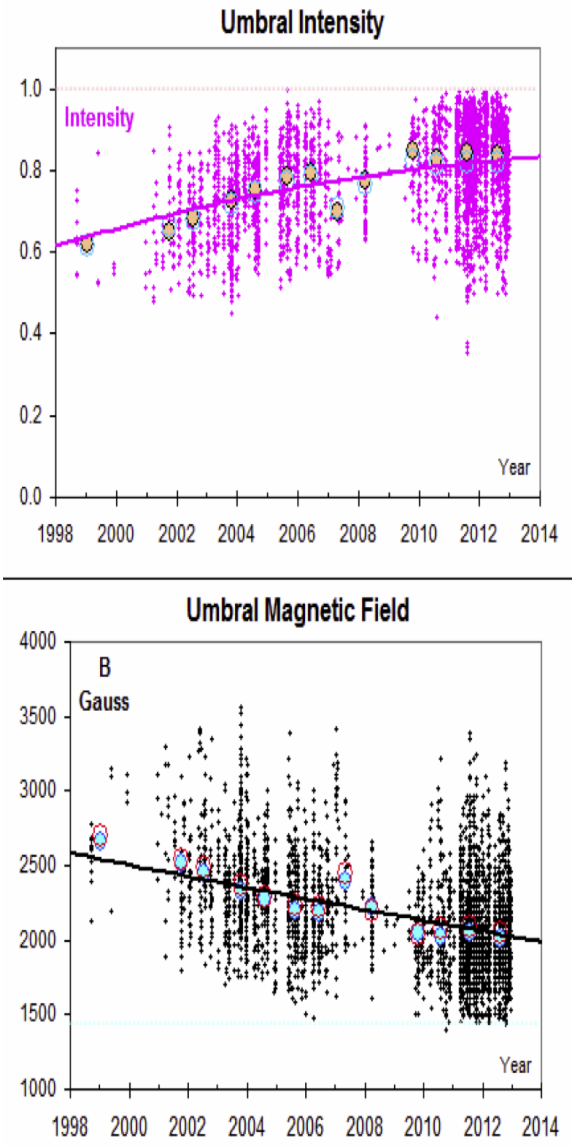


4. ábra *A NOAA 11654 aktív vidék, 2013. január 8–19. között. Minden felvétel 12:00 UT-kor készült (SDO HMI)*

A 2013-as év januárjának eseménye volt a NOAA 11654 aktív vidék fejlődése (4. ábra). A bemutatott napfolt egy bipoláris aktív vidék vezető része, minden umbra azonos polaritású. Ilyen esetekben a flertevékenység viszonylag kicsi, a tisztán hidrodinamikai kölcsönhatások, örvénylések jellemzőek [1]. Valószínűleg itt egy létező bipoláris foltcsoport közepében egy újabb csoport emelkedett fel, és a meglévő vezető foltot deformálta és félresodorta az új mágneses fluxus. Az ilyen mozgások vizsgálatában nagy szolgálatot tesz a

Jhelioviewer program, amely az SDO műhold képeiből állít össze kívánság szerinti animációt. Az új ciklus halad a maga útján.

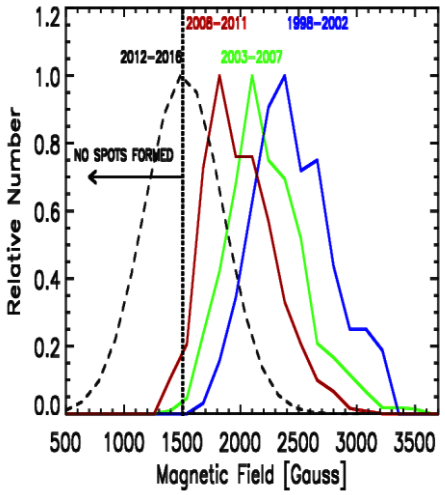
Nem ilyen egyszerű a helyzet a naptevékenység múltjával. Az aktivitás korábbi menetének vizsgálatában nagy szerepet játszanak a zürichi relatívszámok, amelyeket R. Wolf, a zürichi csillagvizsgáló alapítója és utódai határoztak meg saját megfigyeléseikből és visszamenőleg. Sok geofizikai és helioszférikus paraméterrel vannak kapcsolatban, többek közt a napállandóval, emiatt mostanában, a globális felmelegedés létezésének és alakulásának vizsgálatába is belevonják. A hosszabb összehasonlításokat nehezíti a korábbi távcsöves napészlelések ritkasága. Emiatt D.V. Hoyt és K.H. Schatten kidolgozta a csoport-relatívszámot, amely az egyes napfoltokat nem veszi figyelembe, csak a csoportokat. Az utóbbi években, főleg L. Svalgaard tevékenysége következtében kiderült, hogy a relatívszám-adatsorok revízióra szorulnak. Erre a célra több konferencia is szerveződött, eddig három zajlott le [2]. Az első és legfontosabb eredménye a vizsgálatoknak két ugrás kiderítése volt: (1) az 1946 előtti zürichi relatívszámokat meg kell szorozni egy 1,20-as faktorral, és (2) az 1885 előtti csoport-relatívszámokat meg kell szorozni egy 1,47-es faktorral. Ez a két igazítás már tűrhető egyezésbe hozza az 1825 utáni adatokat, és megszünteti a látszólagos folyamatos napaktivitás-növekedést az utolsó két évszázadban. További vizsgálatok szükségesek még pl. az 1600–1800-as évek közti időszakra. A konferenciasorozat végső célja egy megbízható napaktivitási mérőszám-sorozat kidolgozása, és a geofizikai-helioszférikus összefüggések kalibrálása.



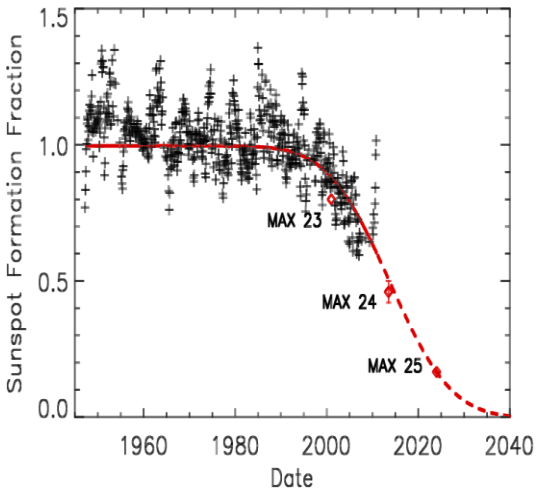
5. ábra *Livingston és Penn mérései, fenn a napfoltok umbrájának fényessége, lenn a mágneses tér erőssége*

A naptevékenység jövőbéli alakulásának szempontjából fontos lehet a W. Livingston és M.J. Penn által végzett méréssorozat [3], akik azt vették észre, hogy az infravörös tartományban végzett méréseik alapján a napfoltok átlagos mágneses tere csökken, a hőmérsékletük (fényességük) pedig nő (5. ábra). Az már az 1960-as években ismert volt, hogy a legkisebb (sötét) napfoltokban is kb. 1500 gauss mágneses tér található, tehát kb. ennyi kell ahhoz, hogy napfoltként megfigyelhetők legyenek. A térerősségek eloszlására a kutatók normális Gauss-eloszlást találtak, amelynek a csúcsa egyre kisebb érté-

kek felé csúszik (6. ábra). Feltételezik, hogy a mágneses tér erősségtől függetlenül növeli a 10,7 cm-es rádiósugárzást, míg a napfoltok esetében létezik az 1500 gaussos küszöb, ez megmagyarázná a két mérőszám arányának változását az utóbbi években (7. ábra). A cikk szerint valószínűleg csökken a mágneses tér koncentrációja az idővel, emiatt kevesebb kis folt figyelhető meg, és egyre kevesebb lesz a foltok száma. A 7. ábrán be van jelölve a mostani és a következő ciklus maximumának ideje az illesztett görbére.



6. ábra *A mágneses térerősség eloszlása a napfoltokban*



7. ábra *A mágneses térből születő napfoltok aránya (a rádióindexből) és a maximumok ideje*

A Nap mostani viselkedése nagyon jól jött a napfizikusok számára, mert már-már azt hitték, kezdik érteni a napaktivitást. A szokatlanul elhúzódó minimum, az utána következő alacsony maximum, a mágneses terek csökkenése mind váratlan esemény. Így nagyobb várakozással tekinthetünk a jövőbéli mérések felé, hogy mely jóslatok válnak valóra, és melyek nem. Például a 7. ábra illesztett görbéje, amely szerint a 25. napfoltciklus rendkívül alacsonyra várható, 2-3 foltcsoporttal maximum idején, és esetleg egy újabb Maunder-minimum veszi kezdetét, nem valószínű, hogy érvényes marad. A legutolsó mérések keresztjei már nagyon elindultak felfelé. Elképzelhető, hogy volt valami zavar a naptevékenységben, ami a nagyon alacsony minimumot és utána következő maximumot okozta, és az aktivitás helyreáll, de a Nap mindig tartogat valamit a tarsolyában.

Hivatkozások

[1] Kálmán B. (1997): Flow patterns around old sunspots and flare activity. *Astronomy and Astrophysics*, Vol. 327, pp. 779–785

[2] http://ssnworkshop.wikia.com/wiki/Home

[3] Livingston W., Penn M. J., Svalgaard L. (2012): Decreasing Sunspot Magnetic Fields Explain Unique 10.7 cm Radio Flux. *Astrophysical Journal*, Vol. 757, L8

Hosszú távú napfizikai adatsorok homogenitási problémái

Dr. Ludmány András, Muraközy Judit, Dr. Baranyi Tünde
MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet, Napfizikai Obszervatórium, Debrecen

Az utóbbi években jelentősen felértékelődött a hosszú távú adatsorok jelentősége az űrfizikában, mivel a jelenlegi, 24-es számú ciklus szokatlanul későn indult és a vártnál kisebb intenzitással zajlik. Komolyan felvetődött az elhúzódó tevékenységi minimum lehetősége a nem túl távoli jövőben. A klímaváltozás okairól szóló viták szoláris-indusztriális dilemmája is igényelné a hosszú távú homogén adatsorokat, de több jel mutat arra, hogy a létező adatok rejtett trendeket és ugrásokat tartalmaznak. Nemrég nemzetközi összefogás szerveződött a probléma feltárására, a közös munkához a Napfizikai Obszervatórium saját, részletes napfoltadataival tud hozzájárulni. Áttekintjük a problémát és egy lehetséges megoldást.

1. A napfolttevékenység mérőszámai

A legrégebbi űrfizikai adatsor a naptevékenység mértékét jellemző napfolt-relatívszám, melyet Rudolf Wolf (1816–1893) definiált Zürichben:

$$R_Z = K(10*G + S) \quad (1)$$

ahol G és S a napkorongon észlelt foltcsoportok ill. foltok száma. A K szorzót azért vezette be Wolf, hogy a más észlelőktől érkező adatokat normalizálja a zürichi adatokhoz, hiszen a helyi viszonyok, távcsőparaméterek és a megfigyelők személyes preferenciái szisztematikus eltéréseket okozhatnak. A paraméter mai neve ISSN *(International Sunspot Number)* és a brüsszeli Royal Observatory gondozza [6].

Hoyt és Schatten [2] jelentősen megújította a napaktivitás-mérőszámot oly módon, hogy csak foltcsoportokat vett figyelembe. Munkájukban 463 észlelő 455 242 észlelését használták fel, adatsoruk az 1750-től vezetett Wolf-számmal szemben 1610-től kezdődik. A Wolf-számmal való összhang érdekében a következő paramétert definiálták *(Group Sunspot Number)*:

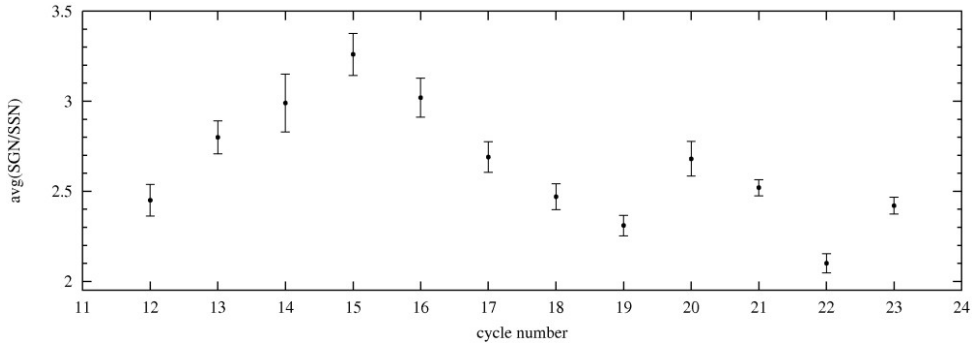
$$R_G = K(12.08*G) \quad (2)$$

Mindkét paraméter hátránya, hogy naponta egyetlen számmal jellemzi a tevékenység mértékét, mintha csillagként tekintenénk a Napot (előnyük persze, hogy egyáltalán léteznek ilyen hosszú időszakon). A részletes napfoltpozíció- és területadatok regisztrálása 1874-ben kezdődött a GPR katalógus révén [5], melynek mai folytatása a Debrecen Photoheliographic Data (DPD) a létező legrészletesebb napfolt-adatbázis, az SDD is Debrecenben készül a SOHO/MDI méréseire alapozva [1].

2. Az adatsorok inhomogenitásai

A hosszú távú adatsorok közös gondja, hogy a fent említett okok (légkör, műszerek, szubjektumok) mellett egy sor további tényező is befolyásolja az értékeket: fejlődés a felbontásban és adatrögzítési technikákban, továbbá tévedések és tényleges szoláris változások. Az ezek révén előálló rejtett nullpontváltozások és egyéb torzítások csak aprólékos keresztkalibrálási eljárások révén fedhetők fel, ráadásul nincs abszolút megbízható referencia-adatsor, mindegyik tartalmazhat rejtett hibákat. A napfoltszám-adatsor részletes elemzésében úttörő munkát végző Svalgaard rendkívül kiterjedt vizsgálatokat végzett az eredeti észlelésekről. Szerinte a Zürichben Wolfot követő Wolfer (1885-től), majd Waldmeier (1945-től) belépéséhez egyaránt fűződik egy-egy diszkontinuitás, ha az R_G/R_Z adatsort vizsgáljuk [7].

Egy korábbi munkánkhoz arra volt szükség, hogy adatsorok rejtett trendjeit kisebb felbontásban – ciklusonként – vizsgáljuk. A GPR katalógusból vett havi átlagos foltcsoport-számot osztottuk a havi átlagos napfoltszámmal és ezeket átlagoltuk minden ciklusban a maximum körüli öt évre. A GPR időszakra az 1. ábra szerinti viselkedést kaptuk.



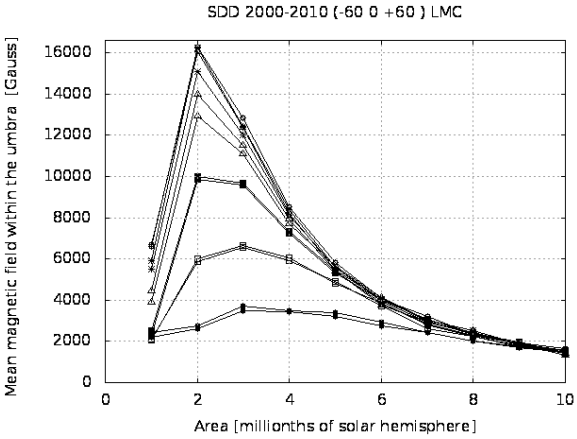
1. ábra *A foltcsoport-szám (GPR) és R_Z hányadosának ciklusonkénti átlagai*

Az ábra kis felbontásában a Waldmeier-diszkontinuitás (a 18. ciklusnál) nem ismerhető fel, de egy másik trend annál feltűnőbb: a 15. ciklusig növekedés, majd csökkenés. A hányadosoknak hibahatáron belül konstansnak kellene lenniük, de nem tudjuk, melyik adatsor a problémás; valószínűleg mindkettő.

A probléma nem lebecsülendő. A 18–19. ciklus volt a legerősebb a napészlelés történetében, és ha ezek az adatok csak Waldmeier önkényesen megváltoztatott metódusának következményei, akkor egy sor Nap–Föld fizikai elemzés tévedhet. A tisztázásra 2011-től egy nemzetközi workshop-sorozat szerveződött, melyhez debreceni megközelítéssel mi is hozzájárulunk.

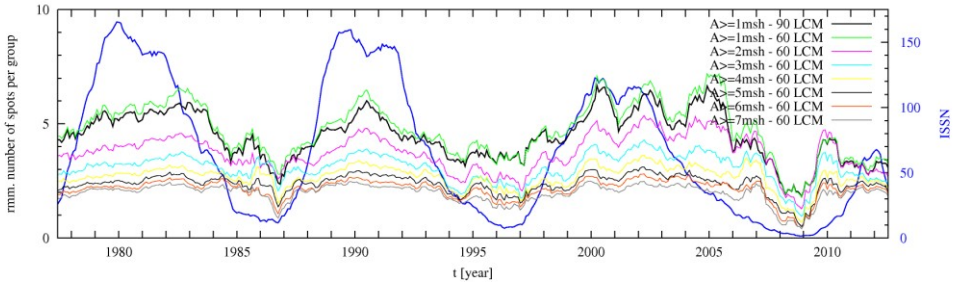
3. A foltméretek szerepe

A 2. ábra a SOHO/MDI észleléseire épülő debreceni SDD napfolt-adatbázis adatai alapján azt mutatja, hogy az MDI műszer által nyújtott viszonylag alacsony felbontásnál (ami a korai észlelőknél sem lehetett nagyobb) a kis területű umbrák csak a napkorong centruma körül észlelhetők és csak kb. a 6-7 MSH *(Millionth of Solar Hemisphere)* területű foltok száma tekinthető függetlennek a centrálmeridiántól mért távolságtól. Ez azt jelenti, hogy ha lenne a Nap látható félgömbjén nagyobb mennyiségű kis folt, és ezek egyáltalán nem változtatnák a helyüket és méretüket két hétig, akkor pusztán azért is nagy változásokat regisztrálnánk az R_Z értékében, mert a naprotáció miatt változik az észlelhetőségük. Ez felveti a kérdést, hogy milyen méretű foltokat és milyen centrálmeridián-távolságban lehet figyelembe venni, valamint milyen időbeli átlagolást érdemes végezni.



2. ábra *Umbrák észlelt száma 10°-os hosszúsági sávokban a centrálmeridiántól különböző távolságokban 0°–10°-tól 50°–60°-ig (a görbék csökkenő sorrendjében) a korrigált umbraterületek függvényében. Az adatok a SOHO/MDI észleléseiből nyert SDD adatbázisból valók a 2000-2010 közötti időszakban.*

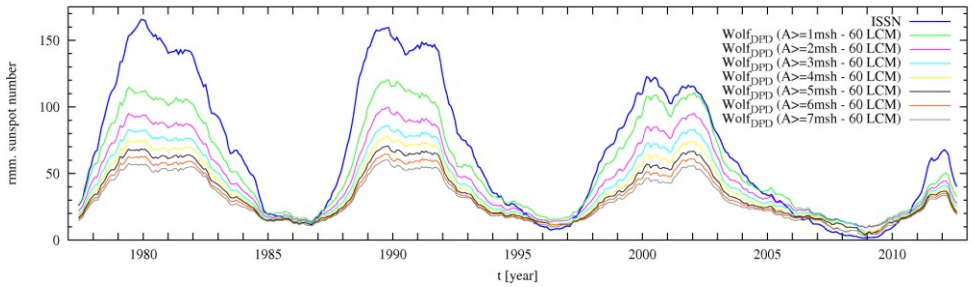
A 3. ábra azt mutatja, hogyan változik a foltok száma a DPD időszakában (1977–2013), ha egymás után kihagyjuk az 1, 2, ..., 7 MSH területű umbrákat.



3. ábra *Foltcsoportonkénti foltszámok havi átlagai 1977–2013 között a kisméretű foltok kihagyásával (a görbeseregben felülről lefelé 1-től 7 MSH-ig) összehasonlítva a 21–24. ciklusok profiljával. A foltcsoportok maximális méretű állapotukban vannak figyelembe véve.*

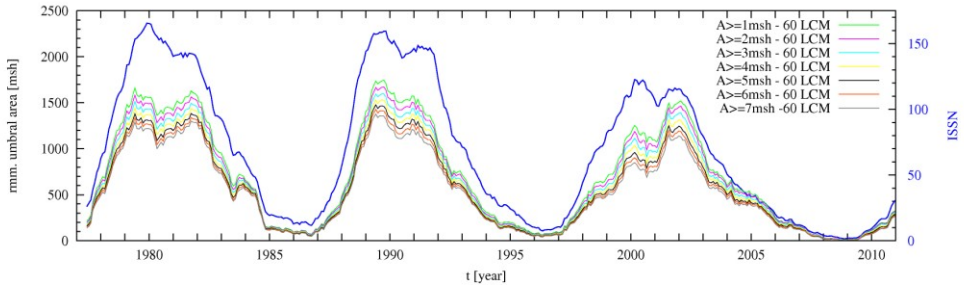
Az ábra arról tanúskodik, hogy az (1) kifejezés túlértékeli a foltcsoportok szerepét, hiszen az átlagérték nem 10, hanem 5 körül van, másrészt ez az érték is jelentős ingadozást, ciklusfüggést mutat, tehát a maximumokat túlértékeli. Az egyik legtanulságosabb eredmény azonban az, hogy nemcsak az észlelői gyakorlat oldalán lehet oka a napfoltszám inhomogenitásának, hanem maga az (1) definíció sem vesz tudomást arról, hogy a *G* foltcsoport-szám sem konstans, vagyis az inhomogenitásnak szoláris oka is lehet. Minimumban a csoportonkénti foltszám lecsökken, de különösen alacsony a legutóbbi igen mély minimumban, ami egyik megnyilvánulása lehet a Livingston és Penn által tanulmányozott jelenségnek, a foltok eljelentéktelenedésének.

A 4. ábra a 21–24. ciklus nemzetközi napfoltszámmal (legfelső görbe) kirajzolt profiljait hasonlítja össze a DPD-ből az (1) definícióval nyert napfoltszám görbeseregével oly módon, hogy növekvő méretű foltokat hagyunk ki az észlelt foltok közül 1-től 7 MSH-ig.



4. ábra *ISSN adatok (felső görbe) és a DPD napfoltszám görbéi növekvő területű foltok kihagyásával, 11 hónapos csúszóátlaggal simítva.*

Az ábrából látható, hogy a görbesereg profilja nem sokat változik a kisebb foltok elhagyásával, de a ciklusprofilok magassága jelentősen csökken. Mivel a legkisebb foltok észlelhetősége nemcsak a centrálmeridián-távolságtól, hanem az észlelései körülményektől és személyektől is erősen függ, ezért ezek figyelembe vétele, vagy elhagyása jelentősen befolyásolja az R_Z értékét. Ráadásul éppen a legkisebb foltok észlelhetősége változik legjobban az eszközök fejlődésével, ami technikai eredetű trendet csempész az adatsorba.



5. ábra *ISSN adatok (felső görbe) és a havi össz-foltcsoport-terület DPD-ből nyert adatai 11 hónapos csúszóátlaggal simítva. Minden foltcsoport területe a maximális állapotában lett figyelembe véve.*

Az 5. ábra arról tanúskodik, hogy a kis foltok elhagyása az össz-foltterületre sokkal kisebb hatással van, mint a Wolf-féle számra, ami talán nem is meglepő.

4. Debreceni kezdeményezés egy független adatsorra

A napfoltszám igazi problémáját abban látjuk, hogy definiciója összekever két különböző fizikai hátterű jelenséget. A naptevékenység alapegységei az aktív vidékek, vagy foltcsoportok, ezek hoznak felszínre a globális toroidális térből fluxuskötegeket, a felemelkedést felhajtó erő idézi elő. Az egyes foltok azonban e fluxuskötegek fragmentációja miatt különülnek el, ami a környező mozgástérrel való kölcsönhatás eredménye. Ha sok apró folt van, akkor a foltszám magas, de ez nem az aktivitásról szól, mert annak az a jellemzője, hogy mennyi mágneses fluxus került a felszínre. Ebben az értelemben az R_G foltcsoporszám fizikai jelentése világosabb, de ez még mindig egyforma súlyt ad a legkülönbözőbb méretű foltcsoportoknak.

Az SDD napfoltkatalógus birtokában egy új programot indítottunk. A cél nem az egyszerű foltszámlálás, vagy területmérés, hanem az, hogy megbecsüljük a felszínre kerülő mágneses fluxus mértékét. Ezt tekintjük az aktivitás igazi mércéjének. Az eljárás a következő. A foltok területe és átlagos mágneses tere (fluxussűrűsége) között az SDD-ből meghatározott $B=f(A)$ összefüggést felhasználva a foltokban jelenlévő fluxusmennyiség $f(A)*A$. Ezt minden foltcsoport maximális állapotában a foltokra összegezve kapjuk az aktív vidék által felszínre hozott össz-fluxust:

$$TMF = [\Sigma K * f(A_i) * A_i]_{LP} \quad (3)$$

Az *LP* index a vezető polaritású területet jelzi, a *K* faktor pedig egy olyan viszonyszám, mely figyelembe veszi azt, hogy a foltok mellett alacsony fluxussűrűségű mágneses területei is vannak az aktív vidéknek. Ezen *TMF* értékek havi összegeit tekintjük az aktivitás mértékének.

A (3) formula alapján részletes elemzésekre lesz szükség, hogy olyan észleléseken is megbecsülhessük a felbukkanó fluxusmennyiséget, melyekhez nincs mágneses adat. Reményeink szerint el lehet jutni oda, hogy történelmi napfoltészlelések (rajzok) alapján is becslést tehessünk erre a mennyiségre, ami valóban független adatsort kínál a napfoltszám ellenőrzésére.

Köszönetnyilvánítás

The research leading to these results has received funding from the European Commission's Seventh Framework Programme (FP7/2007–2013) under the grant agreement eHeroes (project no. 284461, www.eheroes.eu).

Irodalom

[1] Győri L., Baranyi T., Ludmány A. (2011): Photospheric data programs at the Debrecen Observatory. *Proc. IAU Symposium 273*, pp. 403–407
[2] Hoyt D.V., Schatten K.H. (1998): Group Sunspot Numbers: A New Solar Activity Reconstruction, *Solar Phys*ics, Vol. 181, pp. 491–512
[3] Korsós M. (2013), *Central European Astrophysical Bulletin,* leadva
[4] Penn M.J., Livingston W. (2011): Long-term evolution of sunspot magnetic fields. *Proc. IAU Symposium 273*, pp. 126–133
[5] Royal Observatory Greenwich, Greenwich Photoheliographic Results,1874–1976
[6] Solar Influences Data Center (SIDC), Royal Observatory of Belgium
[7] Svalgaard L. (2012): How well do we know the sunspot number? *Proc. IAU Symposium 286*, pp. 27–33

Napfoltcsoportok fejlődése nagy felbontásban

Muraközy Judit
MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet, Napfizikai Obszervatórium, Debrecen

A legrészletesebb napfoltadatbázis, a debreceni SDD katalógus lehetőséget nyújt arra, hogy a foltcsoportok fejlődését és azok morfológiáját nagy statisztikai mintán és nagy időfelbontásban vizsgáljuk. Külön-külön vizsgálható a foltcsoportok vezető és követő részének fejlődése, kompaktsága, foltjaik területe és száma, a foltcsoportok kiterjedése, mozgása. A munka ezen sajátságok statisztikai vizsgálatát ismerteti.

1. Bevezetés

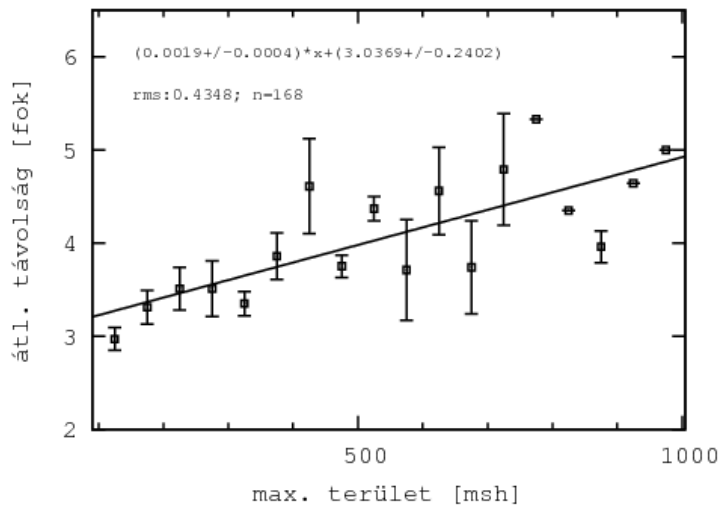
A naptevékenység a Nap mágneses jelenségeinek és eseményeinek gyűjtőneve. Ez a jelenségsor évtizedes időskálán a globális mágneses tér poloidális és toroidális geometriájának oda-vissza alakulását jelenti, ez a 11 éves tevékenységi ciklus háttere. Rövidebb időskálán a konvektív zóna alsó tartományában elhelyezkedő toroidális térből helyenként és időnként a felszínre emelkednek kisebb-nagyobb mágneses fluxuskötegek. Ezek felszínnel való metszetei az aktív vidékek, mágneses fluxushalmazok, melyek legnagyobb fluxussűrűségű elemei a napfoltok. A foltcsoportfejlődés részletei különböző fizikai folyamatokról tartalmazhatnak információkat. A felemelkedést a tórusz egyes helyein jelentkező instabilitás váltja ki, fluxuskötegre felhajtó erő hat, s a felszínre jut. A foltcsoport két ellentétes mágneses polaritású része, a vezető és követő rész felbukkanásának különböző lefolyása valamint méret- és fragmentáltságbeli különbözőségei a fluxusköteg térbeli szerkezetéről, valamint a környező mozgástérrel való kölcsönhatásokról árul el részleteket. Végül a maximum elérése utáni területcsökkenés a környező mozgástér eróziós hatását tükrözi. E fontos jelenségkör tanulmányozása vált lehetővé a Napfizikai Obszervatórium új napfolt-adatbázisa, az SDD katalógus révén.

2. Észlelési adatok

Az SDD (*SoHO/MDI Debrecen sunspot Data*, [2]) az egyetlen olyan adatbázis, amely a foltok és foltcsoportok terület- és pozícióadatain kívül mágneses adatokat is tartalmaz, így lehetővé teszi a vezető és követő részek megkülönböztetését. Időbeli felbontása is ennek a katalógusnak a legnagyobb, kb. másfél órás, mivel az űreszközt nem korlátozza a nappal és éjszaka váltakozása. Az anyag emiatt igazán alkalmas arra, hogy a foltcsoportok fejlődését és morfológiáját a legnagyobb időbeli felbontásban tudjuk nyomon követni. A katalógus a SoHO/MDI misszió teljes időtartamát (1996–2010) lefedi.

3. Vezető-követő részek távolsága

A feltörekvő fluxuskötegek fejlődését vizsgálva a vezető és követő részek távolsága a foltcsoport területével egyenes arányban nő. A legnagyobb területű állapotban ez a távolság az elért kvázi egyensúly egy jellemző paramétere lehet. E kiterjedést korábban mágneses adatok híján csak úgy lehetett vizsgálni, ha a foltcsoport hosszúság szerinti szélső adatait tekintettük, ami nyilván nem teljesen hiteles adat. Az SDD révén meghatároztuk a vezető és követő részek súlypontját és ezek távolságát vizsgáltuk. Olyan foltcsoportokat válogattunk ki, melyek a maximális területüket a centrálmeridiántól számított ±60°-on belül érik el, ez összesen 168 foltcsoportot jelent.



1.ábra *Napfoltcsoportok vezető-követő távolságának függése a foltcsoportok összterületétől azok maximumában (MSH: Millionth of Solar Hemisphere)*

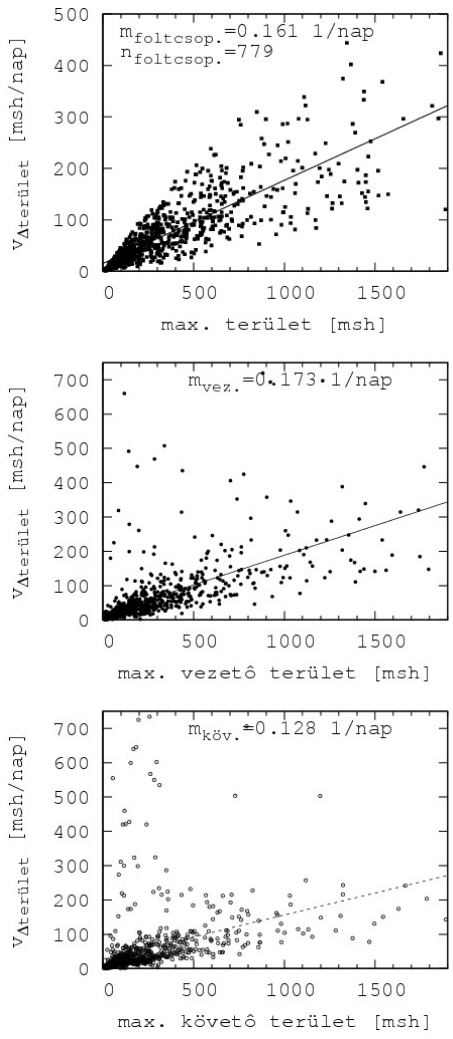
A foltcsoport maximális területe és vezető-követő részeinek távolsága lineáris összefüggést mutat, de ez igen gyenge. 100 MSH összterületnél kb 3,2°, míg 1000 MSH-nál 4,9°. Ez azt jelentheti, hogy a felszín fölötti görbült terekben jelentkező mágneses tenzió csak kis befolyással van a foltcsoportok méretének alakítására.

4. A területnövekedés mértéke

A fejlődési fázisban a foltcsoport összterületének növekedési sebességét egyszerű módszerrel vizsgáltuk: a maximális értéket osztottuk az első folt felbukkanásától a maximumig eltelt idővel. Ezzel kapcsolatban az a kérdés merülhet fel, hogy függ-e ez az adat a foltcsoport összterületétől maximális állapotában, konkrétabban attól, hogy milyen méretű fluxusköteg emelkedik ki. A 2. ábra ezt a függést mutatja külön a teljes csoportra és különkülön a vezető és követő részekre.

Mindhárom esetben lineáris összefüggés mutatkozik. A linearitás azt jelenti, hogy az ábra adatait figyelembe véve egy foltcsoport legvalószínűbb napi növekedési rátája saját aktuális területének 0,161-szerese, függetlenül attól, hogy mekkora fluxusmennyiség emelkedik ki. Ez a körülmény érdekes lehet a felemelkedés elméletei számára, hiszen a bevezetőben említett felhajtó erő bizonyára nem a szokásos, fajsúlykülönbségre épülő mechanizmus. Ez utóbbinál nagyobb térfogatú, a környezetnél könnyebb objektumok nagyobb felhajtó erőt tapasztalnak.

A vizsgálatot elvégeztem a 6. fejezetben ismertetendő görbeillesztés és meredekségvizsgálat módszerével, és az is lineáris összefüggést eredményezett; ezeket az eredményeket itt nem tudom ismertetni.



2. ábra *Foltcsoportok összterület-növekedésének mértéke a maximális összterület függvényében az egész csoportra és a vezető- követő részekre külön-külön*

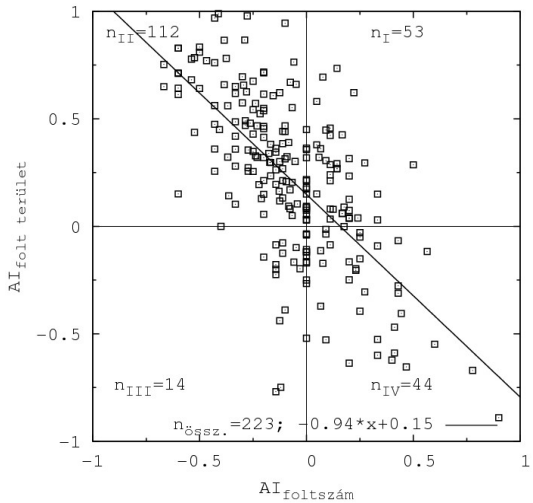
5. Kompaktsági aszimmetria

Egész más folyamatról, a fluxuskötegeknek a környező mozgástérrel való kölcsönhatásáról szól az a jelenség, hogy egy foltcsoport mindkét része több, kisebb-nagyobb foltra bomlik. A két rész kompaktsága között különbség van, ezt eddig csak elméletileg lehetett tanulmányozni [1]. Az új adatbázis ennek empirikus vizsgálatát is lehetővé tette. Az alábbi normált aszimmetriaindexet használjuk az *N* foltszámra:

$$AI_N = \frac{N_{vez} - N_{kov}}{N_{vez} N_{kov}} \qquad (1)$$

Hasonló aszimmetriaindexet lehet definiálni a vezető és követő részekben lévő átlagos foltterületre (AI_T). A két index összehasonlításából azt lehet leolvasni, hogy milyen viszonyban van a vezető és követő részek kompaktsága.

A 3. ábra négy szegmensében a vizsgált 223 foltcsoport különböző kompaktsági aszimmetriájú eseteinek száma van feltüntetve. Láthatóan a legtöbb eset a bal felső szegmensbe esik (112 foltcsoport), ezekben a csoportokban kevesebb, de átlagosan nagyobb folt van a vezető részben, mint a követőben. Ennél is érdekesebb azonban az a körülmény, hogy a pontseregre illesztett egyenes a 0,15 értéknél metszi a függőleges tengelyt, ami azt jelenti, hogy azonos



3. ábra *Az (1) formulával definiált aszimmetriaindex összehasonlítása a vezető és követő részekben lévő foltokra (vízszintes tengely) és e részekben lévő foltok átlagos területére (függőleges tengely)*

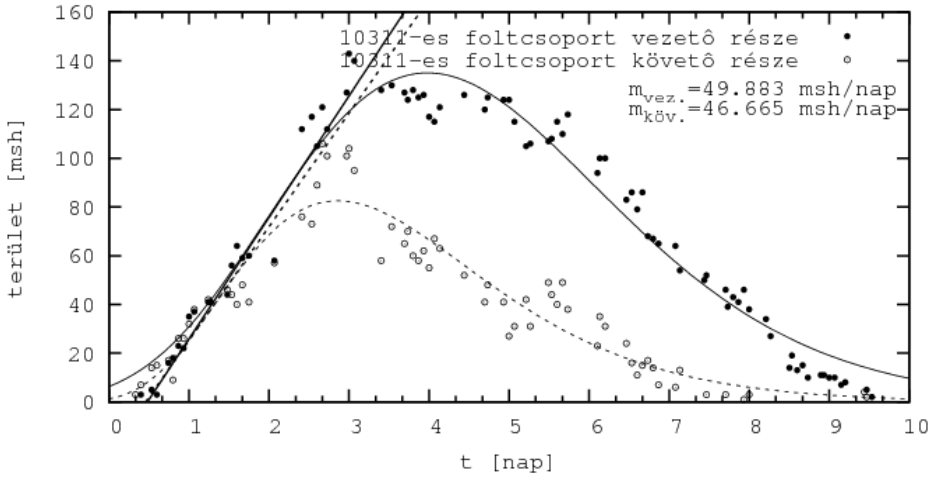
foltszám esetén a foltterület-aszimmetria valószínű értéke 0,15. Ez úgy lehetséges, ha a vezető részben a foltok kb. 35%-kal több mágneses fluxust koncentrálnak magukba, mint a követő részben. Az eredményt tanulságos összehasonlítani Yamamoto [3] eredményével, mely szerint a magnetogramokon mért aszimmetria fordított irányú: a vezető rész területe kisebb, mint a követő részé, ami más szavakkal azt jelenti, hogy a vezető részben kevesebb fluxus van jelen a foltok körül található laza fluxushalmazokban. Ezt jelenti a mi eredményünk is más megközelítésben.

6. Fejlődési profilok analitikus vizsgálata

A foltcsoport-fejlődés tömeges tanulmányozása megfelelően választott analitikus függvény illesztése, és az illesztési paraméterek statisztikai vizsgálata révén is lehetséges. A következő aszimmetrikus Gauss-függvényt választottuk:

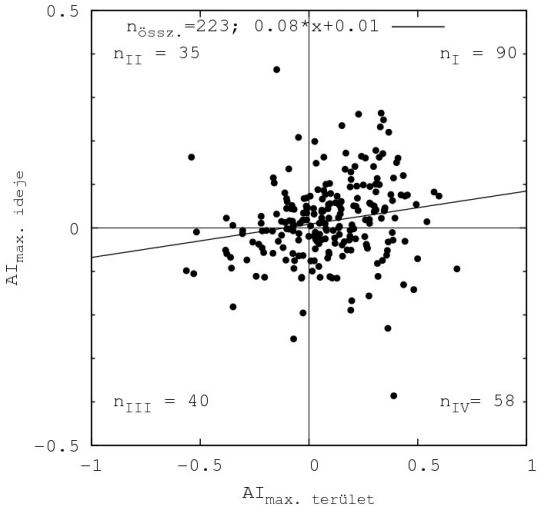
$$ft = H\exp[-\frac{t-t_M{}^2}{D1At-t_M}] \quad (2)$$

Olyan foltcsoportokat válogattunk, melyek a napkorongon élték le az „életüket”; ezekből az SDD katalógus 223-at tartalmaz.



4. ábra *A NOAA 10311 foltcsoport vezető és követő részének fejlődési görbéi*

A vezető és követő részek maximum-viszonyainak négy esete lehetséges aszerint, hogy melyikük magasabb illetve korábbi. A 4. ábra a leggyakoribb viszonyra mutat egy példát, melyben a vezető rész maximuma később van és nagyobb. A görbék legnagyobb meredekségét az adott pontokra illesztett egyenesek jelzik. Egy további aszimmetria-sajátságot mutatok az 5. ábrán. Az ábrából az látszik, hogy a leggyakoribb eset az, hogy a vezető rész maximuma nagyobb és későbbi. Ezek és a 3. ábra által jelzett az aktív vidékek vezető-követő viszonyainak jellemzői.



5. ábra *Aszimmetriaindexek összehasonlítása a vezető-követő maximumok nagyságára és idejére*

Köszönetnyilvánítás

The research leading to these results has received funding from the European Commission's Seventh Framework Programme (FP7/2007–2013) under the grant agreement eHeroes (project no. 284461, www.eheroes.eu).

Irodalom

[1] Fan Y., Fisher G.H., DeLuca E.E. (1993): The origin of morphological asymmetries in bipolar active regions. *Astrophysical Journal,* Vol. 405, pp. 390–401

[2] Győri L., Baranyi T., Ludmány A. (2011): Photospheric data programs at the Debrecen Observatory. *Proc. IAU Symposium 273*, pp. 403–407

[3] Yamamoto T.T. (2012): The area asymmetry in bipolar magnetic fields. *Astronomy and Astrophysics*, Vol. 539, id. A13

A TRITEL-SURE űrdozimetriai kísérlet első mérési eredményei

Dr. Hirn Attila[1], Apáthy István[1], Bodnár László[†2], Csőke Antal[1], Dr. Deme Sándor[1], Dr. Pázmándi Tamás[1], Szántó Péter[1], Zábori Balázs[1]

[1] Magyar Tudományos Akadémia Energiatudományi Kutatóközpont, Budapest
[2] BL-Electronics Kft., Budapest

Az emberes űrrepülések során kiemelt fontosságú a sugárzási tér dozimetriai célú vizsgálata. 2012 novemberétől újabb magyar műszer, az MTA Energiatudományi Kutatóközpont és a BL-Electronics Kft. együttműködésében kifejlesztett TRITEL háromtengelyű szilícium detektoros teleszkóp végez dozimetriai célú méréseket a Nemzetközi Űrállomás fedélzetén. A cikkben az első három nap méréseinek előzetes eredményeiből is szemezgetünk.

1. Bevezetés

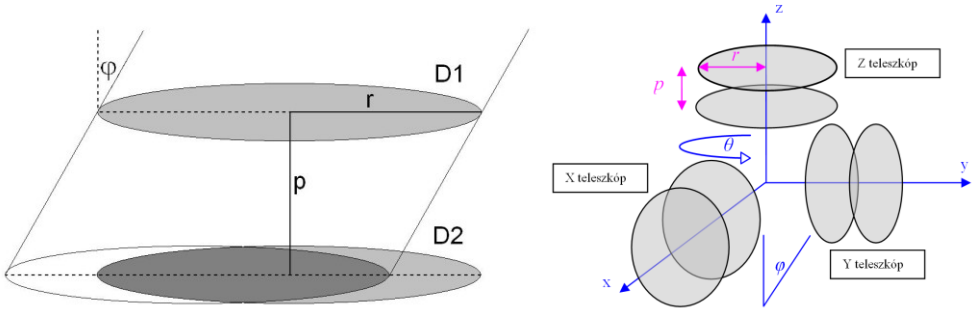
Az űrhajósoknak munkájuk során számtalan jelentős egészségügyi kockázati tényezővel kell számolniuk, melyek közül a hosszú idejű űrrepülések esetében az egyik legfontosabb az őket érő, a Föld felszínén mérhető háttérsugárzásnál legalább két nagyságrenddel nagyobb fluxusú kozmikus sugárzás. A kozmikus sugárzási tér jellemzői számos tényező – többek között a naptevékenység, az űreszköz pálya menti mozgása, valamint a szerkezeti elemek árnyékoló és konverziós hatása – miatt helyről helyre és időről időre jelentős mértékben változhatnak. Az űrhajósokat érő sugárzás dózisának meghatározása szempontjából ezért fontos a kozmikus sugárzás jellemzőinek fedélzeti, folyamatos, valós idejű nyomon követése. Az űrállomásokon és egyéb emberes űreszközökön folyó sugárvédelmi célú mérések egyrészt a dózistérkép elkészítését – azaz a dózisteljesítmény űreszközön belüli helyfüggésének meghatározását – és a dózisteljesítmény időbeli változásának nyomon követését szolgálják, másrészt biztosítják az űrhajósok személyi dózisának meghatározását.

2. Dózismérő rendszerek

A sugárzás fluxusának, valamint a leadott energiának a mérésére az elmúlt évszázadban számos módszert fejlesztettek ki, melyek között passzív, illetve aktív detektoros módszereket különböztethetünk meg. A passzív detektorokra (például termo- vagy optolumineszcens detektorok, nyomdetektorok, valamint filmdoziméterek) jellemző, hogy anyagukban a sugárzás hatására különféle fizikai vagy kémiai változások mennek végbe. A változás mértékéből – detektorfajtától függően – az elnyelt dózisra, a sugárzás fluensére vagy a részecskék által leadott energia spektrumára lehet következtetni. Tápellátást – passzív detektorok esetében – a detektálás nem, legfeljebb a kiolvasás igényel. Hátrány ugyanakkor, hogy legtöbbjük esetében kiolvasásra kizárólag utólagosan, a Földön nyílik lehetőség, így csak a küldetés időtartamára vonatkozó dózismennyiségek határozhatók meg (ez alól kivételt jelent például a magyar fejlesztésű Pille termolumineszcens dózismérő rendszer [1]). A passzív detektoroktól eltérően az aktív detektoros űrdozimetriai rendszerek (félvezető detektoros rendszerek, test-szövet-ekvivalens proporcionális számlálók, Geiger–Müller-számlálók, szcintillációs detektorok stb.) fontos jellemzője, hogy folyamatos tápellátást igényelnek, ugyanakkor segítségükkel a passzív detektorokénál jobb időfelbontás érhető el.

3. A TRITEL űrdozimetriai rendszer

Részecsketeleszkóp – a későbbiekben teleszkóp – alatt olyan, legalább két detektorból álló detektorrendszert értünk, amelyben egy töltött részecskén koincidencia- és/vagy antikoincidencia-kapcsolás segítségével többfajta mérést is el lehet végezni. Űrdozimetriai célú teleszkópokkal általában a detektor(ok) érzékeny térfogatában leadott energia mérhető, valamint meghatározható, hogy az adott részecske a teleszkóp geometriája által meghatározott térszögből érkezett-e. Félvezető detektoros rendszerek esetében leggyakrabban a két azonos aktív sugarú és vastagságú, átmenő típusú szilícium detektorból álló teleszkóp elrendezést használják, mint például a Kieli Egyetemen fejlesztett DOSTEL esetében (1. ábra) [2]. Ezen típus egyik hátránya a rendszer jelentősen irányfüggő érzékenysége. Ennek kiküszöbölésére az elmúlt években egy – a kozmikus sugárzás LET (lineáris energialeadási tényező[1])-eloszlásának időbeli és térbeli meghatározására alkalmas, a 4π térszögben közel egyenletes érzékenységű – háromtengelyű teleszkóp (TRITEL) fejlesztése történt a Magyar Tudományos Akadémia (MTA) KFKI Atomenergia Kutatóintézet (jelenleg MTA Energiatudományi Kutatóközpont) Űrdozimetriai Kutatócsoportjában. Az eszköz három ortogonális tengelyének teleszkópjait két-két, egymással párhuzamosan elhelyezkedő, 300 μm vastagságú és 222 mm^2 aktív felületű szilícium detektor alkotja (1. ábra). A teleszkóp két-két detektorát a mérések során „ÉS" kapuként – koincidenciába kötve – használjuk, így a mindkét detektorban jelet adó részecskéket külön tudjuk mérni, vagyis az ún. kapuzott (koincidencia) és a kapuzatlan (teljes) leadottenergia-spektrum egyaránt meghatározható.



1. ábra *A két azonos sugarú detektorból álló teleszkóp, illetve a TRITEL háromtengelyű teleszkóp geometria felépítése; r a detektor aktív felületéhez tartozó sugár, p a detektorok közötti távolság [3]*

A kapuzott spektrumból a beérkezett részecskék LET-spektrumát – azaz az egységnyi LET-re jutó részecskeszámot – állíthatjuk elő, a detektorokban elnyelt teljes energiamennyiség pedig a detektor anyagának dózisával arányos. A teleszkópokat alkotó detektorok szerepe kitüntetett; az egyik a mérő-, a másik az úgynevezett kapuzódetektor szerepét tölti be. A rendszer a 0,2–120 keV/μm $LET_{víz}$ értékű részecskék mérésére alkalmas, ami a detektorban leadott 60 keV–80 MeV energiának felel meg. A műszer segítségével mind az elnyelt, mind a kozmikus sugárzás biológiai károsító hatására jellemző egyenérték dózis becsülhető.

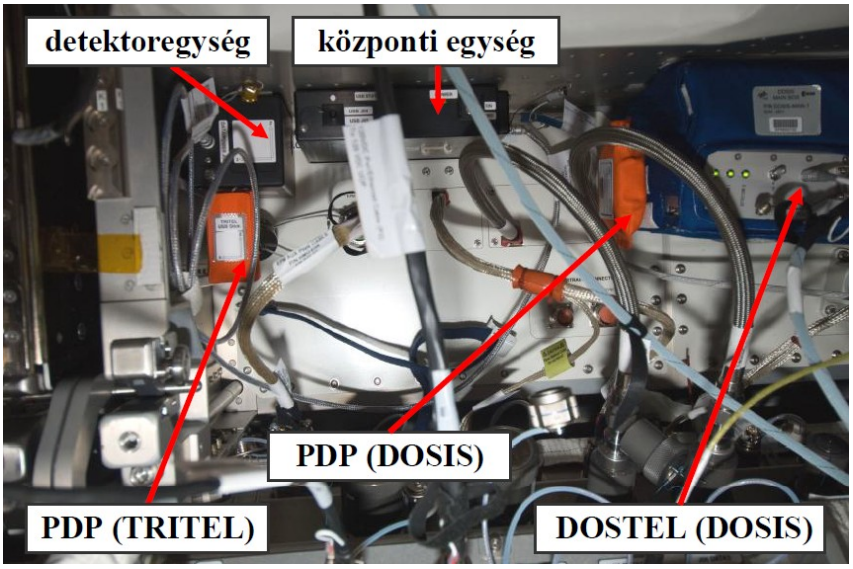
[1] A LET a *dl* úton lokálisan elnyelt energia és a *dl* hányadosa, azaz LET = dE_{abs}/dl

3. TRITEL-SURE a Columbus modul fedélzetén

A BL-Electronics Kft-vel együttműködésben fejlesztett TRITEL-SURE kísérleti berendezést három fő egység alkotja: a háromtengelyű teleszkópot tartalmazó detektoregység, a detektoregység vezérlésére, a mérési adatok tárolására, valamint az adatok letöltésére szolgáló központi egység, valamint egy passzív dózismérőket (termolumineszcens és nyomdetektorokat) tartalmazó összeállítás (*Passive Detector Package*, PDP, ld. 2. ábra). A teleszkópok, valamint a passzív detektorok tengelyei egymással párhuzamosak. A tengelyek iránya (az űrállomás repülőgépszerű irányítottsága esetén) a zenit, az űrállomás sebességvektora, valamint az előbbi két irányra merőleges irány.

A TRITEL-SURE kísérlet aktív dózismérő berendezését 2012. október 31-én küldték fel a Nemzetközi Űrállomásra a Progressz M-17M teherszállító űrhajóval. A berendezés telepítésére és bekapcsolására november 6-án, az első adatletöltésre pedig három nappal később, november 9-én került sor. Az aktív berendezést 2012. december 19-én a passzív detektorok (PDP) követték a Nemzetközi Űrállomásra a Szojuz TMA-07M fedélzetén.

A TRITEL részegységei közvetlenül a – hasonló fizikai elven működő, de csak két irányban érzékeny, egy-egy félvezető teleszkópot tartalmazó – DOSIS kísérlet mellett foglalnak helyet, így összemérésre is lehetőségünk nyílik. A kieli Christian Albrechts Egyetemen fejlesztett DOSIS/DOSTEL kísérletnek – a TRITEL kísérlethez hasonlóan – része egy szilárdtest nyomdetektorokat tartalmazó csomag is (2. ábra).

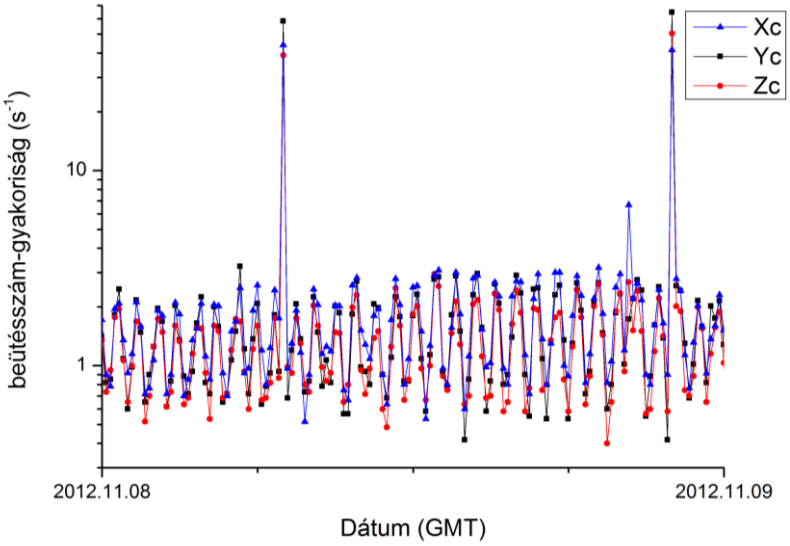


2. ábra *A TRITEL-SURE és a DOSTEL kísérlet a Nemzetközi Űrállomás Columbus laboratóriumának Európai Fiziológiai Moduljában (fotó: NASA/ESA)*

4. Az előzetes eredmények (2013. november 6–9.)

Az előzetes terveknek megfelelően Kevin Ford űrhajós november 9-én adatletöltést hajtott végre a TRITEL műszeren. A letöltött adatokat ezt követően ellenőrzés és tudományos kiértékelés céljából a Földre továbbították. A műszer belső műszaki állapotát leíró (idegen szóval *housekeeping* vagy HK) adatok alapján az eszköz megfelelően működik. Egyúttal a mérési adatok részletes kiértékelése is megkezdődött.

A mért időspektrumokon (3. ábra) jól láthatók a dél-atlanti anomálián való áthaladások okozta intenzitás-növekedések, valamint felfedezhetők a 90 perces és 1 napos periódusú, a Föld megdőlt mágneses tengelyének köszönhető változások.



3. ábra *A koincidencia események időspektruma, TRITEL-SURE*

5. Kitekintés

A TRITEL-SURE kísérlettel a tervek szerint 2013 májusáig végeznek méréseket a Columbus modulban. Ezt követően – reményeink szerint – a 2013 márciusában az űrállomás orosz szegmensére felkerülő TRITEL rendszert egészíti majd ki.

Köszönetnyilvánítás

A TRITEL-SURE kísérlet az Európai Unió 6. Keretprogramjának terhére meghirdetett SURE program keretében (RITA-CT-2006-026069), a műszer fejlesztése és megépítése pedig a 98057-es számú ESA PECS együttműködésnek köszönhetően valósult meg. Köszönet illeti továbbá a kísérlet két külföldi társkutatóját, Sönke Burmeistert (CAU, Kiel) és Günther Reitzet (DLR) a fejlesztés és a kiértékelés során nyújtott segítségükért és együttműködésükért.

Hivatkozások:

[1] Fehér I., Deme S., Szabó B., Vágvölgyi J., Szabó P. P., Csőke A., Ránky M., Akatov Yu. A. (1981): A new Thermoluminescent Dosimeter System for Space Research. *Advances in Space Research*, Vol. 1, pp. 61–66

[2] Beaujean R., Kopp J., Reitz G. (1999): Active Dosimetry on Recent Space Flights. *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 85, pp. 223–226

[3] Pázmándi T., Deme S., Láng E. (2006): Space dosimetry with the application of a 3D silicon detector telescope: response function and inverse algorithm. *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 120, pp. 401–404

A Föld plazmakörnyezetének kutatásában alkalmazott módszerek és műszerek

Dr. Bencze Pál
MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Geodéziai és Geofizikai Intézet, Sopron

A Föld plazmakörnyezetének vizsgálatáról szóló beszámolók általában csak röviden, vagy egyáltalán nem foglalkoznak az alkalmazott méréstechnikával. Ezért hasznos lehet ezeknek a módszereknek és az alkalmazásukat szolgáló műszereknek az összefoglaló ismertetése. A módszerek és műszerek jobb áttekinthetősége érdekében célszerű ezeket csoportosítani elsősorban annak alapján, hogy azok a Föld felszínéről, vagy űreszközökön elhelyezve teszik lehetővé a méréseket.

A plazmakörnyezetnek a Föld felszínéről történő vizsgálatát lehető tevő módszerek

Természetes források felhasználásával alkalmazható módszerek:

- geomágneses pulzációk
- whistlerek
- neutronmonitorok felhasználása

Mesterséges források felhasználásán alapuló módszerek:

- rádióhullámok ionoszférikus abszorpciója (A1, A2, A3 módszer)
- relatív fázismérés
- driftmérés három vevőkészülék alkalmazásával
- meteorradar módszer
- ionoszféra-szondázás
- rádióhullámok inkoherens szóródásán alapuló módszer

Űreszközök (rakéta, mesterséges hold) fedélzetén alkalmazott módszerek

- Langmuir-szonda és alkalmazása
- fékező potenciál analizátor és alkalmazása
- elektrosztatikus analizátor és alkalmazása
- tömegspektrométer és alkalmazása
- elektromos tér mérése és alkalmazása
- mágneses tér mérése és alkalmazása

A plazmakörnyezetnek a Föld felszínéről történő vizsgálatát lehetővé tevő módszerek

Természetes források felhasználásával alkalmazható módszerek

Geomágneses pulzációk a plazmaszférában a plazmasűrűség mágneses erővonal menti eloszlásának a maghatározására alkalmazhatók. A geomágneses pulzációknak a Pc 3–4 típusú, 10–35 s periódusú csoportja használható erre, amelyek a napszél és a lökéshullámról visszaverődött protonok közötti kölcsönhatás eredményeként keletkeznek. Ezeknek a pulzációknak a spektrumában a mágneses erővonalak önfrekvenciájával megegyező része alkotja az erővonal rezonancia (FLR, *field line resonance*) típusú pulzációkat. Az FLR pulzációk periódusa a geomágneses szélesség növekedésével a mágneses erővonal hosszabbodá-

sa következtében növekszik. A periódus nemcsak az erővonal hosszúságától, hanem a plazmasűrűségtől is függ, mindkettővel egyenesen arányos. Ez a rezgő rendszer egy elektromos rezgőkörhöz hasonlítható. Az FLR típusú pulzációk segítségével adott geomágneses szélességen – a geomágneses teret egy a Föld középpontjában elhelyezett dipólus mágneses terével közelítve – a plazmasűrűség erővonal menti eloszlása is meghatározható. A lökéshullám előtt keletkezett pulzációk mágneses erővonalakkal rezonáns kölcsönhatásba nem lépett részének (UW, *upstream waves*) a periódusa a geomágneses szélességgel nem változik.

A **whistlerek** a villámok elektromágneses sugárzásának az a része, amely a Föld-ionoszféra hullámvezetőben terjedő résztől (szferiksz) eltérően a mágneses erővonalak mentén terjed az egyik félgömbről a másik félgömbre. A jel spektruma (0–10 kHz) a hangfrekvenciás tartományra terjed ki, tehát a whistler hallható. A közeg, amelyben a whistlerjel terjed diszperzív, aminek következtében a terjedési sebesség a frekvencia függvénye. Így a jel nagyobb frekvenciájú komponensei előbb érnek a vétel helyére, mint a kisebb frekvenciájúak. Ez a diszperzióval fejezhető ki, ami csak akkor érvényes, ha a frekvencia sokkal kisebb, mint az elektronok girofrekvenciája. A plazmaszféra kutatásában az elektronok girofrekvenciájához közelebbi frekvencia komponenseket használunk, ezért a diszperzió kifejezésében a frekvenciát a girofrekvencia negyede, valamint a terjedés iránya és a mágneses tér közötti szög koszinuszának a szorzatával kell helyettesíteni. Ebben az esetben az így kapott terjedési idő frekvenciával történő változásában mutatkozó inflexió koordinátáit használják az elektronsűrűség magassággal történő változásának a meghatározására.

A Föld plazmakörnyezetében a mintegy 70 km alatti magasságtartományban az ionizációt nagyrészt a galaktikus kozmikus sugárzás idézi elő. A neutronok a primér galaktikus sugárzás és a légkör közötti kölcsönhatás következtében jutnak szerephez, mint a primér galaktikus kozmikus sugárzás indikátorai. A neutronokat **neutronmonitorok** segítségével észlelhetjük. A neutronmonitor négy részből áll. Ezek a reflektor, amely parafin- vagy polietilén-réteg, alatta ólomréteg, majd ezt a neutronok lassítására szolgáló, protonokban gazdag anyagból álló réteg követi. A berendezés alján a neutronszámlálásra proporcionális számlálók vannak.

Mesterséges források felhasználásán alapuló módszerek

Rádióhullámok ionoszférikus abszorpciója. Az A1 módszer az ionoszférába függőlegesen beeső rádióhullámok amplitúdó-változásának, a visszaverődött hullámok amplitúdójának a kisugárzott hullámok amplitúdójához viszonyított nagyságának a meghatározásán alapul. Ezt a módszert általában ionoszféraszondázó berendezéseknél alkalmazzák úgy, hogy a szondázásnál a frekvenciát nem változtatják és mérik a kisugárzott és a visszaverődött hullámok amplitúdóját.

Az A2 módszer a rádióhullámok teljes ionoszféra által létrehozott abszorpciójának a meghatározására alkalmas, és elsősorban nagy geomágneses szélességeken alkalmazzák. Ugyanis itt a nagymértékű ionizáció miatt az A1 és A3 módszer nem alkalmazható. Az A2 módszer a kozmikus rádiózaj felhasználásán alapul, és annak a teljes ionoszféra által előidézett abszorpciója meghatározásának útján valósul meg. Ehhez riométereket *(relativ ionospheric opacity meter)* alkalmaznak, amelyek 30 MHz-nél nagyobb frekvencián mérik a kozmikus rádiózaj intenzitását.

Az A3 módszer az ionoszférába ferdén beeső rádióhullámok amplitúdó-változásának meghatározásán alapul. A rádióhullámok forrása lehet egy a megfelelő hullámhossztartományban működő műsorszóró adó, vagy saját adó. A hullámhossztartomány attól függ, hogy az ionoszféra melyik rétegét, milyen magasságú részét akarjuk tanulmányozni. Minél nagyobb magasságról van szó, annál nagyobb frekvenciát kell választani. A módszer alkalmazásának a feltételei: az adó olyan távolságban legyen a vételi helytől, hogy egyszeri visszaverődés legyen feltételezhető, másrészt az adó teljesítménye ne változzon.

A rádióhullámoknak három paramétere van, amelyek mind felhasználhatók az ionoszféra vizsgálatára. Ezek az amplitúdó, a frekvencia és a fázis. A **relatív fázismérést** az teszi lehetővé, hogy a rádióhullámok egyrészt a talaj felszíne mentén (felületi hullám), részben az ionoszférából visszaverődve (térhullám, visszavert hullám) terjednek. A vétel helyén észlelt rádióhullám a kettő eredőjének felel meg. Ha feltételezzük, hogy az adó–vevő távolság nem változik, akkor a felületi hullám fázisa sem változik, és az észlelt térerősség fázisváltozását csak a térhullám fázisváltozása határozza meg. Ez a fázisváltozás viszont a térhullám által megtett út hosszúságának a változásától, vagyis a visszaverődési magasság változásától függ. A fázis meghatározása a felületi hullám fázisához viszonyítva történik, ezért beszélünk relatív fázismérésről. Ha a fázismérés akkora távolságban lévő adó segítségével történik, amelyben a felületi hullámok teljesen elnyelődnek (pl. MF, HF), a vétel helyén csak a térhullámokat észlelhetjük, a fázisváltozás a tényleges fázisváltozásnak felel meg, nem a felületi hullám fázisához viszonyított.

A **driftmérés** a plazmamozgás sebességének és irányának a meghatározására szolgál. A driftmérés egyik legelterjedtebb módszere a három vevő segítségével történő driftmérés *(three receiver method)*. A módszer alapját az a tény képezi, hogy az ionoszféra ionizáltsága nem homogén, benne a környezetüktől eltérő sűrűségű „felhők" fordulnak elő. Ezek a plazma mozgásával együtt mozognak. Ha az adó által kisugárzott rádióhullámok egy ilyen „felhőről" verődnek vissza, a visszavert jel amplitúdója megnő a törésmutató-változás következtében. Megfelelően nagy időbeli felbontást alkalmazva a plazmafelhőkkel összefüggő amplitúdó-változásokat regisztrálhatjuk. A módszer egy derékszögű háromszög csúcspontjaiban elhelyezett három vevőkészüléket alkalmaz. A háromszög befogóinak hossza az alkalmazott frekvenciának megfelelő hullámhosszúság fele. A frekvenciát az A3 módszer ismertetésénél említett meggondolások alapján választjuk ki. A három vevőkészülék regisztrátumait összehasonlítva az amplitúdó-változások egymáshoz viszonyított eltolódásából a plazmafelhő, illetve ezzel a drift sebességét és irányát meghatározhatjuk.

A légkörbe becsapódó meteoritek a súrlódás következtében felizzanak, felületükről molekulák párolognak el, amelyeket a Nap elektromágneses sugárzása ionizál. Így egy a meteorit útját jelző plazmacsík keletkezik, amelyet a különböző magasságokban uralkodó eltérő nagyságú és irányú szél eltorzít. A 90 és 150 km közötti magasságtartományban ugyanis a semleges közeg, a semleges részecskék és az ionok közötti gyakori ütközések következtében mintegy magával vonszolja a plazmát. A plazmacsíkról a rádióhullámok visszaverődnek. Ezért ha a plazmacsíkot három megfelelően elhelyezett radarberendezéssel figyeljük meg, a plazma mozgásának a sebességét és irányát is megállapíthatjuk. Ez a **meteorradar módszer**.

Az ionoszféra függőlegesen beeső rádióhullámokkal történő **szondázása** a legelterjedtebb módszere az ionoszféra-kutatásnak. A függőleges irányban kisugárzott, általában 1 és 20 MHz közötti frekvenciájú rádióhullámok lehetővé teszik az elektronsűrűség magassággal történő változásának a meghatározását. Abban a magasságban, ahonnét az adott frekvenciájú impulzus visszaverődik, az elektronsűrűség az ezzel arányos plazmafrekvenciával arányos. A visszaverődés magasságát a berendezés az impulzus kibocsátása és visszaverődést követő vétele között eltelt idő alapján határozza meg, feltételezve, hogy a rádióhullámok a fény terjedési sebességével terjednek. Mivel a terjedési sebesség a plazmában,az ionoszférába belépve a fény terjedési sebességénél kisebb, az előbbiek szerint meghatározott magasság a tényleges magasságnál nagyobb, és ezért látszólagos magasságnak nevezzük. Az ionoszféra-szondázás eredményeként egy ionogramot kapunk, amely a látszólagos visszaverődési magasságot a szondázási frekvencia függvényében ábrázolja. A tényleges visszaverődési magasságot a törésmutató segítségével számíthatjuk ki és határozhatjuk meg az elektronsűrűségnek a magassággal történő változását, az elektronsűrűség-profilt.

A rádióhullámok visszaverődése a frekvencia növekedésével elér egy olyan frekvenciát (pl. ionoszféra-szondázás esetén), amelynél nagyobb frekvenciájú (> 30 MHz) rádió-

hullámok már nem verődnek vissza az ionoszférából, csekély energiaveszteséggel kiléphetnek a bolygóközi térbe. Az ilyen VHF rádióhullámok energiavesztesége az **inkoherens szóródástól** származik. Az inkoherens szóródás jelensége arra vezethető vissza, hogy az ionoszférát alkotó elektronok hőmérsékleti mozgást végeznek. Ahhoz, hogy a szóródás észlelhető legyen, az alkalmazott rádióhullámoknál nagy (MW nagyságrendű) teljesítményre van szükség. Az inkoherens szóródás módszere a szóródás spektrumának a meghatározásán alapszik. A spektrum szélessége az elektronhőmérséklettel és a közepes iontömeggel, a spektrumban jelentkező minimum mélysége az elektron- és az ionhőmérséklet hányadosával, a kisugárzott frekvencia és a szórt energia maximumához tartozó frekvencia közötti különbség a Doppler-eltolódással arányos.

Űreszközök fedélzetén alkalmazott módszerek

Az ionoszférában a légkörön belüli energia-eloszlásnak megfelelően három különböző hőmérsékletet különböztetünk meg: a semleges, az ion- és az elektronhőmérsékletet. Az ionhőmérséklet átmenetet képez a legnagyobb hőmérséklet, az elektronhőmérséklet, és a legalacsonyabb hőmérséklet, a semleges hőmérséklet között, közvetítve az elektrongáztól átvett energiát a levegő semleges komponense felé.

Az elektronhőméséklet és elektronsűrűség meghatározására a plazmadiagnosztika legegyszerűbb és széles körben alkalmazott eszköze a **Langmuir-szonda** *(Langmuir probe)*. A Langmuir-szonda egy gömb, henger vagy sík felületből álló plazmadetektor. Ha a detektor pozitív potenciálú és azt növeljük, a szonda egyre nagyobb mértékben taszítja az ionokat. Így a szonda körül egy ionoktól mentes réteg alakul ki, amelyben az elektronok gyorsulnak. Ha a detektor negatív potenciálú és azt növeljük, a szonda az elektronokat taszítja, az ionokat egyre nagyobb mértékben vonzza. Azt a potenciált, amelynél a teljes áram (elektronáram + ionáram) zérussá válik, „lebegő" potenciálnak nevezzük. Ez az a pont, ahol a maradék elektronáram egyenlő az ionárammal. A lebegő potenciálnál pozitívabb potenciáloknál az elektronáram mindaddig növekszik, amíg a szondát valamennyi elektron el nem éri, az elektronáram telítésbe nem jut. A lebegő potenciálnál nagyobb negatív feszültséget tovább növelve az ionáram a telítési értékhez közeledik. Ebben az esetben az összes ion eljut a szondára, és elektronoktól mentes réteg alakul ki. Az elektronsűrűség a telítési elektronáram és az ionmentes réteg felületének hányadosával arányos. Az áramnak a telítési szakaszok közötti lineáris növekedési szakaszán az áram logaritmikus deriváltjának a feszültség függvényében történő változása az elektronhőmérséklet meghatározását teszi lehetővé.

Az ionhőmérséklet meghatározására az űreszközökön alkalmazott mérési módszerek közül a **fékező potenciál analizátor** (RPA, *retarding potential analizator*) alkalmas. Az RPA működését tekintve egy elektroncsőhöz hasonlítható, tulajdonképpen ioncsapda *(ion trap)*. A gömb, henger vagy sík felülettel rendelkező, az ionok bejutását biztosító ablak mögött egy negatív potenciálú rács helyezkedik el, amelynek az elektronok bejutásának a megakadályozása a feladata. Az RPA belseje felé ezt a „vezérlő" rács követi, amely a bejutott ionok tömeg szerinti szétválasztását végzi a rácsra adott fűrészfogfeszültség segítségével. A fűrészfogfeszültség a maximális pozitív értékektől a zérus feszültségig változik és a térbeli felbontásnak megfelelő mértékben periodikusan ismétlődik. A vezérlő rácson átjutott ionokat a kollektor gyűjti össze. Ennek eredményeként jön létre az RPA volt–amper karakterisztikája, amely az ionáramot ábrázolja a fűrészfogfeszültség függvényében. A volt–amper karakterisztikához legjobban illeszkedő görbe paraméterei teszik lehetővé az ionösszetétel és az ionhőmérséklet meghatározását. A kollektor felett még egy negatív potenciálú rács gondoskodik a kollektorból az UV sugárzás hatására kilépő elektronok visszatartásáról.

Az **elektrosztatikus analizátort** szintén az ionösszetétel meghatározására használják. Az elektrosztatikus analizátor segítségével azonban az ionösszetétel közvetlenül mérhető, nem közvetve görbeillesztés útján tudjuk csak megállapítani. Az analizátor általában egy fél-

gömbréteg alakú elektródarendszer. A félgömb alakra azért van szükség, hogy az ionok mozgásának az irány szerinti eloszlását is meghatározhassuk. A gömbrétegen belül félkör alakú csatornákat alakítanak ki, amelyeknek a határfelületei közé pozitív feszültséget kapcsolnak. Az ionokra ható elektrosztatikus tér, illetve az ennek megfelelő energia kiegyenlíti az ionok centrifugális erőtől származó energiáját. Ily módon csak meghatározott energiájú (tömegű) ionok mozoghatnak körpályán és juthatnak az elektronsokszorozóba (*electron multiplier* vagy *channeltron*, CEM). A CEM működése hasonlít a fotoelektron-sokszorozóéra *(photomultiplier)*. Esetünkben a belépő ionfluxus a CEM-ben a belső és külső fal között többször visszaverődve a falba ütközéskor elektronokat vált ki. Ily módon egy belépő részecske hatására a kilépő szekunder elektronok száma megsokszorozódik. Az egyes CEM-ek lemez alakban sorba rendeződött változata a *channel plate*.

A semleges légkört gázkeverék alkotja, amelynek összetétele fontos szerepet játszik a légkör folyamataiban, szem előtt tartva azt a tényt is, hogy a légkör egyetlen egészet alkot. A semleges felső légkör összetételének a meghatározására a **tömegspektrométereket** használják. Ezek közül az egyik leggyakrabban alkalmazott a kvadrupól tömegspektrométer. Ez a készülék négy, egymással párhuzamos, hiperbolikus keresztmetszetű rúdból áll. Az egymással szemben lévő rudak össze vannak kötve. Az egyik rúdpárra rádiófrekvenciás feszültséget (RF), a másik rúdpárra egyenfeszültséget kapcsolnak. A RF tér erőssége és frekvenciája határozza meg, hogy mekkora tömegű, pontosabban milyen *m/e* arányú ionok juthatnak át az analizátoron és kerülhetnek a csatlakoztatott detektorba. Az ettől eltérő tömegű ionok a rudakba ütköznek. Semleges gázkeverék (levegő) esetén a gázkeveréket előbb ionizálják, és csak ezután jutnak az így keletkezett ionok a tömegspektrométerbe.

A Föld plazmakörnyezetében fontos szerepet játszanak az **elektromos terek**. Ezek a terek az időben „állandó" tértől a MHz frekvenciájú jelekig terjednek. Forrásaik ennek megfelelően nagyon különbözőek. A leggyakrabban alkalmazott módszer az elektromos tér mérésére a kettős szonda *(double probe)* módszer. A berendezés a tartó szerepét betöltő fémrúdból áll, amelynek két végén egy-egy szondát helyeznek el. Ez az antenna csak a pályára állást követően nyílik ki és a mesterséges hold forgástengelyére merőleges. Az érzékenység növelése az antenna hosszának (10 m nagyságrendű) növelésével érhető el. A szondák Langmuir-szondák, az elektromos térerősség a potenciálok különbségeként adódik.

A **mágneses tér** mérése a Föld körüli térségben egyrészt a permanens, belső eredetű mágneses tér, másrészt az áramrendszerek mágneses terének indikálásával ezeknek az áramrendszereknek a kimutatására szolgál. Űreszközökön a mágneses tér mérésére a leggyakrabban a fluxgate magnetométereket használják. A fluxgate magnetométer legegyszerűbb esetben egy toroid alakú, ferromágneses, nagy permeabilitású anyagból készült mágnes. A mágnest körülvevő primér tekercsbe szinuszos alakú áramot vezetünk, amely folyamatosan a hiszterézis görbének megfelelő felmágnesezést idéz elő. Az egyik irányban a mag telítéséhez szükséges áramot a másik irányban ehhez szükséges árammal összehasonlítva, a különbség a külső mágneses tér intenzitásával arányos. A mágnesezésnek nem kell elérnie a telítést. A mágnesezés a hiszterézis görbe nemlineáris szakaszán a mágnest és a primér tekercset körülvevő szekundér tekercsben indukált feszültségnek az alakját torzítva felharmonikusokat hoz létre. Ezeknek az amplitúdója a mágnes telítődésének a növekedésével növekszik.

Szemelvények a felsőlégköri elektro-optikai emissziókkal kapcsolatos kutatások utóbbi eredményeiből

Dr. Bór József, Barta Veronika, Dr. Sátori Gabriella
MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Geodéziai és Geofizikai Intézet, Sopron

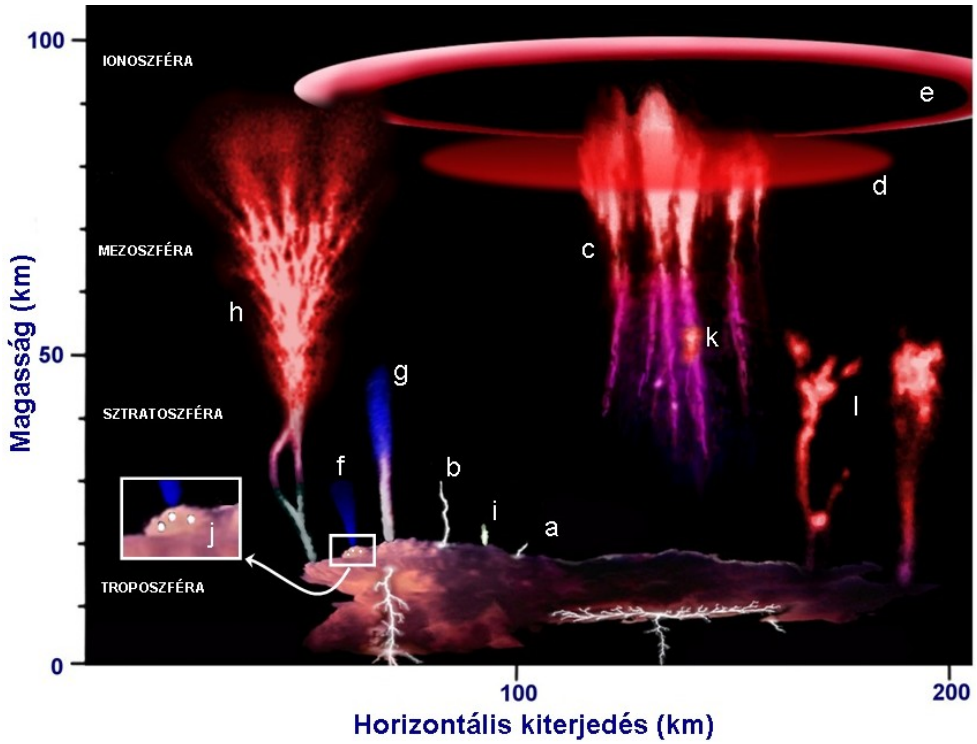
Az előadás a felsőlégköri elektro-optikai emissziókkal (FEOEM-ek) kapcsolatos kutatások néhány, a legutóbbi szeminárium (2010) óta eltelt időben publikált eredményét ismertette, amelyek többségének elérésében intézetünk munkatársai is aktívan közreműködtek. A főbb érintett témák a vörös lidércek polaritás paradoxona, alaktani sajátosságaik és optikai élettartamuk, a nyalábjelenségek, különös tekintettel az óriás nyalábokra, valamint a másodlagos FEOEM-ek.

1. A vörös lidércek polaritás paradoxona

A vörös lidérc *(red sprite)* (1. ábra) a mezoszférában bekövetkező elektromos kisüléseket kísérő, legfeljebb néhány századmásodpercig tartó fényjelenség [6]. A felsőlégköri kisüléshez szükséges elektromos tér legtöbbször felhő–föld villámok után épül fel a zivatarfelhőben maradó töltéscentrum és az éjszakai ionoszféra kb. 90 km-es magasságban húzódó alsó határrétege között. E tér erősségét a felhőben maradó többlettöltés mennyisége és a töltéscentrum magassága együttesen határozza meg, így a térerősség a két mennyiség szorzatával jellemezhető. Ez a szorzat jól közelíthető a másik töltéscentrumot kisütő villám vertikális töltésmomentum-változásával (TMV), ami a kisülési csatorna magasságának és a benne átáramlott töltésmennyiségnek a szorzata, és amely a villámkisülés extrém alacsony frekvenciás (ELF, 3–3000 Hz) elektromágneses sugárzása alapján távoli észlelések feldolgozása után becsülhető [4, 3, 7].

A TMV statisztika szerint 1000 db, vörös lidérc megjelenését nagy valószínűséggel kiváltani képes villám közül kb. 100 db (10 %) negatív polaritású. Ezzel szemben a 2007-ig rendelkezésre álló megfigyelésekben 1000 vörös lidércből alig 1 megjelenését okozta igazoltan negatív polaritású forrásvillám [10]. Ez a vörös lidércek polaritás paradoxona. (A villámkisülés polaritása a kisülő töltéscentrumok közül a magasabban elhelyezkedő töltésének az előjelével egyezik meg.)

A vizsgálatok szerint a nagy TMV értékű negatív polaritású villámok után nagyobb valószínűséggel jelenik meg egy másik FEOEM típus, az ún. lidércudvar *(sprite halo)* (1. ábra). A lidércudvar kialakulásához gyorsan felépülő, különösen erős elektromos térre van szükség. Ez a dinamika negatív polaritású villámokra jellemzőbb. A vörös lidérc típusú felsőlégköri kisülés létrejöttéhez fontosabb, hogy az elektromos tér fennálljon a kvázi önfenntartó kisülési frontok (*streamer*ek) kialakulásához szükséges ideig. Ez a feltétel viszont túlnyomó részben csak nagyobb pozitív polaritású villámok esetén teljesül. A lidércudvarok észlelése a vörös lidércekhez képest kisebb fényességük és rövidebb optikai élettartamuk (2–4 ms) miatt nehezebb, ami magyarázza a látszólagos ellentmondást a megfigyelések számát illetően [11].

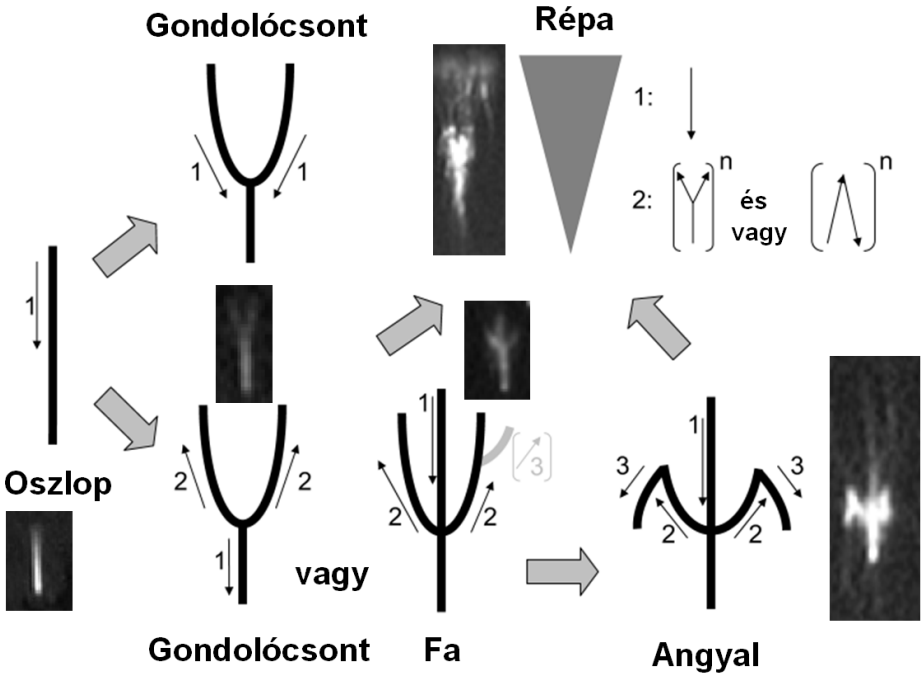


1. ábra *A felsőlégköri elektro-optikai emissziók ismert típusai.* ***(a)*** *közönséges felfelé irányuló villámkisülés (upward flash);* ***(b)*** *felfelé irányuló óriás kisülés (upward superbolt);* ***(c)*** *vörös lidérc (sprite);* ***(d)*** *lidércudvar (sprite halo);* ***(e)*** *gyűrűlidérc (ELVES);* ***(f)*** *kis kék nyaláb (blue starter);* ***(g)*** *kék nyaláb (blue jet);* ***(h)*** *óriás nyaláb (gigantic jet);* ***(i)*** *törpe (gnome);* ***(j)*** *tündérkék (pixies);* ***(k)*** *TROLL;* ***(l)*** *pálma lidércek (palm trees).*

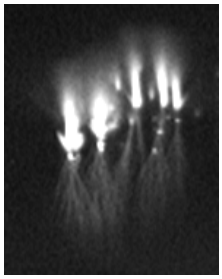
2. A vörös lidércek alaktani sajátosságai és optikai élettartamuk

Közép-Európában 2007 és 2009 között közel félezer vörös lidércet rögzített a Sopronban elhelyezett kamera. A nagyszámú észlelés a vörös lidércek közvetlenül megfigyelhető tulajdonságainak statisztikus elemzését tette lehetővé.

A vörös lidérceket a legfényesebb részeik formája szerint alaktani osztályokba lehetett sorolni. A leggyakoribb alakzatok az oszlop, gondolócsont (Y), fa, angyal és répa. Ezek az alakok a vörös lidércek időbeli fejlődésének a jellemző stádiumait is mutatják (2. ábra). A különböző alakoknál hasonló sajátosságok figyelhetők meg, amelyek viszont nem mindig jelennek meg: elágazó indák, kifényesedések az indák mentén és a testben (gyöngyök), ezekhez hasonló, fényes foltok közvetlenül a lidérc teste alatt, magasabban elhelyezkedő diffúz emissziók (puffok) és a lidérc testét körbevevő szintén diffúzabb fénylések (ragyogások).



2. ábra *Vörös lidércek alaktani osztályai és fejlődése. A vékony nyilak és sorszámok a kisülési frontok terjedésének irányait és egymáshoz viszonyított időbeni sorrendjét jelölik.*



Kiderült, hogy a lidércek többsége (91%) csoportban jelenik meg és a csoportok nagyobb része (55%) többféle alakú elemet tartalmaz. Két különleges csoportot lehetett megkülönböztetni jellemző jegyek alapján. A medúzákra (3. ábra) a fényes, sűrű és mélyre nyúló indarendszer és a test körüli erőteljes ragyogás egyidejű megléte a jellemző. A táncoló lidércek esetében a csoport tagjai nem nagyjából egyszerre, hanem elkülönülten egymás után jelennek meg.

3. ábra *Sopronból fényképezett medúza típusú vörös lidérccsoport*

A jelenségek teljes optikai élettartamát tekintve 60–80 ms-os értékek voltak a legjellemzőbbek. A medúza típusú események ettől karakterisztikusan rövidebb (20–40 ms-nyi) életűek. Érdekes eredmény, hogy az egyfajta alakú lidércet szerepeltető emissziók között kevesebb a nagyon hosszú (>80 ms) élettartamú, ugyanakkor a vegyes csoportok között a nagyon rövid (<40 ms) élettartamúak ritkábbak [1]. Ezeknek a tapasztalatoknak az megmagyarázása a jövőbeli kutatások feladata.

3. Nyalábjelenségek *(blue starter, blue jet)*, óriás nyalábok *(gigantic jet)*

A különböző nyalábok (1. ábra) kialakulását jelenleg két elmélet magyarázza. Az első szerint intenzív töltésszétválasztás esetén, a felhő tetején levő (általában pozitív) töltésgócból spontán is elindulhat felfelé egy kisülési front *(streamer)*. A másik modellben egy felhőn belüli kisülés során az alsó negatív töltéscentrumból elektronok juthatnak ki a magasabban

levő töltések között és tovább haladhatnak az pozitív töltésű alsó ionoszféra felé. Óriás nyalábok esetén ezek a felfelé haladó töltések el is érhetik az ionoszféra alját.

Az óriás nyalábok két osztálya [2] megfeleltethető az egyes keletkezési modelleknek, egy harmadik osztályba tartozó események keletkezési mechanizmusa azonban még nem ismeretes. Az óriás nyalábok jellemző közös tulajdonsága a jellegzetes időbeni fejlődésük: egy vezető nyalábból *(leading jet)* fejlődik ki a tejes nyaláb *(fully developed jet)*, amit egy második, lassabb kisülési szakasz követ (utó-nyaláb, *trailing jet*).

Elsősorban a második mechanizmus szerint keletkező óriás nyalábokra jellemző ELF sugárzást kibocsátása, amely globálisan is észlelhető. A Széchenyi István Geofizikai Obszervatóriumban működő ELF mérőrendszer rögzítette a 2010-ben Réunion sziget partjainál megfigyelt öt óriás nyaláb jeleit, amelyek segítségével sikerült megállapítani, hogy negatív töltést szállítottak az ionoszférába. A legintenzívebb óriás nyaláb esetében a szállított töltésmennyiség meghaladta a 100 C-ot [8].

Egy másik esetben Olaszországból figyeltek meg egy különleges óriás nyalábot 2009-ben Korzikától nyugatra. Ez a jelenség több szempontból is különleges volt: alacsony felhőzetű (6,5 km) zivatarban keletkezett, pozitív töltést szállított az alsó ionoszférába, ennek ellenére jól észlelhető alacsony frekvenciás hullámokat sugárzott. A nagycenki mérőrendszer olyan 2–3 Hz frekvenciájú jeleket rögzített, amelyek az ionoszféra magasabb rétegeiben gerjesztett ún. ionoszférikus Alfvén-rezonanciajelenségre utalnak [9].

4. Másodlagos FEOEM-ek

Néhány felsőlégköri emisszió másodlagosnak nevezhető abban az értelemben, hogy önmagukban nem jelennek meg, csak más – ilyen értelemben elsődleges – felsőlégköri emissziók után. Ilyen például a felhőtetőből „kinövő" ún. pálmalidérc, vagy a korábbi nagyobb vörös lidércek indáin látszólagosan felfelé „kapaszkodó" troll (1. ábra). A troll lényegében egy másodlagos nyalábjelenség. Műholdas megfigyelések szerint előfordulhatnak másodlagos óriás nyalábok is. Ezeknek a jelenségeknek a létrejötte és jellemzői jól magyarázhatók azzal, hogy az elsődleges FEOEM (többnyire vörös lidérc) helyileg módosítja, gyakorlatilag lejjebb szállítja az ionoszféra alsó határát. A különböző másodlagos emissziók megjelenési formája így attól függ, hogy milyen a módosult alsó ionoszféra és a felhőbeli töltéscentrumok egymáshoz viszonyított konfigurációja [5].

Köszönetnyilvánítás

A FEOEM-ekkel kapcsolatos kutatómunkát az OTKA támogatta (K72474). A nemzetközi együttműködések megvalósulásában az ESF *„Thunderstorm effects on the atmosphere-ionosphere system"* (TEA-IS) című kutatási hálózat programja játszott szerepet. Ez a tanulmány a TÁMOP-4.2.2.C–11/1/KONV-2012-0015 számú (Föld-rendszer) projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

[1] Bór J. (2013): Optically perceptible characteristics of sprites observed in Central Europe in 2007–2009. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics,* Vol. 92, pp. 151–177

[2] Chou J.K., et al. (2010): Gigantic jets with negative and positive polarity streamers. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 115, A00E45

[3] Cummer S.A., Inan U.S. (2000): Modeling ELF radio atmospheric propagation and extracting lightning currents from ELF observations. *Radio Science*, Vol. 35, pp. 385–394

[4] Huang E., et al. (1999): Criteria for sprites and elves based on Schumann resonance observations. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 104 (D14), pp. 16943–16964

[5] Lee L.-J., et al. (2012): Characteristics and generation of secondary jets and secondary gigantic jets. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 117, A06317

[6] Pasko V.P., et al. (2011): Lightning related transient luminous events at high altitude in the Earth's atmosphere: phenomenology, mechanisms and effects. *Space Science Reviews*, Vol. 168, pp. 475–516

[7] Sátori G., et al. (2013): An Overview of Thunderstorm-Related Research on the Atmospheric Electric Field, Schumann Resonances, Sprites, and the Ionosphere at Sopron, Hungary. *Surveys in Geophysics*, in press

[8] Soula S., et al. (2011): Gigantic jets produced by an isolated tropical thunderstorm near Réunion Island. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 116, D19103

[9] van der Velde O.A., et al. (2010): Multi-instrumental observations of a positive gigantic jet produced by a winter thunderstorm in Europe. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 115, D24301

[10] Williams E., et al. (2007): Polarity asymmetry of sprite-producing lightning: A paradox? *Radio Science*, Vol. 42, RS2S17

[11] Williams E., et al. (2012): Resolution of the sprite polarity paradox: The role of halos. *Radio Science*, Vol. 47, RS2002

Telluráramok számítása az EURIGIC programban

Dr. Ádám Antal, Dr. Kis Árpád, Dr. Lemperger István, Dr. Novák Attila,
Dr. Prácser Ernő, Dr. Szarka Lászó, Dr. Wesztergom Viktor
MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Geodéziai és Geofizikai Intézet,
Sopron

Bevezetés

A Carrington-eseményként ismert rendkívüli napkitörést, az 1859. szeptember 1-jén bekövetkezett flert követően a geomágnesség történetének legnagyobb mágneses viharával és a közepes geomágneses szélességeket is betöltő sarki fénnyel egyidejűleg az akkorra már elég kiterjedt távíróhálózatban súlyos működési zavarok léptek fel. A technika történetének talán legnagyobb hatású napfizikai eredetű „balesete" 1989. március 13−14-én történt, amikor is egy geomágneses vihar során a kanadai Montrealban a Hydro Quebec erőmű meghibásodása következtében 9 órás teljes áramkimaradás volt, ami legalább 6 millió embert érintett. Svédországban ugyanakkor hat különböző 130 kV-os rendszerben lépett fel jelentős feszültségesés. Az előző napciklus maximumára (2003) esett az ún. Halloween-esemény, amikor Skandinávia egy része borult sötétségbe.

Annak hátterében, hogy egy-egy nagyobb napvihar és az azt követő geomágneses aktivitás egyfajta kockázati tényezővé is vált, a geomágneses indukció jelensége áll. Az időben változó geomágneses térhez az indukció törvénye alapján elektromos tér kapcsolódik. A véges vezetőképességű altalajban Ohm törvényének megfelelően az elektromos tér hatására földi áramok vagy más néven tellurikus áramok alakulnak ki. Ezek az indukált áramok kis elektromos ellenállású, információ- vagy energia-átviteli távvezetékekbe, csővezetékekbe azok földelési pontjain keresztül jutnak be. A geomágneses viharok persze nemcsak a vezetékes rendszerekre jelentenek kockázatot, hanem a vezeték nélküli távközlésre, navigációs rendszerekre és más műholdas technológiákra is. A katasztrofális következményekkel járó eseményeket követően világszerte megnőtt az igény a geomágneses viharokkal szembeni kiszolgáltatottság mérsékelésére. Az MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpontban 2011-ben az európai kritikus infrastruktúra védelmét szolgáló EURISGIC *(EURopenan RISk on Geomagnetically Induced Currents)* program keretében elkezdődött az európai litoszféralemez indukciós modelljének megalkotása és az obszervatóriumi tellurikus adatok átfogó elemzése.

A geomágneses tér (ULF tartomány) primer forrásainak vizsgálata

Az ULF tartományba eső felszíni mágneses térváltozások elsődleges forrásai az ionoszférában kialakuló áramrendszerek. Általános ionoszférikus forrás áramterekre meghatároztuk a felszíni indukáló és indukált tér, valamint az indukáló és a tellurikus tér viszonyát a forrás geometriai sajátosságait leíró paraméterek függvényében. A legfontosabb geometriai jellegű forrás paraméterek a következők: a kiterjedés (azimutális és meridionális), valamint az áram iránya és az áramtér horizontális változását meghatározó ún. forrás hullámhossz. Fizikailag realisztikus forrás paraméter tartományokban numerikus számításokkal meghatároztuk, hogy a felszíni mágneses és tellurikus változások viszonya hogyan változik rögzített felszín alatti fajlagos elektromos ellenállás-eloszlás mellett. A vizsgálat során a nagycenki obszervatórium környezetében érvényes, korábbi publikációkból ismert [1] közegmodellt használtuk fel. A bemeneti EM impedanciát, mint a felszíni mágneses és tellurikus variációk viszonyát, a forrás paraméterek függvényében megjelenítve a következő megállapításokat tehetjük:

- Nagy forráshullámhossz esetén − ez a kvázi-síkhullám feltevésnek felel meg − a felszíni mágneses és tellurikus változások amplitúdójának viszonya a forrás kiterjedésétől gyakorlatilag független, míg fáziskülönbségük szempontjából a forrás mérete meghatározó.
- A forrás hullámhosszának csökkenésével (Λ növekedésével) mind az amplitúdók viszonya, mind a felszíni mágneses és elektromos terek változásának fáziskülönbsége monoton csökken.
- Megállapítható továbbá, hogy kis forráshullámhosszak (nagy Λ) esetén a forrás kiterjedése a térváltozások amplitúdójának arányát erősen befolyásolja.

A felszíni kvázi-szinuszos EM variációk ULF tartománybeli összetevőit eredményező ionoszférikus áramrendszerek magnetoszférikus folyamatok révén alakulnak ki. E magnetohidrodinamikai jelenségek a magnetoszféra és a napszél energiacsatolásának eredményeként írhatók le, melyek a geomágneses erővonalak révén az ionoszférára vetülnek. A Pc1-2 típusú pulzációk (periódus 1–15 s) mágneses erővonalak mentén terjedő − nem álló − MHD hullámok, ebben alapvetően különböznek hosszabb periódusú társaiktól. A Pc3 típusú pulzációkon belül megkülönböztetünk kompressziós és transzverzális eredetűeket. A kompressziós Pc3 hullám (15–45 s) az ún. *upstream* térségben lejátszódó hullám–részecske kölcsönhatás eredménye. A transzverzálisak keletkezésére kézenfekvő magyarázat az erővonal-rezonancia, ám gyakran mutatnak upstream sajátosságokat. Emiatt valószínűsíthető, hogy a két pulzációs módus esetenként ugyanannak az energiának két különböző úton való becsatolódása [11, 4].

A tipikus Pc4 pulzáció (45–150 s) radiális irányban polarizált (poloidalis) ULF hullám az egyenlítő szűk környezetében. Eredetüket tekintve valószínűleg 150 keV körüli protonok ún. ide-oda pattogó *(bouncing)* rezonanciája révén keletkeznek. Pc5-ös pulzációk (150–600 s) több különböző mechanizmus révén alakulhatnak ki: a magnetopauzán kialakuló ún. Kelvin–Helmholtz-instabilitás erővonal menti becsatolódásaként, a magnetoszféra mint üregrezonátor sajátrezgéseiként [7], vagy akár annak hullámvezető tulajdonságai révén [12].

A pulzációk keletkezési mechanizmusairól [9] adott részletes áttekintést. Az említett MHD hullámforrások eredményeként terjedő perturbációk az ionoszférában áramokat keltenek, és kiterjedt áramrendszereket okoznak. Az indukciós vizsgálatok során az említett MHD folyamatok eredményeként kialakult ionoszférikus áramrendszerek mágneses térváltozásainak, illetve az általuk indukált tellurikus áramok tereinek eredőjét regisztráljuk. A primer tér forrásainak geometriájára vonatkozó vizsgálatokat a Széchenyi István Geofizikai Obszervatórium tellurikus és geomágneses regisztrátumainak felhasználásával végeztük el, különböző geomágneses háborgatottsági viszonyok mellett meghatározott impedancia függvények összehasonlításával. A különböző aktivitással jellemezhető időintervallumokat geomágneses indexek alapján válogattunk szét. A vizsgálat tanúsága szerint a nyugodt, a zavart és az extrém háborgatott időszakok során, obszervatóriumi regisztrátumok alapján meghatározott felszíni impedancia függvények csak kis mértékben térnek el egymástól. Ha feltételezzük, hogy geomágneses értelemben nyugodt időszakokban olyan pulzációs áramterek alakulnak ki az ionoszférában, melyek a felszínen síkhullámként leírható primer mágneses teret hoznak létre, akkor kijelenthetjük, hogy az extrém háborgatott időszakokban jellemző forrás áramrendszerek felszíni terei szintén jól közelíthetőek síkhullámok lineáris kombinációjával [8]. A vizsgálatot négy év hosszúságú regisztrátumok felhasználásával végeztük, a statisztikai eredmények reprezentatívnak tekinthetőek. Az eredmények legfőbb gyakorlati jelentősége abban rejlik, hogy ezáltal bizonyítottnak tekinthetjük, hogy a felszíni geomágneses primer változások közel azonos fázisban zajlanak, akár több száz km-es horizontális kiterjedést tekintve is. Mindemellett tudjuk, hogy a pulzációs források kiterjedése legalább 1000 km-es skálán mérhető. Összességében kijelenthetjük, hogy a geomágneses tér regisztrálása közepes földrajzi szélességen, ULF tartományban, több száz km-es skálán reprezentatívnak tekinthető.

Ez utóbbi megállapítás alapját képezheti egy komplex vizsgálatnak, amely során az elektromos energiát továbbító hálózat csillagpontjainál mérhető áramerősség felhasználásával értékes földtani információhoz jutunk. Az elképzelés lényege, hogy az obszervatóriumban regisztrált mágneses variációkat az adott földelési pontok környezetében is érvényesnek tekintve, abból az elektromos teret, illetve a csillagpontok közötti potenciálkülönbséget származtatni tudjuk. A geomágneses változásokból számított feszültség és a mért áramérték viszonyából pedig a földtani komponensek és szerkezetek által meghatározott elektromos ellenállásra következtethetünk.

Az indukált áramok közelítő számítása

Az ionoszférikus-magnetoszférikus eredetű ULF hullámok terjedésénél azzal a feltevéssel élhetünk, hogy a felszínt elérő EM hullámok síkhullámnak tekinthetők. Ez az egyszerűsítés abban az esetben fogadható el, ha a vizsgált térrész elég kicsi ahhoz, hogy a földfelszín görbületét elhanyagolhassuk, továbbá a primer források karakterisztikus mérete jóval meghaladja a vizsgált frekvenciatartományban adódó legnagyobb behatolási mélységet, illetőleg az azt jellemző ún. skin-mélységet.

Egy tetszőleges féltér felszínén az elektromos (**E**) és geomágneses (**H**) térerősség vektorok viszonyát a periódusfüggő, komplex impedancia tenzor (**Z**) írja le:

$$E_x T = Z_{xx} T H_x T + Z_{xy} T H_y T \quad (2)$$

$$E_y T = Z_{yx} T H_x T + Z_{yy} T H_y T \quad (3)$$

ahol T a periódusidő, Z_{ij} az impedanciatenzor komplex eleme. Véges vezetőképességű homogén, vagy a felszínnel párhuzamosan rétegzett féltér (1D szerkezet) esetén $Z_{xy} = -Z_{yx}$ és $Z_{xx} = Z_{yy} = 0$, így:

$$E_x T = Z_{xy} T H_y T \quad (4)$$

$$E_y T = Z_{yx} T H_x T \quad (5)$$

A **Z** impedanciatenzor lényegében a közeg válaszfüggvénye, ami az alábbi összefüggésben van a homogén féltérben értelmezett ρ_a látszólagos fajlagos ellenállással:

$$\rho_{xy} = 0.2T \frac{E_x}{H_y}^2 = 0.2T \mid Z_{xy} \mid^2$$

E [mV/km], H [nT], T [s] (6)

A fázis pedig:

$$\phi = \tan^{-1} \frac{\mathrm{Im} Z_{xy}}{\mathrm{Re} Z_{xy}} \quad (7)$$

2D szerkezetek kutatására jól alkalmazhatók a geomágneses mélyszondázásokból kapott indukciós vektorok. Ilyenkor a feltételezett síkhullám horizontális mágneses komponensei részben a vertikális komponensbe transzformálódnak:

$$H_z T = X_{zx} T H_x T + X_{zy} T H_y T \quad (8)$$

X_{zx} és X_{zy} a periódusidőtől függő komplex mennyiségek, az ún. indukciós vektort pedig a

$$\mathrm{K} = X_{zx}, \quad X_{zy} \quad (9)$$

összefüggéssel definiáljuk. Amint ismert, két tetszőleges felszíni pont (A és B) közötti elektromos potenciálkülönbséget az alábbi vonalintegrál adja:

$$\mathrm{U} = \int_A^B E s \mathrm{d} s \quad (10)$$

A két végpontjában földelt áramvezetőben (csővezeték, távvezeték, stb.) a potenciálkülönbség hatására áram folyik. Numerikus számítások és hosszú obszervatóriumi tellurikus adatsorok azt mutatják, hogy nyugodt és közepes tevékenység esetén a felszíni elektromos tér nagyságrendje általában 10^{-3}–10^{-2} V/km körül van. Az 1 V/km-t meghaladó amplitúdó nagy mágneses viharok során a sarki fény régióban gyakori, de közepes geomágneses szélességeken nagyon ritka. Az 50 V/km amplitúdó a sarki fény régióban is szélsőségesen nagynak tekinthető. Az elektromos távvezetékek jellemzően több száz km-es hosszával és 1 Ω körüli impedanciájával számolva a geomágneses indukció révén a vezetékekben folyó indukált áram a több száz amper nagyságrendet is elérheti. Az ULF tartományba (10^{-4} Hz < f < 10^{-1} Hz) eső indukált áramokat a villamosenergia-átvitelben alkalmazott 50-60 Hz-hez képest kvázi-egyenáramoknak tekinthetjük. Az indukált áramok a háromfázisú transzformátorok földelési pontjain jutnak a rendszerbe és szaturációhoz vezetnek. A részleges szaturáció miatt irányítástechnikai problémákat okozó felharmonikusok jelennek meg, szélsőséges esetben a transzformátor tönkremegy. A transzformátorok leégése ritka, de súlyos esemény.

A magnetotellurikus 1D közelítés alapján végzett számítás kvalitatív becslést ad a geomágneses viharok által indukált áramok hatásának vizsgálatához, de a megfelelő műszaki védelem kialakításához egy komplex modellre van szükség. Az európai villamosenergia-hálózat magas integráltságú, sok pontban földelt rendszer, ami inkább hasonlít egy sűrű pókhálóra, mint lineáris áramvezetőre. A geomágneses tér primer forrásainak sokfélesége elengedhetetlenné teszi a primer források tényleges fizikai paramétereinek vizsgálatát. A magnetotellurikus tapasztalatok pedig azt mutatják, hogy az altalaj elektromos paramétereinek horizontális és vertikális tagoltsága a helyi elektromos tereket olyan mértékben megváltoztatja, hogy számításokat csak az egész európai litoszféra lemezre kiterjedő vezetőképesség modellen lehet végezni.

Az európai litoszféralemez geoelektromos modellje (EURHOM)

Az EURHOM lényegében egy olyan kvázi 3D modell, ami különféle méretű cellákból épül fel, a cellákon belül pedig 1D struktúrát feltételez [3]. A magnetotellurika szerint a helyi felszíni E-t a fajlagos elektromos ellenállás mélybeli eloszlása határozza meg. A kőzetek fajlagos elektromos ellenállása igen változó. A fajlagos elektromos ellenállás helyi változásai a potenciálkülönbség számításakor kiátlagolódnak, jelentős áramcsatornázást okoznak viszont a kétdimenziós (2D) felszín alatti elektromos vezetőképesség-inhomogenitások. A legjelentősebb jólvezető 2D vezetőképesség-anomáliák tektonikai zónákhoz kötődnek, de a modell horizontális felbontásának *(grid)* figyelemmel kell lenni a nagyobb hegyvonulatokra, kiterjedt üledékes medencékre, a domborzatra és természetesen a távvezeték-hálózat topológiájára is. A modell eltérő méretű celláit hosszúsági és szélességi körök választják el. Arra vonatkozóan, hogy az egyes cellákon belül milyen mélységtartományt kell alkalmazni, támpontot ad az elektromágneses tér abszorpciójával (behatolási mélységgel) kapcsolatban álló skin-mélység, ami annak a mélységnek felel meg, ahol az amplitúdó a felszíni érték e-ad részére csökken:

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho T}{\mu_0 \pi}}, \tag{11}$$

ahol μ_0 a mágneses permeabilitás (közelítőleg $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Vs/Am).

Az 50−200 km mélységtartományban változó litoszféra–asztenoszféra határfelületen a fajlagos ellenállás 1 Ωm-re vagy az alá csökken [2]. Az ULF tartományban ez olyan jelentős abszorpciót jelent, ami a nagyobb mélységben feltételezett elektromos ellenállás-változásokat a modellben érdektelenné teszi. A litoszférán belül legalább az üledéket és a kristályos aljzatot el kell választani, így az egyes cellákat minimum háromréteges, 1D-s szerkezet tölti ki. Az EURHOM vezetőképesség cellái láthatók.

Köszönetnyilvánítás

A kutatások az Európai Közösség FP7-es keretprogram (FP7/2007–2013) 260330 számú projektje (EURISGIC) támogatásával valósultak meg. / The research leading to these results has received funding from the European Community's Seventh Framework Programme (FP7/2007–2013) under grant agreement no. 260330.

Ez a tanulmány a TÁMOP-4.2.2.C–11/1/KONV-2012-0015 számú (Föld-rendszer) projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg. / This study was also supported by the TAMOP-4.2.2.C–11/1/KONV-2012-0015 (Earth-system) project sponsored by the EU and European Social Foundation.

Hivatkozások

[1] Ádám A. (1970): A földi elektromágneses tér szerepe a Föld belső szerkezetének kutatásában. *MTA X. Osztályának Közleményei*, Vol. 4, pp. 385−416

[2] Ádám A., Wesztergom V. (2001): An attempt to map the depth of the electrical asthenosphere by deep magnetotelluric measurements in the Pannonian Basin (Hungary). *Acta Geologica Hungarica*, Vol. 44, pp. 167−192

[3] Ádám A., Prácser E., Wesztergom V. (2012): Estimation of the electric resistivity distribution (EURHOM) in the European lithosphere in the frame of the EURISGIC WP2 project. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, Vol. 47, pp. 377–387

[4] Anderson B.J. (1994): An Overview of spacecraft observations of 10 s to 600 s period magnetic pulsations in the Earth's magnetosphere. *AGU Monograph*, Vol. 81, pp. 25−43

[5] Bartels J., Heck N.H., Johnston H.F. (1939): The three-hour-range index measuring geomagnetic activity. *Terrestrial magnetism and atmospheric electricity*, Vol. 44, pp. 411–454

[6] Cagniard L. (1953): Basic theory of the magnetotelluric method of geophysical prospecting. *Geophysics*, Vol. 18, pp. 605−635

[7] Kivelson M.G., Southwood D.J. (1986): Coupling of global magnetospheric MHD eigenmodes to field line resonances. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 91, pp. 4345−4351

[8] Lemperger I. (2012): Az elektromágneses impedancia tenzor külső eredetű változásai. PhD dolgozat

[9] McPherron R.L. (2005): Magnetic pulsations: Their sources and relation to solar wind and geomagnetic activity. *Surveys in Geophysics*, Vol. 26, pp. 545−592

[10] Tikhonov A.N. (1950): Determination of electrical characteristics of the deep strata of the Earth's crust. *Doklady Akademii Nauk SSSR*, Vol. 73, pp. 295−297

[11] Verő J., Zieger B. (1994): Upstream waves and field line resonances − pulsation research at the Nagycenk Observatory during three solar cycles. *AGU Monograph*, Vol. 81, pp. 55−66

[12] Walker A.D.M. (1998): Excitation of magnetohydrodynamic cavities in the magnetosphere. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Vol. 60, pp. 1279−1293

X. Ifjúsági Fórum

Februárban hirdettük meg a MANT és a Magyar Űrkutatási Iroda (MŰI) hagyományos közös rendezvényét, az Ifjúsági Fórumot. Ez már a tizedik ilyen alkalom volt (az előző már elég régen, 2009 novemberében). Az Ifjúsági Fórum célja, hogy az űrkutatás változatos szakterületein dolgozó hazai egyetemisták, PhD hallgatók, fiatal kutatók beszéljenek legújabb programjaikról, sikereikről, megismerjék egymás munkáját.

Érdeklődésre számot tartó témában szerencsére nem volt hiány! Természetesen nem maradhatott el a beszámoló – méghozzá első kézből, a fejlesztő műegyetemi diákcsapat képviselőitől – a Masat-1 első magyar műholdas programról és tervezett folytatásáról. Ugyancsak az elmúlt időszak örömteli eredménye volt az Európai Űrügynökség magaslégköri ballon- és rakétaprogramjában való kiemelkedően sikeres magyar részvétel. De helyet kaptak az Ifjúsági Fórumon az űrcsillagászattal, illetve egy, a Nemzetközi Űrállomáson folyó kísérlettel kapcsolatos beszámolók is. A fórum elején a két rendező (MŰI és a MANT) beszámolóit hallgathatták meg a résztvevők.

Az Ifjúsági Fórum időpontja 2012. április 13., 9 óra volt. Helyszíne a Nemzeti Fejlesztési Minisztérium (NFM) Budapest, Fő u. 44–50. alatti épülete, a földszinti Zöld Galéria. A részletes program:

- *Horvai Ferenc* (NFM Magyar Űrkutatási Iroda): A magyar űrtevékenység helyzete
- *Bacsárdi László* (Magyar Asztronautikai Társaság): A Magyar Asztronautikai Társaság tevékenysége
- *Marosy Gábor* (BME Elektronikus Eszközök Tanszéke): A Masat-1 programja és mérési eredményei
- *Horváth Gyula* (BME Elektronikus Eszközök Tanszéke): Masat-2, a következő generáció
- *Zábori Balázs* (BME Természettudományi Kar): A CoCoRAD magaslégköri ballonkísérlet
- Magyar sikerek a REXUS/BEXUS programban (a három csapat képviselői)
- *Somosvári Béla* (Admatis Kft.): Anyagtudományi kísérlet a Nemzetközi Űrállomáson
- *Szegedi-Elek Elza* (MTA KTM Csillagászati Intézete): „Star Formation across the Universe" – Alpbach 2011 beszámoló
- *Bacsárdi László* (Magyar Asztronautikai Társaság): Nemzetközi lehetőségek: a Space Generation Advisory Council

Kisbolygó-látogatások – diákpályázatunk eredménye

2011 októberében hirdettük meg hagyományos diákpályázatunkat, amelynek mostani témája *Kisbolygó-látogatások* volt. Az érdeklődő diákok akár a Naprendszer kis égitestjeinek űreszközökkel való kutatásával, akár egy kisbolygó múltbeli, vagy feltételezett jövőbeli földi „látogatásával" is foglalkozhatnak. Lehetett dolgozatot írni, de a szabadon választható feladatok közt szerepelt grafika, poszter készítése, tervezési munka, valamint egy kérdéssor megválaszolása is.

A pályamunkák beadási határideje 2012. február 15. volt. A pályázaton külön kategóriákban 11–14 évesek, illetve 15–18 évesek indulhatnak. Az „Informatika a Látássérültekért" Alapítvánnyal együttműködve most is vártuk a vak és gyengénlátó diákok pályamunkáit.

A beérkezett pályamunkák értékelése áprilisig megtörtént. Május 31-én tartottuk diákpályázatunk ünnepélyes eredményhirdetését a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) V2 épületében, amelyre a pályázóink mellett felkészítő tanáraikat és kísérőiket is vártuk. A program egy félórás előadással kezdődött, ezen a BME hallgatója, *Zábori Balázs* beszélt a tavalyi CoCoRAD kísérletükről, amelynek során az ESA magaslégköri ballonját használták.

Ezután következett a díjátadó. A díjakat *Solymosi János,* a MANT elnöke és *Bacsárdi László*, a MANT főtitkára adta át. A nyertesek könyvjutalmakat kaptak, továbbá egy meghívást egy űrkutatással foglalkozó intézményhez (az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpontjába), amelyet októberben látogathattak meg a MANT szervezésében. A diákpályázat középiskolás kategóriájának első két helyezettje térítésmentesen, a harmadik helyezett fél áron vehet részt az idei űrtáborban. A meg nem jelent diákok nyereményeit postán juttatjuk el a címükre.

Az eredményhirdetést követően a jelenlévők a Masat-1 műegyetemi műhold földi állomását tekinthették meg, *Czifra Dávid* vezetésével.

A pályázat eredménye:

11–14 éves korcsoport

1. hely: *Gucsik Bence* (Hunyadi János Általános Iskola, Sopron; felkészítő: Nádudvari András)
2. hely: *Bihari Róbert* (Sárberki Általános Iskola telephelye Móra Ferenc Általános Iskola, Tatabánya; felkészítő: Rákász Mihály)
és *Tatai-Szűcs Viktor* (Sárberki Általános Iskola telephelye Móra Ferenc Általános Iskola, Tatabánya; felkészítő: Rákász Mihály)
3. hely: *Kovács János* (Széchenyi István Gimnázium, Dunaújváros; felkészítő: Zloch Istvánné)

15–18 éves korcsoport

1. hely: *Bánlaki Eszter* (Patrona Hungariae Gimnázium, Budapest; felkészítő: Oláh Gábor)
2. hely: *Kiss Viktor* (Széchenyi István Gimnázium, Dunaújváros; felkészítő: Zloch Istvánné)
3. hely: *Lovász Dorottya* (Európa 2000 Középiskola, Budapest; felkészítő: Zombori Judit)

Látássérült kategória

1. hely: *Fürész Blanka* (Kőbányai Szent László Gimnázium, Budapest; felkészítő Sárkány Péter)
2. hely: *Mohácsi András* (Garay János Gimnázium, Szekszárd; felkészítő: Dombainé Szabó Mária)
3. hely: *Berki Benedek* (Teleki Blanka Gimnázium, Székesfehérvár)

Tanári elismerő oklevélben részesült *Kiss Dorottya, Rákász Mihály* és *Zloch Istvánné*. A pályamunkákat elbíráló idei zsűri tagjainak névsora: *Bérczi Szaniszló, Both Előd, Frey Sándor, Illés Erzsébet, Kelemen János, Kocsis Gábor, Sik András*. Díjazottainkat a Kutatási és Technológiai Innovációs Alap támogatásával megvalósult, „A Magyar Asztronautikai Társaság űrkutatási ismeretterjesztő és oktatási tevékenysége" című, 2010.03.01.–2012.06.30. közötti futamidejű projekt keretében jutalmaztuk.

Tisztújító közgyűlés

Társaságunk idei rendes közgyűlését 2012. május 31-én 14 órára hívta össze az Elnökség. Mivel választott tisztségviselőink három évre szóló mandátuma idén lejárt, ezen a közgyűlésen a tisztújítás is napirenden volt. A rendezvényt Budapesten, az Eötvös Loránd Tudományegyetem (ELTE) Természettudományi Karának lágymányosi északi épülettömbjében tartottuk. A rendezvényt levezető *Solymosi János* elnök elsőként megállapította, hogy a közgyűlés nem határozatképes. A meghívóban is jelzett 14:30-kor az újra összehívott közgyűlés már a megjelentek létszámától függetlenül is határozatképes volt. A napirendi pontok tárgyalása előtt meghallgattuk *Tari Fruzsina* előadását, aki az űrjog nemzetközi jogi és magánjogi vonatkozásairól, a téma újdonságairól beszélt, egyúttal megemlékezve a nemrég elhunyt *Gál Gyuláról* is.

Sor került a MANT idei díjainak átadására. Az Elnökség korábbi határozata értelmében a Magyar Asztronautikai Társaságért oklevelet *Zombori Ottó* kapta, az űrtáborok szervezésében és vezetésében végzett áldozatos munkájáért. Nagy Ernő-díjban részesült *Hirn Attila* az űrkutatásban végzett szakmai tevékenysége és eredményei, emberi értékei és a MANT-ban végzett társadalmi munkája elismeréseképpen. A magyar űrkutatás érdekében végzett műhelyalkotó tevékenységéért Fonó Albert-díjat kapott *Gschwindt András* egyetemi adjunktus, a BME Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszéken működő Űrkutató csoport vezetője.

A közgyűlés meghallgatta és elfogadta a 2011. évről szóló elnöki és főtitkári beszámolót, a gazdasági beszámolót, a közhasznúsági jelentést és az Ellenőrző Bizottság jelentését is. A közgyűlés határozatban fejezte ki köszönetét minden tagtársunknak, akik a 2011-es esztendőben valamint az elmúlt hónapokban munkájukkal illetve támogatásukkal segítettek a MANT nehéz anyagi helyzetének megoldásában. Elismerést kapott a MANT leköszönő vezetése is a 2011-es esztendőben végzett munkájáért.

Több fordulós, titkos szavazás során megválasztottuk a MANT tisztségviselőit a 2012. június 1-jén kezdődő következő hároméves ciklusra. Az elnök ismét *Solymosi János*, a főtitkár *Bacsárdi László* lett. Alelnökök: *Bérczi Szaniszló, Both Előd, Horváth András*. Főtitkárhelyettesek: *Frey Sándor, Kocsis Gábor, Sik András*. Az Elnökség választott tagjai: *Apáthy István, Gödör Éva, Hirn Attila, Horvai Ferenc, Kereszturi Ákos, Orgel Csilla, Tari Fruzsina, Trupka Zoltán, Vizi Pál Gábor, Zombori Ottó*. Az Ellenőrző Bizottság tagjai: *Mihálka György* (elnök), *Kovács Zsuzsanna, Tátrallyay Mariella*.

A megjelentek megvitatták és elfogadták a Társaság 2012-es évi költségvetésének tervezetét. Határoztak arról, hogy a MANT a „Magyar Űrkutatásért" Alapítvány alapítójaként kezdeményezi az Alapítványnak a Nagy Károly Csillagászati Közhasznú Alapítványhoz történő csatlakozását.

Űrtábor 2012 – Kecskemét

A MANT 1994 óta rendezi meg nyári űrtáborát az űrkutatás iránt érdeklődő fiataloknak. Az egy héten át tartó bentlakásos tábor során a Magyarország területéről és határainkon túlról is érkező résztvevők megismerkedhetnek egymással, találkozhatnak magyar űrkutatókkal, bővíthetik az űrtevékenységgel kapcsolatos ismereteiket, és különleges programokon vehetnek részt. A táborba általában 13–20 éves fiatalok jelentkezését várjuk.

2012-ben július 1–7. között zajlott a MANT űrtábora Kecskeméten. A „bázis" a Táncsics Mihály Középiskolai Kollégium volt. Összesen 13 fiú és 8 lány vett részt a táborban. Az odautazást követő első napon *Mák Kornél* alpolgármester fogadta az űrtáborozókat a kecskeméti Városháza dísztermében. A programban volt Naprendszer-séta, esti csillagászati észlelés a Kecskeméti Planetáriumban, Nap-észlelés a Főiskolán, rendhagyó csillagászatóra. A szakmai előadások során szó esett a Naprendszer érdekességeiről, a Nap űrszondás kutatásáról, a Mars legújabb látogatójáról, az akkor még csak úton levő Curiosity roverről, műholdépítésről, az űreszközökkel való kommunikációról. Az első magyar műhold, a Masat-1 készítői is ellátogattak az űrtáborba, és megismertették a diákokat munkájukkal. Esti kerekasztal-beszélgetés témája volt például kozmikus társkeresésünk. Az egyik napon a táborozók felkerekedtek, hogy meglátogassák a Kecskeméti Repülőteret, valamint a Lakitelki Népfőiskolát, ahol *Lezsák Sándor*, az Országgyűlés alelnöke is köszöntötte őket. A programban szerepelt a kecskeméti Repülőorvosi Egészségvizsgáló és Kutató Intézet meglátogatása is. Természetesen idén sem maradt el az űrtábor teljes időtartamát kitöltő csapatverseny.

Az űrtábor idén sem csak a táborlakóknak szólt! A programokkal párhuzamosan három, a nagyközönségnek szóló, ingyenesen látogatható nyilvános esti előadásra is sor került, amelyeknek a Kecskeméti Planetárium adott otthont.

Köszönjük *Szijártó Sándor*nak és *E. Kovács Zoltán*nak a szervezésben nyújtott segítséget, valamint *Almár Iván, Illés Erzsébet, Sik András, Czifra Dávid, Dudás Levente, Várhegyi Zsolt, Horváth Márk, Kővágó Csaba, Sándor Ferenc, Zábori Balázs* és *Opitz Andrea* előadóknak a szakmai programokat. Köszönjük továbbá *Haluska Judit*nak, *Sipos András*nak és *Varga László*nak a korábbi évek űrtáborozói számára meghirdetett alumni találkozón való részvételt. A tábor vezetője *Zombori Ottó* volt, segítői *Sándor Karola, Bacsárdi László, Both Előd, Solymosi János* és *Tóth András*.

A MANT a Jövő Hídja tudománynépszerűsítő rendezvényen

Szeptember 22-én reggeltől estig fogadtuk az érdeklődőket a Gresham-palota tövében, a Lánchíd pesti hídfőjénél. A pakolás, rendezkedés nem sokkal reggel 7 után indult. Délelőtt 10-től kezdtek érkezni a látogatók, s a program hivatalosan egészen este 10 óráig tartott. Ahogy tavaly a *Tudományok Hídján*, idén is több ezren fordultak meg a MANT sátránál. Folyamatosan jöttek idősek és fiatalok, egyedül vagy családosan, baráti társaságban. Az előző évi tapasztalatokból okulva még nagyobb erőkkel készültünk az eseményre, ami előrelátó döntésnek bizonyult.

Az űrkutatás iránt érdeklődőknek számos elfoglaltságot, játékot kínáltunk. A kisebb (és a koruk szerint már felnőtt) gyerekek szétszabdalt űrfelvételek darabjaiból rakhatták ki újra a teljes képeket. Volt városfelismerő játék műholdképek alapján, a nagyobb kihívásra is vállalkozók pedig kitölthették a 13+1 kérdésből álló bolygótudományi kvízt, amit a helyszínen kiértékeltünk, a válaszokat megbeszéltük. Minden látogató, aki megdolgozott érte, egy tombolajegyet kapott. Közöttük óránként ajándékokat sorsoltunk ki. A játékok alkalmat adtak arra, hogy beszélgessünk, bemutathassuk az űrtevékenységet és a MANT-ot. Mindenki, aki megfordult nálunk, vitt magával színes, az egyesületünket, valamint a diákpályázatot és az űrtábort népszerűsítő új szórólapunkból. A Jövő Hídjára elkészült a látványos MANT-os póló is. A legkisebbek ámulva figyelték, hogy mozognak az asztalon *Vizi Pál Gábor* intelligens minirobotjai.

Sokan megálltak sátrunk asztalainál, ahol hazai fejlesztésű, igazi űreszközökön működő berendezések földi példányai is ki voltak állítva. Testközelből, szakavatott bemutatással láthatták például a nevezetes Pille sugárdózismérő műszer egy példányát, vagy az európai Rosseta űrszonda leszálló egységének energia-ellátásáért felelős tápegységet. Ennek az eredetije már 2004 óta repül, és majd 2014 végén bizonyíthatja, hogy tökéletesen működik, a Csurjumov–Geraszimenko-üstökös magjára való leszálláskor. Az űrműszerekkel kapcsolatos kérdésekre főleg *Kocsis Gábor* és *Apáthy István* válaszolt. Az idő egy részében a háttérben a MANT-ot bemutató képeket vetítettünk.

Este 8-kor a Jövő Hídja nagyszínpadán *Sik András* tartott előadást „Curiosity: hat keréken a marsi élet nyomában” címmel. A Jövő Hídján való megjelenésünk szervezésének irányítását is ő végezte. Köszönettel tartozunk még a kiállítási sátrunk „főbérlőjének”, *A Földgömb az Expedíciós Kutatásért Alapítványnak*, amiért barátságosan megosztották velünk a helyet. Végezetül betűrendben felsoroljuk azoknak a nevét, akik a nap folyamán hosszabb-rövidebb ideig segítették a munkánkat a Jövő Hídján, és hozzájárultak ahhoz, hogy a MANT ismét sikeresen mutatkozzon be a nagyközönség előtt – új támogatókat, sőt új tagokat is szerezve: *Apáthy István, Bagi Andrea, Balázs Gergő, Frey Sándor, Kocsis Gábor, Orgel Csilla, Sik András, Spányi Péter, Tari Fruzsina, Trupka Zoltán, Vizi Pál Gábor.*

(*Frey Sándor)*

Marsha Ivins látogatása Budapesten

December 6-án *Marsha Ivins*, ötszörös amerikai űrhajós tartott élvezetes előadást a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen (BME). Az egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Karának egyik nagy előadóterme zsúfolásig megtelt érdeklődőkkel, főleg egyetemistákkal. A mérnök végzettségű Ivins, a NASA egykori űrhajósa, aki 1990 és 2001 között öt alkalommal repült valamelyik űrrepülőgép fedélzetén (STS-32 1990-ben, STS-46 1992-ben, STS-62 1994-ben, STS-81 1997-ben és STS-98 2001-ben), az Amerikai Egyesült Államok budapesti nagykövetsége vendégeként, a Kar és a MANT közös szervezésében tartott angol nyelvű előadást az emberes űrrepülésről. A közel egy órás, látványos képekkel és videókkal illusztrált előadása során Ivins röviden bemutatta az űrrepülés történetét. Beszélt a világűrben, súlytalanságban végzett munka, a mindennapi élet körülményeiről. Végül kitért az emberes űrrepülés bizonytalan jövőjére, és hitet tett a program folytatása mellett. A nagy sikert hozó előadás után néhány, a hallgatóságtól érkezett kérdés megválaszolására is maradt idő.

Ezt követően, ugyancsak a BME-n, Marsha Ivins zárt körben egy kötetlen beszélgetésen is részt vett, amelyet a MANT a Tudományos Újságírók Klubjával közösen szervezett. Itt újságírók, űrkutatási szakemberek és a MANT tagjai tehettek fel kérdéseket. Az eseményekről részletes beszámolókat és interjúkat közölt az Index és az Űrvilág hírportál, valamint a Népszabadság is.

Dr. Gál Gyula (1926–2012)

Nagy veszteség érte a MANT-ot: 2012. március 19-én hosszú, súlyos betegség után, 86 éves korában elhunyt egyesületünk tiszteletbeli tagja, a nemzetközi hírű világűrjogász, Dr. Gál Gyula. Hatalmas szakmai tekintélye, alapos tudása, segítőkészsége és jó kedélye révén egyesületünk mindenki által tisztelt és szeretett támasza volt.

Gál Gyula 1926-ban született Debrecenben. A Református Kollégium gimnáziumában érettségizett, majd 1948-ban a Debreceni Tudományegyetem Állam- és Jogtudományi Karán szerzett kitüntetéses diplomát. Mint a jog- és államtudományok doktora, előbb a nagykanizsai, majd a pécsi törvényszéken dolgozott. 1952-től a pécsi egyetemen tanársegéd, ahol részt vett a nemzetközi jogi tanszék oktatómunkájában.

1957-től a TERIMPEX külkereskedelmi vállalat jogtanácsosa. Külföldi bíróságok előtt képviselte a magyar érdekeket, és részt vett a magyar és a nemzetközi választott bíráskodásban. 1987-ben vezető jogtanácsosként vonult nyugdíjba. Közben megbízott előadóként oktatott az ELTE-n és a Külkereskedelmi Főiskolán.

Az asztronautika nemzetközi jogi kérdései már az első szputnyik felbocsátásától kezdve foglalkoztatták. Már 1960-ban megjelent „Légtér és Világűr" című tanulmánya a Jogtudományi Közlönyben. Alig négy évvel később, 1964-ben adták ki „Világűrjog" című monográfiáját, amely nemzetközi szinten is a téma egyik legelső összefoglalása. 1970-ben e könyve alapján lett az állam-és jogtudományok kandidátusa. E könyv bővített, angol nyelvű változata „Space Law" címmel 1969-ben az Egyesült Államokban is megjelent. Ez élete főműve, amelyre a szakirodalom mind a mai napig hivatkozik.

Közben bekapcsolódott a MANT jogelődje, a MTESZ Központi Asztronautikai Szakosztálya munkájába, ahol 1978-ban megalakítja és vezeti a Világűrjogi Bizottságot. Amikor 1986-ban megalakul a MANT, akkor az Ellenőrző Bizottság elnökévé választják – ezt a fontos tisztséget szinte élete végéig betöltötte.

Nemzetközi szereplése már az 1960-as években kezdődött a Nemzetközi Világűrjogi Intézet (IISL) kollokviumain. 1981-ben az IISL az igazgatóság tagjává, majd 1996-ban tiszteletbeli igazgatóvá választotta. 1984-től a Nemzetközi Asztronautikai Akadémia (IAA) levelező, 1987-től rendes tagja. Aktívan részt vett a nemzetközi asztronautikai kongresszusokon és az Interkozmosz jogi tárgyú értekezletein is.

Szerteágazó szakmai tevékenységéből kiemelhető aktív részvétele a légkör és a világűr elhatárolásával kapcsolatos évtizedes vitában, mint az „orbitális felfogás" egyik jelentős képviselője. Álláspontjának lényege, hogy az űrtevékenységet nem azzal kell definiálni, hogy milyen magasságban történik, hanem a tevékenység funkciója a döntő tényező. Ezt az álláspontot következetesen képviselte egész életében.

Nagyon fontos szerepet játszott életében a jövő nemzedék oktatása. Az ELTE jogászainak 1971-től pár év megszakítással húsz évig tanította a világűrjogot, 1988-tól docensként. 1996 és 2010 között ugyancsak docensként a Pázmány Péter Katolikus Egyetem Jogi Karán oktatott több száz hallgatót, akik rajongtak színes, érdekes előadásaiért.

Munkásságát a MANT Fonó Albert díjjal és plakettel, MTESZ díjjal, végül tiszteletbeli tagsággal ismerte el. 2005-ben megkapta a Magyar Köztársaság arany érdemkeresztjét. 85. születésnapjáról barátai külön ünnepi kötet kiadásával emlékeztek meg.

Gál Gyula halálhírére Tanja Masson Zwaan professzor, az IISL elnöke ezt írta: „Évtizedek óta ismertem Gál professzort és mindig csodálatos embernek, nagyszerű tanárnak és jó barátnak tartottam. Tanítványaim is nagyon szerettek találkozni vele és elbeszélgetni a világűrjog kérdéseiről."

Gál Gyula színes egyéniségére, felejthetetlen baráti gesztusaira és tanácsaira még sokáig emlékezni fognak barátai, tanítványai és ismerősei. Emlékét megőrizzük!

(Almár Iván)

Varga András (1936–2012)

Varga András 1936. szeptember 26-án született Szarvason. Érettségi után előbb Szegeden tanult kémikus szakon, majd 1958-tól a moszkvai Lomonoszov Állami Egyetem Fizika Karán, ahol 1964-ben végzett. Diplomamunkájának témája a kozmikus sugárzás volt. Ebben az évben került az MTA Központi Fizikai Kutatóintézetébe, ahol a Nagyenergiájú Főosztály Kozmikus Sugárzási Osztályán dolgozott Somogyi Antal vezetése alatt. 1980-tól a Kozmikus Fizikai Osztály vezetője lett, 1996-ban történt nyugdíjazásáig. Tudományos pályáját a kozmikus sugárzás földi megfigyelésére vonatkozó kutatásokkal kezdte, fontos résztvevője volt a nagyenergiájú kozmikus sugárzás által keltett kiterjedt légizáporok észleléseinek a bulgáriai Muszala hegységben, majd a kazahsztáni Tien San hegységben telepített berendezések segítségével. Ezek a mérések a galaktikus kozmikus sugárzás irányeloszlásának addigi legpontosabb meghatározását tették lehetővé, ennek alapján először sikerült kimutatni anizotrópiát a néhányszor 10 TeV energiájú sugárzásban, jelentős nemzetközi visszhangot keltve.

Az 1970-es és 80-as években közreműködött a magyar űrkutatás nemzetközi kapcsolatainak szervezésében az *Interkozmosz* program Kozmikus Fizikai Állandó Munkacsoportjának résztvevőjeként. 1980-tól nélkülözhetetlen szereplője lett a KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézetének részvételével folyó űrkutatási programoknak, a nemzetközi sikerek elérésének. Társkutató volt a Halley-üstököst első ízben közelről megfigyelő, a magyar űrkutatás legnagyobb sikerét jelentő VEGA, majd a Marsot kutató Fobosz programban, ahol orosztudása segítette a szovjet tudósokkal való jó kapcsolat kiépítésében. A Kozmikus Fizikai Osztály vezetőjeként önzetlenül segítette kollégáinak munkáját a kutatók számára gyakran terhes adminisztratív teendők átvállalásával, miközben teljes körű kutatói szabadságot biztosított nekik. 1997-től nyugdíjasként is támogatta kollégáit, precíz adminisztratív és szervező munkájával segítette a KFKI RMKI űrkutató fizikusait és mérnökeit, hogy sikeresen vehessenek részt ESA és NASA missziókban (SOHO, Cluster, Cassini, Rosetta).

A MANT tisztségviselőjeként, mint főtitkárhelyettes (1986–1994), főtitkár (1994–1999) és alelnök (1999–2003) kimagasló szerepet töltött be a MANT korszerű szervezeti formájának kialakításában és a munka új szervezeti keretek közötti elindításában. Kiemelkedő társadalmi munkáját 2006-ban MTESZ Díjjal ismerték el. 1984-ben kutatótársaival együtt KFKI Intézeti díjat kapott a kiterjedt légizáporok anizotrópiáját kimutató muszalai mérésekért. 1987-ben megosztott Jánossy-díjat kapott a VEGA programban elért eredményekért. A VEGA programban végzett tevékenységét 1988-ban Magyar–Szovjet Együttműködési Díjjal is elismerték. Kollégái és barátai még sokáig fognak emlékezni sajátos humorú, mindig segítőkész egyéniségére. *(Tátrallyay Mariella, Erdős Géza, Kecskeméty Károly)*

Varga András űrkutató-fizikus, a KFKI RMKI egykori munkatársa, egyesületünk történetének eddigi 26 évéből 17 évig volt a szűkebb vezetés egyik oszlopa: előbb főtitkárhelyettes, majd főtitkár, végül alelnök (1999-2003). A MANT megalakulásakor, 1986-ban már választás útján került az intézőbizottságba, mint a három főtitkárhelyettes egyike. Ezekben a mozgalmas, kihívásokkal teli években sokszorosan bizonyította, hogy rá mindig, minden körülmények között számítani lehet. Minden nagyképűségtől mentes, józan, kissé kesernyés stílusa gyakran segített az egyesületté alakulásból származó problémák megoldásában. Így azután nem volt meglepetés, hogy első két főtitkárunk távozása, illetve lemondása után 1994-ben őt választotta főtitkárrá a MANT közgyűlése.

Mint akkori elnök tanúsíthatom, hogy ő volt a legjobb választás. Következetesen képviselte a korábbi évtizedek, a „KASZ korszak" jó hagyományait, de mindig nyitott volt az új kezdeményezésekre is. Akkoriban például ilyenek voltak a nyári, ifjúsági űrtáborok, amelyek szervezésében, lebonyolításában mindig nagy szerepet vállalt. De a háttérből szervezte az Ionoszféra- és Magnetoszférafizikai szemináriumokat is, ahol egyszer-kétszer szerepelt is, főképp az őt szakmailag legjobban foglalkoztató űrkutatási területtel, a kozmikus sugárzással kapcsolatban. (Gyakran emlegette fiatalkori kalandjait egy a Szovjetunióban működő, magashegyi kozmikussugárzás-mérő állomáson.)

2000-ben megkapta a MANT legmagasabb kitüntetését, a Fonó Albert-díjat. Tapasztalataival kérőbb alelnökként segítette a MANT munkáját. Erre nagy szükség is volt a XXI. század elején, amikor a MANT kezdett már anyagilag lehetetlen helyzetbe kerülni, mert a régi megoldások már nem működtek. 2003 után nem vett részt aktívan a MANT tevékenységében, megrendült egészségi állapota miatt az utóbbi években már nem találkozhattunk. De az a 17 év, amíg folyamatosan részt vett a MANT vezetésében, és önfeláldozóan dolgozott egyesületünk érdekében, nem múlhat el nyomtalanul. Emlékét megőrizzük!

(Almár Iván)

Tartalomjegyzék

Előszó 3
Válogatás az űrkutatás 2012-es eseményeiből 4
Ballon technológiai platform fejlesztése a kozmikus sugárzás monitorozására az Európai Űrügynökség BEXUS programja keretében ... 24
BioDos – Egyetemi hallgatók asztrobiológiai kísérlete sztratoszférikus ballon platformon 31
A Mars jeges lejtőformáinak vizsgálata keringőegység-adatok térinformatikai integrálásával 36
Az űrlogisztika dimenzióváltása – előttünk az univerzum 47
Pozicionálás szenzorhálózatokkal egy naprendszerbeli égitesten 53
Csapadék mezők előállítása műholdas adatok felhasználásával, ezek vizsgálata Magyarország területére egy nemzetközi projekt keretében 61
A XXVIII. Ionoszféra- és Magnetoszférafizikai Szeminárium előadásaiból 67
Mi a baj a napfoltokkal? 68
Hosszú távú napfizikai adatsorok homogenitási problémái 72
Napfoltcsoportok fejlődése nagy felbontásban 77
A TRITEL-SURE űrdozimetriai kísérlet első mérési eredményei 82
A Föld plazmakörnyezetének kutatásában alkalmazott módszerek és műszerek 86
Szemelvények a felsőlégköri elektro-optikai emissziókkal kapcsolatos kutatások utóbbi eredményeiből 91
Telluráramok számítása az EURIGIC programban 96
A Magyar Asztronautikai Társaság 2012. évi tevékenysége – beszámolók 101
X. Ifjúsági Fórum 101
Kisbolygó-látogatások – diákpályázatunk eredménye 101
Tisztújító közgyűlés 103
Űrtábor 2012 – Kecskemét 104
A MANT a Jövő Hídja tudománynépszerűsítő rendezvényen 105
Marsha Ivins látogatása Budapesten 106
Dr. Gál Gyula (1926–2012) 107
Varga András (1936–2012) 108

Ha még nem tartozik tagjaink közé, csatlakozzon hozzánk!

A Magyar Asztronautikai Társaság (MANT) az űrkutatás iránt érdeklődők és az űrtevékenység valamely ágában dolgozó magyar szakemberek közössége. Társadalmi szervezetünk fő célja az űrkutatás és űrtevékenység valamennyi területéhez kapcsolódó szakszerű tudományos ismeretterjesztés, a hazai űrkutatók szakmai összefogásának segítése.

A MANT tevékenységéről, programjairól naprakész információval szolgál **internetes honlapunk**. Ugyanitt elérhetők hivatalos dokumentumaink, valamint kiadványaink archívuma és képgalériánk is:

www.mant.hu

Honlapunkon belépési nyilatkozatot is talál.

A MANT 2012-ben megjelent a népszerű Facebook internetes közösségi oldalon is. Legfrissebb híreink, felhívásaink itt is olvashatók:

www.facebook.com/MANTosok

Csatlakozzon követőinkhez, értesüljön első kézből újdonságainkról!

Az Amerikai Egyesült Államok budapesti nagykövetsége vendégeként, a BME Villamosmérnöki és Informatikai Kar és a MANT szervezésében tartott előadást, majd a MANT tagjaival és tudományos újságírókkal beszélgetett Marsha Ivins ötszörös amerikai űrhajós 2012. december 6-án.

A nagy érdeklődést kiváltó nyilvános események előtt Ivins találkozott az első magyar műhold, a Masat-1 fejlesztői csapatával is. A fenti képen Marsha Ivins (balra) a Masat-1 modelljét vizsgálja. Mellette Farkas Bertalan magyar űrhajós, a MANT tiszteleti tagja, Bacsárdi Lászó MANT főtitkár és Kovács Kálmán, a BME Egyesült Innovációs és Tudásközpont igazgatója, a MANT tiszteleti tagja.

(Fotó: BME)

A hátlapon: **2012-ben indítottuk az űrtevékenységet és a MANT-ot a fiatalok körében népszerűsítő honlapunkat, az *erdekel.mant.hu* címen.**

i ❤ űrkutatás

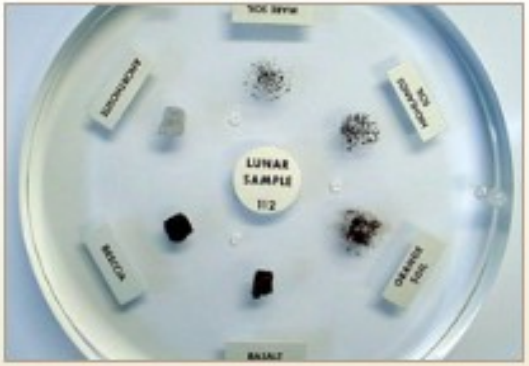
MANT.hu »

Űrtábor

Magyar Asztronautikai Társaság

Űrkutatási diákpályázat

A Hunveyor építése



NASA holdkőzetek

Meteoritek vizsgálata