

FÉL ÉVSZÁZAD A VILÁGŰRBEN

Both Előd

igazgató, Magyar Űrkutatási Iroda
both@hso.hu

1957. október 4-én az egykori Szovjetunióból földkörüli pályára állították a 83,6 kg tömegű, 58 cm átmérőjű, gömb alakú *Szputnyik–1*-et, a történelem első mesterséges holdját. Megkezdődött az *űrkorszak*. A műhold 220 és 940 km közötti magasságú, ellipszis alakú pályáján 92 napig keringett bolygónk körül, majd a sűrűbb léggrétegekben megsemmisült. Működési ideje alatt először mérte meg a kozmikus környezetünkben uralkodó nyomást és hőmérsékletet. Azóta több ezer társa követte a világűrbe. A kerek évforduló alkalmából érdemes visszapillantani arra, mit is adott az űrkorszak első fél évszázada az emberiségnek.

Cikkünket ünnepi megemlékezésnek szánjuk, ezért nem az adatokra helyezzük a hangsúlyt, ahol mégis szerepelnek számadatok, ott a tendenciák, nagyságrendek érzékeltetése a célunk. A pontos és részletekbe menő adatokat, statisztikákat az érdeklődők a szakirodalomban és az erre specializálódott honlapokon megtalálják – ha nem is mindig egyszerűen. Előre kell bocsátanunk azt is, hogy cikkünk terjedelmi korlátai miatt szó sem lehet arról, hogy teljességre törekedjünk. Inkább csak megpróbálunk felvillantani néhányat az elmúlt fél évszázad eredményeiből, eseményeiből. Még azt sem ígérhetjük, hogy a legfontosabb területeket vesszük számba, sokszor elkalandozunk a látványos területekre, tudva, hogy a fontos és a látványos eredmények sokszor nem esnek egybe.

Előtörténet

Az űrkorszak nem a semmiből született. Előzményeinek sokan a II. világháborús rakétatechnikai és egyéb katonai fejlesztéseket tartják, nem is teljesen alaptalanul. Ezek részletei helyett azonban itt illőbb megemlégni azoknak a nevére, akik munkássága nélkül aligha értünk volna el az űrkorszakba. A legismertebb közülük *Konstantyin Ciolkovszkij* (1857–1935), aki alapvető számításokat végzett a rakétarepülés elméleti megalapozása érdekében. Időrendben őt követi az amerikai *Robert Goddard* (1882–1945), aki folyékony hajtóanyagú rakétákkal sikeres kísérleteket hajtott végre. Az erdélyi születésű *Hermann Oberth* (1894–1989) ugyancsak elsősorban elméleti munkásságával került be az űrkutatás történetébe, de folyékony hajtóanyagú rakétákkal is kísérletezett. Végül, de nem utolsósorban meg kell említeni a már űrhajózási célokat szolgáló rakéták fejlesztésének két vezéregyéniségét, *Wernher von Braun*t (1912–1977), illetve *Szergej Koroljov*ot (1907–1966).

Technikai háttér

Az aktív űrkutatáshoz mindenekelőtt hordozórakétákra volt 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 el-

érje legalább az első kozmikus sebességet. Minőségi ugrást jelentett a többször felhasználható űrrepülőgépek kifejlesztése, ám 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. Történetek 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. Mindenekelőtt a rakéták indítását lehetővé tevő űrközpont-ra. 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 érintékelteni, 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 mesterséges égitestek döntő többségét napelemekkel szerelik fel. Az űrbeli használatra kifejlesztett, hatékony napelemek számos földi alkalmazásra találtak, ha energiagondjaink megoldását nem is ezek-

től 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 nagymennyiségű 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 miniaturizálására. Különleges kihívást jelent a mérnökök számára az űrhajók, űrállomások fedélzetén a megfelelő életfeltételek folyamatos biztosítása az űrhajósok számára.

Tudományos kutatás

Sokan úgy hiszik, hogy az űrtevékenység fő hasznélvezője a tudományos kutatás, innen is ered sok nyelvben a kissé félrevezető *űr*kutatás 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 ún. kötelező programok közé tartoznak, amelyek végrehajtásából egyetlen tagállam sem vonhatja ki magát (ellentétben az ún. önkéntes programokkal, például a hordozórakéták fejlesztésével). Mindamelllett a tudományos kutatás rengeteget

profitált az űrtevékenységből. Egyrészt a világűrbeli fizikai környezet sajátosságai miatt a Földön nem elérhető kutatási 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 rendkívül szerteágazóak, ezért meg sem kísérelünk áttekintést adni róluk. Csúpan 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 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 felsőléggörteől az ionoszféráig és a magnetoszféráig ugyancsak sokfélék.

Még fontosabb eredmények születtek a Naprendszer többi bolygójának vizsgálatában. Az űrtevékenység kezdetén ezek az égitestek jószerevel 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 égitestei, a különböző kisbolygók és üstökösök következtek. 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 felszínű 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 vízfolysók 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 kódarabot holdnak. A legemlékezetesebb küldetések közé tartozik a Marsra leszállt két Viking szonda a 70-es években, az azt követő 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 színképben lehet tanulmányozni. A röntgenégbolt a nagyenergiájú jelenségek világát tárta fel; 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 az optikai csillagászatban is.

Az űreszközöknek köszönhetően megújult és a közeljövőben tovább fejlődik a csillagászat talán legklasszikusabb ága, az ókor óta művelt asztrometria, vagyis pozíciós csillagászat. Hipparkhosz csillagkatalógusa mintegy ezer csillagot tartalmazott. Az Európai Űrügynökség (ESA) 2011-re tervezett, öt évig tartó Gaia-programja keretében a Tejútrendszer egymilliárdnál több csillagát tartalmazó katalógus fog készülni, amely természetesen nemcsak a csillagok pozícióját, hanem a hőmérsékletükre, korukra és kémiai összetételükre vonatkozó adatokat is tartalmaz majd. Az égi pozíciókat 7 és 300 milliomed ívmásodperc közötti pontossággal mérik. A csillagok katalogizálásának melléktermékeként várhatóan 10 millió galaxis, 500 ezer kvazár, 50 ezer bar-na törpe, 1 millió kisbolygó és üstökös, valamint 30 000 Naprendszeren kívüli bolygó (ún. exobolygó, ilyenekből ma mintegy kétszázat ismerünk!) adatait is rögzítik.

Ugyancsak az optikai tartományban dolgozik a csillagászati kutatásokat forradalma-

sító Hubble-űrtávcső (HST). Ehelyütt csupán példaként megpróbálok ízelítőt adni a HST legfontosabb tudományos eredményeiből. A HST minden korábbinál jóval meszebbre 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 tudtunk 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 középpontjában óriási fekete lyukak rejtőznek. A HST adatai alapján összefüggés látszik kifarjzolódni a fekete lyukak tömege és az őket körülvevő galaxisok tulajdonságai között, ami támpontot adhat ezen fekete lyukak kialakulásának felderítéséhez. Legújában a Hubble-űrtávcső mérései alapján meghökkenítő felfedezés születtek. Kiderült, hogy a várakozásokkal ellentétben a Világegyetem tágulása nem lassul – holott a gravitáció hatására 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 a csillagok és egyesek körül bolygók kialakulása. Sikerült továbbá a galaxisok közötti térben hosszú, egymástól távoli galaxisokat összekötő anyaghidakat megfigyelni. Ezek létezése jelentősen hozzájárul a Világegyetem eddig ismeretlen anyagához. További fontos felfedezés volt, amikor sikerült egyes gamma-kitöréseket optikai forrásokkal azonosítani. Ezzel bizonyították, hogy a régóta a legrejtélyesebbek közé sorolt csillagászati jelenségek valóban kozmológiai távolságban játszódnak le, tehát valóban a Világegyetem legfényesebb felvillanásainak lehetünk szemtanúi. Számos látványos felvétel került át a köztudatba, amelyek 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 eléink. 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, a *Téremtés oszlopainak* nevezett csillagkeletkezési helyről készült felvételek.

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 űrrepü-

lés eseményei azok, amelyek még ma is a sajátságban és a közvélemény figyelmében a legnagyobb teret kapják, aminek következtében sokan – tévesen – az űrtevékenységet az űrrepüléssel, 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 magáénak minden idők legrövidebb űrrepülését, hiszen történelmi jelentőségű útja során mindössze egyszer kerülte meg a Földet. Azóta mintegy harminc nemzet (ország) több mint négyszázötven űrhajója járt hosszabb-rövidebb ideig a világűrben (furcsa, hogy még az államok számát is nehéz pontosan megadni, de gondoljunk csak az államok utóbbi fél évszázad alatt bekövetkezett jelentős átrendeződésére, nem is beszélve a születési hely, állampolgárság, felbocsátó állam és haza fogalmainak bonyolult útvesztőjére). 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 nyolcszáz napot, azaz bő két évet töltött súlytalanságban. Fontos megemlíteni, hogy mindeddig csak három államnak sikerült „önerőből” saját űrhajóst a világűrbe juttatnia, a Szovjetuniónak/Oroszországnak, az Egyesült Államoknak és Kínának. Az ös-

szes többi nemzet űrhajósa valamilyen nemzetközi program keretében hajtotta végre űrrepülését.

Az emberes űrrepülés csúcspontját vitathatatlanul a Hold meghódítása jelentette. Az Apollo-programban részt vevő 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 indítatásának, sokkal inkább a hidegháború és az akkori nagyhatalmak közötti kíméletlen verseny motiválta, 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.

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, így csak néhány példát említünk.

Messze a legerterjedtebbek 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 adásuk fix helyzetű antennával vehető). Egy részük az interkontinentális távközlési forgalmat bonyolítja le, de külön műholdcsalád gondoskodik a tengerhajózás távközlési igényeinek kielégítéséről. Mindamellet, az átlagember azonban inkább a közvetlen műsor-szóró műholdak adásával találkozik. Ha működnek, tudomást sem veszünk róluk, ám valamelyik kiesése azonnal tévénézők 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 rendszerének kiépítésén). A megfelelő vevőberendezés a műholdak adatait fogja, s 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 úticél elérését nagyban megkönnyítő GPS-vevő. Az Európai Unió derűlátó becslése szerint 2020-ra a műholdas navigációs rendszereknek nem kevesebb, mint hárommilliárd felhasználója lesz elsősorban annak kö-

szönhetően, 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 fölötté elrepülő, a rendszerhez tartozó műholdak azonosítják a segélykérő helyét, és riasztják a mentőegységeket. A rendszer működésének kezdete – 1982 – óta több mint ötezer riasztás történt, amelynek során a műholdas mentőrendszer mintegy húsz 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 kilenc Meteosat műholdat fejlesztett ki, melyek geoszinkron pályáról félóránként készítenek felvételeket a Föld feljükk forduló féltékéjéről. 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 térképészettől a mezőgazdaságon át a várostervezésig számtalan területen hasznosíthatóak. A klasszikus *távérzékelő műholdak* képein a 70-es években 70, illetve 30 méteres részletek voltak megkülönböztethetőek. Akkoriban az ennél részletgazdagabb képek szigorú katonai titoknak számítottak. Ma már kereskedelmi forgalomban kaphatóak az egy 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 katasztrófnál a kárfelmérést segítik elő. Ennek tudható be, hogy az ENSZ III. Világűrkonferenciája (1999, Bécs) ajánlására létrejött egy nemzetközi egyezmény (az ún. *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 *Envisat*-ja immár öt éve működik. Naponta 280 GB adatot továbbít a Földre, amelyek jelenleg 1200 projekthez szolgálnak 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, s az egész bolygóra kiterjedően nyomon követik a légszennyezettség alakulását, azonosítják a legsúlyosabban szennyező gócokat. Naponta követik a sarkvidéki jégtáblák és jéghegyek mozgását és az Antarktisz borító jég fogyását. Megfigyelik a sarkvidékek fölötti ózonlyuk kiterjedését és rendszeresen megállapítják az óceánokban a klorofill mennyiségét.

Az Európai Űrügynökség programjai között is jelentős szerepet kapnak az alkalmazá-

sok. Az ESA költségvetésének 14,3 %-át fordítja a Föld megfigyelésre, 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, 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. Jó néhány fejlődő ország vezetői ismerték már fel, hogy az űrtevékenység nem a kutatók öncélú kedvtelése, hanem az ország felzárkózását lehetővé tevő fontos ágazat. Nem véletlen, hogy az ENSZ Világűrbizottságának munkájában hatvanhét ország vesz részt, közöttük sok fejlődő ország is.

Magyar eredmények

A világ űrköltségvetése 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 a világ összes többi országa együttvéve adja. Az Európai Űrügynökség évente közel hárommilliárd eurót fordít űrtevékenységre. Emellett az ESA tagországai jelentős összeget fordítanak nemzeti – az ESA-tól független – űrprogramjaikra. De valóban jelentősek ezek az összegek? Mennyire megterhelő az európai adófizetők pénztárcájára az

Ariane rakéták kifejlesztésétől az Envisat űzemeltetésén át a *Mars Expressig* vagy a Titánra leszálló *Huygens* szondáig ívelő, nagyszabású űrprogram? Az európai viszonylatban űrnagyhatalomnak számító Franciaország nemzeti jövedelmének alig több mint egy ezrelékét fordítja űrkutatásra, ami a francia polgárnak évente kb. 40–50 euró kiadást jelent. Egy közepes színházjegy vagy egy szebb könyv ára. A németeknél ez a szám 10 euró alatt marad, Ausztriában pedig 5 euró körül lehet. Három villamosjegy vagy három gombóc fagyfalt ára Bécsben. És nálunk? A magyar űrköltségvetés mintegy 2 millió eurónak felel meg, ami fejenként és évente 20 centet jelent. Azaz talán 50 forintot. Ezért bizony sem villamosjegyet, sem fagyit nem vehetünk, még idehaza sem. Erőnket megfontoltan koncentrálni azonban mégis sikerül néhány területen ott lennünk a világ élvonalában.

Több mint két tucat kutatóhelyen (akadémiai intézeti részlegben, egyetemi tanszéken és más intézményben) és néhány magáncég-nél folyik a magyar űrtevékenység. Kutatóink és mérnökeink – mintegy háromezren – sikerrel kapcsolódnak be az ESA programjaiba, noha még nem vagyunk az Európai Űrügynökség tagja, csak ún. európai együttműködő állama – Csehország, Románia és Lengyelország társaságában. A teljes jogú tagság eléréséhez űrköltségvetésünk megtízszerezésére lenne szükség, vagyis legalább meg kellene közelítenünk a legkisebb nyugat-európai országok szintjét.

A sértődések elkerülése érdekében helyi szinten egyetlen közreműködő személy vagy intézmény és egyetlen program nevét sem említjük. Erre vonatkozóan azonban jó szívvel ajánljuk az olvasó figyelmébe a Magyar Űrkutatási Iroda honlapját (www.hso.hu), illetve *Űrtevékenység Magyarországon* című évkönyvét.

Mit hoz a jövő?

Egy ilyen kerek évfordulón illene előretekinteni a jövőbe is, legalább a következő fél évszázadra. Nehéz azonban jóslásokba bocsátkozni. Az első negyedszázad alapján a második negyedszázadra kivetített optimista várakozások aligha teljesültek, a fejlődés üteme vitathatatlannul lelassult. A hordozórakéták tekintetében nem remélhető a minőségi fejlődés, pedig erre nagy szükség lenne. Az űrrepülőgéphez fűzött nagy remények nem váltak be, a program hozott sikereket, ám most az amerikaiak mégis visszatérnek a hagyományos űrhajókhoz. Ugyancsak zásutacának tekinthető a Nemzetközi Űrállomás program, hiszen az amerikaiak legalábbis deklaráltan nem ebben az irányban látják a továbbfejlődés lehetőségét. Most a nagy ábránd egy kockázatos és drága, tudományosan nehezen indokolható marsutazás. Kifejlődőben van viszont az űrturizmus, amely merőben új szint hozhat az űrtevékenységbe. Tömegessé válásának esetleg csak a környezeti terhelés szabhat határt.

A tudományos programokban határozottan jobbak a kilátások. Készül a HST utóda, a James Webb-űrtávcső, és több más csillagá-

szati műholdat is terveznek. Töretlen lendülettel folyik a Naprendszer kutatása, a Mars folyamatos vizsgálata mellett a Merkúr, a Plútó és egy üstökös vizsgálata szerepel a már úton lévő szondák kutatási programjában, de a tervezőasztalokon újabb küldetések is formálódhatnak. Ezen a területen a fő akadály, hogy a döntéshozók mindig vonakodnak az alapkutatást szolgáló programok finanszírozásától. Kétségtelenül figyelembe kell venni, hogy milyen információk mekkora áron szerezhetőek be.

Ugyanakkor az alkalmazások területén lassú, de töretlen a fejlődés. A jól működő területeken (távérzékelés, távközlés, navigáció, meteorológia stb.) a műholdakat folyamatosan korszerűbbekre cserélik, újabb szolgáltatásokat vezetnek be, ám ezek nyilván kevésbé látványos előrelépések, mint mondjuk űrhajósok leszállása a Holdra vagy a Marsra. Egy nagyon optimista forgatókönyv szerint azonban még az utóbbira is sor kerülhet a következő fél évszázadban.

Kulcsszavak: *űreszköz, űrkorszak, űrkutatás, űrtevékenység, műholdas távközlés, távérzékelés, navigáció*

