

**Dr. Ferencz Csaba**  
egyetemi magántanár  
MTA (ELTE Geofizikai Tsz., Űrkutató Csoport)

## **Az űrtevékenység helyzete és trendje (1998)\***

**Összefoglalás:** A tanulmány a ma a világban folyó űrtevékenység helyzetét és a következő években várható változásait, a meglévő trendeket méri fel, leginkább a békés célú űrkutatásra és alkalmazásokra koncentrálva. A teljes világgazdaság és az egész civilizáció e különösen fontos tényezőjének szerepe a jövőben erősödni fog. Ezért a tanulmány röviden kitér a magyar űrtevékenység helyzetére és szükséges jövőjére is.

### **Tartalom**

Bevezető áttekintés

1. A kutatás

2. A civilizációt átszövő űrtevékenység

2.1 Az űrtevékenység szervezeti-működési szabályozása

2.2 Az űrtevékenység alapvető gazdasági tényező

2.3 Összegzés és a változás irányai

3. Űrhírközlés

3.1 A fő szolgáltatási területek rövid áttekintése

3.2 Az űrhírközlés integrálódása, összeintegrálódása más űrszolgáltatásokkal

3.3 Kitekintés

4. Helymeghatározás

5. Távérzékelés

5.1 A távérzékelés nemzetközi rendszere.

5.2 Hasznosítás, szolgáltatások

5.3 A távérzékelési technika

6. Egyebek

6.1 Katonai-védelmi alkalmazások

6.2 Űrállomások, űrbázisok

7. A magyar űrtevékenység helyzetéről

7.1 Előzmények

7.2 A jelenlegi irányítási-működési szabályozás

7.3 A szakmai helyzet

7.4 Problémák és teendők

8. Összegzés

A legfontosabb hivatkozások

A rövidítések jegyzéke

---

\* Az MTA Távközlési Rendszerek Bizottsága által megvitattott helyzetkép.

**Mottó:** „Csak az a vég, csak azt tudnám feledni!”

(Madách)

## Bevezető áttekintés

Eddigi tapasztalataink szerint évtizedenként egyszer mindenképpen indokolt űrkutatási helyzetképet készíteni. Egyben tanulságos is az eddig készült két előző helyzetképet [1, 2] is megnézni az újjal együtt, hiszen azok helytállósága és tévedései egyaránt informatívak a mai helyzet értékelésekor. Legáltalánosabb jellemzőként e visszatekintésből láthatjuk, hogy az egyes országok, kormányaik, parlamentjeik és társadalmuk megértési szintjétől függetlenül - ami különösen pl. az Egyesült Államok esetében figyelemre méltóan markáns - két évtizeddel ezelőtt az űrkutatás a földi civilizációt egyre mélyebben átfogó és átformáló, *lényeges* emberi tevékenységnek mutatkozott, amelynek civilizációnkba beépülése nemcsak sokoldalú és komplex, hanem megállíthatatlan is. Akkor már látszott, hogy e tendenciáktól elszakadás a társadalmi versenyképességet és fennmaradási készséget veszélyeztet. Egy évtizede ez már megvalósult állapot volt. Ugyanakkor kirajzolódott, hogy a „globális változások” globális válság jeleit mutatják, s ennek remélhető kezelésében, valamint a teljes civilizáció működtetésében az űrkutatás-űrtevékenység *meghatározó* tényező, amely nélkül nemcsak az emberiség általában nem létezhet a változó körülmények között, hanem az egyes országok sem képesek működni az űrtevékenység igénybevétele nélkül. Mára ez az előrejelzés már részben túlhaladott tény, azaz az űrtevékenység az elmúlt évtized második felére már lényegét tekintve megfelelt ezen előrejelzésnek. Ma a globális változások nyilvánvalóak, s egyértelműen súlyos globális válságra mutatnak. A „Földre zárt” társadalom e véges bolygón a saját maga által részben szükségszerűen, részben szükségtelenül keltett hatásaival megváltoztatta bolygónk működését, s ennek következményei - ma már több vonatkozásban jól mérhetően - egyre nagyobb zavarokat okoznak (pl. [3]). Ennek következtében súlyossá vált az ivóvízhiány, az éhínség, a sivatagosodás, az erdők pusztulása és pusztítása stb., de emellett már köznapi szinten is érezhetők a globális klíma egyelőre még kis változásának jelei, amik elsősorban a globális szabályozás zavarainak tipikus tünetei. Ugyanakkor *az űrtevékenység alapvető civilizációs tényezővé vált!* Az említett globális változásokra vonatkozó vizsgálatok döntő része csak űrtevékenység révén végezhető. De a korábbi ún. űrkutatási-alkalmazási területek mindegyike ma már űripari háttérrel rendelkezve alapvető vagy meghatározó szakmai és gazdasági tényezőként beépült civilizációnk korábbi tevékenységi területeibe, a legtöbb esetben mostanság vagy a közeli jövőben eluralja e területeket. Ide tartozik a hírközlés egésze, a helymeghatározás, földmérés és térképészet egésze, a Föld működésére és a társadalom működtetésére vonatkozó minden kutatás és alkalmazás (meteorológia, oceanológia, geológia, település-rendezés, államigazgatási és biztonsági, honvédelmi, határőrizeti, bűnüldözési területek, forgalomirányítás és automatizálás, mentés stb.). Az űrtevékenység nemcsak rutinná vált, hanem ma már gazdaságos és esetenként nagy nyereséget termelő tevékenység (ipar és szolgáltatás), amelynek minden esetben az össztársadalmi haszna (social benefit) nagy. A folyamat, amely az „elérhetetlen” kutatásával indult, rendkívüli sebességgel az egyes emberek mindennapi életét sokoldalúan átszövő és meghatározó, megszokottan jelenlévő „háttérre” alakította az űrrendszerek működését. Azonban azt is látni kell, hogy e tevékenységünk kutatási eredményei a Naprendszer működése megértésének részeként a Föld működése jobb

megértéséhez is vezettek. Ennek következtében ma világosabban látjuk, hogy a problémák súlyosbodási tempója igen nagy. Így nincs semmi garancia arra, hogy tudásunk és technológiánk fejlődése elegendő a problémák megoldásához, s a helyzetet súlyosbítja az emberi civilizáció egészének és egyes részeinek nagy tehetetlensége. Az űrtevékenység alkalmazása azonban arra is mutat példát, hogy rendkívül súlyos helyzet (éhinség) is kezelhető megfelelő kormányzati megértés, s társadalmi bizalom és rugalmasság esetén. A globális trend azonban mást mutat. - Összegezve azt mondhatjuk, hogy az űrkutatás az elmúlt időszakban a hősi korszakból professzionális és kiterjedt tevékenységgé alakult, amely jelenleg az egész civilizációt mélységében átszövő ipari-gazdasági tevékenységgé és komplex szolgáltatások rendszerévé alakul, megállíthatatlanul.

A mostani felmérés készítésekor változatlanul az látszik célravezetőnek, hogy a szakirodalom rendkívüli kiterjedtsége miatt a mai helyzet és a várható fejlődés bemutatását nem egészítjük ki e tanulmányban reprezentatív irodalmi hivatkozásokkal a szükséges lista kezelhetetlenül nagy méretei miatt. Egy-két szubjektív alapon fontosnak gondolt hivatkozást adunk csak meg. A helyzetkép és a konklúziók pedig természetesen az összeállító „szemével nézve” látszanak.

## 1. A kutatás

A kutatási tevékenység technikája a hetvenes évek közepére kialakult, s mintegy másfél évtizedig alapvető, „forradalmi” változás nem történt. A legutóbbi időszakot és a megvalósítási szakaszban lévő programokat áttekintve most érdemi rendeződési folyamatot lehet megfigyelni az űrkutatás technikai oldalán. Ehhez az utat a korábbi időszak műholdas és űreszközös (bolygóközi szondák, űrhajók-űrrepülőgépek, űrállomások stb.) technológiájának finomodása, valamint alapvetően új technológiai és üzemeltetési megoldások megjelenése nyitotta meg. Az említett folyamat eredményeként a kutatási technika az alábbi fő vonalak mentén rendeződik:

a) *Kis műholdak, kis űreszközök* gyors terjedése: A miniatürizálás gyors fejlődését e század második harmadában az űrkutatás kényszerítette ki, úgymond űrkutatási melléktermék volt. Ma már azonban a folyamat „önállósult”, gondoljunk csak a rendkívüli profitot termelő PC-piac követelményeire, s nagy tempóban folytatódik. Az űrkutatás és a védelmi K+F (kutatás és fejlesztés) ma is fontos tényező a miniatürizálás fejlődésében, de a többi mellett már ennél nem több. A miniatürizálás jelenlegi fokán, amelyet az elektronikus és elektromechanikus eszközök fogyasztásának a látványos csökkenése is kísér, az egy-egy célfeladat megoldásához szükséges műszerek össz tömege, -mérete és -fogyasztása lehetővé teszi, hogy kis méretű műholdakra telepítsük azokat. Ez mind árban, mind a kísérleti körülmények tisztaságának biztosításában előnyös. A mikroműholdak olcsók, pályára valamely nagy kutatási vagy szolgáltató űreszközt szállító rakéta „potyautasaként” felvihető, ami további megtakarítás. De egyben a kísérleti körülmények tisztasága is jobban biztosítható, hiszen egy célfeladat egymáshoz illeszkedő műszerei vannak csak a fedélzeten, így az adott frekvenciasávbeli zajmentesség, a speciális tájolási követelmények stb. kevesebb illeszkedési probléma megoldását kívánják meg. E folyamat természetesen az űrtevékenység egyéb területein is feltűnt, s a jövőben egyre inkább meghatározó lesz. Jellemző példaként egy ún. komplex kutató műhold ma 1-2 tonna tömegű, s ebből 10-30% a kutató műszer, a többi a kiszolgáló rendszer (tápellátás, telemetria, hőszabályozás, precíz tájoló és pályameghatározó rendszer stb.), a rendelkezésre álló elektromos (egyenáramú) összteljesítmény kW nagyságrendű. Azonos gyártó által előállított mikroműhold ugyanakkor 150-200 kg tömegű, amiből a kutató műszerek tömege

20-40%, s a rendelkezésre álló elektromos összteljesítmény 100 W nagyságrendű. „A kicsi szép” elv az űrkutatáson belül meghatározóvá válik! A következő években a műholdas kutatások területéről az űrkutatás más részeire (bolygókutatás stb.) is áttérjed.

b) *Speciális automata laboratóriumok* a Föld körül: Kevesebb szót érdemelnek, hiszen ez a korábban kialakult folyamatok egyik tartósan túlélő eleme. Az a) pontban bemutatott összehasonlításban szereplő komplex kutató műhold a ma jellemző méreteket mutatja. Azonban egy-egy komplex labor vagy obszervatórium akár nagyságrendekkel nagyobb is lehet. Gondoljunk példaként az úttörőnek tekinthető csillagászati misszióra, a Hubble űrteleszkópra. E nagyméretű rendszerek üzemeltetési módja azonban érdemben változni kezdett. A mai körülmények között ugyanis egy ennyire nagyméretű rendszer nemcsak nagyon precíz és sokoldalú automata laboratóriumnaként, észlelőhelyként működik, hanem értelemszerűen nagyon drága is. Ezért hosszú élettartamra kell tervezni. A hosszú élettartam alatt azonban közbenső karbantartás és az egyes egységek fejlettebbekre cserélése szükséges, ma már egyre inkább elengedhetetlen követelmény. Az űrrepülés technikai fejlődése pedig ehhez megnyitotta az utat. Ezért ez az üzemmód elterjed.

c) *Bolygóközi missziók*: E téren továbbra is a teljesen egyedi űreszköz kialakítás marad jellemző a közeli jövőben még. Ami különleges, e missziók időigénye, amiből részben több évtizedes javítás nélküli élettartam előírás adódik, részben pedig sajátos programszervezés. Az élettartam problémák kezelhetők voltak és a jövőben sem várható nehézség e téren. A szervezési sajátosság már nagyon élesen jelentkezik. A programokat ma már általában nem az a kutató-fejlesztő gárda fejezi be, mint amelyik elkezdte. Ugyanis a repülési idők a legtöbb mai és jövőbeli programban évtizedet, évtizedeket ölelnek fel. Ez az első megjelenése annak az elvben már régóta ismert problémának, hogy megmarad-e az emberiség érdeklődése egy-egy területen elegendően hosszú ideig változatlanul, azaz lesz-e aki befejezze az elkezdett programot.

d) A kutatásban továbbra is fontos részt jelentenek az egyre több szolgáltatási feladatot is ellátó *űrhajók, űrrepülőgépek, űrállomások*. A kutatás része marad továbbra is az ember űrben tartózkodása és munkavégzése lehetőségeinek vizsgálata és feltételeinek javítása. E technika érdemi fejlődése várható, az ember visszatér most már tartósan a Holdra és esedékes, hogy elhagyja a Föld térségét, években mérhető repülési idővel rövid látogatást tegyen a Marson. Nehezebb körülmények közé egyelőre az ember még nem mehet. Azonban a Föld tartós elhagyásának biológiai lehetősége ma sem biztosabb, mint korábban volt, s a problémák természetéből adódóan a korlátok nagyon erősnek látszanak. Azonban számos civilizációs problémát már az is kezelhetővé tesz, ha időszakos emberi felügyelet és karbantartás mellett minél több, energiát és nyersanyagot igénylő tevékenységet telepítünk ki az űrbe (a súlytalanságba) illetve a Hold és a Mars kisebb gravitációjú környezetébe, ahol a szükséges energia és nyersanyag előállítása nem a már túlterhelt földi környezetet terheli tovább. A technika részben már létezik, részben gyors tempóban fejlesztik.

A kutatás technikai háttere után térjünk át magára a kutatásra. A kutatási alaptevékenység továbbra is a Naprendszer kutatása, tulajdonságainak feltárása, létrejöttének és működésének megértése. Az elmúlt évtizedek alatt részletesebben megvizsgáltuk a Holdat, a Marsot; folyamatosan vizsgáltuk és vizsgáljuk a Napot, most már az ekliptika síkjára merőleges irányból is, mert sikerült e síkból kirepíteni űrszondákat; vizsgáltuk néhányszor illetve legalább egyszer az összes bolygót, a Plutó kivételével; sikeresen megkezdődött és folytatódik az üstökösök közvetlen, in situ vizsgálata; két Pioneer és két Voyager szonda közeledik a Naprendszer határához. Ismereteink a Naprendszer egészéről egyre részletesebbek, így a Föld működése és az életünk szempontjából oly fontos sajátosságai is egyre jobb összehasonlítási alapon vizsgálhatók. A következő időszakban a bolygók és a bolygóközi tér vizsgálata továbbra is a

nemzetközi űrkutatás fontos területe lesz. A Nap és a Föld-közi bolygóközi tér állapotának vizsgálata lassan szolgálattá alakul. Ezt a folyamatot erősíti, hogy ma már nagyon sok kutatási eredmény teszi nyilvánvalóvá biológiai és társadalmi-gazdasági(!) életünk soktényezős kapcsolódását a Nap, a bolygóközi tér, a Naprendszer állapotához. E kutatások fontossága egyre nyilvánvalóbb, bár az eredmények néhány űrkutató „nagyhatalom” kutatói és döntéshozói kivételével a többiek előtt egyelőre - meglepő módon - nem kellően ismertek.

Amint láttuk, a Naprendszer vizsgálatának is célja a földi élet természetének és feltételeinek minél jobb megértése. A bolygók összehasonlító elemzése fontos lépés volt a földi életről kialakuló teljesen új kép megszületésében, amelynek egyik első megfogalmazása volt az ún. GAIA-hipotézis. Mára világossá vált, hogy az élet feltételeit a Földön egy igen bonyolult és szabályozott óriás-rendszer, nevezzük bioszférának, tartja fenn. Az is világos, hogy a többi bolygón ilyen bonyolult rendszer nagy valószínűséggel nincs jelen, mint ahogy létező fejlett élet jeleit sehol sem találtuk a Naprendszeren belül, s az élet esetleges egyszerű nyomainak kutatása sem vezetett eddig eredményre. Viszont éppen a földi élet és feltételei meglétének ténye és megőrzésének elemi fontossága miatt az ilyen irányú ismeretek kiemelt jelentőségűek, s meghatározzák a kutatások további fő vonalait. Ma már valamivel többet tudunk a Nap-Föld-Naprendszer fizikai, kémiai és biológiai működéséről, „a bioszférában az élet ... túlélése misztériumáról” [4]. Tudjuk, hogy az élet feltételeit (az átlaghőmérsékletet, a légkör összetételét, az óceánok sótartalmát, az élet számára fontos elemek körforgását stb.) maga az élet tartja fenn bolygónkon, azaz a Föld szabályozott nagyrendszerként működik. Ebből következően pedig a szabályozásban pl. az ember tevékenysége következtében előálló zavarok alapvető gondokat okozhatnak. („A bioszférában az élet eredete ... misztériumáról” [4] továbbra is keveset tudunk, azonban a klasszikusnak nevezhető múlt századi-eszázadi tudományosnak nevezett elképzelések alapjai egyre kevésbé stabilak halmozódó ismereteink fényében.) Éppen ennek következtében nagy és hosszútávú program született, s marad is meg a jövőben is „Globális változások” („Global changes”) néven. Célja a Föld folyamatainak minél gyorsabb megismerése, s az ember tevékenysége önvészélyességének megértése, mértékének meghatározása. E nagy program nemcsak űreszközöket használ, de mind a műholdas-űrállomásos Föld-kutatás, mind a Naprendszer- és Nap-kutatás alapvető része. Ma még, éppen rövid, alig évtizedes előélete miatt e kutatás eredményei sok vonatkozásban rövid időre, archiv adatokat is használva egy-két évtizedre vonatkoznak, azaz a kutatás nem lezárt. Azonban az bizonyos, hogy az indikációk a Föld nagyon komoly szabályozottsági zavaraira utalnak. Ennek következtében 1987-ben Montrealban nemzetközi egyezményt írtak alá a magaslégtér ózon-réteg védelméről, majd 1992-ben Rio de Janeiroban a légkör javíthatatlan sérülései elkerülésére, 1997-ben Tokióban a globális felmelegedés megakadályozására. Azonban az egyezmények tartalmát ismereteinkkel összevetve láthatjuk, hogy e lépések a globális változások méretéhez és erősödése tempójához viszonyítva elégtelenek. A helyzet jobb megértését segíti, ha tudjuk, hogy ma már a nagypontosságú (katonai és civil) meteorológiai szolgálat fejlett országban [5] „földi és űr-időjárás” együttes vizsgálatából áll. A földi a szokásos (földi és műholdas) meteorológiai adatok elemzését jelenti, míg az űr-időjárás elemzése és előrejelzése alapvetően a Nap működésének elemzését és előrejelzését. Például a Nap aktivitása 11 éves ingadozása részeként a mostani ezredfordulón esedékes aktivitási maximum a szokottnál nagyobb várható, mind az elektromágneses hullámok tartományai-ban (röntgen, ultraibolya vagy rádió sugárzás), mind a nagy-, közepes- és kis-energiájú részecske-sugárzások terén, s ez befolyásolja az időjárást, a napi tényleges időjárás-előrejelzést is. Erre is gondolva több, mint érdekes, hogy az USA kormánya nemcsak a fenti egyezmények tartalmát akarta és akarja gyengíteni, hanem 1996-ban a Kongresszus megszüntette a globális időjárás-változásokkal foglalkozó vizsgálatok pénzügyi fedezetét, a katonai és civil kutatók tiltakozása ellenére. Így az USA ma ahhoz a néhány országhoz tartozik, ahol a

globális időjárás-változást úgymond hivatalosan nem kutatják [5]. Azonban mindez nem befolyásolja sem a globális változásokat, sem azt, hogy azok kutatása az űrkutatás jelenleg és a közeli jövőben legfontosabb része.

Folytatódnak a természettudományos kutatások műholdak és űrállomások segítségével a fentebb elmondottakon túlmenően is. Ennek egyik alapterülete az elektromágneses hullámok terjedése elméletének és mérhető jelenségei mérésének és analízisének gyors fejlődése [6, 7, 8] a „lopakodó” és SDI technológiákon túlmenően is, mind a Föld légköre, mind a bolygóközi tér és más bolygók légköre vizsgálata, mind az űrkutatás és űrtevékenység jobb kiszolgálása érdekében. Jellemző trend azon kutatások megléte és születése, amelyeknél jól látható, hogy sikeres kutatás eredményeként új űrtevékenységi szolgáltatás születik meg. Például a következő néhány év fontos kutatási iránya az említett elektromágneses hullámterjedési elméletet és gyakorlatot is felhasználva a Föld szeizmikus aktivitásának műholdas vizsgálata. Ha ez sikeres, akkor a meteorológiaival összemérhető fontosságú műholdas szolgálat válik belőle. Másik fontos és gyorsan erősödő kutatási irány az űrbeli gyártás- és anyagtechnológiai kutatás. A Nemzetközi Űrállomás működése ugrásszerű fejlődést hoz e téren. Mind a földi gyógyászat, mind az űrben tartózkodás egészségi és mikrotársadalmi (csoport) feltételeinek biztosítása növeli az orvosi és csoport-pszichológiai kutatások fontosságát. Ezen túlmenően megjelenik a mikrotársadalmak, tartósan együtt élni és dolgozni kényszerülő kisebb csoportok nemcsak pszichiátriai, hanem társadalomtudományi vizsgálata.

Az elmúlt évtizedben megkezdődött űrbéli csillagászat kiterjed a jövőben, s néhány évtized múltán a földi csillagászat visszafejlődését okozza majd több területen. A Hubble űrteleszkóp működtetése folytatódik, egyre jobb infravörös (a hő-infrát beleértve), röntgen és gamma sávban működő űrteleszkóp működik a jövőben a Föld légkörén kívül. A Holdra visszatérés e folyamatot erősíteni fogja. A csillagászat legnagyobb felbontású eljárása (illetve műszerrendszere) a rendkívül nagy (hosszú) bázisvonalú interferométer (Very Long Base Interferometry), a VLBI technika. A sikeres előkísérletek után ma már bizonyos, hogy a Föld méretét meghaladó bázisvonal megvalósítható, részben űrbeli (műholdon lévő) és földi rádióteleszkópok VLBI együttműködtetésével, részben két (több) űrbeli (műholdon illetve űrszondán, Holdon, Marson stb. lévő) rádióteleszkóp VLBI együttműködtetésével. Ez teljesen új ismeretek megszerzése előtt nyitja meg az utat. A csillagászat alapvetően új ismeretei az űrkutatásban születnek meg.

## **2. A civilizációt átszövő űrtevékenység**

Részben a Földön lezajlott változások, részben az űrkutatás és általános űrtevékenység feladatai és céljai léptékváltása, s felhalmozódott tapasztalatai következtében átalakul az egész űrtevékenység szervezési rendszere is. Azt mondhatjuk, hogy kikristályosodottnak tekinthető az űrtevékenység országokon belüli leghatékonyabb működtetési módja, s eközben felgyorsult és intézményesül a nemzetközi kooperáció, a globális és nagyobb regionális integrálódás. A szervezetről, szervezésről beszélve ezen túlmenően gondosan meg kell különböztetni a K+F területeket és a már önállóan működő piaci-alkalmazási területeket.

## *2.1 Az űrtevékenység szervezeti-működési szabályozása*

A K+F területek mind nemzeti, mind nemzetközi téren érdemi állami illetve nemzetközi szervezeti felügyelet mellett, állami illetve nemzetközi központi tevékenységként, állami-nemzetközi finanszírozással működnek. A nyereséges piaci-alkalmazási tevékenység és a szorosan ahhoz kapcsolódó K+F is a szokásos piaci körülmények között a szabad piacon megszokottól el nem térő szabályozás mellett és egyéb feltételek között folyik, egyre élesebb versenyben.

Az állami irányítás alatt folyó úgymond központi K+F űrtevékenység bevált irányítási szervezeti formája, ami ma a legtöbb országban a lényegét tekintve azonos, a következő: Közvetlenül az adott ország kormánya alá rendelve „űrügynökség” (NASA, RSA stb.), „űrhivatal” vagy „űriroda” működik elkülönített és a parlament által ellenőrzött költségvetéssel. Ez az intézmény koordinálja, irányítja az űrtevékenységet, pontosabban annak az adott ország költségvetése, központi K+F alapjai bázisán működő intézményeit, illetve az ott, ezen ügynökség-hivatal-iroda tudományos-technikai döntési fóruma által elfogadott programjait. Különösen nagy jelentőségű és nagy anyagi vonzatú programok esetén az adott parlament illetve az ezen tevékenységet is felügyelő parlamenti bizottság közvetlenül is megvitatja egy-egy program támogatását vagy továbbfolytatását. Az operatív kormányzati felügyelet módja változó. A leggyakoribb, hogy ezen intézmény közvetlenül a K+F területeket felügyelő kormánytaghoz rendelt, de jól működik a csak a parlamenti bizottságnak alárendeltség is. Nagyon lényeges, hogy semmiféle más szakterületi vagy tudományos alárendeltség nincs e téren, mert egyszerűen nem vált be, mindig működési zavarokat okozott.

A nemzetközi szervezeti irányításra ma (még csak) egyetlen működő példa van, az Európai Űr Ügynökség (European Space Agency), az ESA. - Az Interkozmosz alapvetően rossz szervezeti és gazdasági kialakítása következtében a '89-90-es társadalmi-politikai fordulatot nem élte túl, pedig semmiféle politikai szándék nem játszott közre a megszűnésében. Viszont mind az Interkozmosz egésze, mind az ún. nemzeti tanácsai, bizottságai nem feleltek meg a fentebb elmondottaknak, s így egyszerűen nem volt mód tovább működtetni. - Az ESA nem az Európai Unió (EU) része, azaz tagjai nemcsak EU tagok lehetnek, de mégis az integrálódó Európa közös űrügynöksége. Működését a tagországok (elsöprő többségben az EU tag-országai) megbízottaiból álló „miniszeri tanács” felügyeli. Működése gazdasági bázisát a tagok által befizetett pénzek (tagdíjak) adják, amely pénzek aztán az ESA programjai megvalósítása során megrendelések formájában visszafolynak az országok űripari és kutatási cégeihez, intézményeihez. Az ESA tudományos, technikai, innovációs vezető testületei önállóan működnek. Különösen jelentős, nagy anyagi kihatású stb. programok esetén a felügyelő miniszeri tanács vagy egy-egy tagország az adott program megvalósítása vagy elvetése ügyében természetesen érdemben szót emelhet. Igen fontos, hogy sem az ESA tagság, sem előfokozatai (Prodex, társult tagság) nem adnak lehetőséget arra, hogy az egyes nemzeti kormányok folyamatosan közvetlenül beavatkozzanak a programok megvalósításába és a pénzek felhasználásába. Ez az ESA jó működésének egyik legfontosabb biztosítója. (Az ezzel ellentétes működési mód volt az Interkozmosz elmúlásának egyik fontos oka.) Érdemes felfigyelni arra, hogy a nemzetközi és a nemzeti-országos jó szervezési mód az űrtevékenység esetében lényegét tekintve azonos. Várható, hogy a tényleges űrtevékenységet folytató, a jövőben megszülető regionális, esetleg már globális nemzetközi szervezetek hasonló intézményi formában működnek majd. Ahogyan pedig az általános integráció intézményrendszere egyre jobban kialakul, az űrtevékenység irányítása is egyre inkább hasonlít majd részleteiben is a mai bevált nemzeti-országos irányító intézmények működésére.

## 2.2 Az űrtevékenység alapvető gazdasági tényező

Az űrtevékenység gazdaságba integrálódása megtörtént. Ma már több területen az „űrszegmens” meghatározóvá, uralkodóvá válása zajlik. Megnőtt az űripari tevékenység jelentősége. Az űripar (műholdak és egyéb űreszközök gyártása, felbocsátása, üzemeltetése, űrrendszerrel végzett szolgáltatás stb.) a valamikori biztonsági-honvédelmi jellegét végleg elvesztette, s éles gazdasági verseny alakult ki e téren. Természetesen az űrtevékenységnek vannak fontos biztonsági, védelmi stb. területei, de az űrtevékenység önmagában sem nem honvédelem, sem nem alapkutatás, hanem a jelen és különösen a jövő meghatározó ipari-szolgáltatási versenyszférája. Ma már egy-egy űreszköz felvitele a világűrbe nem nemzeti-biztonsági ügy, hanem sokszereplős szolgáltatás. Már e téren is komoly ár- és garanciális verseny alakult ki, amelynek fő szereplői az USA (elsősorban a NASA), Oroszország (az RSA) és Ukrajna (az NSAU), az ESA(!), Kína és Japán. Mivel a szükséges startok száma, azaz a piaci igény megnőtt, s gyorsan nő tovább, nagy a verseny. Jellemző, hogy amerikai cégek műholdjai pályára szállítását nagyon sok esetben nem a NASA-tól, hanem pl. az ukránoktól rendelik meg. Ennek következtében rendkívül kiélezett verseny indult meg a start-költségek csökkentése terén. Ebben pedig a gazdaság természetéből adódóan nemcsak a tényleges technikai megoldások (a hordozórakéták, űrrepülőgépek stb. technikai színvonala és gazdaságossága) játszanak meghatározó szerepet, hanem a gyártás költségei, azaz a versenyző cégek gyártó bázisai országainak munkabér színvonala is. A magasabb életszínvonalú országok, országcsoportok e versenyben a közeli jövőben éppen a magas munkabérek következtében csak alapvetően új, megbízható és olcsó rakétagyártási eljárásokkal illetve szállítóeszköz konstrukciókkal képesek versenyben maradni. Előre tekintve látni kell, hogy az űripar munkás szinten is nagy felkészültséget és megbízhatóságot igényel. Éppen ezért várható, hogy az e téren dolgozók bére a ma alulfizetettek esetében is növekedni fog, éppen a mai olcsóságukkal megszerzett piaci pozícióik megőrzése érdekében. - Különösen érdekes a jövőt illetően is az ESA országaiban megfigyelhető fejlődés. A szállító eszközök, rakéták gyártása terén a fejlesztési és ipari integráció már régen megtörtént. A nagy és megbízható hordozórakéták gyártása ugyanis mind a fejlesztésben, mind a gyártásban, mind a szükséges befektetések biztosításában olyan nagy feladatot jelentett és jelent, amit a legnagyobb tagországok (Nagy-Britannia, Franciaország, Németország, Olaszország) sem tudtak egyedül megoldani. Ez volt éppen az ESA létrejöttének egyik legfontosabb mozgatórugója is. Azonban az egyéb űripari területeken eddig érdemi integráció nem zajlott le. Az egyéb űripari megrendelések nagy tételű megjelenése az ezekhez kapcsolódó szolgáltatások, elsősorban az űrhírközlés, robbanásszerű növekedése következtében felvetették azt a kérdést, hogy a világ űrpiacán az európai cégek meg tudnak-e maradni vagy elsohadják. A kérdés az, hogy vagy összeolvadnak, vagy meghalnak [9]. Ma ez a legélesebben az űrhírközlésben érdekelt gyártó cégek előtt merül fel, de a folyamat a maga teljes kegyetlenségében végigmegy az egész űriparon. Úgy fogalmazhatunk alkalmazási területtől függetlenül, hogy Európában sok kis űripari cég működik. A léptéket érzékeltetendő ilyen „kis” cég pl. a Matra-Marconi Space, az Aerospatiale vagy a Daimler-Benz Aerospace, amelyek egyesülése most folyik. Ahhoz, hogy hosszabb távon nyereségesen tudjanak működni, nemcsak központilag irányított és finanszírozott európai megrendeléseket kell elnyerniök, hanem Európán kívüli nagy megrendelőket megszerezni. Ehhez pedig el kell érni a 'kritikus tömeget', csak ekkor van remény arra, hogy elsősorban a nagy amerikai cégekkel a siker reális esélyével versenyezni lehessen a piacon. Ez az egyesülés azonban nemcsak az általános űripari tevékenység integrálását jelenti, hanem egyben a hordozórakéta-gyártás további összeolvadását is Európán belül, növelve e téren is az európaiak versenyképességét. A növekedés látványos, hiszen az 1989-es kb. 0,5 milliárd \$-os termelési érték 1996-ra meghaladta az 1 milliárd \$-t, s az egyesülés után az „új” cég Nagy-Britanniában, Franciaországban és Németországban kb. 8000 embert foglalkoztatva több, mint



2 milliárd \$-os termelést produkál. (Az összevethetőség érdekében az adatokat USA \$-ban adom meg.) Fontos tényező, hogy addig, amíg a rakéták, szállítóeszközök terén - a dolog természetéből adódóan - Oroszország, Kína, Ukrajna meghatározó piaci szereplő, az általános űriparban (műholdak, űreszközök) terén sokkal rosszabb pozícióban vannak. Itt a technológiai fejlettségben sokkal nagyobbak a különbségek közöttük és az USA, Európa, Japán, Kanada, de még India között is, az utóbbiak javára. Ezért jellemző az USA és az EU űriparának összehasonlítása. 1991-ben az európai űripar össztermelése 2,5-3 milliárd \$ volt, míg az Egyesült Államok űriparáé min. 22-24 milliárd \$, több, mint tízszerese az európainak. (E becslésnél az európaival összevethető területeket tekintették, az USA űriparát alulbecsülték. A számok a nagyobb részt képviselő űrszolgáltatásokat nem tartalmazzák!) Az integrálódás után egy európai cég termelése eléri a korábbi összeurópai szintet, s az európai űripar egésze az ezredfordulón a piaci sikerességtől függően legalább 6 milliárd \$ lesz, de meghaladhatja érdemben a 10 milliárd \$-t. Mivel a megrendelések mennyisége is gyorsan nő, ezért ez mostanság összességében nem jelent amerikai piacvesztést, de arányváltozást már igen, illetve egy-egy területen, adott cégek esetében részleges piacvesztést is. Nyilvánvaló a többi versenytárs kényszerűen agresszív, piacszerző és megőrző fellépése. E helyzet az űriparban a közeli jövő meghatározója marad. A trend következtében az effajta integráció részeként a korábban Európában pl. éppen védelmi okokból állami tulajdonban létrejött űripari cégeket gyorsan privatizálják, hogy azután az egyesülésekbe problémáktól mentesen bevitethők legyenek. A globális űripar és szolgáltatás forgalma ma már bizonyosan meghaladja az évi 500 milliárd \$-t és gyorsan növekszik. (Kína, Ukrajna, Oroszország ipari-szolgáltatási tevékenysége ma már e szabad piac lényeges része, de ma még pontosan nem becsülhető, ezért a globális képre pontosabb számokat mondani e pillanatban nem lenne helyes. A nagyságrend jól érzékelhető.) A szolgáltatási-alkalmazási területek áttekintése után majd nyilvánvalóvá válik, hogy e piaci növekedésben többé-kevésbé egészséges világgazdaság esetén robbanásszerű szakasz kezdetén állunk.

A verseny további következménye, hogy a gyártás gazdaságossága és a termék- (műhold- stb.) ár lényeges, sok esetben meghatározó szemponttá vált. Ez már a kiemelt, központi (NASA, ESA stb.) K+F esetében is érezteti a hatását. Például az ESA fejlesztési rendszerében a fő szempontok: költségcsökkentés és gazdasági (pl. gyártási) hatások, technikai-technológiai színvonal, a hasznosítási és az űrtevékenységből származó előnyök növekedése. A piacon kirajzolódott a következő évek néhány domináns alkalmazási területe, összhangban a korábbi helyzetképben leírtakkal [2]. Ezek: hírközlés, helymeghatározás és távérzékelés. Az űrbeli gyártás, elsősorban a nagy űrállomás késedelmes építés-kezdése következtében, önmagában még nem meghatározó gazdasági tényező. Mindenek előtt, mint azt a továbbiakban be is mutatjuk, az űrhírközlésben olyan nagy számú műholdat használnak illetve fognak használni, hogy az árverseny kikényszeríti a műholdak alapszerkezetének (szerkezet, energiaellátás, hőszabályozás, tájolás és navigáció stb.) szabványosítását. Ennek első lépéseként az egyes gyártók saját szabványosított megoldásokat vezetnek be, például a fentebb említett integrálódó európai cég „Spacebus 3000”, „Spacebus 4000” stb. néven különféle méretű változatokat. E folyamatnak műszaki-technikai szempontból lényeges átalakulást, műszaki fejlődést jelentő következményei lesznek a világűrbeli emberi tevékenység egészére nézve. A korábban megindult folyamatok mára az űr-gazdaság illetve űr-üzlet rendkívül gyors növekedését hozták. A következő évtizedben ez a teljes üzletág gazdasági súlyát tekintve nagyon megerősödik! Erre azért kell figyelni, mert az ún. űrnagyhatalmak (USA, Oroszország, az EU első tizenkét tagja, Japán, Kína, Ukrajna) és az űrtechnika által látványosan érintett, azaz nélküle üzemképtelenné váló országok (pl. India) kivételével a gazdaságpolitika és a gazdaság vezető személyei és csoportjai nem is követik e folyamatokat, azaz nem tudnak minderről, s ennek következtében megnőtt ezen országok gazdasági, technológiai és infrastrukturális

viSSzaesésének a veszélye. A következő évtizedben ugyanis, elsősorban a globális információ társadalom piaci igénye következtében e terület gazdasági súlya várhatóan megtízszereződik. (Megjegyzés: Véleményem szerint néhány területen a növekedés nagyobb lesz, mivel a ma becsült piaci szolgáltatási igény-növekedés mellett a biztonságos és hosszútávú üzemvitel, a lezajló változások megkívánják további, eddig nem is létezett feladatok megoldását, megnövelve ezzel az űrbeli tevékenység méretét. - Lásd még a 3. pontot.) Ha csak az európai űrpiac várható alakulását nézzük, akkor pl. holland szakértői becslések szerint az 1996-2006 közötti évtized teljes űrpiaca csak a három legfontosabb szolgáltatás területén a következők szerint alakul összesen, milliárd \$-ban (1 milliárd \$ =  $10^9$  \$):

1. sz. Táblázat

	Távközlés és műsorszórás	Helymeghatározás és navigáció	Földmegfigyelés és meteorológia
Űrszegmens, műholdak	43 60	* 1 1,2	14,2 18,7
Az űrbe vitel, rakéták	33 46	* 1 1,2	8,8 10,5
Üzemeltetés a világűrben	100 130	* 0 0,5	1,8 3
A földi szegmens üzemeltetése	130 200	52 75	9,7 13,5
Űrbeli szolgálta- tás igénybevétele	240 330	60 90	22,5 55

Ez a vizsgált évtizedben átlagosan évi 100 milliárd \$-t jelent összesen; ami a periódus elején érdemben kisebb, míg a végén számottevően nagyobb. A bemutatott példa csak illusztráció, s nem tartalmazza az amerikai és japán előrejelzéseket, amelyek hasonló dinamikát mutatnak. Az is fontos, hogy e növekedés nem a kormányzati igények növekedése, hanem a szabadpiaci felhasználói igények növekedése következtében áll elő. A felhasználási területek tárgyalására is rátekintve jól érzékelhető ez a gazdasági növekedés. Fontos, hogy a felsorolt területek éppen azok, amelyekben az űrtevékenység megléte a gazdasági-társadalmi működés alap-  
elemévé vált, így lassan kardinális értékke alakul, azaz mással nem helyettesíthető és pénzen meg nem váltható. Ma a kardinalitás még csak a szolgáltatások egy részénél illetve a Föld egyes, infrastrukturálisan rosszul ellátott illetve nagyon fejlett részein alakult ki, de a jövőben általánossá válik. A táblázat \*-gal jelölt tételei azok a területek, ahol az európai űrpar és tevékenység az elmúlt tíz évben a K+F befektetések elégtelensége illetve nem jó irányítása következtében az űrszegmensből alapvetően kimaradt. Ennek többek között érdemi gazdasági veszteség a következménye.

Az űrpiaci szolgáltatások és az űrbeli ipari tevékenység minden egyes részénél a kutatástól a piaci alkalmazásig azonos fő lépéseket kell megtenni, amelyek elvben nem különböznek a „normál” földi ügymenettől, csak az űrtevékenység területein pontosan kell figyelni a lépések sorrendjére, s kihagyni egyet sem lehet. Ezek: K+F, alkalmazási fejlesztés, alkalmazási demonstrációs kísérlet, pilot projekt az üzemszerű alkalmazásra, operatív szolgáltatás vagy gyártás. Várható, hogy a precíz ügymenet lényeges hatást gyakorol majd a „csak” földi tevékenységre is, különösen K+F téren. Természetesen az űrpari és szolgáltatási terület fejlődése átformálja a tisztán űrkutatási területek (lásd az 1. pontot) alkalmazott megoldásait

is. Például az Eureka keretében már ma a *nagyon olcsó* és a *költség-hatékony űrprogramok* lehetőségeit kutatják.

Az elmondottakból egyenesen következik, hogy a korábbiaknál is fontosabbá váltak a fajlagos startköltségek, s az e téren kialakult sokszereplős szabad piac az érdekelteket rendkívüli erőfeszítésekre készíti. Mint tudjuk, az űrtevékenység kezdetén, 1960 táján 1 kg tömeg Föld körüli pályára állítása kb. 2 millió \$-ba került. 1970 táján 1 kg tömeg Holdra leszállítása és visszahozatala a Földre kb. 1 millió \$-ba, ha nem tekintjük a Holdon hagyott eszközöket és a visszatérő kabin tömegét a szigorúan vett hasznos teher részének, ami megítélésem szerint most helyes eljárás. Az már jól látható, hogy a holdrepülések fajlagos költségei a legdurvább felülbecslés mellett is kisebbek voltak az első műholdak fajlagos startköltségeinél! Ez a költségsökkenés folytatódott, s a mai űripari-szolgáltatási piaci robbanás megalapozója volt. Az előző és a mostani évtizedben 1 kg tömeg Föld körüli pályára állítása már csak kb. 2-5 ezer \$-ba kerül a feladattól függően. A fejlődési trend a [2]-ben jelzettől nem tér el, azaz az olcsó hordozórakéták illetve az újrafelhasználható eszközök (űrrepülőgépek) a ma és a közeli jövő szállító eszközei. A lehetséges fejlődést kicsit lassította, hogy a múlt évtized közepén a piac e téren még nem volt szabad (létezett a Szovjetunió stb.), s ezért a rakéták és űrrepülőgépek fejlesztésében domináns volt minden országban az állami-honvédelmi igények előrejelzése és elfogadása-megértése parlamenti-kormányzati szinten. Ennek hatására a valóban egyetlen fokozattal a Föld körüli pályára feljutó űrrepülőgépek fejlesztése késett. Ma ez a kép megváltozott, hiszen a mai űrrepülőgépes szállításnak (STS) veszélyes gazdasági versenytársa az olcsón kínált hordozórakétás felvitel (Kína, Ukrajna, Oroszország, ESA, de az USA rakétagyártói is). A kikerülhetetlenül szükséges új fajta, valóban egy fokozatú űrrepülőgépek (SSTO illetve az X-33 program) kifejlesztése gazdasági okokból új lendületet kapott, amit a Nemzetközi Űrállomás (ISS) építése és működtetése erősít. (Az X-33 ún. repülés-demonstrációs programja 1999-ben indul.) Ennek a szállítórendszernek az üzembeállítása a bonyolult üzembehelyezésű űreszközök Föld köré szállítása költségeit is 400-500 \$/kg-ra csökkenti. (Ez az írás pillanatában 83 ezer - 103 ezer magyar Ft-ot jelent, ami csak a közalkalmazotti bértáblára számúzótnak sok, a 'jobbak' zsebből ki tudják fizetni.) Az egyszerű műholdak felvitelében a rakéták azonban még ilyen költségek mellett is versenyben maradnak. A rendkívül nagy számú műhold Föld körüli üzeme, s emellett a műholdpályákon és a földfelszínen a biztonság megőrzése jelent olyan igényt, amely ma még műszaki megoldásában nehezen körvonalazható, de még olcsóbb szállítási megoldást hoz. Ebben már fel kell majd használni az űrben gyártható anyagok adta új műszaki lehetőségeket is.

### 2.3 Összegzés és a változás irányai

*Összegezve:* A jelenlegi változások meghatározója a globális geopolitikai helyzet alapvető megváltozása, ami nem tévesztendő össze valamely utópiával. Ez nagyon bizonytalan, veszélyes is, de az űrtevékenységet és a kapcsolódó ipari-szolgáltatási tevékenységet alapvetően befolyásolta és befolyásolja. Megnőtt és felgyorsult az ipari-gazdasági globalizáció, ami hasonló jellegű szolgáltatási igények megjelenésével járt. Ezt erősíti sok korlátozás eltűnése, pl. a volt szocialista tábor mereven elutasította a műsorszóró műholdak szolgálatba állítását, félvén az információ szabad áramlásától. A technológiai fejlődés általában is a széles értelmezett globális információs társadalom megszületését tette lehetővé, ennek alappillérei valóban nélkülözhetetlenek, s űrtevékenység nélkül ez a változás egyszerűen nem tud végbe-menni. A globális információs társadalom űr-szolgáltatásokkal működik csak.

E kedvező képet a figyelmesebb áttekintés némiképpen rontja. Ugyanis az elmondottakból az is látszik, hogy sok komoly rendezetlenség van az űripari területen szervezési szempontból,

amit a „spontán”, azaz közvetlen piaci hatásokra lejátszódó folyamatok enyhítenek. Az is rendezí némileg a mai, alapjában véve rendetlen állapotot, hogy az űripar mai meghatározó tényezője még mindig egyértelmű dominanciával az űrhírközlés (műsorszórás, globális távközlés), ami már a korábbi helyzetképből is jól látszott [2]. A rendezetlenség azonban tényleg jelentős, ami azt jelenti, hogy a spontán folyamatok a közeljövőt meghatározzák. Viszont az egész emberiség teljes űrbeli gazdasági és információs-tudományos érdekelttségét tekintve a spontán folyamatok lassabbak és az átalakulások hatásfoka így rosszabb, mint a jól irányított fejlődésé, s a globális változások jellege és tempója miatt a spontaneitás miatt előálló idő és erőforrás veszteség valószínűleg nem lenne megengedhető. Azonban ezen a helyzeten érdemben változtatni most nem lehet.

Az összegzés részeként ki kell térni *a következő időszak egyre fontosabbá váló változási irányára*. Nevezetesen az ember visszatér a Holdra, mégpedig állandó űrtelepet létrehozandó, majd üzemeltetendő a Holdon. A majdani Mars-bázis megszületése a következő évtizeden túl esik időben, de a Hold-bázis nem, s szükség is van rá mind gazdasági, mind kutatási, mind környezetkímélési szempontból. Csak azért nem vehetjük biztosra a megszületését, mert a jelenlegi döntéshozatali mechanizmus világszerte - struktúrájából adódóan - nem tud zseniális lenni. Így könnyen érvényesülnek olyan hangzatos tévtanok, mint pl. F. Baade egykori állítása [10]: „Feladatunk nem az, hogy más bolygókat hódítsunk meg, hanem az, hogy a saját bolygónkon teremtsünk rendet. Igaz, hogy ez a legnagyobb feladat, amely valaha is két vagy három emberi generáció osztályrésze lett. Ha ezt megoldottuk - de csak ez esetben - lesz meg többé-kevésbé a szükséges erkölcsi bizonyítványunk, hogy valamilyen Földön kívüli égitesthez és esetleg Holdunkhoz közeledjünk.” Ma már tudjuk, hogy az űrtevékenység nélkül nemcsak a földi problémákat (oktatás, termésbecslés, időjárás előrejelzés, mentés, műsorszórás stb.) nem tudnánk egyáltalán a ma szükséges szinten megoldani, hanem a megbízható felderítés hiánya miatt a több robbanófejes rakéták megjelenése után átestünk volna a harmadik világháborún. Az űrtevékenység megállíthatatlan áttörése szerencsére útját állta Baade és sok más rövidlátó személy nézetei érvényesülésének, de arra nincs garancia, hogy - amint a múltban pl. a holdrepülések megszakításakor, az űrállomások fejlesztése elodázásakor megtörtént - most és a jövőben ne szülessenek a szükséges fejlődést érdemben lassító döntések. Márpedig a világ mai helyzetében a szükségtelen késlekedés több, mint bűn, a következményeit tekintve is. Az időben meghozott jó kormányzati döntések következtében India intenzív űrtevékenységet folytat, használja az eredményeket, s alapvetően ezen eredményekre (hírközlés, távérzékelés) támaszkodva az éhínség felszámolása mellett megduplázta az ország lakosságát, ami nemcsak az előregezés és összeomlás elkerülését jelenti, hanem nem kellett legyilkolniuk sem magzatokat, sem gyermekeket, sem öregeket különféle módszerekkel. Arra azonban nincs garancia, hogy a lehetőségekkel az emberiség egészében akar vagy tud élni.

### 3. Űrhírközlés

A hírközlés egészét tekintve ez a terület ma a legnagyobb űrbeli szolgáltatás-együttes. A hírközlésen belül az űrtevékenység vagy az ún. űrszegmens a meghatározó, s már jól látszik, hogy az egész hírközlési területet az űrtevékenység olvasztja magába, megtartva a hírközlés azon klasszikus részeit egy-egy szolgáltatáson belül, ahol a klasszikus (kizárólag földfelszíni egységekkel működő) műszaki megoldások gazdaságosabbak, mint az űrrendszert használók. Tekintve a hírközlési piac rendkívül nagy nyereségességét, s a hírközlés különféle szolgál-

tatásai iránt megmutatkozó igen nagy fizetőképes keresletet, ami persze valamilyen piaci vagy feladatellátási kényszer következtében áll elő sok esetben, *az egész űrtevékenységen belül is a hírközlési rész gazdasági súlyát és fejlődési tempóját tekintve egy darabig még az első helyen marad.*

A mai szolgáltatási helyzet megértéséhez szükséges a rövid történeti áttekintés, szükségképpen részben átfedve a korábbi helyzetképek történeti részeivel. Az első űrhírközlési kísérlet sikeres rádiós műsorszórási demonstráció volt a Score műholdról 1958 karácsonyán, mindössze egy évvel az első műholdak startja után. A folytatás is gyors volt. 1960-ban az Echo-1 műhoddal megkezdődtek a passzív transzocéáni átviteli kísérletek. 1962-ben a Telstar-1 sikeres TV-átvitelt biztosított Európa és Amerika között, s eldőlt, hogy a jövő a világűrben az aktív átjátszó állomásoké. Az első geoszinkron (kísérleti) távközlési műhold, a Syncom-1 1963-ban állt szolgálatba az Atlanti óceán fölött, s az első (kereskedelmi) távközlési szolgáltató műhold, az Intelsat-1 1965-ben. Ezzel az űrtávközlés piaci szolgáltatássá alakult át elsőként az űrtevékenység különféle területei közül, amelyet ekkor még csak az Intelsat nyújtott, s egyelőre pont-pont közötti átvitelt biztosított. Igen korán megjelentek a speciális igényeket kielégítő űreszközök, majd űrhírközlő rendszerek is. Például speciális katonai irányítási és integrált szolgáltatási (meteorológiai megfigyelés és adatátvitel, tengeri mobil összeköttetés, katonai hírközlés, színes-TV átvitel stb. egyetlen hold szolgáltatásaként) feladatokat látott el már az első ATS műhold 1966-ban, vagy a tengeri forgalomirányítást hírközlést is magábafooglalóan szolgáltató Inmarsat rendszer, amelynek első műholdja (Marisat) 1982-ben startolt. Ez a gyors fejlődés ezt az alkalmazási-szolgáltatási területet mind a mai napig jellemzi. Amint azt már korábban is említettük, s ahogyan az e rövid történeti vázlatból is sejthető, az űrhírközlés részben a korai operatív szolgáltatássá alakulásával, részben a rendkívül gyorsan növekvő és fizetőképes információ átviteli igények következtében mára az űrtevékenység legnagyobb és legjövedelmezőbb piaci szegmensévé vált. Már az előző helyzetkép [2] idején ez volt a helyzet, de annak részleteit nem ismételjük meg.

E helyzet, s az, hogy több más terület az űrtevékenységen belül a várakozások ellenére még mindig nem lett az űrhírközléshez hasonlóan önmagában nyereséges, pedig a társadalmi haszna (social benefit) vitathatatlanul megvan, sőt esetenként nagyobb vagy kardinálisabb (ha ilyen rangsorolás egyáltalán tehető), mint a hírközlésé, sok elemzést szült a magyarázat megtalálására. Ennek rövid taglalásával itt, a hírközlési részben foglalkozom. Ma kedvelt nézet az, hogy a többi terület (helymeghatározás-navigáció, távérzékelés-meteorológia, diagnosztikai és gyógyászati eljárások stb.) azért nem lett önállóan működő, önmagában nyereséges űrtevékenységi ágazattá, mert nincs ún. közvetlen társadalmi, felhasználói csatolást biztosító cége, cégrendszere, szemben az űrhírközlésben meglévő nagy szolgáltató cégekkel, a távközlési és műsorszórási társaságokkal. Ez azonban csak a felszín, a látszat. A valóságos ok mélyebb. A hírközlés területén a berendezések, rendszerek gyártói, a szolgáltatók és a szolgáltatás igénybevevői egyetlen gazdasági rendszerben működnek, a szolgáltatás igénybevétele jól ellenőrzött, s a szolgáltatás ára piaci szempontból egyszerűen és egyértelműen számítható. Ezen túlmenően a hírközlés minden területén a szolgáltatás egyéni igénybevétele jól ellenőrizhető. Ugyanis a távközlés-típusú szolgáltatásnak műszakilag nemcsak vevő, hanem adó része is van, mivel az információ párbeszéd jellegű, vagyis mind a két végpontról mind a két végpontra kell információt eljuttatni (valódi beszélgetés, a sikeres vétel visszaigazolása stb.). Így a végszolgáltató cégek megkerülhetetlenek s a teljes forgalmat (azaz a szolgáltatás igénybevételét) egyértelműen és folyamatosan mérni tudják, ahhoz biztos tarifa köthető. A műsorszórásban ez a helyzet ma még kevésbé definit, de az adások kódolásával kézben tartott. A jövőben pedig a digitális, interaktív rendszerek az általános távközlési modell szerint működnek. Műszakilag a többi űrszolgáltatás alapvetően más jellegű és dominánsan passzív, azaz a felhasználótól visszajelzés nem jön, nem jöhet, sőt esetenként még elvi-jogi-etikai okból

sem kívánható meg (pl. mentő rendszerek, forgalom-irányítás). Emellett e területeken a fentebb említett egyetlen rendszerbe foglalhatóság egyértelműen nem tehető meg. Sőt egyes szolgáltatások esetén piaci ár vagy egyértelmű fizetőképes kereslet nem is definiálható. Erre is a triviális példát a műholdas mentő-rendszerek szolgáltatják. A helyzet az egyébként kódolt-nak tekinthető adással dolgozó műholdas navigáció repülésirányítási része esetében is hasonló, hiszen a pontos műholdas helymeghatározás nemcsak a légitársaságok gépeinek biztonságosabb és a jobb légtér-kihasználás miatt gyorsabb átrepülését biztosítja, hanem egyben biztonsági, honvédelmi, sportrepülési stb. célokat, azaz felhasználókat is szolgál. Ezért a repülőjegyben az úrszolgáltatás összköltsége nem realizálható, a többi felhasználónál meg nincs repülőjegy-hez hasonló felhasználói kontroll. Ráadásul a repülés a műholdas helymeghatározás egyetlen részterülete, s ugyanaz a műholdrendszer szolgálja ki a többi jármű (civil és hadi hajók, szárazföldi forgalom, expedíciók stb. összességében nem egységes és egységes tarifába össze sem fogható) navigációs igényét, továbbá a térképészetet, a geodéziai igényeket, a katonai felderítést, az ásványkincs kutatást, a mobil telefonokat stb. Hasonló, de még jobban „szétfolyó” a műholdas távérzékelés szolgáltatási szerkezete. Az emberes űrrepülések orvosi diagnosztikai és gyógyászati hatásai pedig további K+F jellegű áttételeken keresztül jutnak el a felhasználóhoz... egyebekről nem is beszélve. Eközben e területek társadalmi haszna pénzben is kifejezhetően igen nagy, a ráfordítások össztársadalmi szinten megtérülnek. Ha a társadalom a mai, össztársadalmi szinten gazdaságos űrtevékenységet adott formájában nem fogja finanszírozni, akkor előállhat olyan helyzet, amikor az űrbeli szolgáltatások minden részlete csak azonnali számla-kiegyenlítéssel lesz elérhető, ami globálisan nagy károkat okozna, a földi társadalom egy részét elzárná az alapvetően szükséges és ma igénybe is vett szolgáltatásoktól, az emberi szabadság és általában az ún. emberi jogok sérülnének, s - lásd pl. a mentő-rendszereket - emberéleteket is követelne. A súlyosbodó globális válság gazdasági hatásai miatt egy ilyen értelmű és egyértelműen kedvezőtlen fejlemény nem biztos, hogy elkerülhető.

Az általános űrtevékenységi átalakulás az űrhírközlést is érinti, s még a közeli jövőben is tovább növeli ezen terület piaci és űrtevékenységen belüli súlyát. Azonban mindez nem érinti az ún. központi űrkutatási-űrtevékenységi programokat, mert az űrhírközlés háttérparát és K+F tevékenységét tekintve is egészében szabadpiaci tevékenységgé alakult át igen nagy piaci versenyt kiváltva minden érintett területen. A hírközlés minden ága nagy üzlet. Ez a nagy verseny oka. Ugyanakkor a mai hírközlés területein az űrtechnika, űrszegmens vált uralkodóvá. Az általános tendenciák közül a kisebb és egyben olcsóbb, összességében gazdaságosabb műholdak használata a kutatásban látott mértékben itt nem tud elterjedni, mivel egy-egy űrbeli „hírközpont” a bonyolultsága miatt mikroműholdra (egyelőre?) nem fér fel. Azonban az éleződő verseny mégis arra készteti a résztvevőket, hogy vizsgálják meg a különféle gazdaságosabb változatokat. Ennek egyik eredménye például az, hogy egy úgymond „nehéz” műholdnál olcsóbb változat adott, pl. 10 éves üzemidő alatt két időpontban, a 0. és a 6. évben felbocsájtani és így üzemeltetni két „könnyű” műholdat. Ugyanis a második megoldás költségei csak a tizedik évben érik utol a 0. évben felbocsájtott „nehéz” műhold esetében a kihasználatlan csatornapotencia miatt többlet kiadásokat. Így olyan esetben, amikor pl. a tényleges forgalmi adatok az 5-7. év táján érdemben elmaradnak az előre becsülttől, akkor a második „könnyű” műhold üzembe állítása késleltethető, vagyis a szolgáltató sokkal jobban tud igazodni gazdaságossági, nyereség-elérési szempontból a tényleges igényekhez. Az elmondottak nyilvánvalóan lényegesen befolyásolják mind a műholdak, mind a hordozók fejlesztési, gyártási filozófiáját.

Ma az űrhírközlés szerteágazó területei, amelyeket már [2] is felsorol, három nagy egységbe sorolhatók. Ezek mindegyike érdemben vagy teljességében globális szolgáltatás, s a következők:

- Fix műholdas szolgálatok (FSS - 'fixed satellite service'): E csoporthoz tartoznak mindazon klasszikusnak számító úrhírközlési szolgálatok, amelyek valamely terület távközlési igényeit (pont-pont átvitel, területi távközlési szolgáltatás stb.) szolgálják ki, illetve az adott módon ellátott területek közötti kapcsolatot biztosítják. E szolgáltatásban a természete miatt az adott területet lefedő, állandó sugárzási nyalábokkal működő, a sarki területeket kivéve geoszinkron pályán lévő műholdakat használnak. A sarki területek távközlési igényeit elnyújtott ellipszis pályán keringő néhány hold biztosítja. A földi vevőpontok kisebb-nagyobb távközlési fejállomások, nem egyéni vevő vagy távközlési egységek, készülékek.

- Műsorszóró műholdas szolgálatok (BSS - 'broadcasting satellite service'): E csoporthoz tartozik minden műholdas műsorszórás. Az ellátás ez esetben is állandó sugárzási nyalábokkal történik. (A szolgáltatás szempontjából a ritkán lakott illetve lakatlan sarki területek nem minősülnek fontosnak.) Az FSS és a BSS között a lényegi különbség a fedélzeti adóteljesítményben van. A műsor műholdra feljuttatását kisebb-nagyobb távközlési fejállomások végzik, de a vevő egyszerű és olcsó egyéni (vagy kisközösségi) készülék kis antennával, egyszerű műszaki megoldásokkal. Ezért a BSS műholdak fedélzeti adóteljesítménye nagy.

- Személyes műholdas távközlési szolgáltatás (PSCS vagy S-PCS - 'personal satellite communication service' vagy 'satellite personal communication service'): E csoporthoz tartoznak mindazon, szükségképpen műholdas távközlési szolgálatok, amelyek állandó (24 órás) garantált távközlési ellátást biztosítanak a Föld bármely pontján (szárazföldeken, óceánokon, sarkvidéken; földön, vizen, levegőben, a Földhöz közeli magaslégrétegben) mobil és állandó helyen lévő (kis és olcsó) készülékekkel egyaránt az egyéni előfizető által megfizethető tarifáért.

A felsorolt három úrhírközlési főcsoportot áttekintve megállapíthatjuk, hogy 1998-ra kialakult a totális, globális hírközlés. Ez minőségi ugrás a hírközlésben az egész emberi történelemre visszatekintve. Társadalmi, civilizációs, történelmi hatásai még fel sem mérhetők. A következőkben ez a totális, globális hírközlés egyre jobban kiteljesedik, s nélküle már a közeljövő civilizációja sem képes fennmaradni.

### 3.1 A fő szolgáltatási területek rövid áttekintése

- *Fix műholdas szolgálatok*: Ez a terület a teljes, ún. klasszikus úrhírközlés, annak minden részét felöleli. Az alkalmazási céloktól, vagyis a szolgáltatás pontos jellegétől függetlenül közös jellemzője, hogy a műholdak - ma már műszakilag nagyon fejlett - átjátszókat (transzpondereket) hordoznak, amelyek vagy távoli pontok közötti (pont-pont jellegű stb.) hírátvitelt (információ átvitelt), vagy a műhold által „belátott” területen (régió) belüli hír-, információ átvitelt biztosítanak. E téren egy évtizeddel ezelőtt egyrészt az átjátszók (transzponderek) számának nagymértékű növekedését, másrészt a nem-műholdas optikai (kábeles) átvitel és a műholdas átvitel kiélezett konkurrencia harcát jeleztük előre. - Ebből az átjátszók számának igen gyors növekedése megtörtént. Mára ezer körüli átjátszó számmal lehetett kalkulálni. (Egy átlagos műholdas transzponder kb. 36 MHz sávzélességű és százas nagyságrendben visz át telefoncsatornát.) A növekedés gyorsabb a vártnál, s a jelentős műszaki fejlődés következtében mind az FSS műholdak száma, mind az egy műholdra telepített illetve telepíthető átjátszók száma még a vártnál is gyorsabban nő. A távközlési igények rendkívül gyors növekedése következtében a globális szolgáltatások mellett regionális vagy dominánsan egy régióra orientált szolgáltatások is megjelentek. Példaként az EUTELSAT európai úrhírközlési szolgáltató cég 1995-ben kezdte meg a *Hot Bird* műhold-sorozat telepítését. 1998-ban a sorozat ötödik tagja repül fel az űrbe. Csak e műholdcsalád eddig mintegy 100 átjátszót működtet, s e műholdak csak egy nagyobb, dominánsan európai régiót szolgálnak ki, ezért mind a keleti hosszúság 13. foka táján vannak geoszinkron pályán. Ráadásul ezen régió

kiszolgáltatásban más szolgáltatók és műholdrendszerek is részt vesznek (Intelsat, SES az Astra holdakkal stb.). Az említett műholdak a régebben szokásosnál nagyobb adóteljesítményekkel működnek, azaz csökkentik a különbséget az ún. professzionális, azaz szigorúan FSS szolgáltatás és a közvetlen fogyasztót kiszolgáló (BSS és PSCS) szolgáltatás között. Így ma már bizonyos, hogy a korábbi helyzetképpen [2] 2000-re előrejelzett transzponder-számot a valóság felülmúlja, hiszen csak az EUTELSAT Hot Bird műholdjai 1998-ban 100 körüli átjátszójukkal a korábban 2000-re várt 1500-1600 globális átjátszó mennyiség 7-10%-át elérik. E gyors fejlődés következtében már közelebb kerültünk a globális átjátszószámban majd várható telítődéshez, azonban a következő tíz évben ez még nem érhető el, mivel a Föld nagyon nagy régiói még igen távol vannak távközlési alapszolgáltatásban a telítődéstől. A lassan telítődő európai, észak-amerikai és ausztrál régióban viszont kiéleződik a konkurrencia harc, az árverseny. Az új fejlemény, hogy a technológiai fejlődés következtében ma már csökken a fedélzeti adóteljesítmény növelésének árfelhajtó szerepe, s a nagyobb fedélzeti adóteljesítmény műszakilag realizálható. Ezért új jelenséggé a jövőben az FSS és BSS szolgáltatások közeledése várható. Más szóval ugyanazon átjátszók klasszikus távközlési célra is és műsorszórási célra is felhasználhatók lesznek a bérlő (a szolgáltatás igénybevevője) aktuális céljától függően. - A másik meghatározónak jelzett trend az optikai kábeles és a műholdas távközlés (hírközlés) éles piaci versenye volt azzal a várakozással, hogy különösen rövidebb (600 km - 2000 km-es) távolságokon az optikai kábeles szolgáltatásnak a futási idő rövidege, a kábelre rálépés egyszerűsége stb. miatt jelentős piaci előnye van a műholdas megoldással szemben. Ebből az éles verseny valóban kialakult. Azonban az úrszegmens nem szorult háttérbe. Ennek oka részben az űripár árbeli versenyképességének gyors növekedése, részben a gyorsan mozgatható és telepíthető, illetve relatíve nagyon olcsó földi adó-vevő végállomások megjelenése volt. Ennek következtében ma a kétféle műszaki megoldás és szolgáltatás együtt él, s mindkettő nagy profitot termel. A következő években e téren érdemi változás nem várható. - Ugyanakkor a műszaki fejlesztés következményeként a belátható jövőben (kb. 10 év) még folyamatosan csökken a berendezések mérete, miközben a jelkezelési és sugárzási teljesítmények változatlanok maradnak illetve növekszenek. Példaként említem, hogy csak az egyszerű fedélzeti tápegység-méret térfogatban 1984 és 1996 között a kiinduló érték 15-20%-ra csökkent (pl. a Hughes-nál). Ugyanez a fejlődés a többi egység területén is lejátszódott és a folyamat nem áll meg. Így az egyes holdak műszaki bonyolultsága és a fedélzeten megvalósítható intelligens szolgáltatások mennyisége tovább növekszik. Tovább javul az űrtávközlési rendszerek megbízhatósága. Ez a változás természetesen nem korlátozódik csak az FSS területére, hanem jellemzi a BSS-t is, és látványos lesz a PSCS területen.

- *Műsorszóró műholdas szolgálatok:* Műszaki, K+F szempontból ez a terület nagymértékben hasonló helyzetben van, mint a már tárgyalt FSS. Ma még az átjátszók adóteljesítménye értékelhető különbséget teremt a BSS célra is alkalmas műholdas átjátszók és a csak FSS célra alkalmas átjátszók között. A jövőben azonban ez a különbség csökken, majd eltűnik, kapcsolódva az egész hírközlés-távközlés átalakulásához. Magát a BSS területet a gyors fejlődés mellett a stabil és bővülő piac jellemzi globálisan. E folyamatot azonban nagyrégióként eltérő társadalmi folyamatok mozgatják. Az északi ipari övezetben és Ausztráliában a növekvő fizetőképes kereslet mögött a nagy TV műsorszórási igény, a TV-társaságok éles és növekvő versenye húzódik meg. A Föld más területein, amire India talán a legjobb példa, a társadalom működtetésének és a fenntartható társadalom biztosításának kényszere a meghatározó tényező. A felhozott példára gondolva, például a társadalom informálása mellett az elemi szintű és korhatár független közoktatás biztosítása. Ennek célja az adott esetben az elemi higiéniai szabályok megismertetése és elfogadtatása társadalmi szinten (pl. ivóvíz tisztántartása, tisztálkodás), a földművelés néhány alapfogásának megtanítása (pl. a termőföld megforgatása mintegy arasznyi mélységben), a kiterjedtebb és más infrastruktúrával alig



ellátott terület alapfokú egységes irányítása stb. E folyamatok egyelőre bővülő BSS piacot jelentenek régióként eltérő űripari háttérre támaszkodva és eltérő szolgáltatási igényt kielégítve. - A műszaki fejlődés ezen a téren a hullámterjedési és antenna-tervezési területeken sajátos, amit a szolgáltatást igénybe vevő TV-társaságok igényein túlmenően a nemzetközi szabályozás valamint a frekvencia-tartomány végeessége és jobb kihasználhatósága is kényszerít. Az egyik feladat egy-egy átjátszó sugárzási nyalábja földi „lábnyomának” megtervezése, a kívánatos alak, azaz területi fedés biztosítása mind az elsőosztályú, mind a másodosztályú jelszinttel ellátott zónát érteve ez alatt, s a zónákban a jelszint garantálása különféle időjárási-légszennyezettségi helyzetekben az igénybevételi idő meghatározott és ma már igen nagy részében. A másik feladat a műholdak és átjátszók nagy száma miatt az ugyancsak különféle időjárási helyzetekben az áthallások, interferencia-zavarok előírt szint alatt tartása. Mindkét feladat természetesen nagy fejlesztést igényelt és igényel ma is a fentiekén túlmenően a műholdak fedélzeti szolgálati rendszereiben, különösen a fedélzeti időszolgálatuk pontosságára és a pályastabilitásuk biztosításában, továbbá a tájolási és antenna-vezérlési rendszereiknél is.

- *Személyes műholdas távközlési szolgáltatás vagy a globális mobil távközlés:* Jelenleg e téren zajlik a robbanásszerű változás. A cél valódi és teljes globális fedéssel a bárholonnan bármikor bárhová kapcsolást kisméretű, hordozható (mobil) készülékekkel biztosító távközlési rendszer létesítése. A valódi és teljes globális fedés, valamint a kis, személyi előfizetői készülékek követelménye új műholdas távközlési rendszer-filozófia kialakításához vezetett. E rendszerek előfutárai voltak a katonai mobil műholdas rendszerek, de a „civil” változat igényei minőségi ugrást követeltek meg, nem utolsósorban a szolgáltatás várható áraiban és ebből adódóan kikerülhetetlenül a műszaki megoldásokban, hiszen a fizetőképes kereslet kell elertse ezt a szolgáltatást. Ez a terület a következő néhány év űrtevékenységének „nagy bulija”. Hatásai az egész űrtevékenységre jelentősek.

A jelzett követelményekből adódik, hogy a feladat a szokott módon, geoszinkron pályán lévő műholdakkal nem oldható meg. A BSS és FSS szolgáltatás szempontjából a magas északi és déli szélességek legfeljebb másodlagos fontossággal bírnak. Ezért e szolgálatok geoszinkron pályán lévő műholdakkal működhetnek, legfeljebb egy-két Molnyija-típusú műholddal kiegészítve. Az új szolgálat azonban a sarki régiókban is, az óceánokon is teljesértékű szolgáltatást kell nyújtson. Így, bármennyire is kellemes a geoszinkron pálya (GEO), hiszen a hold az egyenlítő egy helye fölött „áll”, s így a földi antennáknak nem kell követni, mégis más megoldást kell keresni. Az alacsony magasságú pályákon (LEO) és a közepes magasságú pályákon (MEO illetve ICO) keringő műholdak a teljes föld-felszín felett bárhol lehetnek, azaz biztosíthatnak valódi globális fedést, de mozognak a felszínhez képest, követni kell mozgásukat, vagy nem-irányított antennával kell dolgozzon a felszíni, azaz az előfizetői készülék. A hold használhat irányított antennát, többet is, de azok felszíni fedése (lábnyoma) a felszínen fut. Mivel ezek a lábnyomok az új mobil szolgálat celláit hozzák létre (egy nyom több cellát), a holdhoz kapcsolt cellák mozognak a felszínen. Így bármely előfizető, akár áll, akár mozog a Földhöz képest, e távközlési rendszerben mozgónak minősül. Az alacsonyabb pályáknak van előnye is, hiszen így a jel futási ideje a föld-űr-föld útvonalon akár 20 ms körüli értékre is csökkenhet, szemben a GEO-pálya esetén tipikus 500 ms-mal. LEO (és MEO) pályák esetén a földi adóteljesítmény szükséglet is jóval kisebb, mint GEO holdaknál, illetve a műhold által a felszínen létrehozott térerősség is nagyobb, egyszerűbb vevővel lehet venni. Ezek a tényezők az egyszerű, olcsó és kisméretű egyéni előfizetői készülék használatát segítik elő. Így ma a legtöbb társaság, amelyik e piacot (részben) megszerezni akarja, LEO vagy MEO holdak alkalmazásával alakítja ki rendszerét. Viszont ebből adódik az is, hogy alacsonyabb pályák használata esetén a Föld egész felszíne nem fedhető le, nem sugározható be néhány műholdról. A teljes fedés biztosításához nagyszámú műholdból álló rendszer(ek)e)t kell telepíteni. Megjegyzendő, hogy egy-két esetben - korábbi rendszer-determinációból is következően

- GEO és MEO holdak kombinációját is, illetve Molnyíja-típusú műholdpályák használatát is tervezik.

A rendszer maga három fő részből áll. Az egyik az előfizetői készülék, természetesen nagy számban a Föld felszínén szétszórva. A másik rész az űrszegmens, azaz a műholdak együttese. A harmadik rész a rendszer irányítását is ellátó földi nagyállomások hálózata, amelyek fő feladata ezen műholdas hálózat és a hagyományos földi távközlési hálózatok összekapcsolása (gateway-ek). A műholdas szolgáltatóknak persze a saját bevétel növelése a céljuk. Ezért olyan rendszerek kialakítására törekszenek, amelyekben a saját előfizetőik közötti hívások lehetőleg egyáltalán ne használjanak hagyományos földi hálózatot, s a saját előfizetői készülékek és más (hagyományos földi stb.) hálózatban üzemelő készülékek közötti hívások a lehető legkisebb mértékben vegyék igénybe a nem saját rendszert. Így a díjmegosztásból ők részesednek nagyobb mértékben. Ezért viszont nagyszámú kapu, azaz gateway telepítése szükséges, s a műholdak fedélzetén intelligens vezérlő rendszernek és kapcsolóközpontoknak is működni kell, továbbá az egy-egy rendszer műholdjai közötti űr-űr átvitel kikerülhetetlen. Ez utóbbi igény az egyébként is gyorsan fejlődő optikai hírközlés hullámterjedési és berendezés-fejlesztési részét egyaránt fellendítette. Új fedélzeti opto-elektronikai egységek születtek meg, s meg kellett oldani a műhold-műhold optikai átvitelben a stabil kapcsolat biztosítását, ami az optikai nyalábok nagy irányítottsága következtében elég nehéz feladat. De a földi oldal fejlesztése sem kisebb feladat. Például a hullámterjedési problémákat is olyan szinten kell megoldani, hogy garantálni lehessen akár folyamatos eső esetén is (trópusi viszonyok, tartós hóviharak stb.) egy-egy földi végpont (gateway) zavarmentes, elsőosztályú térerősségi viszonyok melletti működését az idő 99,95%-ban, ami ma a BSS rendszerekben nincs meg, s az FSS rendszereknél is gondot okoz. Az ár mellett a szolgáltatás megbízhatóságának kérdései is előtérbe kerültek.

E rendszerek kiépítői ma már egyidejűleg törekszenek a globális távközlési szolgáltatás és a legkorszerűbb információs világhálózatok megvalósítására is. Más szóval a kiépülő rendszerek ezt igénylő előfizetőnek eleve legalábbis ISDN, B-ISDN szolgáltatást tudnak nyújtani, általában azonban többet is. E folyamatra visszatérünk. Példaként vegyük az egyik rendszert, amelyik jelenleg a fejlesztés záró és a holdak építésének kezdő szakaszában tart, a **Skybridge**-rendszert. A rendszer induló állapotában 64 LEO szolgálati műholdból áll, amelyek mellett tartalék holdak is lesznek folyamatosan pályán, mivel a szolgáltatás műhold-meghibásodás miatt nem csorbulhat átmenetileg sem. Az átmeneti kieséseket ugyanis a mai fizetőképes kereslet már nem viseli el, akkor az előfizető más szolgáltatóhoz fordul. A holdak tervezett élettartama 8 év! A műholdak felbocsájtása 2001 és 2002 folyamán történik meg. A rendszert alapvetően a 16 kb/s előírások szerint építik ki. Így normál felhasználóknál 2 Mbps a gateway-hez a visszaút, míg 60 Mbps a terminál a felhasználó felé. De professzionális termináljaiknál nagyobb sebesség is elérhető. A holdak tervezett pályamagassága mindössze 1457 km, amivel egy hold földi lábnyoma 3000 km sugarú a felszínen. Egy-egy hold tömege 800 kg alatt marad, amiből 300 kg a távközlési hasznos teher (37,5%). A távközlési rész fogyasztása - ami a fedélzeti adóteljesítmény forrása is - 2,5 kW alatt marad, azaz 8,3 W/kg, a szokásos űrelektronikai fogyasztásnak majd tízszerese! A holdak az előfizetőkkel a kapcsolatot a Ku sávban (11/14 GHz) tartják, míg a gateway-ekkel a nagysebességű összeköttetést a Ku illetve a Ka (20/30 GHz) sávban. Mivel az FSS és BSS GEO holdakkal interferencia léphet fel, ezért a rendszer azon holdjairól a kapuk (gateway-ek) más holdra lépnek át, amelyek átmenetileg egy GEO holdhoz 10°-os látószögnél közelebb kerülnek a földről nézve. A rendszerben az indulásnál 250 gateway (kapu) működik majd, a remélt piac több, mint 90%-át már kezdetben kiszolgálva. Az adatok mutatják a léptékváltás tényét és méretét.

2. sz. Táblázat

	<b>CCI</b>	<b>Iridium</b>	<b>Odyssey</b>	<b>Globalstar</b>
<b>műhold-szám</b>	46	66	12	48
<b>h (km)</b>	2000	780	10000	1414
<b>tarifa (\$/perc)</b>	0,25~1	3	0,65	0,35~0,5
<b>szolgáltatás tartalma</b>	csak rendszeren belüli díj	teljes díj	csak rendszeren belüli díj	csak rendszeren belüli díj
<b>start</b>	1997 végétől	1997-ben	1998 végétől	1997 végétől
<b>nyaláb/hold</b>	32	48	37	16
<b>összköltség (milliárd \$)</b>	1,7	3,37	2,5	1,6
<b>előf. készülék ára (\$)</b>	1500	2500	300~500	400~500
<b>műhold tömeg (kg)</b>	<500	700	~1952	<700

A következőkben táblázatosan (2. sz. Táblázat) bemutatom a legmarkánsabb és már épülő rendszereket. A megcélzott felhasználói kör kezdetben e rendszerek esetén a ma még ellátatlan területek lakossága, az üzleti élet szereplői, a kormányzati szolgálatok és a tehetősebb utazó réteg - természetesen a Föld egészén! A rendszerek sok szempontból hasonlóak, közülük három LEO holdakat, míg egy MEO holdakat használ. A tarifa ma átlagos távközlési, telefonálási helyzetet véve alapul, amikor is szükségképpen ki kell lépni a klasszikus távközlési hálózatokba, mert csak az egyik fél beszél globális mobil állomásról, a néhány \$ (kb. 3-5 \$) percenként, vagyis 700-1100 Ft/perc mai árfolyamon. Vagyis lesz magyar előfizetői része is e szolgáltatásnak, már a kezdeti időszakban is. Így például a MATÁV is tervezi e szolgáltatáshoz csatlakozását valamelyik szolgáltatóval megfelelő szerződés keretében. Várható a piac felfutásával párhuzamosan a tarifa nem gyors csökkenése illetve a szükségképpen egyre szélesebb megcélzott potenciális előfizetői réteg lehetőségeihez igazítása is.

Sajátos helyzetben van az előző helyzetképben már kiemelten említett, a tengeri forgalom-irányító és hajózás-segítő távközlési rendszert létrehozó Inmarsat. Az eredeti rendszerük kizárólag GEO holdakkal működik. Hamar elhatározták a globális mobil szolgálat kiépítését, s meg is kezdték a megvalósítását [11,12]. A teljes globális fedést biztosító műholdrendszer felbocsátása 1998-tól esedékes, kiegészítve a Föld nagy részét lefedő GEO holdjaik rendszerét. Mivel GEO holdakkal indultak, a fejlesztési irányuk is más, lényeges újat hoznak az űrtávközlésbe. Ugyanis első lépésként az új GEO holdak fedézetére nagyon nagy irányítottaságú antennákat telepítettek, amelyek így rendkívül keskeny nyalábot (spot beam) sugároznak. Ezzel együtt jár természetesen a hold pozicionálási és az antenna irányzási stabilitásának rendkívüli megnövelése. Az Inmarsat-3 műholdak (GEO) ezt már tudják. A szolgáltatás kezdetben, másfél évtizeddel ezelőtt hajókra telepíthető, nagyméretű és drága földi készülékeket használt beszéd és lassú adat, fax stb. illetve opcionálisan 64 kbit/s átvitelt biztosítva (35 e\$/készülék). 1997 óta már használhatók az Inmarsat-3 műholdakon keresztül távközlésre és adatátvitelre a mindössze laptop méretű, 2 kg tömegű és 3 e\$ árú Mini-M készülékek; s a tarifa ma a teljes távközlési útra 3-5,5 \$/perc. Mivel pedig az Inmarsat eredeti szolgáltatása, a tengeri forgalomirányítás eleve tartalmazta a mentési igényt is, így földi előfizetői készülékei csatlakoztathatók a globális földi illetve műholdas navigációs rendszerekhez (Decca, Loran C, Glonass, GPS, Transit). Sajátos előnyük, hogy a GEO holdak rendszerben tartása következtében az azok által ellátott területeken műszakilag kevés kapura (gateway-re) van szükségük, azok számát kizárólag a más hálózatoknak átadódó forgalom-

menyiség csökkentése határozza meg, vagyis nem műszaki, hanem kizárólagosan gazdasági döntés. Ma az Inmarsatnak globálisan már több tízezer felhasználója van, s a piaca gyorsan bővül. 2005-re legalább egy millió előfizetővel számolnak. A most bevezetendő új, legkisebb készülékük pedig már csak akkora, mint egy 450 MHz-es sávú mobil telefon, s az ára is mindössze 1500 \$, tömege <0,5 kg. Az Inmarsat is természetesen bevezeti a korszerű szolgáltatásokat (ISDN, HSD, B-ISDN stb.). - Érdemes megjegyezni, hogy például a leginkább a BSS szolgáltatásban aktív EUTELSAT nemcsak az FSS felé nyitott, hanem nyit a PSCS felé is: diszpécser szolgálat bevezetését tervezi járművek részére...

A PSCS megjelenése következtében az egyszerű (és olcsó) előfizetői készülékek adási frekvenciája megnő. De valamennyivel megnövekszik e kézi készülékek adóteljesítménye is. Így meg kell gyorsuljon a fej (agyvelő) által elnyelt összes elektromágneses dózis hatásának kutatása, részben a szolgáltatást veszélyeztető hiedelmek elterjedése megelőzésére, részben a valóban fellépő hatások tisztázására és ezek kivédése technikájának kidolgozására. Ugyanis az bizonyos, hogy a kisugárzott teljesítmény egy (kicsi) része a koponyában elnyelődik, s időben a dózis halmozódik.

A világ-falu kialakulása megállíthatatlan, s ennek létrehozója és fenntartója az űrtevékenység. A következőkben néhány markáns új jelenséget veszünk számba e folyamattal kapcsolatban.

### *3.2 Az űrhírközlés integrálódása, összeintegrálódása más űrszolgáltatásokkal*

Már az előzőekben leírtakból látható, hogy mind az űrhírközlésen, űrtávközlésen belül, mind a különféle űrszolgáltatások között összekapcsolódási folyamatok indultak meg. Ennek egyik részét az jellemzi, hogy az űrszegmens (a műholdak rendszere) egyidejűleg többféle szolgáltatást is nyújt. A másik részét pedig az, hogy a szolgáltatást igénybevevőnek a készüléke egyidejűleg többféle műholdas rendszer akár nagyon eltérő típusú szolgáltatását is nyújtja.

A távközlés, a hírközlés különféle szolgáltatásainak az ATS holdakkal megkezdődött integrálódása már előrehaladott folyamatnak tekinthető. Amint láttuk, az Inmarsat keretében a (tengeri) forgalomirányítás és mentés, valamint (kis adatsebességű) szolgálati és üzleti távközlés mellett megjelent egyetlen távközlési rendszeren belül, egyetlen szolgáltató különféle felkínált szolgáltatási választékában a számítógépes adatátvitel két előfizetői készülék között, a katasztrófa-elhárító csapatok hírközlési kiszolgálása, a krízisövezetekben dolgozók hírközlési biztosítása, majd a globális személyes távközlés lehetősége nagyon kicsi és könnyű (s nem drága) előfizetői készülékekkel. Az utóbbi szolgáltatás következtében az Inmarsat rendszere véglegesen beépül a globális távközlési hálózatba, s ezzel együtt szükségképpen bármiféle távközlési szolgáltatást is nyújtani tud. Ami még nyitott kérdés, műsorszórási szolgáltatást mikor indít, hiszen a B-ISDN alkalmas a gyors adatátvitelre, s a digitális TV átalakítja az ún. szórakoztató kép (műsor) átvitel módját is, beleértve a stúdió-néző kétirányú hírkapcsolat lehetőségét és igényét. Más szóval a teljesen integrált távközlési szolgáltatás már az űrrendszer dominanciája mellett jön létre.

Jól mutatják ezt a közeljövőre vonatkozó tervek is, ahol eleve integrált távközlési-hírközlési szolgáltatással számolnak. Európai példát tekintsünk. Az egyik érdekes program az ún. EAST (Euro African Satellite Telecommunications). Célja Európa, Afrika és a Közép-Kelet lefedése egyetlen GEO holddal és megszerezni legalább egy millió előfizetőt e nagy régióból. A szolgáltatás gerince a teljeskörű mobil szolgáltatás, a rural telefon és az adatátvitel, minimális (földi) fix infrastruktúra mellett úgy, hogy a rendszer feleljen meg a GSM és a DCS előírásoknak is. Ezzel elkezdődik a földi és űr-rendszerek teljes műszaki integrálódása.

A WEST (Wideband European Satellite Telecommunications) program célja érdemben ugyanezen a területen az interaktív szélessávú multimédia alkalmazás kiszolgálása a GII-hez, azaz a Globális Információs Infrastruktúrához (Global Information Infrastructure) kapcsolódva. Ennek keretében az interaktív TV-t, a távorvoslást, a távbanki szolgáltatást, a befektetési szolgáltatást, az interaktív játékokat stb. egyaránt biztosítja majd. A rendszer végső formájában minimum egy GEO holdból és kilenc MEO holdból állna, s végül globális működést képzelnek el. A szükséges tőke 2 milliárd \$, még nincs meg teljes egészében. Az azonban világos, hogy az integrációs folyamat gyorsul.

A különféle űrszolgáltatások, űrszolgáltatók integrálódása is elkezdődött, s szintén a távközlés bázisán. Ennek ma jellemző része az űrtávközlési, űrhírközlési rendszerek előfizetői készülékeinél az egyidejű, kérhető vagy automatikus műholdas helymeghatározási adatszolgáltatás. Automatikus az integrált szolgáltatás a korszerű műholdas mentő-riasztó rendszerekben, ahol a segélyhívással egyidőben az előfizetői (felhasználói) készülék a riasztott központnak megadja (a GPS vagy a GLONASS globális műholdas helymeghatározó rendszer segítségével) a hívó fél földrajzi koordinátáit is. Hasonló integrálódás zajlik a katonai űrtávközlési rendszerekben is, ahol például a helykoordináták egyidejű megadása nagy pontossággal teljesen természetes üzemmód. Ez a folyamat az egyes területeken az új űrtechnikai lehetőségek használata során kialakuló igények vagy követelmények megjelenésével kezdődik, s az automatikus szolgáltatás-összekapcsolásig tart. Hasonló a helyzet a kozmikus meteorológiai szolgáltatás és a távközlési szolgáltatás integrálódásában, s várható, hogy a továbbiakban a távérzékelés, a helymeghatározás és a távközlés, hírközlés lassabb összefonódása is lezajlik. Az integrált szolgáltatás sajátos, és csak részben elkülönülő területe lesz a honvédelmi alkalmazás egésze. Az ott megszülető eredményeket viszont igen gyorsan veszi majd át a civil alkalmazás, amely egyrészt érdemben továbbfejleszti ár és megbízhatósági okokból az integrált szolgáltatásokat, másrészt olyan szolgáltatásokat is kifejleszt a honvédelemtől teljesen függetlenül, amelyekre a civil kereslet nagy, de amely kívül esik a mindenkor nagyon konzervatív honvédelmi fejlesztési terveken. (Ez utóbbiaknak természetesen lehet akár nagyon nagy honvédelmi jelentősége is.)

### *3.3 Kitekintés*

A leírt űrhírközlési folyamatok az egész űrtevékenységre nagy és átalakító jellegű hatással lesznek. Az alapvető változást a rendkívül nagy műholdszám okozza. Tudjuk, hogy már a geoszinkron pálya végessége (egyetlen kör az egyenlítő felett mintegy 36000 km magasan) szabályozási gondokat okoz, hiszen rajta csak véges számú műhold helyezhető el. Ráadásul ezek között elektromágneses interferencia nem léphet fel. A GEO pályát ugyanakkor az FSS és BSS szolgáltatókon kívül a speciális távközlési jellegű szolgáltatók (pl. Inmarsat) is használják. De rajtuk kívül ugyanezen a pályán katonai szolgálatok is működnek, a globális meteorológiai szolgálat különféle „nemzetiségű” holdjai is ott találhatók. Mivel e pálya szubszatellita (a műholdpálya geocentrikusan földfelszínre vetített nyom-)vonala néhány ország és az óceánok területén halad át, kísérletek történtek egyes pályaszakaszok nemzeti hatáskör alá vonására. A problémának azonban valóban komoly része az, hogy nem küldhető fel GEO pályára akárhány műhold, s már a GEO pályák esetében a frekvenciasávok használatában érdemi egyeztetésre és szabályozásra volt szükség.

A kialakuló helyzetben azonban a frekvenciasávok használatában egyrészt az eddiginél nagyságrenddel nagyobb igény jelenik meg, másrészt a különféle szolgáltatók LEO és MEO holdjai egymáshoz képesti helyzete a Föld körüli keringés során folyamatosan változik, így a zavaró interferencia lehetősége nemcsak megnő, hanem időben is folyamatosan változó képet

mutat. Ez természetesen kihat a kutató műholdak és űrszondák üzemére is, amennyiben e szolgáltató holdakkal azonos sávban kell működjének, vagy e Föld közeli szolgáltató holdak akár kis szintű jelet (zajt, felharmonikust stb.) sugároznak a kutató eszközök adattovábbítása illetve mérései részére fenntartott sávokban. Ráadásul már a „hagyományos” földi mobil távközlési rendszerek zavarni kezdték hasonló okokból a rádiócsillagászati obszervatóriumokat. A zavar szintje csak növekedni fog a jövőben. Ezért elkerülhetetlen a frekvencia-spektrum használatának optimalizálása és ennek szigorú szankciókkal biztosított betartatása.

A zavar másik forrása maga a sok műhold. Ennek következtében ugyanis megnő annak a valószínűsége, hogy egy-egy rádiócsillagászati vagy űrszonda-követési elektromágneses útvonalon műhold haladjon át. Ez pedig a jelet szóró tárgy áthaladását jelenti, ami a méréseket tönkreteszi, tönkreteheti, illetve megzavarja az űreszköz-Föld kapcsolatot. Arra is gondolva, hogy a jövőben - ha a civilizációnk megéri - az emberes űrhajók távolabbi űrbe repülése rendszeressé válik (Hold repülések, Mars expedíciók), az adott zavarok embert is veszélyeztethetnek. Természetesen annak a valószínűsége is növekszik, hogy az egyik PSCS rendszer műholdjai közötti, pl. optikai sávú kapcsolatot, egy másik PSCS rendszer műholdja árnyékolja, de ennek a geometriai valószínűsége még mindig rendkívül kicsi marad.

A műholdak összes száma előre becslése során nem szabad megfeledkezni arról, hogy a globális helymeghatározó rendszerek is rendszerenként több tíz műholdból állanak. Az egyéb szolgáltatások (meteorológia, általános távérzékelés, a katonai szolgálatok, felderítő és ellenőrző rendszerek stb.) holdjainak száma is növekszik. Így a pályán lévő összes, működő és már tönkrement műholdak száma a közeli jövőben rohamosan növekszik. Ennek a fentebb elmondottakon kívül további következménye, hogy folyamatosan nő két űreszköz ütközésének a veszélye, ami különösen az űrhajók biztonsága esetében kritikus kérdés. Ne feledjük, hogy a közelmúltban is előfordult már, hogy régen pályán maradt űreszköz előrejelzés nélkül igen közel repült el űrhajó, űrállomás mellett. Az ellenőrzést és előrejelzést már ma is nagyon nehezíti, hogy tönkrement, rádiójelet már nem sugárzó műholdból illetve űreszköz darabokból sok ezer van Föld körüli pályán. A már a következő néhány évben nagyságrendileg ezer(!) műholdat használó űrszolgáltatások, köztük dominánsan a PSCS és integrált távközlési rendszerek időben növekvő számú tönkrement műholdat is „termelnek”. Így a Földről követés a fejlődő technológia ellenére egyre nehezebb és költségesebb lesz, az esetleges pl. rakétát használó váratlan, terror jellegű támadások észlelése is megnehezedik, miközben a fentebb jelzett problémák fellépési valószínűsége gyorsan növekszik majd. Természetesen megnövekszik annak a valószínűsége is, hogy valamelyik, a Föld légkörébe visszasüllyedő, már használaton kívüli műhold kisebb-nagyobb darabja túléli a légkörön áthaladás közben fellépő hőterhelést és lakott területen ér földet. Azonban ez egyelőre nem kritikus kérdés, mivel a nagy számban előforduló műholdak tömege nem nagy és a szerkezete következtében is az a valószínű, hogy nemigen éli túl a légkörben lefékeződést.

Mindezek következtében elkerülhetlenné válik a teljes Föld körüli térség használatának egyre pontosabb és szigorúbb szabályozása. De az is nyilvánvaló, hogy a következőkben ki kell alakítani a Föld körüli tér tisztogatásának technológiáját, a használatból kivont, tönkrement műholdak összegyűjtését és Földre visszahozatalát, vagy a távolabbi jövőben esetleg a kivitelét a távolabbi űrbe. Teljesen új szempontként jelenik majd meg, hogy mi történjen például egy csődbe ment űrszolgáltató cég nagyszámú műholdjával. Megveszi-e, átveszi-e valamelyik másik szolgáltató, vagy az egész úgymond űrszemétté lesz? Mindez az ember vezette űrrepülések számának növekedésével, új szolgálat felállításával jár együtt. Ennek viszont további űrtevékenységet növelő hatása van, s átalakítja, tovább növeli az űrtevékenység szerepét egész civilizációnkban. Ezt a folyamatot egyértelműen a mostani években a PSCS megjelenésével rohamosan növekvő műholdszám indítja meg.

A kitekintésben természetesen említést érdemel a korábbiakból már világosan kirajzolódó és a teljes űrtevékenységre meghatározó folyamat, amelynek során az indulásnál kutatási és biztonsági szerepet játszó, csúcstechnika fejlesztő, költségigényes és nem nyereségorientált űrtevékenység teljesen átalakul. A nagyon sok műhold gyártása, felbocsajtása és üzemeltetése, valamint a rövidesen elkerülhetetlenül megjelenő űrszemét-eltávolító szolgálat egyértelműen nyereségorientálttá, érzékenyebbé teszi az űrtevékenységet általában is, s lényeges technológia-váltás várható. Ez utóbbi jellege ma még nem jelezhető előre kellő megbízhatósággal, mivel valóban új technológiai megoldások szükségesek, s ezek kialakulásában nagy szerepet fog játszani a világűrbeli zéró-g gyártás is. Annyi azonban bizonyos, hogy a műholdak szerkezetileg szabványosodni fognak, s a szabványos részeknél megjelenik a sorozat gyártás is, a repülő-iparhoz hasonlóan.

#### 4. Helymeghatározás

A helymeghatározásban, annak mind a navigációs, mind a geodéziai részeiben most stabilnak mutató állapot alakult ki a korábban jelzett [2] folyamatok lejátszódása illetve megindulása következtében. A kialakult helyzet a következő: A sokféle műholdas geodéziai és navigációs eljárás visszaszorult, alkalmazásukra csak speciális esetekben, továbbá a távoli űrbeli navigáció (űreszköz követés), valamint a más égitestek felszínén tájékozódás, navigálás vagy geodéziai pontosságú mérés esetén kerül sor. Így eltűntek a műholdas fotogrammetriai eljárások, nagyon visszaszorultak a műholdakat használó radaros, lézer-radaros és csak Doppler-csúszást mérő földi helymeghatározási eljárások. A helyüket a műholdrendszereket alkalmazó, az elektromágneses jel futási idejét és Doppler-csúszását egyidejűleg mérő és felhasználó globális helymeghatározó rendszerek vették át, amint az várható is volt [2]. Ezek az USA GPS (Global Positioning System) rendszere és Oroszország GLONASS (Globalnaja Navigacionnaja Szputnyikovaja Szisztéma) rendszere. (Mivel hatása civilizációnkat nagyon átforgatja, s érinti a Föld-közelbeli űrtevékenység infrastruktúráját is, mind a rendszer működési alapelveivel és pontosságával, mind az alkalmazási helyzettel és kilátásokkal foglalkozom.) E rendszerek mellett kiegészítő vizsgálatokra használhatók még a speciális lézer-radaros mérésekre készült műholdak, de kizárólag speciális geodéziai feladatok (pl. geodinamikai vizsgálatok) megoldása esetén. Hasonlóképpen a kezdeti időktől használt Doppler-mérésre alapozott és futási idő méréssel kiegészített „Range and Range Rate” (RRR) eljárás ma is a bolygóközi szondák navigációjának az alapja. Ez még hosszú ideig változatlan marad, mivel az űrszonda-Föld-célbolygó vagy célpálya alapvető geometriai elrendezése is változatlan, s a mérés bázispontja sem telepíthető ki a Földről vagy egészíthető ki egyelőre más, űrbeli vagy más bolygóra telepített bázisponttal. Ezek mellett a nagy pontosságú interferometria, a VLBI a csillagászat mellett a speciális, földi, geodéziai feladatok megoldásában is szerepet játszik; a pontossági igények miatt az egyszerre földi pontot és űreszközt (műholdat vagy űrszondát) használó, s így extrém hosszú bázisú változata, az űr-VLBI. E nem GPS típusú eljárások azonban csak kiegészítő jellegűek és egyre kisebb fontosságúak a földi és Föld körüli alkalmazásokban. Földi civilizációnkat viszont rendkívüli gyorsasággal eluralta a GPS típusú műholdas helymeghatározás. Annyira, hogy ma már e rendszerek kikapcsolása komoly működési zavarokat eredményezne világszerte.

Éppen a bemutatott helyzetre tekintettel fontosnak gondolom röviden ismertetni a mára uralkodóvá vált műholdas helymeghatározási eljárás mibenlétét. Az eljárás alapja a műholdas Doppler-mérésekből jól ismert: négy ismert helyű (koordinátájú) pontból követve egy

műholdat, annak a pályája meghatározható; majd az ismert pályájú műholdat egy ötödik pontból megfigyelve meghatározhatjuk az ötödik, addig ismeretlen helyű pont koordinátáit. Ha Münchhausen bárót követve kifordítjuk a medvét, akkor tegyük fel, hogy van négy ismert pályájú műholdunk, amelyeket valamely ismeretlen helyű földi pontban (felszíni ponton, szárazföldi járművön, hajón, repülőgépen vagy a Földtől nem nagyon távol keringő műholdon) egyidejűleg(!) megfigyelve meghatározhatjuk e földi pont koordinátáit (szélesség, hosszúság, magasság, adott időpontban). A követelmény azonban az, hogy a Föld bármely pontján és bármely időpillanatban ezt meg lehessen tenni. (Ezt e feladatot a pontos tájékozódásban különösen érdekelt katonaság adta az úriparnak, de a rendszer létrejöttékor azonnal igen nagy civil felhasználói igény is megjelent.) Elemézve a feladatot kiderült, hogy az optimálisan 24 darab (a LEO-MEO átmeneti tartományba eső pályájú) műholddal oldható meg, amelyhez ezen felül még természetesen a folyamatos üzem követelményei miatt pályán lévő tartalék műholdak is tartoznak. A nagyon nagy pontossági követelmények miatt, amit a nagysebességű repülőgépeken alkalmazás szabott meg, csak elektromágneses hullámterjedési mérési eljárás jöhet szóba. Így a régi és pontos RRR eljárás alapötletének továbbfejlesztett változatát valósították meg. Ennek a lényege, hogy a 'földi' vevő egyidejűleg méri négy nagyon pontosan ismert pályájú műholdról érkező jel műhold-Föld futási idejét, s egyidejűleg megméri a vivő-jel Doppler-frekvenciacsúszását is. Utóbbiból meghatározza a terjedési útvonalon az átvírt közeg jellemzőjét ('törésmutatóját'), s ennek ismeretében korrigálja a mért futási idő adatot. Ahhoz, hogy a szükséges  $\pm$  néhány m -  $\pm$  néhány mm(!) helymeghatározási pontosságot el lehessen érni, mind a műholdak pályáját, mind a jelek műholdról indulási idejét igen nagy pontossággal kell ismerni. A 'földi' vevő a saját helyét geocentrikus koordinátákban adja meg. Így fontossá vált, hogy mire is vonatkozik pl. a tengerszint feletti magasság stb. A rendszerek a korábban csak a térképészeti tudományban fontos referencia geoidok valamelyikét használják. (Például a GPS a WGS-84-et, a GLONASS az SGS-85-öt.) Ezzel az eddig csak a geodézia tudományában és a különösen pontos alkalmazásokban fontos referenciák a mindennapi gyakorlatban váltak fontossá, beleértve jövőbeni pontosításukat is. Természetesen a rendszerek nemcsak a földi vevő helyét adják meg a referencia geoidok egyikére vonatkoztatva, hanem az összes hely-koordinátát, azaz az összes műhold pontos pálya-adatát is. Mivel ilyen pontosság mellett a műholdpályák kis változása is nagyobb hibát okozna, mint ami megengedett, ezért a változó pálya-adatokat sűrűn pontosítják. Például a GPS rendszerben óránként közlik a holdakkal az új pálya-adataikat, azaz frissítik az adatbázist. Ehhez természetesen az üzemeltetési oldalon egy rendkívüli pontosságú műhold-követő rendszer is tartozik, amely a műholdrendszer összes holdja pályáját folyamatosan nagy pontossággal méri. A hely-adatok mellett a pontos helymeghatározás kulcsa a pontos idő, mind a földi követő rendszerben, mind a műholdak fedélzetén. A nagyon pontos idő a 'földi' vevőkben is kell, de ezt az adatot e vevők az éppen megfigyelt műholdaktól is kaphatják, s kapják is a helymeghatározási eljárásban. A műholdak fedélzeti óráit a földi referencia időhöz szinkronizálják, szintén rendkívüli pontossággal. Ahhoz, hogy a helyet a jelzett pontossággal meg lehessen határozni, a futási időt  $1\sim 10$  ns ( $10^{-9}\sim 10^{-8}$ s) pontossággal kell mérni, s a világidőt is a szükséges, ennél nagyobb pontossággal kell ismerni. Így teljesen új fejezet nyílt a tudományos eredmények alkalmazása terén, mivel ez az időadat pontosság csak a speciális és általános relativitás elmélete eddig csak az elméleti fizikában és az elektromágneses hullámterjedési elméletben tárgyalt hatásai gyakorlati figyelembe vételével érhető el. Az általános relativitás elve szerint a Föld forgása is befolyásolja az órák járását. Ezért az idő referencia nem a Föld felszínéhez kötött koordináta rendszerben értelmezett, hanem helyette egy, a Föld középpontjához rögzített, de a Földdel nem együtt forgó rendszerben, s az ebben mérhető úgynevezett „Koordináta-időt” használjuk referenciának. Így a földi követő állomások és időetalonok idejét folyamatosan át kell számolni „Koordináta-időbe”, s a műholdak fedélzeti idejét szintén. Ugyancsak figyelembe kell venni mind a futási idő mérésnél, mind a Doppler mérésnél, hogy a gravitációs tér megváltoztatja az



elektromágneses jelek frekvenciáját, s így a műholdak fedélzeti jeleinek valódi frekvenciája egy kicsit kisebb, mint azt a Földön mérjük. A műholdaknál már kisebb a Föld vonzása, hiszen messzebb vannak a középponttól. Így a kisugárzott jel kék-eltolódása  $\sim 4 \times 10^{-10}$ , s ezt is figyelembe veszi a mérőrendszer. Mindehhez a földi vevők legkisebb változata nem nagyobb, mint egy mai kis, mobil rádiótelefon. Ez a minőségi változás mindenképpen befolyásolja a jövőt, hiszen a mai elméleti fizika, elméleti elektrodinamika került át a köznapi gyakorlatba. Mivel pedig a mikroelektronikában is éppen most érik el azt a mérethatárt, amitől kezdve a kvantumfizika, kvantumelektrodinamika az áramkör-tervezés részévé válik, várható, hogy a fizika-elektrodinamika területén valóban új, így ma előre sem jelezhető felismerések születnek majd meg. Megszűnt e területek elméleti jellege.

Az összes, korábban várt [2] alkalmazás mára megvalósult. A közeli jövőben a polgári alkalmazási területeken a pontos, műholdas helymeghatározás általánossá válása várható. Ez nagy piacot jelent, különösen a földi vevők terén, azonban nem kis piac a rendszerek műholdjainak pótlása, s esetleg újabb rendszerek üzembe állítása sem. Katonai téren ez a helymeghatározás minden területen általánossá vált az Egyesült Államokban, Oroszországban és minden fejlettebb hadseregben. Enélkül a csapatok pontos irányítása és a veszteségek csökkentése el sem képzelhető. A GPS stb. alkalmazása ugyanezért mind a bűnüldözésben, mind a katasztrófa elhárításban, mind a határvédelemben általánossá vált illetve válik világszerte. Ma ezen rendszerek használatától semmiféle fegyveres testületnél nem lehet eltekinteni. A nagy piac azonban a polgári, a civil alkalmazás. Ennek egyik része közvetlenül kapcsolódik a globális és hagyományos mobil telefonáláshoz, ahol is az előfizetői készülékbe beépített pl. GPS egység (chip) azt biztosítja, hogy a telefonáló bármikor és akár automatikusan meg tudja adni a helyét, például segítséget, mentőt stb. tud hívni. A piac mérete itt egybeesik a mobil előfizetői készülékek számával. A tengeri és légi közlekedésben már általánossá vált a navigáció alkalmazása. Várható és indokolt a kötelezővé tétele, ami nemcsak a navigációs biztonságot növeli meg, hanem lehetővé teszi a forgalom sűrűsége növelését, azaz a követési, elválasztási távolság biztonságos csökkentését. Ez a civilizáció működése szempontjából nagyon fontos. Sok műhold, műhold-rendszer esetében is a költséges saját navigációs és követő rendszer helyett lehetséges a GPS, GLONASS stb. rendszerek egyikének alkalmazása a pálya és a pillanatnyi tartózkodási hely meghatározásához. Alapvető változást hoz e rendszer a szárazföldi közlekedésben. A járművek folyamatosan meg tudják határozni a helyüket. Így a szállítmányozó cégek (vasút, kamionok, autóbuszok stb. üzemeltetői) már megkezdtek az átállást a műholdrendszerek használatára. Mivel a pontosság a m~mm tartományba esik, az is megoldható, hogy ezen helymeghatározás alapján irányítsák a nagyforgalmú helyeken a rakodás gyorsítását, hiszen igen pontosan lehet ütemezni a járművek érkezését, s a kritikus helyeken a járműveknek nem kell várni az előző jármű rakodása befejeztéig. Az adat pontossága oly nagy, hogy még az is eldönthető, hogy egy nem túl keskeny utca melyik oldalán vagyunk. Így a személygépkocsikban is terjed a rendszerek alkalmazása, megoldható az útvonal tervezése digitális térképre vetített hely-adattal stb. Ezzel a piac most bővül, s várhatóan eléri a teljes személygépkocsi gyártást, azaz ez a vevő tartozéka lesz minden gépkocsinak, gépjárműnek. E változás egyidejűleg megnyitja az utat a teljesen automatikus közlekedés, a robotvezérelt járművek alkalmazása előtt is, mivel a pontos hely-adat és az aktuálisan hiteles, naprakész térkép ezen automatizálásnak előfeltétele. (Utóbbit a távérzékelés tudja biztosítani.) A katonaság által kifejlesztett rendszer domináns felhasználója és haszonélvezője a civil szféra. Azonban, amint azt az előző fejezetben megmutattam, a csak vevőt használó alkalmazók köre nem ellenőrizhető, nem is célszerű az alkalmazást tarifához kötni általános emberiességi (mentés, védelem stb.) és gazdasági hasznossági (jó ha minden közlekedő használja közlekedés-biztonsági stb. szempontból, nemcsak a gazdagabb)

szempontokból. Így ez az ürtevékenység össztársadalmi szinten térül meg nagy hozammal, de maga a szolgálat állami (központi) alapról kell üzemeljen.

További nem kevésbé fontos alkalmazás az ásványi kincsek feltárásától a különféle földi expedíciók támogatásáig terjed. Így pontosan meg lehet adni mind a sivatagokban, mind a tengereken, mind egyéb, eddig rosszul feltérképezett helyeken egy-egy expedíció tartózkodási helyét, s vissza is lehet találni az adott helyre, ha kell mm-es pontossággal. Ugyanígy nagy máris a szerepe a környezeti ártalmak felderítésében és lokalizálásában. Természetesen és nem utolsósorban alapvető a fontossága mind a nagy pontosságú térképészetben, mind a műholdas távérzékelésben a földfelszínről készült felvételek térképi illesztésében, a geodéziában és a dinamikus geodéziában. E rendszerek automatikusan megoldották a geodéziai felmérések globálisan egyetlen rendszerbe kötését is.

Külön kell szólni arról az általános ürtevékenységi problémáról, amit éppen a műholdas helymeghatározó rendszerek üzembe állítása vetett fel nagyon élesen. Amint láttuk, ma két rendszer üzemel. Az egyik az USA katonai irányítása keretében, a másik Oroszország katonai irányítása keretében. Eközben mind a katonai, mind a polgári alkalmazások tömege épít e rendszerek folyamatos használatára. Mindkét rendszerben van egy pontosabb és egy kevésbé pontos mérési lehetőség. Eredetileg a pontosabbat csak nemzeti (és szövetségi) katonai alkalmazásra tervezték, a pontatlanabbat pedig polgári alkalmazásra is megnyitották a szükséges kódok hozzáférhetőségének biztosításával. Azonban mára polgári alkalmazások is a szükséges mértékben a pontosabb szolgáltatást igénylik. Viszont semmiféle nemzetközi jogi garancia nincs arra, hogy a jelenlegi üzemi állapotot az érintett két ország fenntartja, illetve a nagy pontosságú mérés lehetőségéhez a hozzáférés ma is nehézkes, éppen mert nemzeti katonai ellenőrzés alatt működnek e rendszerek. A GPS is, a GLONASS is egyetlen ország szuverén döntése alapján bármikor kikapcsolható veszélyeztetve a civilizációnk fontos részeinek működését. Az sem zárható ki, hogy adott esetben egyszerűen egy teljesen új műholdrendszert telepítenek kizárólagosan nemzeti hozzáféréssel, s eközben pl. a GPS-t hagyják tönkremenni, vagy akár csak gazdasági okokból az üzemeltető ország nem tudja a rendszert fenntartani, pl. a tönkremenő műholdakat pótolni. (Az előbbire sajnálatos példát fogunk látni a műholdas távérzékelés kapcsán a következő részben.) A helyzet kialakulásában mások is közrejátszottak; gondoljunk csak vissza a 2. fejezetben az ESA működése kapcsán elmondottakra (lásd a táblázatot is). Éppen ezért és a nagy pontosságú mérések akadálytalan hozzáférhetősége megoldására a Nemzetközi Polgári Repülő Szövetség (ICAO) saját műholdrendszer kiépítésébe fogott. Ez a Global Navigation Satellite System (GNSS) lesz. E rendszerek kapcsán vált nyilvánvalóvá, hogy feltétlenül megoldandó globális szinten a kulcsfontosságú ürrendszerek üzemeltetésének és hozzáférhetőségének garantálása. Ez jogilag is teljesen új helyzetet teremt majd. A rendezési folyamat még nem indult meg, de a problémát már sok ország és sok felhasználó realizálta. Így a garanciák is meg kell születniük a nem nagyon távoli jövőben, ismét átalakítva a nemzeti szuverenitás értelmezését az élet fenntartása és az életminőség javítása, pontosabban helyreállítása érdekében.

## 5. Távérzékelés

E téren a gyors, minőségi átalakulás folytatódása mellett egyrészt megkezdődött a szolgáltatások átstrukturálódása, másrészt megfogalmazódtak civilizációnk létezésének alapvető kérdései. Ma a Föld kutatása, a földfelszín megfigyelése, térképezése, a felszíni folyamatok nyomkövetése stb. már alapvetően ürtevékenység, amelynek mind tudományos, mind gyakorlati oldala van. Ebből a fontosabb és a civilizációnkra nézvést meghatározóbb az

összefoglaló tudományos oldal [13]. Ez az oldal természetesen összefonódik a felhasználói (fogyasztói) igényeket kielégítő K+F munkával, hiszen annak eredményei is mind beépülnek a Föld egészéről és az általános életfeltételek alakulásáról halmozódó adatokba, modellekbe. Ez kapcsolódik a jövőkutatás jellegű munkákhoz, amelyek elsőrendű fontosságúak, s a zárt ökoszisztémát, azaz az életet hordozó, véges Földet vizsgálják. Bolygónk nagyon sok szempontból olyan, mint egy élőlény. Született a múltban, meghal a jövőben, de a metabolizmusa sokkal bonyolultabb, mint pl. az emberé. Alapvető probléma e munkák során, hogy - amint azt a fizikából és a filozófiából egyaránt tudjuk - egyetlen rendszer sem érthető meg csak a rendszer határain belül maradván. Az ürtevékenység geometriailag kívül vitt bennünket a Föld határain. Ennek következtében alapvetően megváltozott a tudásunk, sokkal jobban értjük a Földet, a Föld működését. Azonban ez nem elégséges, mivel nem tudtunk és nem tudunk kilépni a Föld időbeli határaiból, még kellően hosszú idejű hiteles áttekintésünk sincs róla. Az időtényezőt feloldani nem tudjuk, ahhoz időutazás kell. Persze alapvetően új eredmény már az is, hogy ezt a problémát meg tudjuk fogalmazni. E vizsgálatok egyik következménye az, hogy ma már bizonyosan tudjuk, az emberi létnek, civilizációnknak csak akkor van jövője Földünkön, ha mostantól kezdve kiemelt figyelmet fordítunk bolygónk egészsége megőrzésére. A Föld kutatása a világűrben végleg elsöpörte azt a régi, általános emberi, s benne kutatói-felfedezői felfogást, amely szerint a földfelszín oly nagy, hogy végtelennek tekinthetjük, s a Föld erőforrásai is végtelenek, azaz mindig találunk majd újat az elfogyó helyett. Ennek mai maradványaként még a közgazdászok és politikusok többsége nem tartja fontosnak a bolygónk jövőjével foglalkozást. Azonban a Föld világűrben figyelése, a távérzékelés sok gyakorlati probléma megoldását eredményezte, s eredményezi a jövőben is. Ezért a használata világszerte terjed. Ennek következtében pedig kikerülhetetlenül növekszik a Földre vonatkozó globális és összekalibrált adatbázis, s épül a mindezen adatokat begyűjtő és felhasználó globális infrastruktúra az egyre szorosabban együttműködő kutatói gárdával együtt. Ez az adatbázis automatikusan kapcsolódik a geoinformációs rendszerekhez (GIS). Tehát a Föld „egészsége megőrzéséhez” szükséges kutatási infrastruktúra megállíthatatlanul épül ki. Ebből kimaradni pedig az említett gyakorlati hasznát hajtó eredményekből kimaradást jelent minden ország, minden érintett gazdasági egység számára. A következő lépés a történelmi és földtörténeti adatok, az előbb említett aktuális adatok, a természeti folyamatok modellezési eredményei és e folyamatok jövőbeli alakulására vonatkozó hipotézisek, valamint a más bolygókra vonatkozó adatok egyetlen információs rendszerbe foglalása. Ma e folyamatot a kalibrációs szempontból meggondolatlan műholdas ötletek mellett lényegében csak a tudományos adatok gyorsan terjedő pénzért árusítása, valamint e folyamat gazdasági okokból manipulálása zavarja, de ez alapvetően. Mivel a távérzékelés forradalmasította a hidrometeorológiát, a geodéziát és térképészetet, a Nap-Föld kapcsolatok vizsgálatát és a földfelszíni bioszféra áttekintő és részletező vizsgálatát egyaránt, nyilvánvalóvá váltak az emberi és a természeti szféra legfontosabb kapcsolatai [14]. A természeti szféra az erőforrásoktól és természeti kockázatoktól, veszélyektől az élővilág részein (állatok, növények) át az élet számára kardinális értéket - azaz mással nem helyettesíthető és pénzért meg nem váltható értéket - jelentő talajig (termőföldig), vízig, levegőig terjed, beleértve az időjárást és a teljes klímát. Az emberi szféra a népességtől, alapszükségleteitől (levegő, víz, élelem, ruha) és egészségétől a kultúrán (vallás, oktatás, tudomány és művészet) át az infrastruktúráig (hírközlés, utak, vízvezeték és csatornázás stb.), szállítás és közlekedésig, iparig, védelemig és kormányzatig terjed. A két nagy egység csatlakozó felületei a katasztrófák, az erőforrások igénybevétele, a környezet terhelése, az ökológia - globális, regionális és helyi szinten. E nagy rendszerben jut ma már kiemelt szerep az ürtevékenységnek, amelynek most csak a távérzékelési részét említem, hiszen egyebekről korábban már volt szó. A műholdas távérzékelés a természeti oldalon a felméréssel, a változások figyelésével, a kialakult és alakuló trendek észlelésével, a folyamatok dinamikája feltárásával, a hatások és kölcsönhatások megfigyelésével jelenik meg, míg az emberi oldalon

a műholdas technika a modellezéssel, a megoldások megtalálásával, a stratégiák kidolgozásával, a cselekvés logisztikai háttere megadásával és az egyes akciók ellenőrzésével játszik meghatározó szerepet. Ezt átgondolva jól látszik, hogy miközben az űrtevékenység az egyes felhasználók alapvetően gazdaság-motiválta igényeit elégíti ki (adatszolgáltatással, modellezéssel, megoldási javaslatokkal), közben információs rendszerében felhalmozza mindazon adatokat és modelleket, amelyek a Föld megőrzéséhez biztosan szükségesek, de nem biztos, hogy elégségesek. Ahhoz, hogy ez az információs bázis ne csak többé-kevésbé elszigetelt, nehezen hozzáférhető és a Földön nemcsak földrajzilag szétszórt információ halmaz maradjon, folyamatosan működő globális kutatási infrastruktúra szükséges. Ez ma még nincs meg, de a kialakítása már lehetséges. A tét nagy. Ugyanis nemcsak az ember halandó, de az emberiség sem halhatatlan! Ezen infrastruktúra része, hogy az egyes egyedi (nemzeti stb.) alapon létrehozott távérzékelési űrrendszereket minden felhasználó előtt megnyissák, a különféle egyidejű és időben egymás utáni űrrendszerek technikailag és kalibrációs, valamint adatértékelési szempontból legyenek kompatibilisek és a legmagasabb szintű kutatási programok nemzetközi irányítás alá kerüljenek. Természetesen ez a folyamat más területeken is megkívánja az integrációt, így jelenleg ennek csak részfolyamatai láthatók. Az is nyilvánvaló, hogy mindennek szabályozási és pénzügyi következményei vannak illetve lesznek. Elkerülhetetlen azonban a Föld integrált kutatásának rohamos előretörése, s ezen kutatás eredményeinek figyelembe vétele az élet minden szintjén. A továbbiakban a távérzékelés gyakorlati alkalmazási területeit tekintjük át.

### *5.1 A távérzékelés nemzetközi rendszere.*

Ma már sokféle és sok ország nemzeti programja keretében pályára állított műhold alkotja a távérzékelési űrrendszert. Ennek nemcsak előnyei vannak. Az ideális helyzet az lenne, hogy legalább adatfeldolgozási szinten kompatibilis adatokat szolgáltató műholdakat használjanak az egyes, önállóan műholdakat felbocsájtó országok. Azonban a kép összetettebb, s így a jövőkép is bonyolultabb.

A kezdeti időszakban a távérzékelés nagyon rendezetten épült ki. A '60-as években startoltak a meteorológiai műholdak. Ezek közül az USA holdjait nagyon hamar megnyitották az egész földi közösség számára, azaz külön kód nélkül is venni lehetett a felhőzet képeit. A rendszer tagjai elfogadható mértékben kompatibilisek voltak. Párhuzamosan kiépültek a hadseregek (kezdetben elsősorban a haditengerészet és a légierő számára fontos) meteorológiai műholdjai. Ezekkel párhuzamosan működtek és működnek a mai napig az egyre nagyobb felbontású felderítő műholdak. A '70-es évek elején indult a polgári használatra nyitott, de bárki által szabadon már le nem vehető adatokat szolgáltató Landsat-sorozat. Az orosz (ekkor még szovjet) műholdak úgymond polgári célú adatai csak nagyon nehezen voltak elérhetők. A franciák megkezdtek az addigi távérzékelési holdakkal nem kompatibilis adatokat szolgáltató Spot műholdak felbocsájtását. Továbbá teljesen új meteorológiai műholdas világhálózat épült ki nemzetközi részvétellel, GEO holdakkal és a többi távérzékelő műholdas rendszerrel adat szinten összekalibrálható AVHRR műszerekkel felszerelt, poláris pályán keringő NOAA műholdakkal. A '80-as évekre világossá vált a távérzékelte adatok nagy gyakorlati hasznossága. A műholdas távérzékelés ekkorra több föld- és bioszféra vizsgálati területet forradalmasított. Ugyanakkor kiderült, hogy a szükséges mértékben e műholdas rendszerek kiépítői nem építik tovább a távérzékelő műholdak hálózatát. Így több ország saját távérzékelő műhold, sőt műhold sorozat felbocsájtásába kezdett. Az USA, miközben a nem nyilvános (úgymond katonai) műholdrendszereit folyamatosan fejlesztve üzemelteti és adatait polgári célokra is használja, a Landsat sorozat, a definit módon polgári alkalmazási céllal üzemelő műholdak folyamatos működésének fenntartását, bár szóban ígéri, a valóságban nem oldotta

meg. Jelenleg is csak egyetlen Landsat hold üzemel, s a pótlásáról érdemben nem esik szó. Jelenleg a Landsat sorozat halódik, nagyon sok nehézséget okozva a globális felhasználói közösségnek. Az Egyesült Államok saját belső igényei természetesen kielégíthetők a katonai célra fenntartott műholdrendszerek (válogatott, úgymond titokmentesített stb.) adatainak polgári célú feldolgozásával is. E helyzet következtében ma már India több saját távérzékelő műholdat üzemeltet az IRS sorozat részeként. Az ESA azonban a szükségesnél kisebb mértékben vesz részt a távérzékelésben, alapvetően a meteorológiai célú, pontosabban kis felbontású műholdak üzemeltetésére koncentrálna, pedig az európai országok műholdas adat-igénye igen nagy. (Az 1. sz. Táblázatból látszik, hogy ez is csökkentette az ESA versenyképességét a piacon.) A kínaiak is saját műholdakra alapoznak e téren...

A helyzet úgy összegezhető, hogy ma nincs semmiféle elfogadott szabályozás és garancia arra, hogy a nemzeti vagy közösségi (pl. ESA) alapon létrehozott távérzékelő műholdrendszerek akkor is a felhasználói közösség rendelkezésére fognak állni, amikor az ezen adatbázisra kifejlesztett programok, eljárások gyakorlati operatív hasznosítása lehetővé válik a K+F munka lezárásaként. Ez nem azt jelenti, hogy érdektelenné vagy művelhetetlenné válik a műholdas távérzékelés, hanem azt, hogy ez az általános nemzetközi garanciák nélküli helyzet gazdaságilag is rossz hatású nehézségeket támasztott. Ennek következtében a felhasználóknak, ha valóban élvezni akarják a műholdas távérzékelés gazdasági előnyeit, stratégiát kell váltani. Nem szabad egyetlen adatszolgáltatóra alapozni. Viszont ebből adódik, hogy a különféle műholdak mai központi adatvevő állomásai a Földön szétszórtnak találhatók meg, különféle hozzáférési lehetőséggel és infrastruktúrával. Vagyis a felhasználók a napra kész(!) adatbázist akkor tudják a maguk számára biztosítani, ha saját maguk berendezkednek a sokféle távérzékelési műhold adatai vételére, s ehhez megfelelő ellentételezés ellenében az engedélyt (a kódokat) az üzemeltetőtől megkérlik. A meteorológiai célú, kis felbontású adatok globális szabad vétele továbbra is megoldott, s ennek megmaradását elfogadható nemzetközi garanciák biztosítják. Ezen adatok vételére így egyre több felhasználó rendezkedik be, még kisebb országoként is több. A vétel megoldása kezd ugyanolyan megszokottá válni, mind a műholdas hírközlés alkalmazása. A lassan tömegesedő felhasználás következtében a vevőrendszerek árai sem magasak. Várható, hogy az elmondottak miatt a nagyfelbontású adatok vételének helyi megoldása is elterjed. Ezt a folyamatot gyorsítja, hogy a katasztrófa elhárításban, a vizek vizsgálatában és a növényzet monitorozásában, valamint a termésbecslésben a jó operatív szolgáltatás előfeltétele a folyamatosan garantáltan rendelkezésre álló, napra kész, azaz valós idejű (real time) műholdas adatszolgáltatás. A folyamatok gyorsasága miatt e téren az adatok késleltetett hozzáférése a szolgáltatást magát veszélyezteti. Mondhatjuk, hogy kissé más jelleggel, de e téren is az a probléma merült fel, mint a helymeghatározó rendszereknél, vagyis az adatok hozzáférést és a műhold-rendszerek fenntartását, üzemeltetését egyetlen ország, a felbocsájtó bármikor megszüntetheti. Akkor is megszüntetheti, ha ezt mondjuk „csak” pl. a gabonatőzsdei érdekei diktálják.

Az elmúlt évtizedben az előbb áttekintett műholdakon kívül továbbiak is megjelentek. Az említett rendszerek alapvetően az optikai (látható és infravörös) sávban dolgoznak. Ezen adatok felhasználása a legelőrehaladottabb, hiszen ezen adatok állnak rendelkezésre a leg-hosszabb ideje. Azonban az elektromágneses spektrum más részei birtokbavétele is folyik. Így ma már több mikrohullámú sávban érzékelő műhold is működik. Ezek előnye, hogy „átlátnak” a felhőzetet. Hátránya, hogy korábban nem ismert és fel sem tárt tulajdonságú adatokat kapunk. Ezzel együtt a következőkben egyre bővül majd az elektromágneses spektrum nem-optikai részeinek kezdetben csak kísérleti használata a földfelszín vizsgálatában. E téren a helyzet szabályozási szempontból az optikai sávú adatszolgáltatókénál is rendezetlenebb. De ez természetes, hiszen a munkák kutatási szinten folynak, s egyelőre sok nyitott kérdést kell még megválaszolni a kiterjedt operatív alkalmazás előtt.

## 5.2 Hasznosítás, szolgáltatások

A ma már rutinszerűnek tekinthető adat-hasznosító és szolgáltató a *meteorológia*. A korábbi időszakban a meghatározó trend a földi alacsonylégkört és a felhőzetet kvázi-folyamatosan figyelni képes műholdas rendszerek létrehozása volt. Mára e rendszerek kialakultak: a Föld felszínét az optikai sávokban kis felbontással GEO holdak figyelik, egyetlen világhálót alkotva; ezeken kívül poláris, napszinkron pályán (SSO) keringő műholdak monitorozzák az egész földfelszínt általános távérzékelési szempontból kis, meteorológiai szempontból nagy (példaként  $1 \times 1 \text{ km}^2$  vagy  $4 \times 4 \text{ km}^2$  stb.) felbontással. (Az SSO pályán a pólusok fölött is áthaladó műhold minden nap kb. ugyanazon helyi időben, azaz azonos helyi Nap-állásszög mellett repül át egy-egy terület fölött, vagyis a terület megvilágítási viszonyai, az évszaki változástól eltekintve naponta nem változnak; s ez nagyon megkönnyíti az időben egymást követő adatok összekalibrálását.) E műholdak rendszerét egyedi kísérletinek tekinthető további műholdak egészítik ki, vizsgálva a Föld energiamérlegét, a globális változások, az időjárás módosulása szempontjából fontos paramétereit. Mindez mára rutinná vált. Ezen űrrendszerre épül a teljes földi meteorológiai szolgáltatás, annak biztonságot érintő részeivel (repülés biztonság, vihar jelzés, tenger mozgás stb.) együtt. A rendszer a jövőben fennmarad, az újabb hold-típusok természetesen követik az űrtevékenység általános technológiai fejlődését, s az újabb holdak a korábbiakkal kompatibilis formát is biztosítva lassan bővülő adatrendszert nyújtanak majd a felhasználó meteorológiai szolgálatoknak és egyéb magán és intézményi alkalmazóknak. Megjegyzendő, hogy a katonai meteorológiai műholdrendszerek kiterjedten használnak a mikrohullámú tartományokban dolgozó, a fentiekhez hasonló térbeli felbontású érzékelőket (is). - Az elmúlt néhány év két irányban alakított ki tartós és a jövőben egyre erősebben érvényesülő változást. Az *első* alapja az atmoszférikus folyamatok nagy változási sebessége miatt szükséges sűrű időbeli mintavételezés. Ma az időben legnagyobb mintavételi sűrűséget a meteorológiai célú műholdak biztosítják: a GEO holdak elvben majdnem tetszőleges sűrűséget, jellemzően 30 perces minta-sűrűséget, míg a poláris pályán lévő holdak általában a 12 órás mintavételi sűrűséget. Ez az adatsűrűség igen nagy érték más felhasználási területeken is, mint pl. a növényzet monitorozásában, a vizek figyelésében, árvíz jelzésben és elhárításban, mentésben... Ennek következtében rohamosan bővül az eredetileg meteorológiai célra kifejlesztett nagy műholdrendszer adatainak más távérzékelési szolgáltatásokban is mind a kísérleti, mind az operatív felhasználása; részben önállóan, részben nagyobb felbontású műholdas adatokkal kiegészítve. A felhasználást eredetileg a nagyobb felbontású adatok időben ritka és rendszertelen megléte váltotta ki. Azonban mára a kutatások a kisebb felbontású adatok integrált átlag jellegéből fakadó figyelemre méltó előnyöket is feltártak. Így ezen adatok egyre bővülő általános távérzékelési alkalmazása a közeli jövő meghatározó trendje. - A *második* meghatározó folyamatról már az 1. pontban esett szó. Nevezetesen az elmúlt évek során egyáltalán nem meglepő módon kiderült, hogy a földi időjárás igényelt pontosságú előrejelzése fontosabb civil és általános katonai alkalmazási területeken csak földi megfigyelésekkel nem lehetséges. E feladat jó megoldása megkívánja a földi légkör folyamatait befolyásoló kozmikus hatások egyre pontosabb monitorozását, s az észlelések beépítését az időjárási előrejelzésekbe. Így alakult ki a korábban már említett új elnevezés: a hagyományos, műholdas meteorológia az ún. földi meteorológia, míg a kozmikus környezet földi légkörre gyakorolt hatásait vizsgáló és jelző meteorológia az űr-meteorológia. Vigyázat, mindkét rész kizárólag űrtevékenységgel végezhető! Jelenleg érthetően és értelemszerűen a Napot vizsgáló űreszközök folyamatosan érkező adatait használják, sok helyen már rutinszerűen, a földi időjárás vizsgálatában és előrejelzésében. Azonban bizonyos, hogy e most felerősödő folyamat a jövőben a bolygóközi tér állapotának részletesebb és folyamatos vizsgálatát, s a nyert adatok meteorológiai előrejelzésbe beépítését eredményezi. Ezzel a Nap vizsgálata végleg kilépett a kizárólagos kutatásból, s része lett az operatív, gazdaságilag és

biztonságilag fontos szolgáltatásoknak. Ezen folyamatot a magaslégköri ózon-réteg további vékonyodása felerősíti. Hasonló átalakulás várható a nem távoli jövőben a bolygóközi tér figyelése és adatai földi célú operatív felhasználása terén is. Ez sok szempontból hasonlít a '60-as évek elején a meteorológiai műholdak adataival történetekre. Az végleg eldőlt, hogy a meteorológiában a domináns tényező az űrszegmens, egyre bővülő mértékben, míg a 35 éve még kizárólagosan működő hagyományos földi észlelések kisebb súlyú, kiegészítő adat-szolgáltatókká váltak, s maradnak is véglegesen. - A jelenlegi helyzetben még egy megjegyzés kívánczik ide. Az emberiség működésével folyamatosan módosítja a klímát, úgy tűnik, hogy nem kedvező irányban. Azonban az időjárás tudatos és célirányos megváltoztatására (egyelőre még hosszabb ideig) nem vagyunk képesek, ezzel kalkulálni (ma még) semmiféle jövőképpen nem szabad.

A távérzékelés további alkalmazási területein a kislebontású (meteorológiai jellegű) adatok mellett nagy, meghatározó, esetenként kizárólagos szerep jut a közepes és nagy felbontású műholdas adatoknak. (Közepes felbontásnak az 100-500 m-es tartományba eső térbeli felbontás minősül, míg a nagy felbontás az ennél jobb térbeli felbontást jelenti. Megjegyzendő, hogy a ma már rutinszerű 10 m-es felbontásnál jobb térbeli felbontást, ami a katonai felderítésben szintén megszokott, célszerű új kategóriába sorolva extrém-nagy felbontásnak minősíteni, mivel a szokott nagy felbontású 'felvételeknél' több nagyságrenddel nagyobb mennyiségű digitális adat továbbítását és feldolgozását kívánja meg.) A korábbi helyzetképpen [2] jelzett összes további kutatási-felhasználási területen a távérzékelés érdemi elterjedése megtörtént. A következőkben ezeket tekintjük át röviden.

*Mezőgazdaság, a növénytakaró és a talaj vizsgálata:* E téren a nagy, néhány napos időbeli felbontású mintavételezés szükséges, tekintve a növényzet időben gyors változásait. (Például a növényzet akár két-három nap alatt is ki tud sülni adott körülmények között. Ilyen eset fordult elő például 1992 augusztusában Magyarországon.) Természetesen a talaj vizsgálata lassúbb időbeli mintavételezéssel is lehetséges, de a műholdas adatokkal is segített talajművelés már nagy időbeli felbontást kíván meg. Erre az USA-ban működő szolgálatok tapasztalatai mérvadóak. Az adott területen, különösen a haszonnövények operatív vizsgálatában (állapot és vetésterület felmérés, hozam és termés előrejelzés és becslés, művelés-segítés) kiemelten fontossá vált mind a kis, mind a nagyobb felbontású műholdas adatok időben nagy sűrűségű (a heti egy adatot meghaladó sűrűségű) és valós idejű (real time) rendelkezésre állása. Így például Indiában nagy térbeli sűrűségű (államonként több, mint egy) adatértékelő intézet-hálózatot, valamint több földi vevő és nagy távérzékelő központot hoztak létre a távérzékelés, és azon belül a mezőgazdaság segítésére. (India 22 államában 45 nagy távérzékelési intézet dolgozik pillanatnyilag. A számuk tovább növekszik.) Ezen az alkalmazási területeken a műholdas adatok nagy pontosságú kvantitatív feldolgozása szükséges, nem elegendő a térképi jellegű (klasszifikáció, vetéstérkép stb.) értékelés. Ennek hatásaként gyorsan fejlődnek a növekvő pontosságú ún. légköri korrekciós eljárások; vagyis a távérzékelési probléma elektromágneses hullámterjedési feladatként, nevezetesen inverz szórás feladatként megoldása ab ovo meglévő ismeretek és kizárólag a mért műholdas adatok alapján. Így a feladatkör magába foglalja már a terepi sajátosságok stb. kvantitatív kezelését is. E folyamat a jövőben folytatódik, mivel nagyon sok hullámterjedési kérdés még tisztázatlan, az operatív szolgáltatásban rutinszerűen bevezethető eljárások száma kevés és a növekvő pontossági igény folyamatos fejlesztést kíván. E trendek szem előtt tévesztése gazdaságilag is komoly hátránnyal járó lemaradást okoz az egyes országoknak. A haszonnövények vetésterület felmérése, hozam-becslése és állapotfelmérése műholdak segítségével nemcsak olcsóbb az ún. hagyományos eljárásokénál, hanem minden esetben akár nagy területek összekalibrált áttekintését is lehetővé teszi, s a műholdas eljárások pontossága és megbízhatósága is ma már meghaladja az ún. hagyományos módszerekkel elérhető. A mezőgazdaság műholdas adatokkal segítése és

irányítása gyorsan terjed. Kiemelten fontosként kezelik és használják az USA-ban, Kanadában, Kínában, Indiában, Oroszországban és Ukrajnában, de nagyon intenzíven dolgoznak e téren a fejlettebb dél-amerikai országok, sőt egyes afrikai országok is. Az alkalmazás igazoltan előnyös kis területű országokban, régiókban is. Ezen eljárások használatának egyik sajátos területe pl. a kábítószer-termesztő területek felderítése. Más szóval a műholdas távérzékelés mezőgazdasági hasznosítása része lett az alakuló globális biztonsági rendszernek, mind bűnüldözési, mind ellátás-biztonsági szempontból. A mezőgazdasági hasznosítás további intenzív fejlődése folytatódik. - A mezőgazdasági hasznosítás a növénytakaró műholdas vizsgálatának csak az egyik része. Jelenleg gyorsan fejlődnek a növénytakaró általános vizsgálatát segítő módszerek, amelyeknek fontos része az erdők és a természetes állapotban még megmaradt növényzet felmérése, állapotának folyamatos figyelése, (természet-)védelmi intézkedések műholdas támogatása, szennyezések, szemétlerakók felderítése, az elhárítás segítése. Nagy fontosságú az erdők vizsgálatában az erdő-állapot mellett az erdei biomassza pontos meghatározása és változásainak nyomonkövetése. A kisebb területű, országos és regionális felmérések mellett gyorsan növekszik a globális áttekintő vizsgálatok száma. Erre ad példát [3] is. Mára már összeállt egy, az idő múltával időben értelemszerűen folyamatosan bővülő globális műholdas adatbázis, amely először nyújt lehetőséget valóban hiteles, az egész Földre kiterjedő vizsgálatokra. (Nyilvánvaló, hogy a növényzet vizsgálata esetén az északi és a déli féltekét külön kell kalkulálni, mivel az évszakok éppen ellenütemben járnak.) Így már van áttekintő képünk arról, hogy a természetes és ember gyújtotta tüzek milyen mértékűek globálisan, hogyan folynak le, mekkora a hatásuk, mi a következményük. E téren az USA közepes felbontású, katonai meteorológiai holdjainak adatait lehetett nagyon jól használni. Megalapozott képünk van már a sivatagosodás mibenlétéről, terjedése kulturális-civilizációs-életviteli okairól és következményeiről is. Stb. A globális áttekintésnél ma még fokozott szerephez jutnak a nagyobb területi átlagok, s így a térben kisebb felbontású adatsorok. Mind a globális áttekintő vizsgálatok, mind az egyes közigazgatási régiók (országok, ország-csoportok, országokon belüli egységek) gazdasági és általános igazgatása terén a műholdas távérzékelés szerepe a jövőben tovább nő. - Az elmondottakhoz szervesen kapcsolódik a termőtalaj állapotának és degradálódásának műholdas figyelése. Ez több területen (erózió, elöntések, a legfontosabb talajcsoportok feltérképezése, talajpusztulás) már ma is fontos eredményeket hozott. Ugyanakkor intenzív K+F munka folyik a talajok részletes műholdas vizsgálata megoldására. A jövőben ezeken a területeken nagy szerephez jutnak újabb műholdas műszerek, amelyek spektrális felbontása a maiaknál nagyobb. Nyitott kérdés, hogy az optikai sávú adatok mellett mennyi és milyen értékes adatot hordoznak talajvizsgálati szempontból a mikrohullámú sávban regisztrálható, különféle eljárással készíthető műholdas adatok. Speciális vetülete a talajvizsgálati alkalmazásoknak a következő részhez is szervesen kapcsolódó talajnedvesség meghatározás, amely igen jó minőségben végezhető a mikrohullámú sávban dolgozó műholdas műszerek adataival, s nagyon fontos a különféle mezőgazdasági és növénytakaró vizsgálati alkalmazásokban. A talaj állapota figyelésében a műholdas adatok szerepe gyorsan növekszik, nagyobb területű áttekintés pedig ezen adatok nélkül a ma egyre inkább szükséges rövid idő alatt el sem érhető.

*Víz, jég és óceán kutatás:* A vizek, mindenek előtt a folyóvizek operatív vizsgálata a vizek gyors változásai miatt szintén nagy időbeni mintavételi sűrűséget kíván meg. Ennek tematikus biztosítására jó lehetőséget nyújt az, hogy a vizek, mind a folyóvizek, sekélyebb tavak is, mind a tengerek, óceánok, mind a hó és a jég a felszín többi alakulatától nagyon eltérő módon szórja illetve sugározza ki a mikrohullámú jeleket. Így a mikrohullámú sávú műholdas adatok a vizek vizsgálatára, különösen a vizek kiterjedése, szennyezettsége figyelésére, a hó és jég kora (hány éves) és állaga monitorozására alkalmas, bár itt is további kutatások szükségesek, s folynak is. Mivel a mikrohullámú jeleket a felhőzet sokkal kisebb mértékben szórja (csillapítja), mint az



optikai sávú jeleket, a felhőzet e frekvencia tartományokban elég jól átlátható. Így a Seasat, Radarsat stb. holdak adatai nagyon jól használhatók a vizek kutatásában. (Megjegyzendő, hogy ugyanezért a növényzet vizsgálatában is szeretnénk a mikrohullámú adatokat felhasználni, de ott még kiterjedt kutatás szükséges a növényzet felhasználó számára hasznos jellemzői és a mikrohullámú műholdas adatok közötti kvantitatív kapcsolatok feltárására és alkalmazhatóságuk elemzésére.) Az édesvíz, különösen az ivóvíz rohamosan növekvő globális hiánya következtében a műholdas víz-vizsgálatok fontossága növekszik. A nagy felbontású műholdas adatok ma már lehetővé teszik a folyók és a kisebb tavak vizének, víztározók feltöltődésének stb. figyelését, a víz-szennyezés gyors észlelését, de természetesen a vízszint változások, az áradások nyomon követését és az árvíz-veszély időben jelzését. Az alkalmazások előfeltétele a megfelelő ürtvékenységi infrastruktúra és az alkalmazásra mind tudásban, mind lélektanilag felkészült szakgárda megléte. - Különálló terület a tengerek, óceánok kutatása és monitorozása. E téren ma már az igen nagy, akár  $\pm 10$  cm-es relatív és m-es abszolút pontosságú víz-felszín leírás előtt nyílt meg az út a műholdak (műholdas altiméterek) adatai segítségével. Ebbe beleértjük a hullámszámítás felmérését is. A felszín leírás részletességét érdemben már csak az adatok térbeli felbontása korlátozza, ami ma már szintén eléri, katonai felderítésben meghaladja a m-t, de az altiméteres vizsgálatokban ez a felbontás még nincs meg. A hagyományos, optikai és mikrohullámú műholdas adatok áttekintő képet nyújtanak a tengerek és óceánok vizei állapotáról, a víz-felszín (tenger-felszín) hőmérsékletéről stb. Így a Föld működésében résztvevő legnagyobb egység, a tengerek és óceánok összefüggő vízmennyisége viselkedését egyre jobban nyomon tudjuk követni. A Föld sorsa alakulásában ennek az egységnek meghatározó szerepe van. A vizsgálatok a jövőben is intenzíven folytatódnak, s várható, hogy a mélységi kutatást segítő műholdas műszerek kifejlesztésére kísérletet tesznek. Az óceánok méretei miatt a helyi (in situ) vizsgálatok olyan léptékű elvégzése, amely valódi és egyidejű áttekintést tenne lehetővé, megvalósíthatatlan. Az elmondottakon túlmenően a műholdas adatok a tengeri halászatot, ellenőrzését és szabályozását is segítik. - A hó és jég vizsgálatok is folytatódnak. A szárazföldeken ezeknek a folyók vízállása előrejelzésében van fontossága. Ebben a vonatkozásban közeledünk a rutinszerű alkalmazáshoz. Általános bolygó működési és stabilitási vizsgálatokban van kiemelten fontos szerepe a földi jégtakaró (Arktisz, Antarktisz, tundrák, gleccserek) folyamatos figyelésének. Ezt egyedül a műholdas technika teszi lehetővé. Mivel a különböző korú jég szerkezeti változásai következtében a dm-mm hullámhossz tartományban elektromágneses hullámterjedési szempontból annyira eltérő módon viselkedik, hogy az jól kimérhető, a jégtakaró vizsgálatában is nagy szerepe van a mikrohullámú adatoknak. Segítségükkel folyamatosan figyelhető az öregebb és fiatalabb jég aránya a jégtakarón belül. Ezen arány és a jéggel borítottság változása közvetlen kapcsolatban van a földi klíma alakulásával. Természetesen a mezőgazdasági termőterületeken a hóborítottság és oladási dinamikája monitorozása nagyban segíti a növénytakaró tavaszi alakulása és az aszály-veszély előrejelzését. - Ezeken az alkalmazási területeken is folytatódik mind az intenzív K+F munka, mind az operatív szolgáltató és riasztó rendszerek kiépítése.

*Geológia:* A korábbiakban kialakult kép nem módosult. E téren időben nem kell nagy felbontás, viszont térben a mindenkori legnagyobb felbontást jól ki lehet használni. A rendelkezésre álló műholdas adatbázis folyamatos geológiai feldolgozása folytatódik, kiegészülve a mindenkori legújabb csúcsfelbontású adatok elemzésével. Ez a folyamat a közeli jövőben is jellemző lesz. Egyelőre nem látunk lehetőséget a felszín alá nagyobb mélységbe behatolni képes vagy onnan származó adatok előállítására. Az egyetlen újnak minősíthető irány e téren a szeizmikában tűnt fel. Úgy látszik, hogy egyes magnetoszférikus ELF-VLF elektromágneses jelek közvetlen kapcsolatban lehetnek szeizmikus eseményekkel. Az előzetes indikációk alapján ez ma továbbkutatásra érdemes hipotézis, de nem több. Kutatására műholdas kísér-

letek készülnek, amelyek a közeli jövőben startolnak, illetve más célú műholdas vizsgálatok adatait is elkezdték feldolgozni e célból is. E ma még érdemben a kutatáshoz tartozó folyamat azért érdemel itt figyelmet, mert teljesen új típusú adatok megjelenéséhez vezethet a távérzékelésben, átalakíthatja - vagy ez vagy más új ötlet - a távérzékelés űrszegmensét és adatrendszerét, megközelíthetővé téve nem-felszíni folyamatokat is.

*Térképészet, geodézia:* Ma a 'naprakész' térképtár és a nagy pontosságú, három dimenziós DTM (**d**igitális **t**erep-**m**odell) előállítás és karbantartása, javítása zajlik világszerte, amelyeket a GIS-be integrálva hasznosít átalakuló civilizációnk minden alkalmazási területén. E folyamatban a helymeghatározási eljárások (lásd a 4. részt) szerepe a meghatározó, s láthatóan az űrtechnika uralja. Ehhez kapcsolódik a nagyfelbontású és extrém nagy felbontású (katonai felderítési) űrfelvételek használata, amelyek már alkalmasak a geodéziai pontossággal meghatározott koordinátájú pontok fogadására. A SAR és esetenként a SPOT stb. műszerek alkalmasak űrből is sztereo felvételek készítésére, amelyek a domborzat három dimenziós leírását is lehetővé teszik. Ezt az utóbbi adatbázist kiegészítik nagy pontosságú altiméteres adatokkal. Az egész adatrendszer együttes és folyamatos felhasználása oldja meg a korszerű DTM-ek, térképek előállítását és karbantartását, frissítését; ami ma már mind az államigazgatás, a védelem, mind a civil élet számára alapvető szükség. Mivel az űrfelvételeken ma még a cm-dm-es térbeli felbontás csak a különleges teljesítményű katonai felderítési műszerekkel érhető el, ezért a legtöbb országban egyelőre kiegészítő adatszolgáltatóként működik a légifényképezés is. Azonban a dm-m térbeli felbontási határig az űrszegmens a meghatározó adatszolgáltató mind megbízhatósága, mind valódi egyidejűsége, mind olcsósága következtében. A folyamat az űrtechnika egyeduralmává, a hagyományos technikák eseti segédadat szolgáltatóvá válását hozza kikerülhetetlenül.

*Államigazgatás, településfejlesztés, földhasználat, környezetvédelem és a környezeti állapot figyelése, ipartelepítés stb.:* Mindezen területeken a távérzékelés a már bemutatott alkalmazásokon keresztül jelenik meg, elsősorban a GIS keretébe integrált adatbázis részeként. Mindez jól mutatja, hogy e téren is az űrtevékenység egyre inkább átszövi a civilizációt. Ma már korszerűen működő államigazgatás nagyobb beruházást (ipari létesítmény, erőmű, vízszabályozás, hulladéktárolás, útépités stb.) egyáltalán nem engedélyez vagy hajt végre alapos, műholdas adatbázisra támaszkodó, távérzékelési területvizsgálat, környezettanulmány, hatásvizsgálat nélkül. A jelenlegi folyamatok azt mutatják, hogy a már elmondottakon túlmenően éppen ezeken a területeken egyre inkább felhasználják a szolgáltatássá vált alkalmazások mellett, különösen eseti államigazgatási igények fellépésekor mind a távérzékelési kutatási lehetőségeket, mind a katonai alkalmazási és felderítési eljárásokat is. Egy nem nagy kiterjedésű, illegális veszélyes hulladék tároló ma már nagyon fontossá vált megtalálása nem kisebb feladat, mint a legtöbb katonai, védelmi felderítési cél elérése. Ezért is fontos sok kisebb, önálló katonai felderítő műhoddal nem rendelkező ország számára polgári élete biztosításához is, hogy valamilyen szervezett (szövetségi stb.) keretben ehhez a műholdas adatbázishoz (is) hozzáférjen.

*Egyebek:* Nem kevésbé fontos az éppen kiemelt jelentősége miatt már a bevezetőtől kezdve sok vonatkozásban említett és tárgyalt *globális vizsgálatok* végzése, amit csak az űrtevékenység tett lehetővé. Jelentősége gyorsan növekszik, s az erre fordított kapacitások is gyorsan bővülnek a jövőben. Hasonlóan fejlődő terület a *régészeti kutatás*, ahol az alkalmazások ma már kiterjednek mind a jól ismertnek vélt területek műholdas újra-vizsgálatára, mind a korábban a kutatás elől elzárt vagy csak nehezen kutatható területek feltárására, mind a *világörökség* részei állagának megbízható nyomonkövetésére. Azonban éppen a régészetben kiemelten fontossá vált a távérzékelési módszerek bevetése a klasszikus laboratóriumi vizsgálatokban. Ugyanis egyrészt új információkhoz lehet így jutni, másrészt, és ez a

meghatározó, a nagyon érzékeny leletek, régi műtárgyak ezen az úton minden további külső behatás nélkül vizsgálhatók, nagyon lecsökkentve ezzel a vizsgálatok során a rongálódás, megsemmisülés veszélyét.

### 5.3 A távérzékelési technika

A távérzékelő műholdak műszerezettségé alapvető átalakulásban van. miközben a legnépesebb civil felhasználói oldalon ebből ma még alig látszik valami. A célszerű műholdpályák első lépésben kialakultak, miközben - hasonlóan a hírközléshez - teljesen újak használati ötletei is felmerültek. A változás szerteágazó, ezért tételes leltár helyett a trendeket meghatározó jellegzetességeket igyekszem megmutatni.

Mára kialakultnak tekinthető az alapvetőnek tűnő észlelésekben használt elektromágneses frekvencia tartományok csoportja, mivel a teljes spektrum általános viselkedése hullámterjedési, reflexiós, emissziós és szórási szempontból mind elméletileg, mind kísérletileg kellő mélységben és pontossággal ismert. Így megalapozottan állítható, hogy az általános monitorozási és felmérési feladatokra a már ma is használt frekvenciasávokat használjuk a jövőben is. Ezek az optikai és a mikrohullámú tartomány. Ezeken belül a konkrét mérési-észlelési sáv-bontás természetesen sok szempontból még változik, de e változások nem érintik a legfontosabb néhány mérési sáv tartós használatát, részben a földfelszín általános tulajdonságainak (klorofil, víz, homok, mészkő, oxigén és nitrogén stb.) alapvető változatlansága miatt, részben az időben halmozódó adatsorok összevethetőségének biztosítása miatt. A pontosabb helyzet a következő. Az optikai sávban a látható, a közeli infravörös (NIR), a közepes infravörös (MIR) és a távoli vagy hő-infravörös (ThIR) sávokat hosszú távon használjuk, mivel ezek az egyik jó áteresztésű légköri „ablakba” esnek és a bioszféra, az élő földfelszín számos jellegzetes tulajdonsága jól mérhető e tartományban. Éppen e helyzet következtében a legtöbb műhoddal kvantitatíve nehezen összekalibrálható adatokat szolgáltató műholdak műszerei is átalakulnak, kiegészülnek, spektrális felbontásuk változásai következtében a jövőben könnyebben lehet más adatokkal együtt használni azokat (pl. SPOT holdak újabb típusa [16]), s ez gyorsítja e műszer család adat szintű szabványosodását. Ezen túlmenően a ma használatos, hullámhossz szerint általában közepes és néhány kis (panchromatikus stb.) felbontásúnak minősülő műszer mellett lassan bővülni fog a visszaszórt illetve kisugárzott spektrumot nagy felbontással kimérő műholdas műszerek alkalmazása is. Ez természetesen az adatfolyam nagymértékű növekedésével jár, s ezért a közeli jövőben csak különösen indokolt esetben használják, míg a későbbiekben részben az adatátvitel és feldolgozás további gyorsulásával, részben a fedélzeti jelfeldolgozás további fejlődésével általánossá válik. Ugyanis az így nyert adatokból mindig számítható a régebbi és mai műszerekkel összekalibrálható, spektrálisan közepes felbontású adat, viszont sok szempontból (klasszifikáció, állapotfelmérés, ma még nem észlelhető jelenségek kimutatása) a nagy spektrális felbontás előnyös. A mikrohullámú tartományban a mai helyzet az optikai sáv használatának '70-es években volt helyzetéhez hasonló. Így a dm-mm tartományban különféle műszereket használnak még, s nem tekinthető kialakultnak sem a használt műszerek típus-választéka, sem a legcélszerűbb mérési frekvenciasávok csoportja. Az azonban eldőlt, hogy a mikrohullámú tartomány jól használható a földfelszín vizsgálatára. E téren a következő évek a célszerű mérési sávok és a legjobbnak mutakozó műszer-típusok kiválasztását hozzák meg. Az már eldőlt, hogy a szintetizált apertúrájú radarok (SAR), az oldalra tekintő radarok (SLAR) és valamilyen szórásmérő, szóródásmérő (scatterometer), valamilyen magasságmérő (azaz a műhold és a felszín távolságát mérő műszer, altimeter) bizonyosan jól használható. Az is eldőlt, hogy éppen az antenna szintézis műholdaknál (és esetenként repülőgépeknél is) jó minőségben megvalósítható egyetlen mozgó (azaz a műhold fedélzetén a felszín fölött átrepülő) antenna jeleinek nagy pontosságú elektronikus

összegzésével, s ennek következtében a mikrohullámú tartományban is kezelhető méretű, pontosan kivitelezhető és nagy biztonsággal üzemeltethető antennával igen nagy térbeli felbontás is elérhető. A fejlődés két irányban halad tovább: egyrészt e tartományokon belül minőségi javulást hozó vagy speciális feladatot megoldó műszerek megjelenése továbbra is várható, másrészt e két nagy tartományon kívül működő műszerek is megjelennek, szintén speciális feladatok ellátására. Az előbbiekre kiemelten fontos és a jövőt érdemben befolyásoló példa az, hogy amerikai katonai felderítő műhold fedélzetén neurális hálózattal egybeépített érzékelőkkel sikeres munka folyik [15]. Az így nyert képek felbontása minden eddigit meghalad, a földfelszíni emberi tevékenység az űrből jól és pontosan követhető, s ez az észlelő műszer intelligens, adaptív, sok mindenre megtanítható. Ezzel nemcsak a térbeli felbontás nő meg, most az optikai sávban, eddig elképzelhetetlen mértékben, hanem az sem zárható ki, hogy ez a műszer megtanítható az azonnali légköri korrekció észlelési folyamatban elvégzésére, a légköri és felszíni eredetű jelrészek szétválasztására stb. Bizonyosan megtanítható azonnali klasszifikációra. Ez a speciális új műszer az adott szempontokból alapvetően átalakítja a távérzékelési metodikát. A régi adatsorokkal a kompatibilitás biztosítása szintén csak műszer-tanítási kérdés ez esetben. Általános elterjedése a technológia korlátozott hozzáférése, a ma még igen nagy költségek és általános biztonsági vonzatai miatt kezdetben lassú lesz. A neurális technika általános műholdas távérzékelési, űrkutatási és alkalmazási felhasználása előtt is megnyílt ezzel az út.

A spektrális felbontás növekedése mellett a térbeli felbontás is növekszik, amint azt a neurális technika belépése kapcsán említettem. Általánosságban azt mondhatjuk, hogy a térbeli felbontás célszerű fokozatai lassan letisztulnak. A jövőben két-három féle kis, egy-két féle közepes és három-négy féle nagy felbontás általánossá válása várható. Ezek mellett lép be a következő években az ún. civil alkalmazások területére is a katonai alkalmazásokban már hosszabb ideje meglévő és növekvő extrém nagy felbontás, amelynek célszerű értékei a majd megszerzendő tapasztalatoktól és az ezek kapcsán elvégzendő elméleti vizsgálatoktól függenek. - Az időbeli adatsűrűség, azaz az időbeli felbontás célszerű felső határa mai ismereteink szerint különösen gyors folyamatoknál (meteorológia, katasztrófa monitorozás, katonai akció-irányítás stb.) sem fogja meghaladni a 10-30 perc értéket. Különleges esetekben azonban egyre inkább mód lesz egy-egy kisebb terület átmeneti 'folyamatos' figyelésére is. A többi alkalmazásnál az időbeli adatsűrűség lassan közelíteni fog a víz-vizsgálatban, növényzet-vizsgálatban szükséges napi egy adat biztosítása miatt technikai okokból az egy területről napi két adat biztosításához. Ez kis térbeli felbontású adatoknál már ma is elvben megoldott. A nagyobb térbeli felbontású adatok esetén folyamatos fejlődésben lassan érjük majd el. E lassabb fejlődés oka kettős: fel kell bocsájtani az ehhez szükséges nagy számú (egy-egy műhold családban darabszámra tízes nagyságrendű) műholdat, s a nagy adatátviteli igények miatt a műhold-Föld adatmozgatásban és a földi adatfogadásban és kezelésben lényeges fejlesztés szükséges. Ugyanakkor ezen a téren, amint azt korábban láttuk, nincs olyan jellegű zárt szolgáltatói piac, mint a hírközlésben. Így a fejlesztéshez szükséges tőke pusztán egyszerű piaci megfontolásból nem jelenik meg e területen.

A műholdas adatrendszer eleve digitális adatfolyam, amelynek természetes kezelési és feldolgozási metodikája is számítógép-kompatibilis, pontosabban más módon vagy fel sem lehet dolgozni adott célra, vagy adat-degradáció után kiegészítő jellegű munkavégzésre használható. Így a műholdas adatok eleve GIS kompatibilisek, szemben a szokásos légifelvételéssel és felszíni mérésekkel. Ez is egyik sarkalatos oka annak, hogy fejlettebb országokban már ma is, de a jövőben általánosan a felszíni és légi adatszolgáltatás az eseti kiegészítő mérésekre korlátozódik, illetve speciális feladatok megoldásánál válik szükségessé. A digitalizált, integrált adatrendszerbe pedig a kiegészítő adatokon túlmenően az átmenet idején (világszerte a közelmúltban elkezdődött, s ma zajlik) az ún. régi adatbázist kell még bevinni.

Ez egyébként mind az egyes országok működtetéséhez, mind a Föld úgymond menedzseléséhez szükséges. Mára igazolódott, hogy a műholdas adatok nemcsak minőségileg jobbak a hagyományos (felszíni mérésekkel és légi úton megszerezhető) adatoknál, hiszen nagy területeken automatikusan összekalibráltak stb., hanem sokkal olcsóbbak is, s a megszerezhetőségüket nem érintik olyan hatások, mint a biztonságos repülés időjárásfüggősége, a nagy felbontás nem csökkenti az áttekintett terület nagyságrendjét, nem kell ritkán hasznosuló nagy apparátust fenntartani, az egyidejűséget nem gátolja meg eleve a repülések időbeni egymásutánisága stb. E folyamat világszerte lejátsszódik, s a figyelmen kívül hagyása automatikusan gyorsan növekvő technikai elmaradást okoz az alkalmazási, hasznosítási területeken.

Ebben a részben még további fejlesztési-mérési lehetőségekről és korlátokról is szót kellene ejteni, de ezeket a leggyakoribb felhasználási terület következtében a 6.1 pontban emlitem meg.

## 6. Egyebek

Két feltétlenül említendő és eddig érdemben nem tárgyalt terület van még, amelyekről röviden szót ejtek. Ezek a katonai-védelmi jellegű fejlesztések és alkalmazások, valamint az állandó űrállomások.

### *6.1 Katonai-védelmi alkalmazások*

A legfejlettebb hadseregeknél, elsősorban az Egyesült Államokban és kisebb mértékben Oroszországban, már kiépültek az űrparancsnokságok. Ezek feladata összetett, biztosítani kell a már rutinszerű űrtevékenységet a haderő működtetéséhez (meteorológiai űrrendszer, helymeghatározó űrrendszer, űrtávközlési infrastruktúra, beleértve a csapat és alegység, esetenként egyes személy szintű vezetést; valamint a felderítés, a Föld biztonsági monitorozása), biztosítani az űrszerművek mellett a katonai űrrendszerek irányító pontjai és egyéb földi részei működését, beleértve ebbe azok bármiféle támadás elleni védelmét és az űrbeli szállítások, repülések zavartalanságát (pl. US Air Force 310th Security Forces Squadron a Falcon légibázison Colorado-ban), továbbá a szükséges fejlesztések irányítását a programok kidolgozásától a K+F munka befejezéséig. Az űrparancsnokságok létrejötte és működése is civilizációnk megkezdődött átalakulását mutatja. A biztosítási feladatnak ugyanis része lenne az űrszerművek közvetlen védelme is, amire azonban jónak tekinthető megoldás még nincs, viszont kiemelt fejlesztési terület. Az azonban látható, hogy ez a sajátos védelmi feladat a nagyon intelligens űreszközök megjelenését, valamint kisebb katonai alegységek űrbeli szolgálati helyen tartását is megkíván(hat)ja. Mivel pedig a katonai felderítő és ún. korai riasztó rendszerek megbízható, jól védett működése a jövőben is a globális stabilitás egyik nélkülözhetetlen kulcsa, e biztosítási feladat jó megoldása az elmúlt harminc évhez hasonlóan a jövőben is a teljes civilizáció közös érdeke.

A katonai alkalmazások a hírközlés terén, amint arra a 3. részben is utaltam, a nagysebességű és nagymennyiségű adatátvitel és a bárhol és bármikor nagy biztonsággal használható, de könnyen hordozható és méretei miatt jól rejthető illetve bárhova beszerelhető (repülőgép, hajó, egyéb jármű, személyes öltözet stb.) mobil távközlést igénylik különösen. A helymeghatározásban a globális rendszerek eleve a katonai igények miatt és azok két évtizeddel ezelőtt specifikált igényei szerint jöttek létre. Itt a jövőben a teljesen automatizált illetve látásban

erősen korlátozott közlekedés (repülés, hajózás, szárazföldi jármű mozgatás) létrehozása várható. Ennek pl. olyan pontosság növelési hatása sem zárható ki, amikor már az általános relativitás elvének ma még lehetséges variánsai közötti különbségek is jelentőséget nyernek a mérnöki gyakorlatban. Megjelentek az első miniatűr, a pilóta katapultálásakor fellépő gyorsulásra automatikusan működésbe lépő, mentést segítő adók, amelyek pl. néhány 100 km-es körzetben vehetők, s a helyüket a GPS segítségével is megadják. Ez a baleseteszettek gyors mentését teszi lehetővé akkor is, ha a pilóta megsérült, eszméletlen stb. Hasonló eszközök műholdon át riasztó változatai is megépíthetők. Rövidesen hasonló rendszerek megjelenését eredményezi a nem katonai mentéseknél is. A 'civil' távérzékelés egyik előkészítője éppen a műholdas katonai felderítés volt, s ma is számos szempontból a távérzékelés fontos fejlesztő motorja ez az alkalmazás, amint azt az 5. részben láttuk. Már ma is nagyon fejlett, s még fejlesztik a távérzékelte műholdas adatokban a különféle szempontok szerint a felszíni *változásokat figyelő* és azokat kiemelő vagy annak alapján riasztást is automatikusan elrendelő software-eket. Az ott elmondottakon túlmenően is van katonai felderítési-monitorozási használat. Ezek közül kiemelten fontosak a rakéta startokat és a nukleáris robbantásokat figyelő ún. korai előrejelző és riasztó műhold-rendszerek. Ezek működése zárta ki a sikeres első nukleáris csapás lehetőségét, stabilizálta az akkor kétpólusú világot. A feladat megoldott, mégis folyamatosan fejlesztik mind a műholdrendszert, mind az érzékelési technikát, mivel ma már a világ relatíve sok pontjáról képzelhető el akár nukleáris terrortámadás is, rakétával indítva is, s az álcázás technikája is gyorsan fejlődik és sok hullámterjedési elméleti és kísérleti eredményt használ fel. (A hullámterjedési elmélet egyik sikeres alkalmazása az ún. lopakodó járművek (ma repülőgépek és hajók) megjelenése, amiket a levegőből és az űrből is követni kellene...)

A különféle álcázási illetve megtévesztési eljárások fejlődése következtében egyre fontosabb lenne kellően biztonságos elhárító rendszereket is üzemeltetni. Ennek következtében vizsgálják a nukleáris robbantásnál kisebb intenzitású felszíni stb. részecskesugárzó források felderíthetőségét, illetve a röntgen és gamma tartomány bevonását a távérzékelésbe, illetve növelni a hagyományosan használt hullámhossz tartományokban az érzékelők érzékenységét. Az előbbi téren nagyon nagy és alig áthidalható akadály, hogy a légkörben az ionizáló sugárzások, a kis intenzitású részecske sugárzások erősen csillapodnak, azaz a műholdas észlelhetőségük igen nagy mértékben korlátozott. Az elektromágneses hullámok hő-infra, röntgen és gamma tartományában az észlelési technika a csillagászati kutatások keretében gyorsan fejlődik. Földfelszín vizsgálati alkalmazásukat nehezíti a röntgen és gamma tartományokban a légkör nagy csillapítása, míg a hő-infra tartományban az alkalmazások rutinszerűek a földfelszín tulajdonságaihoz igazítva. Az utóbbi esetben az érzékelők fejlődését a katonai alkalmazások (járó motorok gyors észlelése stb.) igénylik és segítik, ami egyben a civil alkalmazásokban is folyamatos adatrendszer javulást hoz. Továbbra is fontos fejlesztési irány a műholdak és interkontinentális rakéták ellen bevethető, de esetleges űrből bezuhanó objektum (nagy műhold darabja, nagy meteor stb.) megsemmisítésére is alkalmazható eszközök, rendszer fejlesztése, amit korábban SDI néven ismertünk meg. Ez a munka intenzíven fejleszti az elektromágneses hullámterjedés elméletét és az elméleti eredmények gyakorlati alkalmazását; hatása természetesen minden hullámterjedést használó területen kisebb-nagyobb mértékben érződik. Így pl. nagyteljesítményű MIR-lézerrel már sikerült műholdat befogni, követni, s a közeli jövőben rakéta és műhold megsemmisítési kísérletek is várhatók.

A legfontosabb fejlesztési célok jelenleg a következők: A katonai alkalmazásokhoz a nem katonai műholdak adatait is tartalmazó egységes képi adatbázis létrehozása. Az űrből a hiperspektrális észlelés kiépítése, amit jelenleg földi kísérletekkel vizsgálnak. A polgári mobil műholdas hírközlés katonai használati lehetőségeinek vizsgálata. Különleges teleszkópok kifejlesztése a távoli űrben mozgó (mély-űri, azaz deep-space) objektumok észlelésére. (Kife-

jezett cél ennek folytatásaként az esetleg a Földre zuhanó nagyobb meteorok megsemmisítésének megoldása.) Alacsonyabb pályákon (150 km - 3000 km) keringő műholdak magányos (és passzív) felderítő egységgel követése, pl. a róluk szóródó elektromágneses hullámok (TV adók jelei stb.) észlelésével. (Itt is távolabbi cél a megsemmisítésük, ha veszélyesek; pl. radioaktív anyag van rajtuk és visszaesőben vannak a Földre.) E rövid áttekintés remélem jól jelzi a ma még sajátosan katonai fejlesztések irányát. Mondhatjuk, hogy az űrtevékenység számára a katonai alkalmazások és fejlesztések az általános, békés, polgári alkalmazások és az élet biztonsága szempontjából egyaránt fontosak.

## *6.2 Űrállomások, űrbázisok*

Bár e tevékenység ma még elsősorban kutatás (lásd az 1. részben), a Nemzetközi Űrállomás (ISS) működésének megkezdődése után várható gyakorlati hatások miatt a tevékenység ezen részére külön is ki kell térni. Az Űrállomások nyitották és nyitják meg az utat ugyanis két különösen fontos alkalmazási irányban: a biológiai és gyógyászati vizsgálatok kiterjesztésében, valamint a űrbeli termék gyártásban. A biológiai vizsgálatok a hosszú időtartamú űrrepülések hatásainak vizsgálata mellett kiterjednek a földitől gravitációsan és időbeli ciklusaiban (a világos és sötét időszakok hossza stb.) tökéletesen különböző környezetben működő emberi és más élő szervezet működésének tanulmányozására. Ez már eddig is sokban alapvetően megnövelte a tudásunkat és segítette a gyógyítási eljárások fejlesztését, növelte eredményességüket. Ez tovább folytatódik, intenzívebben az ISS-en megnövekedő lehetőségek következtében. Egyidejűleg az ügyben is biztosabb ismeretekhez jutunk, hogy egy hosszú idejű űrutazás, pl. egy Mars-utazás, megkockáztatható-e. De ami ennél sokkal fontosabb, az is kiderül valamennyire, hogy egy tervezett Hold-bázison mennyi ideig dolgozhat a személyzet nagyobb élettani kockázatok nélkül. Utóbbi a tervezett bázis gazdasági hasznosíthatóságát vélhetően érdemben befolyásolja. Végül ugyanezen körbe sorolom a gyógyászati anyagok Űrállomáson gyártására vonatkozó kísérleteket, ami új gyógyszerek kifejlesztésének ígéretét hordja magában.

A másik fő irány az űrbeli termék-gyártás előkészítése. Amint tudjuk [pl. 2], a Föld körüli pályán a földitől gyökeresen különböző és anyag gyártási szempontból nagyon előnyös technológiai körülmények állnak rendelkezésre. Ezek a következők: súlytalan környezet, amelyben a felületi feszültség, a kristályosodásnál fellépő belső erők, az elektrosztatikus vonzás és taszítás stb. zavarmentesen érvényesülnek és hatnak az anyaggyártási folyamatokban; rezgésmentes környezet; az extrém nagy vákuum, amely egyben nagy tisztaságot is biztosít; a pontosan ellenőrizhető és a legtöbb vonatkozásban jól szabályozható elektromágneses és részecske-sugárzási környezet; a napsugárzás jelenléte következtében a lényegében elvi korlátozás nélkül rendelkezésre álló energia; a rendelkezésre álló óriási szabad tér. Mindezek alapján már a '60-as évek végétől folynak az űrbeli gyártás előkészületei, amit lelassított az ISS kiépítésének késlekedése. Azonban az előkészületek intenzíven folytak világszerte. Így várható, hogy a sok szempontból ipari titkokat is jelentő előkísérletek eredményeire támaszkodva az ISS fedélzetén gyors fejlődés indul meg a gyártási kísérletekben. Az előkészületek alapján sok ipari megbízás várható űrbeli munkák elvégzésére. Azok eredményeitől függően pedig nemsokára megjelenhetnek az első automata gyártó egységek Föld körüli pályán. A reményteli területek nem változtak érdemben a korábban megismertekhez képest. Ma is a kristályosítás, a homogén és irányított egykristályok gyártása, a szerves kristályok gyártása, a szabályos gömbök gyártása, a nagyon tiszta alapanyagok gyártása az eddig felismert lehetőség, amit a félvezető gyártásban, a fém szerkezeti elemek (pl. gázturbina lapát) gyártásában, a különleges detektor anyagok (infra érzékelők stb.) gyártásában, jobb hatásfokú napelemek gyártásában remélnek hasznosítani. A félvezető elektronikai remélt

előnyök elérésénél a helyzet némileg változott. Ugyanis a földi technológiával is lassan elérjük ipari szinten is azt a tranzisztor méretet, aminél kisebb már kvantumfizikai okokból nem készíthető. Így az űrbeli gyártás előnyei értékelésénél a várhatóan megjelenő kvantumkapcsolók könnyebb gyártásának szempontjait kell figyelembe venni.

Ez az út gazdaságosan és biztonságosan csak a mai űrrepülési technika alapvető továbbfejlesztésével lehetséges. A nagyméretű, állandó űrállomás(ok) Föld körüli pályán üzemeltetése és az onnan majd tovább indítandó űreszközök létrehozása és elindítása, a nyersanyagok mozgatása, a késztermékek Földre hozatala mind megkívánja a Föld-világűr, pontosabban a felszín - Föld körüli pálya útvonalon a gyors, olcsó, egyszerű és nagyon biztonságos közlekedés megoldását. Ennek mai lehetőségét a hiperszonikus repülés és az ezzel és a rakéatechnikával kombinált „egy lépcsőben az űrbe” űrrepülőgép kifejlesztése nyújtja. (Single-Stage-To-Orbit, azaz SSTO.) Az előkísérletek intenzíven folynak. A valódi kísérleti repülések pénzügyi háttérének biztosítása részben kikerülhetetlen, részben még ma is sok szempontból bizonytalan. Oroszországnak alapvető pénzügyi gondjai vannak. Kína nincs még erre felkészülve. Európa és az USA egymástól függetlenül fejleszt. Az európai pénzügyi háttér a tényleges repülésekhez még nincs meg, s az USA-ban sem egyértelmű a politikai elszántság. Pedig a közlekedés e téren általános, gazdaságilag is mérhető hátrányokkal jár a globális űrtevékenységben.

Ezek a változások bizonyosan meghozzák az ipari tevékenység egy részének űrbe kitelepítését, s megindítják azt a folyamatot, amelyben az űrben fellelhető anyag és energia források kis részeit megkíséreljük a civilizációnk üzemeltetésénél felhasználni. Ez az út azonban csak teljesszerű nemzetközi összefogással járható, akkor is a sok ismeretlen tényező miatt lassan. A siker a civilizáció földi fennmaradásától függ, beleértve az új vállalkozásokra nyitottságot is, és viszont.

## **7. A magyar űrtevékenység helyzetéről**

E helyzetképnek, elődeihez hasonlóan [1, 2], nem célja a hazai helyzet részletező, kimerítő elemzése; azaz nem helyettesít egy átfogó hazai helyzetelemzést. Viszont megkerülhetetlen, hogy ebben az anyagban, a korábbiakhoz hasonlóan, a hazai helyzet fő vonásait felvázoljuk.

### *7.1 Előzmények*

A hazai űrkutató, majd űrtevékenység hosszú időre tekint vissza. Ha eltekintünk a korai és XX. századi rakéatechnikai eredményektől, akkor is az első sarkalatos űrkutatói eredmény a Hold 1946-os sikeres megfigyelése volt, amelyet Bay Zoltán és kutató csoportja (köztük professzorom, Simonyi Károly) hajtott végre. Az '50-es évek eredménye egy nemzetközi szinten is kiemelkedő ionoszféra kutató berendezés kifejlesztése volt, s a fejlesztő gárda egyik vezetője Tófalvi Gyula, aki a hazai űrkutató 1991-92-es megújításától 1997-ig irányította a hazai űrtevékenységet. A folyamatos űrkutató 1957-től kezdődött, s mondhatjuk, hogy folyamatosan fejlődött. 1957-ben a műholdak távcsöves és rádiós észlelésével indult a tevékenység, amely 1961-től kapta meg a szükséges, alapvető és meghatározó műszaki-mérnöki oldalát. A '60-as évek közepére már valóban kutatásról és alkalmazási kísérletekről beszélhetünk (rádiós és optikai műholdmegfigyelés, fedélzeti elektronika építés, rakéta szerkezeti elemek fejlesztése, műholdas meteorológia indulása, műholdas geodézia indulása, sikeres űrtávközlési kísér-



letek stb.). Ez a tevékenység vált az Interkozmosz együttműködés részévé, amely sok eredményt és sok korlátozást hozott. Így repült Farkas Bertalan is a világűrben, s jutottak el magyar műszerek a Halley üstököshöz a VEGA-szondák fedélzetén. A '80-as években egy-két tágabb világra nyitási kísérlet is történt, aminek eredménye volt a PILLE doziméter repülése már akkor amerikai űrrepülőgép fedélzetén, s az eredményeinket valóban jegyzik nemzetközi téren. Azonban a '80-as évek végéig a magyar űrtevékenység részben az Interkozmosz együttműködésből fakadó korlátozások miatt, részben a hazai tudomány- és fejlesztés-politikai tévedések következtében a nemzetközi trendektől mind belső arányaiban, mind legfontosabbnak minősített céljaiban, mind szervezeti-irányítási rendjében eltérően változott, elszakadt, gátolva az űrtevékenység érdemi hasznos részvételét a hazai életben. Ezen igen káros folyamatnak a rövid érdemi kritikáját, amit akkor nem fogadtak kitörő lelkesedéssel, a korábbi helyzetkép [2] tartalmazza, nem ismételtem meg.

Ezt a nagyon szerencsétlen folyamatot 1990-91-ben az általános átalakulás részeként sikerült megállítani. Az Interkozmosz a szovjet gazdaság összeomlása következtében megszűnt, csendben elhalt. Az orosz fél közölte, hogy a továbbiakban a régebbi gazdasági feltételek mellett semmiféle együttműködést nem tud folytatni, sem velünk, sem a többiekkel Lengyelországtól Kubáig.

## *7.2 A jelenlegi irányítási-működési szabályozás*

Az új időszakot a hazai űrkutatás-űrtevékenység teljes irányítási újraszervezésével lehetett megindítani. Ennek során az űrkutatás és alkalmazás irányításának új és a nemzetközi gyakorlatnak megfelelő szervezete jött létre. A magyar űrtevékenység központilag koordinálható részét a Magyar Űrkutatási Iroda (MŰI) irányítja, amelyet a Kormány egyik minisztere felügyel. 1992-94 között tárcanélküli miniszter felügyelte, ami jól megfelelt a célszerűségnek is és a mérvadó nemzetközi gyakorlatnak is, magyar viszonyokra és méretekre átvittve. Amint a tudomány és a K+F tevékenység egésze is, az űrtevékenység sem tartozik egyetlen specifikus szakterülethez, dominánsan interdiszciplináris, s még a K+F-en belül is önállóan, a többi tevékenységtől elkülönülten kezelendő. Így elvileg és gyakorlatilag is helytelen lett volna bármely tárcához rendelni. 1994 óta e helyzetkép írásáig az űrtevékenység felügyelő minisztere a közlekedési-, hírközlési és vízügyi miniszter. A MŰI költségvetését a költségvetés részeként az országgyűlés hagyja jóvá. A programokról és a pénzek felhasználásáról az Űrkutatási Tudományos Tanács (ÚTT) dönt, míg a felügyelő miniszter munkáját a Magyar Űrkutatási Tanács (MŰT) segíti egyben közvetítve az egyes tárcák igényeit, véleményét, céljait. Ez az irányítás - helyesen - nem terjed ki az űrtevékenység szabadpiaci részére, az a gazdasági élet részeként külön speciális ellenőrzés nélkül működhet. Ezzel a [2]-ben jelzett problémák közül kettő is megoldódott, hiszen az űrtevékenység gazdasági hasznosítása szabaddá vált, s nemzetközileg korszerűnek tekinthető a központilag irányítandó rész szervezeti rendje. Viszont nem oldódott meg az űrtevékenység irányítása és szervezése terén sem a hazai kutatást és fejlesztést általában is jellemző helyzet, azaz a kutatás egy részét az MTA irányítja, a K+F egy másik részét pedig az OMFB. Az új és korszerű űrkutatási irányítás megszületésének - remélhetőleg átmeneti - zavaró tényezője, hogy az MTA nem kooperál a MŰI-vel az űrtevékenység elősegítése érdekében, s az OMFB is sok esetben nehezen vagy alig tud közreműködni a feladatok megoldásában. E gondok megoldásához rövid úton kiegészítő államigazgatási lépések megtétele szükséges, amelyek előkészítése folyik.

Az új irányítási rend következtében államigazgatási akadályok nélkül betört hazánkba is az űrhírközlés és a műholdas helymeghatározás, amint azt mindenki a napi életében meg-

tapasztalja (műholdas műsorszórás, műholdas távközlés, GPS szabad használata stb.). Ez elementárisan szükséges volt a hazai gazdasági fejlődés megindulásához sok más egyéb mellett. Ma tehát hazánkban is korszerű úrhírközlési és helymeghatározási szolgáltatás van illetve érhető el. Viszont nincs semmiféle érdemi ipari-fejlesztési-gyártási részvételünk e szolgáltatások fenntartásában és fejlesztésében, sőt a további változásokat előkészítő kutatásokban sem. A vonatkozó úripari tevékenység megszületéséhez az általános iparpolitika részeként kell lépéseket tenni, alapvetően a szabadpiachoz és az északatlanti-európai integrációs folyamatunkhoz igazodva, s nem a MŰI feladatául. A MŰI ebben segítőleg kell résztvegyen, a létrejövő úripari egységeket a hatáskörébe tartozó programokból adódó megrendelésekkel is támogatva. - Ugyanígy ma nincs semmiféle adminisztratív akadálya annak, hogy bárki kis, közepes vagy nagy felbontású műholdas adatokat vegyen és felhasználjon. Természetesen az Országos Meteorológiai Szolgálatnak (szintén korszerűsítési céllal átszervezve 1990 után) feladata a hazánkra vonatkozó illetve a hazánk időjárását befolyásoló információkat hordozó kis felbontású műholdas adatok vétele, míg a Földmérési és Távérzékelési Intézet szolgálat általános céllal távérzékelte műholdas adatokat nagy felbontással is. Megszűntek a korábbi értelmetlen titkosítási előírások is. A lehetőség megteremtődött, azonban a szükséges mértékben kiterjedt hasznosításig még hosszú az út. A hazai közvélemény, a potenciális felhasználók általános tájékozatlansága, az elmúlt évtizedekből is fakadó felkészületlensége a saját kárukra nagy mértékben akadályozza még az ürtevékenység eredményeinek felhasználását. Ennek leküzdése azonban már nem ürtevékenység-irányítási feladat. Úgymond a szakmák szabadon művelhetők.

Az új úrkutatási szervezet, az ÚTT és a MŰI, a magyar helyzetet és a globális trendeket szem előtt tartva a központilag irányítandó ürtevékenységi szegmensre rangsorolást dolgozott ki. Ennek eredményeként öt főirányt határoztunk meg, s egyidejűleg a részesedésüket a teljes tevékenységből. Nevezetesen: **1. Föld a világúrból** (40%), **2. űrfizika** (20%), **3. űrélettan**, **4. úrhírközlés**, **5. űrtechnika és technológia** (utóbbi három egyenlő súlyú és együtt 40%). Ez láthatóan megfelel a globális helyzetképnek és a magyar sajátosságoknak, hasznosítás-központúságnak, de megfelel a kialakult magyar tevékenységnek is, a korábbi eredményeinknek és nemzetközi elfogadottságunknak. Ezen belül elsődlegesek a nemzetközi programokban végezhető kísérletek és az űreszközök fedélzetén végzendő kísérletek úgy, hogy azoknak hazai tudományos és/vagy gyakorlati hasznosítása biztosítva legyen. Az ezzel kapcsolatos szakmai döntésekért az ÚTT felel. Nem része e programoknak a már tárgyalt szabadpiaci tevékenység, lévén az már nem kutatás vagy fejlesztés. Természetesen nem része általában sem a magyar ürtevékenységnek az a sok, értékes és eredményes munka, amit magukat magyarnak valló kutatók, mérnökök végeznek más nemzeti vagy nemzetközi együttműködésben, mások pénzén és mások megbízásából, esetleg más ország állampolgáraként, amihez azonban Magyarországnak nincs köze. Hasonlóképpen nincs semmiféle magyar irányítási vagy felügyeleti lehetőség olyan munkák felett sem, amelyeket hazai szakemberek, (később, reméljük) intézmények, cégek végeznek külföldi megrendelésre. Ezeknek azonban, szemben a szakemberek által külföldön végzett munkával, általános jó húzó hatása itthon létrejön.

### 7.3 A szakmai helyzet

A mai helyzetet jellemezhetjük a hazai tevékenység aktuális állapotának és eredményeinek alábbi rövid összegzésével: - Az **első főirány**on belül három nagyobb aktivitási csoport alakult ki: a műholdas távérzékelés hasznosítása, a magaslégköri folyamatok vizsgálata és a GPS alkalmazások segítése. A **távérzékelés** terén (elsősorban a FÖMI-ben, valamint az ELTE Úrkutató Csoportjában folyó munkák révén) a legfontosabb művelt területek: A műholdas

adatok kvantitatív értékelésre alkalmas formába hozása (légtér terjedési hatások meghatározása és korrigálása, geometriai korrekció és térképre illesztés, a felszín jellemző mennyiségek, ún. indexek kidolgozása és alkalmazásba vétele) illetve nem optikai sávú adatok (pl. SAR) használatba vételének előkészítése; s e területeken a hazai kutatók lényeges, új eredményeket értek el. Az adatok alkalmazásában kulcsfontosságú lépés az osztályozás (klasszifikáció), azaz az adatok felszíni illetve légtér jelenségekhez rendelése (felhő, füst stb., illetve növényfőleség, víz, csupasz talaj, lakott terület, szikla stb.), ahol elismert módszertani és alkalmazási kutatás és fejlesztés is folyik hazánkban. Az alkalmazások meghatározóan nagy része ma a mezőgazdasági hasznosításra (vetésterület meghatározás, haszonnövények hozambecslése, felszínborítottság térképezése, erdők felmérése, talajdegradáció stb.) esik, igazodva hazánk adottságaihoz. E téren igen fontos eredmények születtek, nagyon pontos előrejelzésekhez nyílt meg az út általában elérve, több vonatkozásban meghaladva a nemzetközi szintet. Folyik a Duna-medence összetett vizsgálata is. Mindezek természetesen a folyó európai munkákba is kapcsolódnak, esetenként annak meghatározó részei (lásd pl. a MARS, CORINE stb. programokat). Ezeken a kiemelten fontos és nemzetközileg mind Európában, mind általában is elismert eredményeket hozó kutatásokon és operatív alkalmazáshoz vezető munkákon kívül természetesen folyik a műholdas adatok igény szerinti szolgáltatása, ha létezik a kért adat hazánkban (FÖMI), a térképészet műholdas adatokkal támogatása, egyedi feladatoknál a műholdas adatbázis hasznosítása. (Ma hazánkban ez utóbbi jellemzően képi megjelenítésű adatok használata, vagyis általában még a felhasználók nem ismerik a kvantitatív feldolgozás másutt nagy hasznot hajtó előnyeit.) Mindezen munkák végzését, különösen pedig az operatív alkalmazások bevezetését érdemben hátráltatja a műholdas adatok közvetlen hazai vételének teljes megoldatlansága (lásd a korábbi elemzést az 5. részben). A távérzékelés legrégebbi és sajátos területe a meteorológiai alkalmazás, ahol mind a GEO (Meteosat), mind a NOAA holdak adatait ma már veszi és az előrejelzésekben is használja a magyar szolgálat (OMSz). Az előrejelzés támogatása mellett a kutatás jelenleg a sugárzási energiamérleg vizsgálatára súlyoz, jó eredményeket felmutatva. Kutatóink egyidejűleg elkezdtek az űr-meteorológia (lásd az 5.2. részben) hazai bevezetésének előkészítését (MTA GGKI, ELGI). Különösen érdekes irányt jelent a Nap-Föld kapcsolatok vizsgálatában a Napból jövő részecskék földi légkörre gyakorolt hatásai vizsgálata mellett (MTA GGKI) a Nap ciklusainak és a földi bioszféra (pl. haszonnövények hozama), az emberi (betegségek), a gazdasági és társadalmi (pl. forradalmak kirobbanása) folyamatok lehetséges kapcsolatainak kutatása (ELTE Űrkutató Csoport). - A *magaslégköri folyamatok* vizsgálatában a több évtizedes eredményes múltra is támaszkodva kiemelt szerep jut a magnetoszféra folyamatai kutatásának. Ezen belül is a legfontosabb az ELF-VLF jelek terjedésének vizsgálata és ennek felhasználása a plazmaszféra diagnosztikájában, a sajátos ELF-VLF jelek, a whistler-ek elméleti leírása, földi és műholdas regisztrálása, a mért whistler-ek analízise, valamint az ún. trimpri effektus mérése és leírása (ELTE Űrkutató Csoport, ELGI, MTA GGKI). E téren hazánk (ELTE Űrkutató Csoport) vezető kutatóhellyé vált. A kidolgozott és műholdon is már sikerrel alkalmazott fedélzeti mérőműszer-típus (SAS, a kivitelezésben a BME is részt vesz) a jelenleg futó programokban (pl. a földkéreg aktivitására koncentráló WARNING program, a magaslégkört vizsgáló CESAR program) várhatóan a már említett területeken túlmenően a szeizmika számára is értékes adatokat szolgáltat majd. A hazai trimpri-mérő hálózat pedig a világ három legfontosabb, e tárgyú mérőrendszere egyike. A bemutatott sajátos területen túlmenően is részt veszünk a Föld magaslégköre kutatásában és az így nyert adatok hasznosításában. A magnetoszféra állapotának és dinamikájának sokoldalú vizsgálatát végzi el az ESA négy műholdból álló, CLUSTER nevű nagy-programja, amelyben mind több fontos fedélzeti műszer építésével, mind a mért adatok tudományos értékelésével érdemi szerepet játszunk; de e különösen fontos program tudományos adatrendszerének egyik földi adatközpontja is hazánkban van (MTA KFKI RMKI). Ugyanez a kutatóhelyünk részt vesz a WARNING, a

CESAR stb. műholdas programokban is részben fedélzeti kutató-műszerek, részben az űreszközök fedélzeti kiszolgáló egységei (adatgyűjtés, fedélzeti számítógép stb.) építésével. Bekapcsolódtunk a Föld rádiós „szennyezettségének” vizsgálatába is (BME). - A *GPS alkalmazása* terén is születnek jó eredmények. A pontosság növelhetősége érdekében vizsgálják a légköri terjedési hatások jobb modellezhetőségét (MTA GGKI), az ún. differenciális GPS alkalmazást. A legfontosabb munkák részben a GPS nagy pontosságú geodéziai, geodinamikai és általános operatív alkalmazása terén folynak (FÖMI KGO, MTA GGKI, BME több tanszéke). Az utóbbi téren sikeres az alkalmazás pl. járműnavigációban, bányászati felszíni utóhatások pontos lokalizálásában, a GIS adatbázis javításában, a GSM ellátottsági mérések lokalizációja pontosításában stb. Ehhez kapcsolódva érdemel szót az, hogy kutatóink kezdettől fogva kezdeményezőleg bekapcsolódtak az űr-VLBI előkészítésébe. Ma az első kísérletek geodéziai és asztronómiai alkalmazásában vesznek részt korlátozott lehetőségeink szerint. - A **második főirány** tevékenységi súlypontja a Naprendszer kutatása, amelynek gyakorlati fontosságát a korábbiakban már láttuk. E téren is három kutatási irányban tevékenykednek kutatóink: a Nap vizsgálata, a Naprendszer vizsgálata (bolygóközi tér, bolygók és holdjaik, üstökösök), a Naprendszeren kívüli objektumok vizsgálata (csillagászat). A *Nap* tevékenysége és hatására a bolygóközi térben bekövetkező változások egyaránt fontosak a földi civilizáció számára. E területen kutatóink (MTA KFKI RMKI) az ULYSSES, a SOHO és más napvizsgáló űreszközök adatai tudományos értékelésében vesznek részt, fontos részei a nemzetközi kutatói közösségnek. - Mivel űrelektronikai berendezéseink (a fedélzeti kutató műszerek és adatkezelő, feldolgozó egységek) is és kutatóink is a korábbi kísérletekben jól működtek, mára a *Naprendszert* vizsgáló több fontos és kiemelt programban szerepelnek magyar fedélzeti egységek és vesznek részt kutatóink a programok végrehajtásában. Ennek részeként folyamatos munka folyik a Marsra és a Vénuszra, valamint a bolygóközi térre vonatkozó, korábban mért adatok (Phobos-2, Pioneer-Venus) tudományos értékelésében, s hasonló nemzetközi kísérletek előkészítésében (MTA KFKI RMKI). Nagy jelentőségű, hogy részt vehetünk a NASA Szaturnusz körzetét kutató kiemelt programjában, a CASSINI-ben (MTA KFKI RMKI). A Naprendszer megértése szempontjából fontos az üstökösök kutatása. E téren még folyik a Halley-üstökös korábbi vizsgálatából (VEGA program) származó adatok feldolgozása (MTA KFKI RMKI és MTA CsKI), s részt vehetünk a Wirtanen-üstökös egyedülálló kutatási programjában, a ROSETTA-ban (MTA KFKI RMKI). MÁFI, ELTE és MTA kutatók laboratóriumában vizsgáltak és vizsgálnak lehetőségeik szerint a Holdról, a Naprendszerből és a csillagközi térből származó anyagokat. - Mind műholdas infravörös csillagászati adatok értékelésében (MTA CsKI), mind a röntgen-gamma sávú *műholdas csillagászat* kifejlesztésében (MTA KFKI RMKI) részt veszünk. Látható, hogy az elmúlt időszakban létrejött és a futó nemzetközi programokban részvételünk működteti az egyik legfontosabb fedélzeti egység-fejlesztő és építő bázisunkat a KFKI-ban. - A **harmadik főirány**ban folyó kutatások esetén már érzékelhetően hiányzik hazai kutatók űrbeli repülése, amire már középtávon is egyre nagyobb szükség lesz; mely megállapítást az ötödik főirány áttekintése különösen is alátámaszt, s amelyhez a lehetőséget az ESA-ba integrálódásunk érdemben megnöveli. E hiány következtében az emberen illetve emberek által az űrben végzett kísérletek adataihoz csak nagyon korlátozott mértékben tudunk hozzáférni. A munkák a földi gyógyászat számára is nagyon fontos eredményekkel járó három irányban folynak: a súlytalanság hatásainak tanulmányozása részben földi szimulációs kísérletekben is, a rendkívüli (extrém) helyzetekben hatásai, a sugárzások hatásai. Kiemelendő, hogy e kutatások eredményei gyorsan beépülnek a normál gyógyászati eljárásokba! A *súlytalanság* különleges fektetési helyzetekkel a földön is szimulálható, ezek keretében és űrrepülési adatok utólagos értékelésével (pl. az első magyar űrrepülési adatai felhasználásával) vizsgálják a szervezet, különösen is a szív- és érrendszer változásait (MH Kecskeméti Repülő Kórház), a szívizom

adaptációját (SZAOTE Biokémiai Intézet), állatkísérletekben a motoros szabályozás adaptációját (SOTE Anatómiai Intézet). A mozgáskorlátozás (pl. gipszkötés, tartós fektetés) és a súlytalanság hatására sok szempontból hasonló elváltozások jönnek létre; így és mások által végzett műholdas kísérletekből származó mintákkal vizsgálják az izomzat változását (DOTE Kórélettani Intézet) és a sejt szintű változásokat (Orsz. Johan Béla Közeg. Int. Mikrobiol. K. Cs.). - A *rendkívüli helyzetek* hatásai az űrkutatásban is és általában is (repülés, egyéb közlekedés, atomreaktorok felügyelete, biztonsági szolgálatok stb.) fontosak. Ennek részeként kutatóink vizsgálják a vegetatív idegrendszer változásait és a munkavégző képesség alakulását, a megbízhatóság változását (MH Központi Kórház) rendkívüli helyzetekben, valamint az agytevékenység, az agyi bioelektromos jelek változásait (MTA Pszichológiai Kut.Int.) csökkenő légnyomás esetén. Az agyi bioelektromos jelek feldolgozása terén a NASA-t az együttműködés keretében a magyar jelfeldolgozó eljárás érdekli. - Folynak kutatások a szervezetet érő ionizáló és rádiófrekvenciás *sugárzások* hatásai kutatásában is (OSSKI, Mikrobiol. Kut. Cs.). - A **negyedik főirányban** az űrhírközlési szabad piac megjelenése és a korábbi Interkozmosz-Interszputnyik együttműködés távközlési-elektronikai elmaradottsága utóhatása látványosan láthatóvá vált. A hazai távközlési-hírközlési ipari gyártó és fejlesztő bázis általában is az utóbbi időben elsoványodott, s a jelzettek miatt e téren nem tudott létrejönni önmagában világszínvonalon túlélni képes K+F vagy gyártási bázis, s az űrhírközlés szolgáltatói nem is segítették a meglévő K+F és gyártó helyek megőrzését. Így ma K+F-nek tekinthető űrhírközlési munka a MATÁV-PKI-nél folyik, a már meglévő űrhírközlési-űrtávközlési eljárások, eredmények szolgáltatási bevezetését, adaptációját segítik társasági szinten. A nemzetközi kutatási együttműködésből e téren (talán csak átmenetileg) kiszorultunk. Az e téren korábban elért eredményekre visszagondolva a helyzet nagy visszaesést jelent, az űrpiac legdinamikusabban fejlődő részén még indulási helyzetünk sincs. Azonban e helyzet kialakulására és megváltoztatására a MŰI-nek, az ŰTT-nek befolyása már nem volt, s ma sem lehet. - Az **ötödik főirányban** a hazai tevékenység kétféle téren folyik: űreszközök teljes rendszerébe illeszkedő részegységek, illetve űrben használható önálló berendezések fejlesztése és építése. Több űreszközön (műholdon, bolygóközi szondán) működtek és működnek jól és megbízhatóan magyar fejlesztésű és gyártású tápegységek, adatgyűjtő és feldolgozó egységek, fedélzeti számítógépek (MTA KFKI AEKI és RMKI, BME MHT és HT). Ezek egyrészt segítik a hazai űrelektronika építési eljárások fejlődését, s egyben minden esetben hozzáférhetővé teszik az éppen szóban forgó űreszköz tudományos adatait a hazai kutatók számára. - A másik irányban összesen két önálló berendezést fejlesztettünk ki. Rendkívüli „karriert” fut be közülük az alapváltozatában az első magyar űrrepülés során használt PILLE sugárzási dózis-mérő (MTA KFKI AEKI), amelynek fejlesztett változatait azóta már a NASA (űrrepülőgépen), a szovjet, majd orosz űrkutatás (a MIR-en) és az ESA (saját űrrepülésében a MIR-en) használta és használja. A műszer legújabb változata mind teljesítményével, mind használati rugalmasságával, mind miniatűr műszaki kivitelével ma unikális a világon! Így a Nemzetközi Űrállomáson (ISS) is szolgálati műszerként fogják használni, ami rendkívüli sikernek számít. A másik berendezés a súlytalanságban végzett és végzendő gyártási kísérletekhez kapcsolódik (Miskolci Egyetem Anyagtud. Int.), s NASA és német együttműködésben szerepel. A folyamatok elővizsgálatát ún. ejtő-kísérletekben végzik a partnereknél lévő ejtőaknáknál. Ezek eredményeire is támaszkodva fejlesztik az űrben is használható különleges űrkemencét, amelyet NASA együttműködésben remélhetőleg az ISS-en is használnak majd, s a turbina-lapát gyártásban új gyakorlati eredményeket várhatunk földön és űrben alkalmazható gyártási eljárásokhoz egyaránt.

#### 7.4 Problémák és teendők

Röviden úgy foglalhatjuk össze a látottakat, hogy egy-két nagyon szűk, „tűszerű” szakmai teljesítménytől eltekintve a hazai űrtevékenység nem meghatározó a nagy trendek szempontjából. Persze ezek a „tűk” is már nagyon nagy eredmények, hiszen a nagy trendekben még részterületen is domináns hatást csak pár ország fejt ki. Tevékenységünk általában társuló illetve követő jellegű. Azt is mondhatjuk, hogy a közeli jövőben helyes, ha a meglévő főirányokban dolgozunk a változó helyzethez, a feltáruló nemzetközi lehetőségekhez és a ténylegesen megszülető hazai eredményekhez, azok nemzetközi elfogadásához rugalmasan igazodva; a főirányok súlyozását és definiálását rendszeresen újragondolva. Továbbra sem tűnik fontosnak vagy helyesnek a presztízs-szempontok figyelembe vétele, például nem lenne értelme saját műholdat építeni és felbocsájtani, egyelőre biztosan nem. Viszont kulcsfontosságú az űreszközök adatai, pontosabban az első főirányban használható (távérzékelési stb.) műholdas adatok sokoldalú vételére alkalmas hazai állomás létrehozása, hiszen a hiánya már ma is hátránnyal jár. Az is fontos, hogy a nemzetközi téren sikeres űreszköz-fedélzeti és gyakorlati hasznosítási programok továbbra is prioritást élvezzenek.

Az elmúlt néhány év alatt a ráfordítások belső arányait a rangsorolás szerint tartani lehetett, s ez a súlyozás jónak bizonyult. Így például 1996-ban az 1. főirány 43,7%-kal, a 2. főirány 18,3%-kal, a 3. 24,5%-kal a 4. és 5. együtt 13,3%-kal részesült a központi irányítás keretében futó ráfordításokból. Ezeken kívüli, egyéb célra összesen 0,2%-ot kellett fordítani. Így azt mondhatnánk, hogy minden rendben.

A helyzet azonban más, amit a negyedik főirány bemutatott helyzete látványosan jelez, s a többi terület gondos elemzése szintén megmutat. Az űrtevékenységünk is, az ország részeként Európába és az Észak-Atlanti Régióba kell integrálódjon. A korábbi részekben elmondottak alapján az is világos, hogy ennek elmaradása az országnak gazdaságilag is mérhető kárt, a magyar tudománynak érdemi veszteséget, a hazai űrtevékenységnek elsorvadást hozna. Az integrációnak pénzügyi és szervezeti feltételei vannak. A szervezeti feltételek biztosításának első lépéseként 1991-ben aláírták a ESA és Magyarország között az együttműködési szerződést. A következő lépés sokáig váratott magára, 1997-ben írták alá az ún. Prodex egyezményt hazánk és az ESA között. Az integráció további lépései az ESA társult tagság, majd a teljes tagság lenne. Itt azonban beleütközünk a hazai K+F ráfordítások elképesztően alacsony szintjébe, ami természetesen az űrtevékenységet is sújtja, valamint az ipari felkészületlenségünkbe. Az ESA ugyanis úgy működik, hogy az ország befizeti a Prodex-re fordítandó összeget, illetve a tagsági díjat, a kutató bázisaink programjaikkal bejelentkeznek az ESA-hoz, ahol azokat elbírálják, beillesztik a közösség egész tevékenységébe egyben alakítva is azt javaslatainkkal, majd megrendelik az űripari cégeinktől a szükséges fejlesztéseket, gyártmányokat, miközben a program felett a szakmai irányítást a javaslattevő kutatóhely látja el. (Lásd pl. [17]-ben.) Azonban Magyarországnak 1957 és 1990 között nem jött létre űripara, az ez irányú kezdeményezéseket csírájukban fojtották el. Azóta pedig az átszervezés utáni időben az általános gazdasági szorítás akadályozza kialakulását, amit pedig stimulálni kellene. Ez pedig általános gazdasági hátrányok forrása és integrációs zavart is okoz. A mai, fedélzeti elektronikát építő kutatóhelyeink (a KFKI két intézete és a BME két tanszéke) a Prodexben az indulási képességünket biztosítja, de már néhány év távlatában is ez nagyon kevés.

Az egyéb nemzetközi együttműködéseink is szabaddá váltak. Gyorsan fejlődik a NASA (USA) kooperáció, ami különösen fontos, hiszen a teljes integrációnk nem korlátozódik Európára, hanem teljességében az Észak-Atlanti Régióba beépülésünket jelenti. Így az USA és a kanadai együttműködések mindegyike különösen értékes. Sok kétoldalú kapcsolat jött létre Európán belül, részei vagyunk a Középeurópai Kezdeményezés (CEI) űrkutatási részének (is), jó

kapcsolataink épültek ki Indiával, újra Oroszországgal, Ukrajnával, és természetesen a korábbiak folytatásaként is a lengyelekkel, románokkal, csehekkel is. De alakulnak a hazai csoportok aktív kapcsolatai dél-afrikai, újjélandi, kanadai, japán úrkutatókkal és felhasználókkal egyaránt.

Visszatérve a Prodex-hez, az elmondottakon túlmenően is komoly zavarok forrása az eluralkodott pénztelenség. Ez gond az ESA integrációnál is, de általában is. Hazánk űrtevékenységi ráfordítása mindösszesen nem is közelíti Ausztria csak Prodex-en belüli ráfordításait sem. A hazai űrtevékenységi költségek két részből tevődnek össze. Egyrészt egy közvetlen költségvetési részből, ami 70 millió Ft-ot alig meghaladó összeg és az elmúlt hét évben névlegesen sem nőtt, egy kicsit csökkent. Ez reálértékben azt jelenti, hogy 1998-ban a tényleges ráfordítás az 1992-es felénél kevesebbet ér, a több, mint 700 ezer \$-ról kevesebb, mint 350 ezer \$-ra csökkent. E pénz egy kis része a MŰI stb. működtetését, többsége a legfontosabb űrkutató csoportok fennmaradását biztosítja. Emellett ún. pályázati keret biztosítaná az egyes programok fedezetét, a Prodex befizetésünket stb. Erre azonban a költségvetésben tényleges pénzt nem hagytak jóvá, kizárólag egy elvi engedélyt, hogyha a MŰI és az ÚTT a minisztériumoktól, már forrásokból össze tud szedni pénzt, akkor nem tilos kutatnia. (A két rész együtt alig haladta meg 1997-ben az 1 millió \$-ral ekvivalens forint mennyiséget.) Ez azt jelenti, hogy nincs biztosítva az űrtevékenység hazai művelésének minimálisan szükséges anyagi feltétele. Természetesen általában sincs biztosítva a K+F anyagi háttere. Ez hazánk lehetőségeit egyre jobban korlátozza, a jövőt veszélyezteti. Mindez, szemben más országokkal, egyben alapjaiban akadályozza az űrtevékenység végzésére és oktatására felkészítést egyetemi szinten. Így hazánkban a jövő egyik kulcsterülete utánpótlási gondokkal küzd, a szakterületnek nincs egyetlen egyetemi tanszéke sem, s teljes mértékben kimarad a tanárképzésből is. Ezzel az űrtevékenységgel átszótt világban felnövekvő magyar nemzedék elzáródik attól, hogy érdemben valamit is halljon az emberi civilizáció e fontos pilléréről...

Meg kell még említeni az integrációnk egyéb területeit is. Ugyanis NATO felvételünk megnyitja az utat a katonai céllal működtetett műhold-rendszerek adataihoz, az észak-atlanti nem nyílt űrtevékenységi együttműködéshez. Ennek következtében érdemi fejlődést érhetünk el, ha egyébként akarjuk és készen vagyunk rá, mind a honvédségünk vezetésében, biztonsági helyzetünk javításában űrtechnikai oldalról is, mind a környezetvédelemben, a meteorológiában, a növényzet vizsgálatában, a térképészetben stb. E lehetőség kiaknázásához felkészült emberekre és a haszonhoz képest kis, de önmagában érdemi ráfordításokra van szükség.

Összegezve: A hazai űrtevékenység szervezetiileg a szükséges módon átalakult, a szervezeti feltételek elfogadhatók. Megkezdjük az európai és nemzetközi integrációt. Ezt folytatva a globális trendekhez igazodó és a hazai fejlődést szolgáló űrtevékenység művelhető itthon. Azonban megoldatlan az űrtevékenység pénzügyi fedezete, így a meglévő tevékenység is veszélybe került, s nincs meg a feltétele a hazai űripar megszületésének, a műholdas szolgálatok, elsősorban a távérzékelési műholdrendszerek szolgáltatásai (adatai) szükséges mértékű és biztonságú igénybevételének (lásd az 5. részben írtakat). A helyzet jobb, mint a rendszerváltozás előtt volt, de a globális fejlődésből kiszakadásunk megakadályozása haladéktalanul beavatkozást igényel anyagi téren.

## 8. Összegzés

Az előzőeket összefoglalva megállapíthatjuk, hogy az űrtevékenység civilizációnk szerves része lett és fennmaradásunkhoz már elengedhetetlenül szükséges. Gyorsan fejlődik és átalakítja világunkat. Az ebből a globális folyamatból kimaradó országok általános lemaradása nő, felzárkózási esélyeik csökkennek és növekvő gazdasági hátrányokat kell elszenvedniök. A magyar helyzet e szempontból nézve a tíz évvel ezelőttihez viszonyítva érdemben jobb lett, de súlyos problémákat kell megoldani nagyon gyorsan a helyzet újbóli romlása elkerülése érdekében.

Világunk gyorsan változik. Az űrtevékenység önmagában a Föld végeességéből adódó alapvető létezési problémánkat megoldani nem tudja, bár a megoldásához az űrtevékenység intenzív művelése előfeltétel. Ezen túlmenően az űrkutatás egyes eredményei segítik racionálisan is jobban megérteni a Föld működését, az Univerzumot, egész teremtetett világunkat. Ez a megértés segíthet abban is, hogy ne rombolni akarjuk saját létünk egyetlen bázisát, a Földet, s hogy ne forduljunk szembe elszántan, mindent kockáztatva Teremtőnkkel.

### A legfontosabb hivatkozások:

- [1] Ferencz Cs. (1977): A híradástechnikát is érintő tendenciák az űrkutatásban; Híradástechnika, **XXVIII.**, 129-136.
- [2] Ferencz Cs. (1985): Az űrtevékenység helyzete és trendje; Híradástechnika, **XXXVI.**, 529-543.
- [3] Myneni R.B., Keeling C.D., Tucker C.J., Asrar G. & Nemani R.R. (1997): Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991; Nature, **386**, 698-702.
- [4] COSPAR Information Bulletin; No. 99, p.28., 1984.
- [5] USAF puts weather control on the map; Janes's Defence Weekly, **28**, No.26., 52-53., 1997.
- [6] Levy M.F. (1997): Parabolic wave equation techniques for radiowave propagation; The Radio Science Bulletin URSI, **No. 282**, 6-13.
- [7] ANNALES Univ. Sci. Bp. de Rolando Eötvös, Sec. Geophys. Meteor., **Tom. XI.**, 5-218.
- [8] Ferencz Cs. (1996): Elektromágneses hullámterjedés; Akadémiai Kiadó, Budapest.
- [9] Williamson M. (1997): Merge or die; Space & Communication, **13.**, No.5., 4-8.
- [10] Baade F. (1961): Versenyfutás a 2000-ik évig; Gondolat, Budapest.
- [11] Mihály Zs. (1997): Inmarsat; tanulmány, BME Híradástechnikai TSz.
- [12] Furniss T. (1993): Quest for the cordless society; Space, **Vol. 9.**, No. 8., 6-8.
- [13] Avanesov G.A. (1996): Fundamental Problems of Earth Research from Space; Russian Space Bulletin, **Vol.3.**, No.4., 9-12.
- [14] Atzei A., Pseiner K. (1997): Innovation for Competitiveness - A Workshop Synthesis; ESA Bulletin, **No.91.**, 40-49.



[15] Evers S. (1997): Data fusion holds the key to US 2025 vision; Jane's Defence Weekly, **Vol.28.**, No.6., 27-28.

[16] Swir band provides richer content; Spot Magazine, **No.28.**, 9., 1998.

[17] Olthof H., Zufferey B., Schouten J. & Dowson V. (1997): Prodex - The First 10 Years; ESA Bulletin, **No.91.**, 61-66.

## **A rövidítések jegyzéke**

AEKI	Atomenergia Kutató Intézet
B-ISDN	Broadband - Integrated Services Digital Network, a szélessávú (azaz nagysebességű) integrált szolgáltatású digitális hálózat
BME	Budapesti Műszaki Egyetem
BSS	Broadcasting Satellite Service, műholdas műsorszóró szolgálat
CEI	Central European Initiative, Középeurópai Kezdeményezés
CESAR	Central European Satellite for Advanced Research
CORINE	Coordinated Information on the Environment, a Koordinált Környezeti Információs (európai) program
CsKI	Csillagászati Kutató Intézet
DCS	Digital Cellular System, digitális celluláris (távközlési) rendszer
DOTE	Debreceni Orvostudományi Egyetem
DTM	Digital Terrain Modell, Digitális Terep Model
ELGI	Eötvös Lóránd Geofizikai Intézet
ELTE	Eötvös Lóránd Tudomány Egyetem
ESA	European Space Agency, az Európai Űr-Ügynökség
EU	European Union, az Európai Unió
FÖMI	Földmérési és Távérzékelési Intézet
FSS	Fixed Satellite Service, fix műholdas szolgálat
GEO	Geosynchron Orbit, geoszinkron műholdpálya
GGKI	Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet
GII	Global Information Infrastructure, globális információs infrastruktúra
GIS	Geographical Information System, földrajzi információs rendszer
GSM	Global System for Mobil Communication, globális mobil távközlési rendszer, ami valójában nem globális a szó valódi értelmében, s nem tévesztendő össze a műholdas globális mobil rendszerekkel
GT	Geofizikai Tanszék
HSD	High Speed Datnet, nagysebességű adathálózat

HT	<b>H</b> íradástechnika Tanszék
ICAO	<b>I</b> nternational <b>C</b> ivil <b>A</b> viation <b>O</b> rganisation, a Nemzetközi Polgári Repülő Szövetség
ICO	<b>I</b> ntermediate <b>C</b> ommunication <b>O</b> rbital, középmagasságú távközlési műholdpálya (= MEO)
ISDN	<b>I</b> ntegrated <b>S</b> ervices <b>D</b> igital <b>N</b> etwork, integrált szolgáltatású digitális hálózat
ISS	<b>I</b> nternational <b>S</b> pace <b>S</b> tation, a Nemzetközi Űrállomás
K+F	kutatás és fejlesztés
KFKI	<b>K</b> özponti <b>F</b> izikai <b>K</b> utató <b>I</b> ntézet
KGO	<b>K</b> ozmikus <b>G</b> eodéziai <b>O</b> bszervatórium
LEO	<b>L</b> ow <b>E</b> arth <b>O</b> rbital, alacsony Föld körüli műholdpálya
MARS	<b>M</b> onitoring <b>A</b> griculture by <b>R</b> emote <b>S</b> ensing, a mezőgazdaság (műholdas) távérzékeléssel monitorozása (európai) programja
MEO	<b>M</b> iddlehigh <b>E</b> arth <b>O</b> rbital, középmagasságú Föld körüli műholdpálya (= ICO)
MH	<b>M</b> agyar <b>H</b> onvédség
MHT	<b>M</b> ikrohullámú <b>H</b> íradástechnika Tanszék
MIR	<b>M</b> iddle <b>I</b> nfra <b>R</b> ed, közepes infravörös (frekvenciasáv)
MŰI	<b>M</b> agyar Űrkutatási Iroda
MŰT	<b>M</b> agyar Űrkutatási Tanács
MTA	<b>M</b> agyar <b>T</b> udományos <b>A</b> kadémia
NASA	<b>N</b> ational <b>A</b> eronautics and <b>S</b> pace <b>A</b> dministration, az USA Nemzeti Repülési és Űr-Hivatala
NATO	<b>N</b> orth <b>A</b> tlantic <b>O</b> rganisation, az Északatlanti Szervezet
NIR	<b>N</b> ear <b>I</b> nfra <b>R</b> ed, közeli infravörös (frekvenciasáv)
NSAU	<b>N</b> ational <b>S</b> pace <b>A</b> gency of <b>U</b> kraïne, Ukrajna Nemzeti Űr-Ügynöksége
OMFB	<b>O</b> rszágos <b>M</b> űszaki <b>F</b> ejlesztési <b>B</b> izottság
OSSKI	<b>O</b> rszágos <b>S</b> ugárbiológiai és <b>S</b> ugáregészségügyi <b>K</b> utató <b>I</b> ntézet
PC	<b>p</b> ersonal <b>c</b> omputer, azaz személyi számítógép
PKI	<b>P</b> osta <b>K</b> ísérleti <b>I</b> ntézet
PRODEX	<b>P</b> ROgramme de <b>D</b> éveloppement d' <b>E</b> Xpériences Scientifiques, a Tudományos Kísérletek Fejlesztési Programja
PSCS	<b>P</b> ersonal <b>S</b> atellite <b>C</b> ommunication <b>S</b> ervice, azaz személyi műholdas távközlési szolgálat
RMKI	<b>R</b> észecske- és <b>M</b> agfizikai <b>K</b> utató <b>I</b> ntézet
RSA	<b>R</b> ussian <b>S</b> pace <b>A</b> gency, az Orosz Űr-Ügynökség
SAR	<b>S</b> yntetized <b>A</b> perture <b>R</b> adar, azaz szintetizált apertúrájú radar

SDI	<b>S</b> pace <b>D</b> efence <b>I</b> nitiative, az űrvédelmi kezdeményezés (a sajtóban az ún. „csillagháború”)
SLAR	<b>S</b> ide <b>L</b> ooking <b>A</b> perture <b>R</b> adar, azaz oldalra tekintő radar
SOTE	<b>S</b> emmelweiss <b>O</b> rvostudományi <b>E</b> gyetem
S-PCS	<b>S</b> atellite - <b>P</b> ersonal <b>C</b> ommunication <b>S</b> ervice, a műholdas személyi távközlési szolgálat
SSO	<b>S</b> un <b>S</b> ynchronous <b>O</b> rbital, napszinkron műholdpálya
SSTO	<b>S</b> ingle <b>S</b> tage <b>T</b> o <b>O</b> rbital, egy fokozattal Föld körüli pályára, azaz a következő űrrepülőgép-generáció, amelyik egyetlen fokozatból áll, repülőgépszerűen indul és száll le
STS	<b>S</b> pace <b>T</b> ransportation <b>S</b> ystem, az Űrszállító Rendszer, a NASA jelenlegi űrrepülőgépei és kiszolgáló rendszerük
SzAOTE	<b>S</b> zent-Györgyi <b>A</b> lbert <b>O</b> rvostudományi <b>E</b> gyetem
ThIR	<b>T</b> hermal <b>I</b> nfra <b>R</b> ed, hő-infravörös (frekvenciasáv)
ÜTT	Űrkutatási Tudományos Tanács
VLBI	<b>V</b> ery <b>L</b> ong <b>B</b> ase <b>I</b> nterferometry, a nagyon hosszú bázisú interferometria