

# A nemzetközi és hazai űrtevékenység fő területei

BOTH ELŐD

Magyar Űrkutatási Iroda  
both@hso.hu

**Kulcsszavak:** űrkutatás, űrtevékenység, Európai Űrügynökség, műholdak, Hubble-űrtávcső

*Az űrkutatás, vagy pontosabban űrtevékenység felettébb szerteágazó szakterület. A Híradástechnika mostani tematikus száma a hazai eredmények közül mutat be néhányat. Annak érdekében, hogy olvasóink ezeket a munkákat el tudják helyezni az űrtevékenység egészén belül, ez a cikk megpróbál valamivel átfogóbb képet adni a világ és Magyarország űrtevékenységéről. Teljességre azonban hiába is törekednénk, ez egyetlen cikken belül még Magyarországra szorítkozva is lehetetlen, nem is beszélve a szerte a világon ezen a területen folyó fejlesztésekről és alkalmazásokról.*

## 1. Technikai háttér

Az aktív űrkutatáshoz mindenekelőtt hordozórakétákra van szükség. Ezek kezdetben a katonai rakéták nagyobb teljesítményű változatai voltak. Az alapelv fél évszázad alatt mit sem változott, kémiai hajtóanyaggal működő rakéták biztosítják, hogy a hasznos teher elérje legalább az első kozmikus sebességet. Minőségi ugrást jelentett a többször felhasználható űrrepülőgépek kifejlesztése, azonban a Space Shuttle rendszer nem tudta a várakozásoknak megfelelő arányban csökkenteni a fajlagos költségeket, ezért néhány éven belül – csaknem három évtizedes sikeres működés után – kivonják őket a forgalomból. Történtek másfajta próbálkozások is a hagyományos rakéták kiváltására – repülőgépről indított rakéták, ionhajtóművek – ezek azonban eddig technikai korlátaik miatt nem tudtak elterjedni.

A sikeres űrtevékenységhez jelentős földi infrastruktúrára van szükség. Mindenek előtt a rakéták indítását lehetővé tevő űrközpontokra. A legjelentősebbek – Bajkonur, Pleszeck, Kennedy vagy Kourou – mellett egyre többet hallunk Tanegashimáról vagy Sriharikotáról, ám ma már tengeralattjáróról vagy átalakított, úszó tengeri fúrótoronyról is lehet rakétát indítani a világűrbe. A földi szegmens további fontos része az irányítóközpont, valamint az adatok vételét biztosító vevőállomás.

Az űrtevékenységhez számtalan különféle eszközt, műholdakat, űrhajókat, űrállomásokat, űrszondákat kellett kifejleszteni. Nem célunk ezek fogalmának pontos definiálása, inkább néhány olyan kihívást szeretnénk érzékeltetni, amelyekkel egyes speciális területeken a fejlesztőknek szembe kellett nézniük. Ritka kivételektől eltekintve a meghibásodott műholdakat nem lehet megjavítani, ezért maximális üzembiztonságra kell törekedni, ami különleges mérnöki megoldásokat igényel. Gondoskodni kell az űreszköz energiaellátásáról. A Szputnyik-1 még akkumulátorokat vitt magával. Ma a mesteres égitestek döntő többségét napelemekkel szerelik fel. Az űrcélokra kifejlesztett, hatékony napelemek számos földi alkalmazásra találtak, ha energiagondjaink

megoldását nem is ezektől várhatjuk, azért a villamos hálózattól távoli közösségek vagy berendezések gazdaságos áramellátásában egyre jelentősebb szerepet játszanak. A Naprendszer távoli vidékeire induló űrszondákat viszont radioaktív izotópok bomlási hőjét árammá alakító generátorokkal szerelik fel.

A nagy mennyiségű mérési adat, főként a képek hatékony Földre továbbítása új adattömörítési eljárások kidolgozására sarkallt. Mivel a világűrben a rendelkezésre álló energia mennyisége korlátozott, az űreszközök pályára állításának költsége pedig tömegükkel arányosan nő, ezek a feltételek ösztönzőleg hatottak az eszközök miniatürizálására. Különleges kihívást jelent a mérnökök számára az űrhajók, űrállomások fedélzetén az űrhajósok számára a megfelelő életfeltételek folyamatos biztosítása.

## 2. Tudományos kutatás

Sokan úgy hiszik, hogy az űrtevékenység fő haszonélvezője a tudományos kutatás, innen is ered sok nyelvben a kissé félrevezető „űrkutatás” kifejezés. A valóság az, hogy a meghatározó űrhatalmak csak költségvetésük kisebb hányadát fordítják tudományos kutatásra. Az Európai Űrügynökség esetében például ez az arány 11,6% (2006-os adat). Ha tárgyilagosak akarunk lenni, akkor ehhez hozzá kell számolni egyéb költségeket is, például a rakétafejlesztésekből a tudományos űrszondák feljuttatására eső hányadot, a költség aránya azonban így sem válik meghatározóvá. Tény viszont, hogy az Európai Űrügynökségen belül a tudományos programok bizonyos mértékig privilegizáltak, ugyanis az úgynevezett kötelező programok közé tartoznak, amelyek végrehajtásából egyetlen tagállam sem vonhatja ki magát (ellentétben az önkéntes programokkal, például a hordozórakéták fejlesztésével).

Mindamellet a tudományos kutatás rengeteget profitált az űrtevékenységből. Egyrészt a világűrbeli fizikai környezet sajátosságai miatt a Földön nem elérhető ku-

tatási feltételeket teremt, az alap- és alkalmazott kutatások egy része tehát magát a világűrt használja laboratóriumként. Ritkán a világűrt, mint vákuumot, gyakrabban magát az űreszköz fedélzetén uralkodó súlytalanságot, vagy néha a világűr sajátos sugárzási viszonyait.

Az ilyen jellegű kutatások roppant szerteágazóak, ezért meg sem kísérelünk áttekintést adni róluk. Csupán két fő területüket említjük meg, a fizikai és a humán mikrogravitációs kutatásokat (ahol a mikrogravitáció a tehetetlenségi pályán mozgó űreszközben uralkodó súlytalanság fontoskodva félrevezető, ám megváltoztathatatlanul elterjedt megnevezése). A fizikai kutatások az égés vizsgálatától az anyagtudományokig sokfélék, míg legalább ennyi alterületre oszlik a súlytalanság és a sugárzási környezet emberre, állatokra, növényekre, mikrobákra gyakorolt hatásának a vizsgálata.

A másik nagy terület magának a világűrnek, pontosabban az ott található objektumoknak a kutatása. Legkézenfekvőbb magának a Földnek, illetve bolygónk kozmikus környezetének a tanulmányozása. Talán nem meglepő, hogy az űrkutatás első jelentős tudományos eredményeinek egyike éppen a Földet körülvevő sugárzási övek, az úgynevezett van Allen-övek felfedezése volt. A kutatási eredmények a semleges felső légkörtől az ionoszféráig és a magnetoszféráig ugyancsak sokfélék.

Még fontosabb eredmények születtek a Naprendszer többi bolygójának vizsgálatában. Az űrtevékenység kezdetén ezek az égitestek jószerével apró fénypontok voltak az égen, amelyekről mozgásuk mechanikai jellemzőinél aligha lehetett sokkal többet tudni. Már a 60-as években elindultak az első űrszondák a bolygók felé. Munkájuknak köszönhetően új világok tárultak fel a maguk fizikai valóságában, olyannyira, hogy megszületett egy új tudományág, a geológia kozmikus léptékű kiterjesztésének tekinthető planetológia.

Több tucat űrszonda teljesített számtalan sikeres küldetést a Naprendszerben. A legtöbb szonda a Vénuszt és a Marsot kereste fel, ezután viszont meglepő módon a Naprendszer apró égitestjei, a különböző kisbolygók és üstökösök következnek. Mindamellet elmondható, hogy ma már nincs a Naprendszernek olyan bolygója, amely felé ne indult volna űrszonda (mindez akkor is igaz, ha egy szerencsétlen döntés folytán a bolygók száma időközben nyolcra csökkent). Űrszondáink leszálltak a Holdon kívül két bolygóra (a Vénuszra és a Marsra), sőt, a Szaturnusz egyik holdjára és egy kisbolygóra is. Több égitest körül keringenek már űrszondáink, a Mars felszínén pedig kerekeken gördülő robotlaboratóriumok végeznek évek óta méréseket.

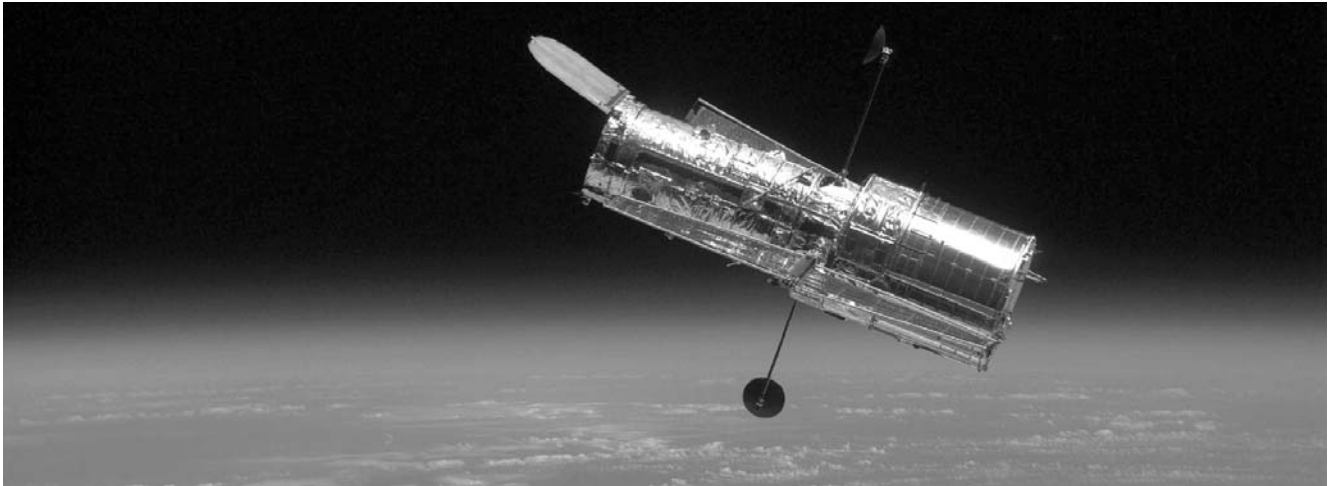
Mindaz, amit ma a Naprendszer égitestjeinek fizikai viszonyairól tudunk, az űreszközöknek köszönhető. A szilárd felszínnel rendelkező bolygókról és néhány holdról részletes térképeink vannak. A Mars egész felszínén néhány méteres részleteket tudunk megkülönböztetni, a leszállóhelyek környékén viszont milliméteres alakzatokat is megörökítettek a kamerák. A bolygón becsapódásos krátereket, ősi vízfolyások nyomait és óriási, kihunyt vulkánokat találtunk. A Jupiter egyik holdján

viszont ma is működnek a tűzhányók. Teljes részletességében tárult fel a Szaturnusz gyűrűrendszere, és az ismert holdak számának csak az szab határt, hogy milyen méret fölött tekintünk egy bolygó körül keringő kődarabot holdnak. A legemlékezetesebb küldetések közé tartozik a Marsra leszálló két Viking szonda a 70-es években, a következő évtizedben a Halley-üstököst megközelítő űrszondák, a 90-es években a Jupiter körül keringő Galileo szonda, végül évtizedünkben a Szaturnusz körül keringő Cassini űrszonda, és a Marsot vizsgáló több keringő és leszálló egység.

Fontos eredmények születtek a klasszikus értelemben vett csillagászatban is, elsősorban annak köszönhetően, hogy a csillagokat az űreszközök segítségével a teljes elektromágneses színekben lehet tanulmányozni. A röntgenégbolt a nagy energiájú jelenségek világát tárta fel, kiemelkedően fontosak a fekete lyukakkal kapcsolatos eredmények. Az infravörös tartományban a csillagok keletkezésére vonatkozóan születtek jelentős eredmények. A rejtélyes gammavillanásokat még a 60-as években katonai műholdak fedezték fel, magyarázatukra évtizedeket kellett várni. Fontos új eredmények születtek azonban az optikai csillagászatban is.

Az űreszközöknek köszönhetően megújult és a közeljövőben tovább fejlődik a csillagászat talán legklasszikusabb ága, az ókor óta művelt asztrómétra, vagyis pozíciós csillagászat. Hipparkhosz csillagkatalógusa mintegy ezer csillagot tartalmazott. Az Európai Űrügynökség (ESA) 2011-re tervezett, öt éven át tartó Gaia programja keretében a Tejútrendszer egymilliárdnál több csillagát tartalmazó katalógus fog készülni, amely természetesen nem csak a csillagok pozícióját, hanem a hőmérsékletükre, korukra és kémiai összetételükre vonatkozó adatokat is magában foglalja majd. Az égi pozíciókat 7 és 300 milliomod ívmásodperc közötti pontossággal mérik. A csillagok katalogizálásának melléktermékeként várhatóan 10 millió galaxis, 500 ezer kvazár, 50 ezer barna törpe, 1 millió kisbolygó és üstökös, valamint 30 ezer Naprendszeren kívüli bolygó (úgynevezett exobolygó – ilyenekből ma mintegy 200-at ismerünk!) adatait is rögzítik.

Ugyancsak az optikai tartományban dolgozik a csillagászati kutatásokat forradalmasító *Hubble-űrtávcső* (HST). Ezúttal, csupán példaként, megpróbálom izelítőt adni a HST legfontosabb tudományos eredményeiből. A HST minden korábbinál jóval messzebbre lát a Világegyetemben. Sikerült 12 milliárd fényévnél távolabbra nézni, vagyis a galaxisok kialakulásának nagyon korai szakasza vált láthatóvá. Így nem egészen egymilliárd évvel az ősrobbanás utáni állapotba tudunk bepillantani. Sikerült a korábbi messze felülmúló pontossággal megmérni a Világegyetem tágulását jellemző paramétert, a Hubble-állandót és ezen keresztül kiszámítani a Világegyetem korát, amely mai ismereteink szerint 13,6 milliárd év. Ezt a mérést az tette lehetővé, hogy a HST-vel távolabbi galaxisokban lehetett a pontos extragalaktikus távolságmérésben nélkülözhetetlen cefeida változócsillagokat felfedezni.



Minden kétséget kizáróan bebizonyosodott a csillagászok korábbi gyanúja, mely szerint a galaxisok közép-pontjában óriási fekete lyukak rejtőznek. A HST adatai alapján összefüggés látszik kirajzolódni a fekete lyukak tömege és az őket körülvevő galaxisok tulajdonságai között, ami támpontot adhat ezen fekete lyukak kialakulásának felderítéséhez. Legújabbban a Hubble-űrtávcső mérései alapján meghökkentő felfedezés született. Kiderült, hogy a várakozásokkal ellentétben a Világegyetem tágulása nem lassul – holott a gravitáció működése miatt ez látszana logikusnak, ezért eddig a csillagászok mindig csak arra voltak kíváncsiak, milyen ütemű a tágulás lassulása –, hanem gyorsul. Ehhez viszont valamilyen taszító hatás működésére van szükség. Ezt a közönséges anyagtól és energiától minőségileg különböző, úgynevezett sötét energiának tulajdonítják.

Az úgynevezett protoplanetáris korongok formájában sikerült születőfélben lévő bolygórendszereket megfigyelni. Látványos felvételek készültek csillagközi gázködökről, amelyekben ma is intenzíven folyik csillagok, egyesek körül pedig bolygók kialakulása. Sikerült továbbá a galaxisok közötti térben hosszú, egymástól távoli galaxisokat összekötő anyaghidakat megfigyelni és fontos felfedezés volt, amikor sikerült egyes gamma-kitöréseket optikai forrásokkal azonosítani. Ezzel bebizonyították, hogy a régóta a legrajtélyesebbek közé sorolt csillagászati jelenségek valóban kozmológiai távolságban játszódnak le, tehát valóban a Világegyetem legfényesebb felvillanásainak lehetünk szemtanúi.

Számos látványos felvétel került át a köztudatba, melyek hatással voltak a világról alkotott felfogásunkra. A Shoemaker-Levy-9 üstökös Jupiterbe csapódásáról készült részletes képek szemléletesen érzékeltették, hogy a hasonló kozmikus katasztrófák bennünket is utolérhetnek. A haldokló csillagok körül kialakult szebbnél szebb planetáris ködöket ábrázoló, lenyűgöző képek a Nap majdani sorsát vetítik elénk. Rendszeresen készültek a helyszínre küldött űrszondákét megközelítő minőségű képek a Naprendszer különböző bolygóiról. Végül, de nem utolsósorban szinte a HST jelképévé vált az egyik csillagközi gázködben található, „Teremtés oszlopainak” nevezett csillagkeletkezési helyről készült felvételsorozat.

### 3. Ember a világűrben

Az űrtevékenység másik látványos területe az emberes űrrepülés. Jelentőségéről, tudományos eredményeiről és azok elérésének hatékonyságáról, valamint a más területekhez képest aránytalanul nagy ráfordításokról és azok lehetséges megtérüléséről hosszan lehet vitázni. Ehelyütt azonban nem tesszük, inkább megállapítjuk, hogy az emberes űrrepülés eseményei azok, amelyek még ma is a sajtóban és a közvélemény figyelmében a legnagyobb teret kapják, aminek következtében az űrtevékenységet sokan tévesen az űrrepülés-sel, űrhajózással azonosítják.

Az emberes űrrepülések története csaknem egyidős az űrtevékenységével, hiszen három és fél évvel az első műhold indítása után már az első ember is feljutott a világűrbe. Azóta is Jurij Gagarin mondhatja magának minden idők legrövidebb űrrepülését, hiszen történelmi jelentőségű útja során mindössze egyszer kerülte meg a Földet.

Azóta mintegy 30 nemzet több mint 450 űrhajósa járt hosszabb-rövidebb ideig a világűrben (furcsa, hogy még az országok számát is nehéz pontosan megadni, de gondoljunk csak államok utóbbi fél évszázad alatt bekövetkezett jelentős átrendeződéséről, nem is beszélve a születési hely, állampolgárság, felbocsátó állam és haza fogalmainak bonyolult útvesztőjéről). Kétharmaduk amerikai, negyedük szovjet/orosz és csak a megmaradó kis részen osztozik az összes többi ország. Tény továbbá, hogy az űrhajósok sorában két hazánkfia is szerepel, bár a történelem és a technikai lehetőségek változásának következtében alapvetően eltérő konstrukcióban jutottak fel a világűrbe.

Az űrhajósok jó része többször is járt a világűrben, ami ésszerű lépés, hiszen így optimalizálható az űrhajósok kiképzésére fordított nem csekély összeg. Ketten hétszer, hatan pedig hatszor repültek, utóbbiak egyike az abszolút időtartamrekorder, aki hat repülése során több mint 800 napot, azaz bő két évet töltött súlytalanságban. Fontos megemlíteni, hogy mindeddig csak három államnak sikerült „önerőből” saját űrhajósát a világűrbe juttatnia, a Szovjetunióknak/Oroszországnak, az Egyesült Államoknak és Kínának. Az összes többi nem-

zet űrhajósa valamilyen nemzetközi program keretében hajtotta végre űrrepülését.

Az emberes űrrepülés csúcspontját vitathatatlanul a Hold meghódítása jelentette. Az Apollo-programban résztvevő űrhajósok ezerszer messzebbre távolodtak el a Földtől, mint a bolygónk körül, néhány száz kilométer magasban keringő űreszközök fedélzetén dolgozó társaik. Hat repülés során tizenketten a Holdra léphettek, a küldetések résztvevői csaknem 400 kg kőzetmintát hoztak a Földre, amelynek tudományos feldolgozása azóta is folyik. Bár az Apollo-program nem mondható tudományos indíttatásúnak, sokkal inkább a hidegháború és az akkori nagyhatalmak közötti kíméletlen verseny motiválta, mégis tudományos eredményei hozzájárultak a Hold belső szerkezetének és múltjának, ezen keresztül pedig az egész Naprendszer történetének alaposabb megismeréséhez. Mindez az emberes űrrepülések első évtizedében történt, azóta az emberekkel végrehajtott űrprogramok ismét a Föld körüli pályára szorítottak.



Itt a programok legjelentősebb vonása az űrállomások megjelenése. Évtizedünk meghatározó programja a Nemzetközi Űrállomás (ISS) építése. Bár a program a tervezetthez képest jelentős késésben van, érdemes hangsúlyozni valóban nemzetközi jellegét. Ez egyúttal napjaink űrkutatásának fő jellemzője is, a korábbi verseny helyére a rivalizálástól természetesen nem mentes együttműködés lépett, ami az ISS programot jelképes értékűvé teszi.

#### 4. Barátaink, a műholdak

Mint korábban említettük, a világ űrtevékenységében – cikkünkkel ellentétben – csak kisebb súllyal szerepel a tudományos kutatás. Melyek hát azok a területek, amelyek a mindennapi életben a legtöbbet adták és adják az emberiségnek? Nos, kétségtelenül az űrtevékenység roppant szerteágazó gyakorlati alkalmazásai. Cikkünk

terjedelme nem teszi lehetővé még a legfontosabb területek bemutatását sem, ezért csak néhány példát említünk.

Messze a legelterjedtebbek a távközlési műholdak. Ma már több száz dolgozik folyamatosan a Föld körül, praktikus okokból szinte kivétel nélkül a geoszinkron pályán (a 36 ezer km magasan az Egyenlítő fölött keringő műhold éppen együtt mozog a Földdel, így adásukat fix helyzetű antennával vehető). Egy részük az interkontinentális távközlési forgalmat bonyolítja le, de külön műholdcsalád gondoskodik a tengerhajózás távközlési igényeinek kielégítéséről. Mindamellett, az átlagember azonban inkább a közvetlen műsorszóró műholdak adásával találkozik. Ha működnek, tudomást sem veszünk róluk, ám valamelyik kiesése azonnal tévézők millióinak tűnne fel.

A távközléssel némileg rokon terület a műholdas navigáció. A rendszer néhány tucat műholdból áll, hogy a Föld bármely pontjáról nézve bármely pillanatban legalább három a látóhatár fölött tartózkodjék (az amerikai GPS már csaknem három évtizede működik, az Európai Unió most dolgozik saját műholdas navigációs rendszerre kiépítésén). A megfelelő vevőberendezés a műholdak adásait fogja, és azokból azonnal kiszámítja a vevő pontos földrajzi helyét. Teszi ezt néhányszor tíz méteres pontossággal, de (műholdas vagy földi) kiegészítő rendszerek alkalmazásával a pontosság néhány centiméterre növelhető. Ma már egyre több személyautónak is tartozéka az úti cél elérését nagyban megkönnyítő „GPS-vevő”. Az Európai Unió derűlátó becslése szerint 2020-ra a műholdas navigációs rendszereknek nem kevesebb, mint 3 milliárd felhasználója lesz, elsősorban annak köszönhetően, hogy addigra várhatóan a mobiltelefonokba beépül a navigációs vevő, aminek például a segélyhívások esetén óriási a jelentősége.

A műholdas navigáció évtizedek óta működő alkalmazása a Koszpasz-Sarsat rendszer. Jeladója nemcsak hajókra, repülőgépekre szerelhető fel, hanem túrázók is magukkal vihetik. Szerencsétlenség esetén elég bekapcsolni a jeladót, és a fölttte elrepülő, a rendszerhez tartozó műholdak azonosítják a segélykérő helyét és riasztják a mentőegységeket. A rendszer működésének kezdete, 1982 óta több, mint 5000 riasztás történt, melyek során a műholdas mentőrendszer mintegy 20 ezer ember életének a megmentéséhez nyújtott hatékony segítséget.

A mindennapjainkhoz legközelebb álló másik terület a meteorológia. Az időjárás műholdak felvételei jelentős mértékben hozzájárulnak az előrejelzések pontosabbá tételéhez. Az Európai Űrügynökség 1978 óta 9 Meteosat műholdat fejlesztett ki, amelyek geoszinkron pályáról félóránként készítenek felvételeket a Föld felőlük forduló féltekéjéről. Nemcsak a látható fény tartományában, hanem az infravörösben és a vízgőz hullámhosszain is. Emellett a közelmúltban állt pályára az első európai, alacsony pályán keringő időjárás műhold is, a MetOp-A.

Nemcsak meteorológiai céllal fényképezik azonban a műholdak a Földet. A részletesebb felvételek a térké-

pészettől a mezőgazdaságon át a várostervezésig számtalan területen hasznosíthatóak. A klasszikus távérzékelő műholdak képein a 70-es években 70, illetve 30 méteres részletek voltak megkülönböztethetők. Akkoriban az ennél részletgazdagabb képek szigorú katonai titoknak számítottak. Ma már kereskedelmi forgalomban kaphatóak az 1 méternél kisebb felbontású képek, sőt, ezek egy része az interneten bárki számára hozzáférhető. Olyannyira, hogy egyes országok már kifejezetten aggályosnak találják, hogy számukra stratégiai fontosságú területeik részletes képét bárki megnézheti a világhálón. A felbontás növekedésének azonban a légkör zavaró hatása gátat szab.

Nagy segítséget jelentenek az űrfelvételek természeti katasztrófák esetén, Bizonyos típusú katasztrófák (például hurrikánok) esetén megkönnyítik az előrejelzést és a mentést, míg más típusú katasztrófáknál a kárfelmérést könnyítik meg. Ennek tudható be, hogy az ENSZ III. Világűrkonferenciája (1999, Bécs) ajánlására létrejött egy nemzetközi egyezmény – a Disasters Charter –, amelyhez a távérzékelő műholdakkal rendelkező országok, szervezetek csatlakoztak. Vállalták, hogy természeti katasztrófák esetén térítésmentesen előfeldolgozott űrfelvételeket juttatnak a bajba jutott ország hatóságai részére.

Minden idők legkomplexebb környezetvédelmi műholdja, az ESA Envisatja immár öt éve működik. Naponta 280 GB adatot továbbít a Földre, amelyek jelenleg 1200 projekthez szolgáltatnak nyersanyagot. Az Envisatnak és az ESA radarműholdjainak köszönhetően megállapították, hogy a globális felmelegedés következtében 1992 óta évente 3 mm-rel emelkedik a tengerek vízszintje és 0,1 fokkal a felszíni hőmérsékletük. Folyamatosan és az egész bolygóra kiterjedően nyomon követik a légszennyezettség alakulását, azonosítják a legsúlyosabban szennyező góccokat. Naponta követik a sarkvidéki jégablák és jéghegyek mozgását, valamint az Antarktisz borító jég fogyását. Megfigyelik a sarkvidékek fölötti ózonlyuk kiterjedését, továbbá rendszeresen megállapítják az óceánokban a klorofill mennyiségét.

Az Európai Űrügynökség programjai között is jelentős szerepet kapnak az alkalmazások. Az ESA költségvetésének 14,3-át fordítja a Föld megfigyelésére, 19,0%-át pedig távközlési és navigációs programokra. Az Európai Unió űrprogramjának két fő pillére az önálló műholdas navigációs rendszer kifejlesztése (Galileo), illetve a műholdas távérzékelés környezeti és biztonsági alkalmazása (GMES).

Ugyanakkor az alkalmazások rendkívül fontosak a fejlődő országok számára. Közülük a legjelentősebb, világviszonylatban is tekintélyes űrprogramot India mondhatja magáénak, akik saját hordozórakétáikkal csaknem évente állítanak újabb műholdakat Föld körüli pályára. Ezek szinte kivétel nélkül az alkalmazásokat szolgálják, főként távérzékelő és távközlési műholdakról van szó. A kisebb fejlődő országok közül több bocsátott már fel saját műholdat, vagy tervez ilyent. Jónéhány fejlődő ország vezetői ismerték már fel, hogy az űrtevé-

kenység nem a kutatók öncélú kedvtelése, hanem az ország felzárkózását lehetővé tevő fontos ágazat. Nem véletlen, hogy az ENSZ Világűrbizottságának munkájában 69 nemzet vesz részt, közöttük sok fejlődő ország is.

## 5. Magyarország űrtevékenysége

A világ űrköltségvetése mintegy évi 50-60 milliárd dollárra becsülhető. Ennek harmadát az USA civil űrköltségvetése (lényegében a NASA tevékenysége) teszi ki, másik harmada az amerikai katonai űrköltségvetés, miközben a harmadik harmadot adja a világ összes többi országa együttevve. Az Európai Űrügynökség évente közel 3 milliárd eurót fordít űrtevékenységre. Emellett az ESA tagországai jelentős összeget fordítanak nemzeti – az ESA-tól független – űrprogramjaira.

De valóban jelentősek ezek az összegek? Mennyire megterhelő az európai adófizetők pénztárcájára az Ariane rakéták kifejlesztésétől az Envisat üzemeltetésén át a Mars Expressig vagy a Titánra leszálló Huygens szondáig ívelő, nagyszabású űrprogram? Az európai viszonylatban űrnagy hatalomnak számító Franciaország nemzeti jövedelmének alig több mint 1 ezrelékét fordítja űrkutatásra, ami a francia polgárnak évente körülbelül 40-50 euró kiadást jelent. Egy közepes színházjegy vagy egy szebb könyv ára. A németeknél az utóbbi szám 10 euró alatt marad, Ausztriában pedig 5 euró körül lehet. Három villamosjegy vagy három gombóc fagyalt ára Bécsben. És nálunk? A magyar űrköltségvetés 2-2,5 millió eurónak felel meg, ami fejenként és évente 20-25 centet jelent. Erőnket megfontoltan koncentrálnak azonban mégis sikerül néhány területen ott lennünk a világ élvonalában.

A hazai témapályázatokra fordítható keret az elmúlt tíz évben 200 millió Ft nagyságrendjébe esett. Maximumát 2004-2005-ben érte el (220 millió Ft), azóta nominálisan 27%-kal csökkent, jelenleg 160 millió Ft évente. Ebből általában 20-25 kutatóhely 35-45 pályázatát tudjuk támogatni.

Az ESA programokba (lásd később) befizetett magyar hozzájárulás döntő része (jellemzően 93%) a megkötött szerződések alapján visszajön a magyar kutatóhelyekhez, cégekhez. A PRODEX programhoz 1998-2003 között összesen mintegy 3,5 millió euró volt a magyar hozzájárulás, a PECS programba 2003 és 2007 között összesen 5,5 millió eurót fizettünk be. 2008-ban sikerült évi 1,0-1,15 milliós hozzájárulásunkat közel 2 millió euróra növelni.

Jelentős többletforrást biztosíthat a magyar űrkutatás számára az EU K+F Keretprogramjában való részvétel, ezen a területen azonban még nem sikerült a lehetőségeket maradéktalanul kihasználni. 2007-ben az FP7 első fordulójában 4 magyar intézet 4 pályázatával összesen 0,5 millió eurót szerzett (a pályázatok több éves lefutásúak). Magyarország 2009. január 1-jével csatlakozik az EUMETSAT európai műhold-meteorológiai szervezethez, ami újabb lehetőségeket teremthet a magyar űrpar számára.

A szakmai munka hagyományosan körülbelül 25-30 kutatóhelyen folyik, mintegy 200-250 szakember részvételével. A kutatóhelyek egy része MTA Intézetekhez, más része egyetemi tanszékekhez, illetve egyéb intézményekhez tartozik. Az 1990-es évek óta fokozatosan erősödik az űripar, 9-10 cég közvetlenül vesz részt a munkákban (PECS és hazai pályázatok), további 20-50 céget potenciális résztvevőnek tekinthetünk. 2007-ben megalakult az űripari cégeket tömörítő Magyar Űripari Klaszter. Kutatóink és mérnökeink sikerrel kapcsolódnak be az ESA programjaiba, noha még nem vagyunk az Európai Űrügynökség tagja, csak együttműködő állama – Csehország, Románia és Lengyelország társaságában. A teljes jogú tagság eléréséhez űrköltségvetésünk közel megtízszerezésére lenne szükség, vagyis legalább meg kellene közelítenünk a legkisebb nyugat-európai országok szintjét.

Nemzetközi kapcsolatainkat tekintve a magyar űrkutatás legfontosabb nemzetközi partnere az Európai Űrügynökség (ESA, European Space Agency). Az ESA 1991. áprilisban írt alá Magyarországgal általános együttműködési egyezményt. 1998 januárjában csatlakoztunk az ESA PRODEX programjához, amelynek keretében 5 év alatt 13 szerződés keretében 8 ESA programban vett részt mintegy 170 magyar szakember. 2003-ban csatlakoztunk az újonnan létrehozott PECS programhoz, amelynek keretében 5 év alatt 37 szerződést kötöttünk, elsősorban űrfizika, mikrogravitáció és földmegfigyelés témákban. Jelenleg folyik a PECS Egyezmény újabb 5 évre történő meghosszabbítása.

Célunk az ESA tagság, erre vonatkozóan először 1999-ben, majd 2007-ben kezdődtek hivatalos tárgyalások, egyelőre eredmény nélkül. Az eddigi magyar szakmai eredmények alapján az ESA készen áll Magyarország befogadására. Megfigyelőként részt vehetünk az ESA Miniszteri Tanács ülésein, valamint az ESA Nemzetközi Kapcsolatok Bizottsága munkájában. 2007-ben alakult meg az ESA PECS Bizottsága, amely a MŰI igazgatóját választotta első elnökévé. ESA kapcsolatait tekintve Magyarország úttörő szerepet játszott a térség országai között, elsőként kötöttünk általános együttműködési egyezményt, elsőként csatlakoztunk a PRODEX és a PECS programokhoz. A teljes jogú tagságot azonban nem Magyarország éri el elsőként, mivel Csehország várhatóan 2009. január 1-jével csatlakozik.

Hazánk az ENSZ Világűr-bizottsága (UN COPUOS) alapító tagja. A Bizottságban és két Albizottságában (Tudományos-Technikai és Jogi) a MŰI látja el a képviselői szerepét. 2006-2008 között a MŰI igazgatója a Világűr-bizottság első alelnöke.

## 6. Szakmai eredmények

A hazai szakmai munka fő területei a Föld a világűrből, az űrfizika, az űrélettan és a műholdas technika, technológia. Kiemelt jelentőségű az űrkutatási eredmények gyakorlati hasznosítása és a fedélzeti kísérletek építése.

Az EU űrtevékenységének három fő területe van, az űrpolitika, a GMES (műholdas távérzékelés a környezet és a biztonság szolgálatában) és a Galileo műholdas navigációs program. Kisebb részben űrfizikai kutatásokat is támogat az EU. A 2007-ben kezdődött FP7 K+F keretprogram első űrkutatási pályázatán különösen az űrfizikai területen szerepeltek jól a magyarok.

Az ESA tevékenységébe a következő területeken kapcsolódunk be: űrtudományok (18 PECS pályázat, 5 éves átlagban 48%-os részesedés a finanszírozásból), mikrogravitációs kutatások (14 pályázat, 37%), földmegfigyelés (2 pályázat, 7%) és űrtechnológia (3 pályázat, 8%). Nem veszünk részt az emberes űrrepülés és a hordozórakéta-fejlesztés programokban.

A 90-es évek közepéig mintegy 50 magyar berendezés és kisebb eszköz jutott a világűrbe különböző országok űreszközei fedélzetén. Az 1990-es évek közepe óta a sorozat folytatódott.

Több mint egy évtizedig azonban a Pille dózismérő volt az egyetlen, az űrben repülő magyar eszköz. 1995-96-ban az EuroMir kísérletben fél évig, 1997-ben a NASA Mir kísérletben 5 hónapig használták az orosz Mir űrállomáson. A NASA 2001-ben vitt fel egy Pillét a Nemzetközi Űrállomásra, amellyel 4 hónapig tudományos kísérleteket folytattak. Az oroszok 2003 nyarán a Zvezda modulba telepítettek egy Pillét, amelyik a szolgálati rendszer része, az űrhajósok folyamatosan ellenőrzik sugárterhelésüket, 2003 óta a műszerrel több mint 10 ezer mérést végeztek. Ezzel mért űrrepülése során Simonyi Károly is.

A KFKI AEKI orosz és ESA együttműködésben egyéb dozimetriai fedélzeti programokban is részt vett, így a Biopan-5 és -6 bioszputnyikokra sugármérő detektorokat készítettek, a Matriszka és a Bradoz-6 kísérletben az űrállomáson az űrhajóst érő sugárterhelést vizsgálták.

A KFKI RMKI, a KFKI AEKI és a BME SZHT részt vett az ESA Rosetta üstökös-kutató űrszonda elkészítésében (leszállóegység tápegysége, fedélzeti számítógépe és három tudományos műszer). A szonda 2005-ben indult, az üstökösöt 2014-ben éri el.

Az ELTE GT és a BL Electronics Kft. által készített SAS-2 műszer orosz-ukrán-magyar együttműködésben 2006-07-ben a Kompas-2 orosz tudományos műhold fedélzetén dolgozott. Ugyanez a két csoport, valamint a KFKI RMKI bekapcsolódott az ESA BepiColombo, a Merkúr-kutató, 2010 után induló űrszondája egyik műszerének építésébe. A két kutatóhely (ELTE GT és KFKI RMKI) két céggel együtt (BL Electronics Kft. és SGF Kft.) plazma-hullám kísérletet készít a Nemzetközi Űrállomás fedélzetére (Obszhanovka).

A KFKI RMKI földi ellenőrző berendezéseket és kalibráló rendszereket épített a NASA 1997-ben indított Cassini űrszondája két tudományos műszeréhez. A szonda 2004 óta vizsgálja a Szaturnuszt. A KFKI RMKI kutatói bekapcsolódtak az ESA Venus Express (2005-2009) és a NASA Stereo (2006-2008) küldetéseibe.

A hazai űrtevékenység másik súlyponti területe – a fedélzeti berendezések építése mellett – az űrtechnika

eredményeinek gyakorlati alkalmazása, hasznosítása. Ez a távközlés és a meteorológia területén mindennapos gyakorlat, ezért a hazai űrtevékenységben egyes meteorológiai K+F munkák támogatásán kívül nem jelentkezik.

Az 1990-es években a Földmérési és Távérzékelési Intézet (FÖMI) OMFB-FVM-MŰI támogatással végrehajtotta a nagyszabású termésbecslési és növénymonitoring programját. Ennek eredményeképpen 1996-2003 között operatív termés-előrejelző szolgáltatást nyújtottak az FVM-nek. A program „mellékterméke” az árvízi helyzet felmérése űrfelvételek alapján, amelyet több tiszai árvíz esetén bocsátottak az illetékes hatóságok rendelkezésére.

A 90-es években a FÖMI elvégezte az EU CORINE felszínborítási programjának részeként Magyarország teljes területére a felszínborítottság felmérését. Részt vettek a módszerek korszerűsítésében és 2003 óta a FÖMI TK irányítja az egész EU-ban a CORINE felújítási programot.

Az elmúlt évtizedben a műholdas technika alkalmazásának világviszonylatban legdinamikusabban fejlődő területe a műholdas navigáció volt. Hazánkban 1996-tól lépésenként kiépült a műholdas navigáció pontosságát fokozó permanens GPS állomások hálózata. 2002-től regionális együttműködésben elkezdett kiépülni az egységes követelmények szerint dolgozó EUPOS hálózat. Kívánatos lett volna a teljes hazai rendszer egy lépésben történő kiépítése, ami az IHM és MŰI támogatás ellenére sem sikerült. A FÖMI önerőből, kis lépésekkel folytatja a rendszer kiépítését, de az még nem teljesíti az egész országra az EUPOS normákat.

Jelentős sikert értünk el az EU 6. Keretprogramból finanszírozott SURE programban, amelynek célja, hogy a nem-ESA-tag, de EU-tag államok is lehetőséget kapjanak a Nemzetközi Űrállomáshoz kapcsolt európai Columbus űrmodulban történő kísérletek végrehajtására. Az ESA-hoz benyújtott 32 pályázat közül 9 érkezett Magyarországról. Az ESA a 11 legjobban szereplő pályázatban leírt kísérlet megvalósítását kívánja az EU 6. Keretprogramja terhére támogatni. A 11 nyertes pályázatból 4 magyar, s ezzel a magyarok szerepeltek a legjobban. A legjobb KKV és az űrfizika területén a legjobb minősítést szerzett pályázó egyaránt magyar: az Admatis Kft. Mindez számokkal ki nem fejezhető presztízs-növekedéshez vezethet a hazai űrkutatás nemzetközi, elsősorban ESA kapcsolatait tekintve.

A Miskolci Egyetemen világviszonylatban is jelentős, sokzónás kristályosító űrkemencét fejlesztettek ki a 90-es években. Eredetileg fedélzeti berendezésnek készült, a NASA több kísérletsorozatban is űrbeli használatra alkalmasnak nyilvánította, végül azonban egyoldalúan elállt ettől a szándékától. Földi alkalmazásokra azonban vásárolt a berendezésből. Az eszközt földi laboratóriumokban azóta is sikeresen használják.

Az ELTE-n 2001 óta korszerű műholdvevő üzemel, amely tudományos kutatási, oktatási és ismeretterjesztési célokat egyaránt sikerrel szolgál. Létesítését és működtetését a MŰI és az IHM anyagilag is támogatta.

Magyar egyetemisták két tudományos műszer és a műhold tápegységének elkészítésével részt vesznek az ESA irányításával épülő SSETI ESEO európai diák-műhold programban. Az ESEO indítása a tervek szerint legkésőbb 2011-ben várható.

Végül, de nem utolsósorban, a Magyar Űrkutatási Iroda igyekszik mindent megtenni a hazai űrtevékenység ismertségének és társadalmi elismertségének növelése érdekében. A hazai témapályázatok projektvezetőinek teljesítési feltételként előírtuk, hogy évente legalább két alkalommal népszerűsítő cikkben vagy sajtónyilatkozatban számoljanak be kutatásaikról. 1992 óta minden évben megrendezzük az Űrnapot, amely a hazai űrkutató szakma számára teremt beszámolási lehetőséget a szakma, a nagyközönség és különösen az egyetemisták számára. Fialat kutatók és egyetemisták számára 2000 óta évente Ifjúsági Fórumot rendezünk.

1992-től évente megjelent a Magyar Űrtevékenység évkönyv, két évente pedig a Space Activities in Hungary beszámoló kiadvány. A sorozat 2005-ben a MŰI beszüntült személyi kapacitása és korlátozott anyagi lehetőségei miatt megszakadt. 2003 óta üzemeltetjük a MŰI honlapját, amelyen folyamatos tájékoztatást adunk a hazai űrkutatás eseményeiről, eredményeiről.

2001-ben a MŰI anyagi támogatásával és szakmai irányításával jelent meg a Természet Világa Űrkutatás különszáma. Egy hasonló kiadvány előkészítése jelenleg is folyik. Nemzetközi együttműködésben 2006-ban megjelentettük az Iskolai Űratlasz magyar nyelvű változatát, 2007-ben pedig a Magyarországot bemutató kiemelt kötetét. Az Atlaszt földrajztanároknak adtuk ki véleményezésre.

A hazai űrtevékenység további eredményeire, eseményeire vonatkozóan ezúton ajánljuk az olvasó szíves figyelmébe a Magyar Űrkutatási Iroda honlapját ([www.hso.hu](http://www.hso.hu)), illetve „Űrtevékenység Magyarországon” című évkönyvét.

## A szerzőről

**Both Előd** fizikus, csillagász, 1997 óta a Magyar Űrkutatási Iroda igazgatója. Irányítja és koordinálja a hazai űrkutatási munkát, a magyar űrkutatás nemzetközi képviselését, valamint az Európai Űrügynökséggel fennálló kapcsolatokat. Jelenleg az ENSZ Világűrbizottságának (COPUOS) első alelnöke és az Európai Űrügynökség Európai Együttműködő Államok (PECS) Bizottságának elnöke. A Nemzetközi Asztronautikai Akadémia rendes tagja, a Természet Világa szerkesztőbizottságának tagja, a Magyar Asztronautikai Társaság alelnöke. Több mint 40 csillagászati, űrkutatási, földtudományi, fizikai, tudományelméleti, tudományfilozófiai könyvet fordított magyarra. Kiterjedt szóbeli és írásos ismeretterjesztő tevékenységet folytat, számtalan cikket írt és fordított különböző ismeretterjesztő folyóiratok számára.