

Az űrtevékenység helyzete és trendje*

DR. FERENCZ CSABA
MTA (ELTE Geofizikai Tanszék)



ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány a világban folyó űrtevékenység pillanatnyi helyzetét és a következő években várható változásait, fejlődési trendjeit méri fel a békés célú űrkutatásra koncentrálván. Az űrtevékenységet már a jelenben és a közeli jövőben a világgazdaság egyik lényeges tényezőjének minősíti.

„Indul a küszöbről az út,
Ha nem sietek, elszelel.”
(Tolkien)

„Nem könnyű országomból
kitorni.”
(Madách)

Az előző helyzetkép egy évtizede készült (1976-ban — megjelent: Híradástechnika, XXVIII, 129—136, 1977). Tanulságos, hogyha az új helyzetkép készítésekor erre is visszatekintünk. Akkor még tendencia volt, hogy az űrkutatás a földi civilizációt egyre mélyebben átfogó és átformáló, *lényeges* emberi tevékenység, amelynek a civilizációba beépülése komplex, sokoldalú és kiküszöbölhetetlen, s melynek elmellőzése az életképes technológiáktól való elszakadást eredményezi. Ma már ez nyilvánvaló állapot. Az elmúlt évtizedben egyrészt a kibontakozó „Földre zárt” társadalom több súlyos problémája (sivatagosodás, éhínség, erdőpusztulás és pusztítás, ivóvízhiány stb.), és sok szempontból érzékelhetők az emberiség létét veszélyeztető tényezők. Másrészt kibontakoztak az űrtechnika-űrtechnológia ipart és teljes gazdaságot átformáló területei, amelyek — ha elegendő idő áll rendelkezésre a lehetőségek békés kiaknázására — talán lehetővé teszik civilizációnk erengia- és nyersanyagbázisának alapvető kiterjesztését a világűr Földhöz közeli részeinek a birtokbavételével és lehetőségei kiaknázásával, az ember és a bioszféra érdemben elválaszthatatlan egysége létezési területének kibővítését, a „Földre zártság” feloldását. Ennek megfelelően az űrkutatásban a „hősi korszak” végleg elmúlt. Előtérbe került az egyes, kutatói kísérletek helyett a professzionális gyakorlat. A kezdeti „kutatói kíváncsiságot” felváltotta a műholdas technika, a rutinszerű űrrepülés, a Földre és a földi problémákra orientáltság, a gazdaságossági elemzés, a nyereségre törekvés és a piaci szempontok figyelembevétele, azaz a világűr tényleges birtokbavétele (pillanatnyilag a Föld-közeli térrészé) a kutató expedíciók nyomában — mint az eddig mindig történt. Csak gyorsabban! De a problémák talán még gyorsabban növekednek, amelyeket az

* A cikk a Magyar Tudományos Akadémia Távközlési Rendszerek Bizottsága által megvitatott tudományos helyzetkép alapján készült.

Beérkezett: 1985. VII. 1. (H)

DR. FERENCZ CSABA

1941. X. 23-án Csíksomlyón született. Középiskolai tanulmányait Békésen végezte, majd 1964-ben a Budapesti Műszaki Egyetemen hiras-technikai villamosmérnök-ként kiegészítő oklevelet szerzett. 1968-ban „Sub auspiciis rei publicae popularis” kitüntetéssel egyetemi doktora avatták. 1972-től a műsza-

ki tudományok kandidátusa, majd 1981-től a műszaki tudományok doktora. 1961 óta foglalkozik űrkutatással folyamatosan, mérnöki, kutatói és tudományszervezői tevékenysége döntően a területre esik. Az űrkutatásban végzett munkájáért 1980-ban az Elnöki Tanács a Munka Érdemrend arany fokozatával tüntette ki.

új tudás, technika és terület birtokbavételével kellene megoldani.

A jelen felmérés készítésekor a szakirodalom már annyira kiterjedt, hogy egyszerűbbnek tűnt hivatkozások helyett egy-egy terület egységes helyzetképének megadása — természetesen az összeállító „szemüvegén át” nézve.

1. A kutatásról

A kutatási tevékenység technikája már a hetvenes évek közepére kialakult. Azóta e téren „forradalmi változás” nem történt, de a műholdas és űreszközös (űrhajó-űrrepülőgép, űrállomás, bolygóközi szonda stb.) űrtechnológia finomítása és kihasználása a kutatásban igen komoly előrelépést jelentett és jelent a közeljövőben is.

A jelenlegi kutatási alaptevékenység a Naprendszer megismerése, tulajdonságainak feltárása, létrejöttének és működésének megértése. Az elmúlt időszakban részletesebben vagy csak tájékozódó jelleggel (egyszeri mérés) a Földön és környezetén kívül megvizsgáltuk (mármint az emberiség) a Holdat, a Napot, a bolygóközi teret a Naphoz közelebbi és távolabbi területeken, a Merkurt, a Vénuszt, a Marsot, a kisbolygóövezetet a kisbolygók megközelítése nélkül, a Jupitert és holdjait, a Szaturnuszt és holdjait. Rövidesen eléri az egyik űrszonda (Voyager—2) az Uránuszt, majd onnan a tervek szerint továbbrepül a Neptunuszhoz, amelyet még az évezred vége előtt elér. Ugyanakkor más űrszondák közelednek a Naprendszer határához, amelyet a Nap és a Galaktika mágneses terének találkozási zónájaként definiálunk, mint a magnetopauzát a földi légkör határaként. Így egyre nagyobb áttekintésünk van a Naprendszer bolygói és holdjai állapotáról, eltérő és közös jegyeikről. Ez utóbbiak különösen fontosak a Föld állapota megítéléséhez. A Naprendszer megértése során sokat várunk jelenleg a már folyamatosan levő űstököt kútunk programoktól és a tervezett közvetlen kisbolygóvizsgálatoktól. A Nap és a Föld-közeli bolygóközi tér állapotának és tevékenységének a figyelése szinte szolgálatsszerűvé vált, ami

különösen fontos, miután már nyilvánvaló életünk soktényezős kapcsolódása a Nap és a bolygóközi tér állapotához.

Égészen új kép kezd kibontakozni, részben az űrkutatás eredményei alapján a földi életről, a teljes földi bioszféra működéséről. Ennek első megfogalmazása volt az ún. „GAIA-hipotézis”, amely a teljes földi élő rendszert egyetlen globális, szabályozott entitásként kezeli, amely a bolygón a létezése szempontjából optimális feltételeket tart fenn. A hipotézis a bolygókutatási, légkörkutató, exobiológiai és földi biológiai stb. eredményekre támaszkodva született meg. Teljesen eltér a hagyományos nézetektől. Ezért nemzetközi, interdiszciplináris Föld-tudományi programot kezdeményeztek, hogy előre lehessen lépni a Nap-Föld rendszer fizikai, kémiai és biológiai működésének feltárásában és „a bioszférában az élet eredete és túlélése misztériumának” megértésében (COSPAR Inf. Bull., No. 99, 28. o., 1984). Ez a „Nemzetközi Geoszféra-Bioszféra” program, amely kialakulóban van. Az mindenesetre bizonyos, hogy a már eddig megszerzett ismeretek sem értelmezhetők a régi keretek között és a kibontakozó új kép világképünket alapvetően érinti. (Az új elemeket természetesen mindenkinek be kell építeni világnézetébe is). Bizonyos, hogy a „természet leigázása” helyett egészen új stratégiát kell kialakítanunk, amelyben a harmóniára törekvés, a többi élőnek — mint nélkülözhetetlen partnernek — a szeretete alapvető. Ezt nekünk mérnököknek is mielőbb meg kell érteni. A befutó új eredmények e téren különösen fontosak. E kutatási területhez sorolható, de végeredményben független terület az ember és általában az élőlények (növények, állatok) űrbeli tartózkodásának biztosítása, az űrbeli életfeltételek tisztázása, a minimálisan szükséges mikrobioszféra (űrállomás stb. szerkezete, biológiai rendszere, gravitációpótlás módja stb.) kialakítása, szerkezetének tisztázása, azaz az űrrepülésekhez kapcsolódó orvos-biológiai tevékenység.

Megkezdődött és gyorsan fejlődik a távolabbi kozmikus környezetünk megismerése, azaz egyre több és jobb specifikációjú csillagászati célú műhold pályára állítása. A földi légkör korlátozó hatásának eltűnése lehetővé tette az észlelési frekvenciasáv kiterjesztését mind a hő-infra, mind az UV és röntgen tartományokra. Ez egyfelől e sávok egyfajta birtokbavételét jelentette (leképezés, rádiometria), másfelől azonnal egészen új ismereteket is szolgáltatott (születő bolygórendszer felfedezése stb.). A közeli jövőben nagyméretű teleszkópok kezdenek üzemelni műholdpályán (különböző frekvenciasávokban), ami a legkifinomultabb, új felfedezésekkel kecsegtető csillagászati tevékenység világűrbe áttelepülését jelenti.

2. A gazdaságba integrálódó űrtevékenység

Minőségi változás kezdődött és zajlik pillanatnyilag is az űrtevékenységen belül. Ez azonban, mint várható is volt, nem a szorosabban vett (és érintőlegesen már áttekintett) kutatás szervezetét-szerkezetét érinti, hanem a űrtevékenység összes többi részét, amelyről már korábban is lehetett tudni, hogy gazdaságilag hasznosítható és a továbbiakban a civilizációnak ugyanolyan szerves része lesz, mint a hagyományos ipar, mezőgazdaság, közlekedés, postaszolgálat stb.

A 3. Ipari Forradalom teljes erővel kibontakozott. Egyre világosabban látszik, hogy a jövőben a valamilyenfajta űrbeli *autonómiával* nem rendelkező állatok csak másodrendű és monoton romló-visszaszoruló minőségű szerepet játszhatnak minden téren! Az autonómia lehet teljes körű (például: Szovjetunió, USA, Franciaország, Japán, Kína), vagy korlátozott, de érdemi (például: ESA-tagországok India, Brazília, Argentína). Lényeges, hogy a hordozóeszközök, a programok, a teljes felhasználás (adatforgalom, vezérlés, startidőkitűzés, startlehetőség, szakemberek űrbe indítása stb.) érdemben közvetlenül hozzáférhető legyen, hiszen már nem kutatásról van szó — az csak egy (szűk) részterület —, hanem komplex ipari-gazdasági tevékenységről. — Ezért a jövőben szerencsésebb lesz, ha űrkutatás helyett magyar nyelven is *űrtevékenységről* beszélünk, amelynek van kutatás-fejlesztési része is és amelyhez kapcsolódva, szállítóeszközeit (űrrepülőgépek, űrhajók, űrállomások, bolygóközi és kutató rakéták) felhasználva folytatódik a világűr közelebbi és távolabbi térségeinek a kutatása.

A kvantitatív előrejelzések az űrtevékenység várható alakulásáról ugyan sok szempontból bizonytalanok, de tájékozódásra azért megfelelőek. Jelenleg (1985 elején) a közhasznú (vagy kommerciális) űrtevékenységben világszerte összesen több mint 2000 cég vesz részt. 1995–2000-re az űrpiac globálisan kb. 20 millió munkahelyet biztosít és a teljes forgalom meghaladja az 500 milliárd \$-t évente. (A pénzegység US dollár és 1 milliárd \$ = 10^9 \$.)

Az egyik vezető „űrkutató” államban, az Egyesült Államokban a 90-es évekre várható űrtevékenységet 1984 elején még 10 milliárd \$/év-re becsülték, de 1985 elején már 50 milliárd \$/év-re. Ennek területenkénti megoszlása is figyelemre méltó:

teljes űrhírközlés	~ 15–20 milliárd \$/év,
gyógyszeripar	~ 20 milliárd \$/év,
egyéb anyaggyártás	≈ 5 milliárd \$/év,
távérzékelés	~ 2 milliárd \$/év,
műholdszervíz (pályán végezve)	~ 1–2 milliárd \$/év,
startok	~ 1 milliárd \$/év,
űr-hardware	0,5–1 milliárd \$/év stb.

Ezek az összegek — ismét hangsúlyozandó — nem költségvetési tételek, hanem nyereséges ipari-gazdasági tevékenység várható forgalmi adatai.

Az űrtevékenységet a századfordulóig terjedő időben még az jellemzi, hogy drága és technikailag sem kockázatmentes. Ez jelöli ki, alapvetően a kezdeti időben, az egyes olyan területeket, amelyek mégis nyereségesek lehetnek, mert más módon nem biztosítható és fizetőkép kereslettel rendelkező szolgáltatást nyújtanak, drága, de feltétlenül szükséges anyagokat használnak, amelyeknek a világűr gyártási költségeit az előnyeik kompenzálják stb. Bár az árak gyorsan csökkennek, még mindig magasak. Kezdetben (1960-ban) 1 kg tömeg Föld körüli pályára állítási költségei kb. 2 millió \$-ra rúgtak. Ez azonban csak durva átlag, mert tíz évvel később is még egy Hold-repülés költségei (Holdon történt leszállással együtt) a kutatási-fejlesztési arányos költséghányad nélkül (!) 0,5 milliárd \$-t tettek ki. 1985-ben a startköltségek a kezdeti érték ezredére (!) csökkentek, de még így is 1 kg tömeg Föld körüli pályára állítási költsége kb. 2000 \$.

Ez az érték várhatóan tovább csökken a feltehetően még e században kifejlesztendő második generációs űrrepülőgépek és új technológiájú hordozó rakéták üzembe állításával. Az nyilvánvaló, hogy a „hősi-korszak” alapvetően *egyutas* technikájával szemben a *ciklikus felhasználás* a perspektivikus minden téren a szállító eszközöktől az űrobjektumokig. (Ez alól csak a világűr kutatásának egyes feladataihoz idomított eszközök kivételek, például amelyek elhagyják a Naprendszeret, leszállnak egy-egy bolygón, vagy egyéb speciális feladatot hajtanak végre.) A ciklikus felhasználás magába foglalja mind az ismételt felhasználhatóságot, mind a pályán történő szervizelést, mind a szolgálati idő letelte után, illetve hiba esetén történő visszaállítást, javítást-felújítást és ismételt szolgálatba állítást.

Az űripár-űrtevékenység lehetőségeit, a tevékenységek jellegét a világűr tulajdonságai szabják meg, amelyeket itt is érdemes áttekinteni. Ezek:

— súlytalan környezet, amelynek következtében a Földön a súlyerőnél jóval kisebb erők (felületi feszültség, elektrosztatikus vonzás-taszítás stb.) tisztán érvényesülnek és felhasználhatók;

— a rendkívül tiszta és ellenőrizhető sugárzási környezet, széles tartományban változtatható hőmérséklet és energiasűrűség, a Nap sugárzásával is elérhető nagy meleg és az árnyékban tartással elérhető nagy hideg;

— folyamatosan rendelkezésre áll a napsugárzás, mint hő és villamos energia forrása (ez utóbbi például napelemes átalakítás után), valamint a részecske-sugárzás is;

— hang és egyéb rezgés mentes környezet, amelyben csak a saját eszközök rezgésével (gépi tevékenység, mechanikai stb. feszültségek, ...) kell kalkulálni;

— űrbéli tehetetlenségi pályák, amelyek lehetnek időben nagyon stabilak, illetve előírt Föld (általában bolygó) láthatóságot biztosítóak, ahol vagy a felszínnek, vagy az űreszköznek kell adott módon látszani;

— a rendelkezésre álló hely a földi viszonyokhoz képest igen nagy, habár nem „végtelen”, amire éppen a geostacionárius pálya zsúfoltsága a legjobb példa.

A pillanatnyilag meglevő, illetve kialakuló legfontosabb űrtevékenységi területek — már a várható forgalom felsorolásnál szerepeltek — az alábbi három fő csoportba sorolhatók:

— hírközlő és egyéb szolgáltató (távérzékelő, navigációs stb.) műholdak,

— $g \approx 0$ gyártás: gyógyszerek, egyéb vegyületek, ötvözetek, egykristályok stb.,

— állami és magán űrszállító eszközök és a gyártó-üzemeltető vállalatok, szervizszolgáltatás, forgalom-biztosítás stb.

Azonban e területek helyzetének kritikus elemzése szerint pillanatnyilag csak a műholdas hírközlési ipar virágzik, de ezt 40 éve előre lehetett látni (lásd. A. C. Clarke 1945-ös geostacionárius pályán levő műholdakkal történő távközlésre vonatkozó szabadalmát). A többi területen az állami kutatóprogramokon túl az óvatos próbálkozás és várakozás időszakát éljük, illetve néhány területen éppen zajlik az áttörés vagy legalábbis pilot-programokat futtatnak.

Az űrszállítás és űrbéli közlekedés minőségi változását vonja maga után a növekvő forgalom, s az, hogy az űrtevékenységbe autonóm módon egyre több

ország, illetve cég kapcsolódik be. Így egyre több állami felügyelet alatt álló intézmény tevékenykedik önállóan — például: a Szovjetunió Allami Űrkutatási Bizottsága, SZUTA Interkozmosz Tanács, USA-NASA, ESA (Nyugat-Európa), aztán Kína, Japán, Franciaország, Anglia, NSZK, Olaszország, India, Indonézia, Brazília, Argentína, Svédország, ... nemzetközi szervezetei. De megjelentek az űrszállításban, startszolgáltatásban, űreszközügyártásban stb. önállóan működni kezdő magánvállalkozások, a magán-rakétaépítő cégek. Ilyenek az Ortrag, a McDonnell-Douglas Astronautics Co., az Astrotech Int. Co., az Orbital Science Co., a Transpace Carriers Inc. stb. Ezek közül némelyik nagyon komoly technológiai és gazdasági súlyú, míg mások önálló, az eddigi állami közvetlen felügyelettől független rakétafelbocsátókká válnak. Így a Delta rakéták startját a Transpace Carriers Inc. veszi át; az űrrepülőgéppel kompatibilis továbbszállító rakétafokozatot (*transfer orbit stage*), amely az űrrepülőgéppel felvitt terhet más pályára tovább viszi majd, az Orbital Science Co. fejlesztésére a tervek szerint üzemelteti is. De a NASA meglévő 4 db űrrepülőgépe mellett az Astrotech Int. Co. egy űrrepülőgép megvásárlását és üzemeltetését fontolgatja ... Ezért az űr-forgalom biztosan sűrűbb és szerkezetiileg is összetettebb lesz. A *káosz* megelőzésére elkerülhetetlen, hogy a nemzeti űrkutatási szervezetek (például a NASA) a teljes nemzeti űrtevékenység forgalom ellenőrzési és irányítási funkcióját alakítsa ki a légiközlekedésben szokásossal analóg módon. Ugyanakkor hasonló módon létre kell hozni az egész űrközlekedés és űrforgalom nemzetközi szabályozását.

Mindenesetre a változások megkezdődtek, a régi, megszokott állapotok múlóban és bizonyosan újak alakulnak ki.

3. Az űrhírközlés

A kozmikus hírközlés az 1958 óta (Score műhold) eltelt húsz évben túljutott az alapvető műholdas technológia kifejlesztésén és használatba vételén. 1978-ban kizárólag távközlési célból már 18 db műholdat bocsátottak fel, és ezek nagy része szolgálati feladatokat látott el, illetve lát el, csak néhány szolgált fejlesztési célt. A ma (1985) folyó űrhírközlési kutatás valójában olyan fejlesztés, amely a meglévő és születő igények kielégítését célozza, mint a hírközlési ipar bármely más (hagyományos) területén. Az űrhírközlés nyereséges üzletté vált! Dominánsan alapkutatás a $\geq (50 \sim 100 \text{ GHz})$ tartományok birtokbavételéért folyik. De itt sem az űrtechnika, a műholdas technika a kérdéses, hanem a frekvenciák mérnöki birtokbavételének a felhasználás színhelyétől független állapotlémei. Az űrhírközlésben megoldottnak tekinthető a kozmikus technológia (műholdak kialakítása, feljuttatása, föld-műhold kapcsolattartás stb.). Megjegyzendő, hogy az 1960/70-es előrejelzések mind az űrhírközlés szerepét, mind a költségeit illetően általában hibásak voltak. Az űrhírközlés szerepét alábecsülték, globális és populáris elterjedését ugyancsak, míg a költségeit túlbecsülték, gazdaságosságát csak néhány speciális esetben ismerték fel. Ezt azért kell hangsúlyozni, mert a jelenlegi és a közeljövőben várható helyzet globális és helyi hírközlési minőségváltást jelent nemcsak régi és pillanatnyi elképzeléseinkhez ké-

pest, hanem a rutinszerűvé vált valódi állapothoz képest is. Ez hazánk amúgy is rossz hírközlési helyzetét, ha nem kapcsolódunk be a változásokba, még tovább ronthatja.

A változás röviden talán a „totális hírközlés” kialakulásaként jelölhető meg. Ez azt jelenti, hogy az űrhírközlés technikai bázisára támaszkodva az egyébként is robbanásszerűen fejlődő hírközlés mindenféle emberi tevékenység területére kiterjed és azt (így az egyéni és a gazdasági életet is) érdemben befolyásolja. Az űrhírközlés minőségi változásának is, mint annyi másnak, a technikai háttere az elektronizálódás, amelyet az űrutatás indított el még a kezdet kezdetén, s ma már azzal szervesen összefonódva igen gyorsan fejlődik, hamar túlhaladva minden technológiai jelle-gű futurológiai előrejelzést.

1. táblázat

Az űrhírközlésben használatos frekvenciasávok

Szokásos jelölés	Frekvenciatartomány
UHF vagy P	(100 MHz) 300 MHz — 1 GHz
L	1—2 GHz
S	2—4 GHz
C	4—8 GHz
X	8—12,5 GHz
Ku	12,5—18 GHz
K	18—26,5 GHz
Ka	26,5—40 GHz
V (közepe)	kb. 50 GHz

Megjegyzés:

A \geq V tartományokban (beleértve az infravörös, az optikai fény stb. frekvenciákat) kutatás, hírközlési használatba vételi kísérletek és egyes speciális feladatok megoldása folyik (csak) jelenleg.

3.1. Műholdas hírközlés

A globális műholdas távközlési szolgálat már hosszabb ideje megoldott, technikailag egyre jobb minőségű, szinkron pályán elhelyezkedő műholdas átjátszó állomások segítségével. Működési sávjuk általában a C-sáv (és S-sáv), a 6/4 GHz. — (Megjegyzések: 1. A sávokat általában a szokásos betűjelzéssel adjuk meg. Ezt a sávjelölést az 1. táblázat tartalmazza. A jelölésben — pl. C/S sáv — az első frekvencia a föld-műhold, a második frekvencia a műhold-föld irányt jelzi. 2. A cikkben nem ragaszkodtunk a postai, jogi megnevezésbeli kategóriákhoz, hanem szabadabb, *műszaki orientáltságú* megnevezéseket alkalmaztunk. Így a hírközlés ez esetben értelemszerűen rádiós hírátvitelt — hazai postai nomenklatúránkban „távközlést” — jelent. Távközlésnek itt a nagytávolságú, alapvetően pont-pont orientált műholdas információátvitelt nevezük. Hasonló módon műsorszórásnak nevezzük a tv- (és rádió-) műsorok nézők (és hallgatók) felé történő szétsugárzását, míg a többi, pl. műsorcserét, a távközléshez soroltuk. Ezért a műsorszórásnál tárgyaljuk e műszaki okok miatt nemcsak az egyéni állomásokkal is vehető és venni engedélyezett nagy teljesítményű műholdas műsorszórást, hanem a jogilag és pénzügyileg a távközlési kategóriába tartozó, a megfelelő szolgáltatási díjat megfizető közösségi vevőkkel levehető, kisebb teljesítményű műholdas műsorelosztást is. Ez utóbbit az egyéni vevőkkel nem lehet és nem is szabad venni, ahogyan a

földi mikroláncokba sem szabad „loposzkóppal bele-nézni vagy behallgatni” stb. — A postai szolgáltatási, jogi és szabályozási, bérleti-pénzügyi stb. kérdésekkel e cikkben nem foglalkozunk. — Két nagy nemzetközi műholdas űrtávközlési szervezet üzemelteti a közforgalmi rendszereket: az „Intelsat”, kiterjedt globális érdekeltséggel; és a jelenleg jóval kisebb taglétszámú „Interszputnyik”. Szerepük a nagytávolságú (pont-pont típusú), ezen belül a kontinensközi, valamint a nagyforgalmú területeken folyó távközlésben alapvető. Azonban a ma már hagyományosnak nevezhető műholdas távközlésben (nagytávolságú telefon, televízió, tv és rádió műsorcseré, ...) kivilűeső területeken lejárásodó gyors fejlődés és szolgáltatásokat is érinteni fogja — elsősorban a komplex hírközlési feladatokat ellátó űreszközök (geostacionárius pályára telepített komplex hírközlő állomások) megjelenésével. Pillanatnyilag ugyanis a \geq 800–1000 km távolságokra a műholdas hírközlés olcsóbb, mint a földi vonalak igénybevétele, s a hosszú terjedési útból (kb. 80 000 km) stb. adódó problémák a telefonbeszélgetések esetén is kielégítő minőséggel leküzdhetőek. Annak ellenére kifizetődőbb, hogy a 6/4 GHz-es állomások „világon kívüli”, speciálisan kiválasztott helyeken telepített, nagyméretű (\varnothing 10–30 m) antennákkal üzemelnek. Azonban a 14/12 GHz-es állomások kisebbek és kevésbé érzékenyek a telephely (elektromágneses és természeti) körülményeire, míg a perspektivikus 30/20 GHz rendszerék állomásai egészen kicsinyek, akár mobilok, elbírják már a videofon szolgálatot is. Ezért 1990–2000 közöttre a forgalom zömének a Ka/K sávba áttevődését várják, s az ehhez kapcsolódó műszaki fejlesztés nagy erővel folyik.

A globális műholdas távközlési képet azonban több tényező is zavarja. Ezek röviden úgy foglalhatók össze, hogy a (belső és külső) változások minden téren *túl gyorsak*, s ezért a helyzet mind műszakilag, mind üzletileg *instabil!* Az új, külső tényezők között valódi konkurens jelent meg: az optikai (fényvezető szál) hírközlés. Az optikai kábelek esetében a futási idő és visszhang problémák automatikusan megszűnnek (a terjedési út max. 20 000 km, általában 1000–2000 km). Árban is konkurens. Az optikai kábelek már ma is megfelelő minőségűek, s az űrbeli optikai-szál-gyártás megindulása az optikai kábelek minőségét még javítani fogja. Ezért azzal számolnak, hogy a közeli jövőben a szokásos pont-pont telefon stb. szolgálat részben leépül a műholdakról, de ez érintheti még a transzocéáni tv-átvitelt is. (Az első transzatlanti, optikai kábelt 1988-ban helyezik üzembe.) Ezzel együtt komoly fejlődéssel számolnak a műholdas vonalakon is. A globális regionális hírközlésben 1980–81-ben 300–400 db átjátszó (transzponder) üzemelt. (Egy transzponder jellemzően 36 MHz széles sávot, 1200 telefoncsatornát visz át.) 1990-re 640–650 db-bal, 2000-re 1500–1600 db-bal kalkulálhatunk.

A jelenleg legkomolyabbnak tűnő belső zavaró tényező szervezeti jellegű. Ugyanis eddig a globális (természetesen műholdas) távközlést az Intelsat és részben az Interszputnyik bonyolította le, biztosítva a szükséges globális koordinációt is. Ez fontos, hiszen az Intelsat 1984-ben 109 tagállamot tömörített, s a globális koordináció a kevésbé fejlett tagországoknak számos előnyt jelentett. Például biztosították, hogy a

meglevő és műszakilag (de csak „erkölcsileg”) túl gyorsan elavuló, de még sokáig üzemképes földi állomások specifikációi szerint, minden érdemi szolgáltatást biztosító csatornák álljanak a rendelkezésükre. Azonban a legutóbbi időkben sok új magáncég, illetve az Intelsattól (és az Interszputnyiktól) független nemzetközi műholdas hírközlést is biztosító cég jelent meg a piacon. A francia, japán stb. cégeken túl 5 egyesült államokbeli cég. Ez az Intelsat forgalomalakulásában is már érezhető hatását. Míg 1982-ben (az utolsó „zavartalan” évben) az Intelsat forgalomnövekedése 18% volt, 1983-ban és 1984-ben csak 10—10%, s ebből a transzatlanti forgalomnövekedés csak 7,3%. Eközben a teljes műholdas hírközlés robbanásszerűen bővült. A jövőben ezért a globális, nemzetközi hírforgalom lebonyolításában a két, régi szervezet (Intelsat, Interszputnyik) mellett új riválisok is bekapcsolódnak (International Relay, Inc., Comsat Corp., Telecommunications, Eutelsat, egy-két japán cég, stb.). A helyzet dinamikusabb és kaotikusabb lesz.

A gyors fejlődést az igények növekedése és az elektronikai technológia lehetőségeinek bővülése együttesen eredményezi. A globális távközlés mellett igen nagy és gyors bővülő a *regionális hírközlés*, amely a leggyorsabban és legkifizetőbben műholdakkal vált megoldhatóvá. A számítógépek (a számítógépi hálózatok, a professzionális és személyi számítógépek) gyors terjedése egyre nagyobb adatforgalmat igényel. Az optikai hírközlés e téren Európában a ≈ 400 Mbps, az Egyesült Államokban a ≈ 1 Gbps adatsebességeket éri el. Ez gyorsítja a csatlakozó műholdas vonalak fejlesztését is. Az adott változási trendnek természetesen súlyos problémái és nyitott kérdései is vannak, hiszen például a személyi számítógépek nem kis része — egyes felmérések szerint a többsége — inaktív, egyszerű divat-vásárlás során került tulajdonosához, másrészt nélkülözhetetlenek. A számítógép-piac telítődése egyelőre fel nem mérhető változásokat hoz majd... Ezekkel és az egyéb analóg kérdésekkel itt nem foglalkozom. Foglalkozni kell azonban e fejlődés gazdasági vonatásával. Mérvadónak tekinthetjük az Egyesült Államok távközlési helyzetének alakulását. Tanulságos a fejlődés dinamikája. 1983 végén az USA távközlését 312 műholdas transzponder szolgálta ki csak 57,4% terheléssel, míg 1984 végén 498 átjátszó 58,4% terheléssel. De ha a 1984 végi forgalmat az 1983 végén meglévő csatornakapacitással akarták volna lebonyolítani, a terhelés 93,2% lett volna, azaz a távközlési rendszer telítetté vált volna és akádogyozta volna a gazdaság fejlődését!

Figyelemre méltó a terület dinamikája és a műholdas távközlés részesedése a teljes hírközlési forgalomból. Az USA távközlését példaként használva: 1984-ben a forgalom 47,6 milliárd \$ és ebből műholdas forgalom 24 milliárd \$. Ez évben (1985) kb. 50—51 milliárd a várt teljes forgalom, s ebből 26—27 milliárd \$ műholdas. 1989-re kb. 76 milliárd \$ teljes forgalmat várnak, s ebből 39 milliárd \$ lenne műholdas. A műholdas távközlés igen fontossá vált, a gazdasági súlya nagy és várhatóan még nő. — Ipari-üzleti oldalról nézve a C-sávú műholdas üzlet telítődött, a következő üzleti csúcsot a Ku-sávban várják a legközelebbi jövőben, elsősorban a mai 20 W/csatorna teljesítmény 45 W/csatorna értékre növekedésével. Ez a Satcom KI 1984. novemberi startjával elkezdődött. (Egyéb

vonzatait a műsorszórás kapcsán tárgyaljuk.) Megkezdődött a 10 000 \$ \approx 20 000 \$-os mikroterminálok telepítése, és nagy fellendülést várnak, mivel gazdaságon alkalmazhatók a raktár stb. kapcsolatokban, a szállítás-rendelés és árajánlat menedzselésben, az élelmiszerszállítás irányításában, a bank- és biztosítási ügyletek terén, egyéb adatátvitelben, számítógépi hálózatokban, terepi expedíciók (olajkutató stb.) folyamatos komplex kapcsolat biztosításában, helyfoglalásban, információelosztásban, azaz távvezérlés és távmonitorozásban, elektronikus levelezésben, titkosított információátvitelben stb. E szolgáltatások biztosítási lehetőségeinek az értékelése kapcsán „új irányként” felmerült a 60-as évek elején használt, de (a mai) fejlett technológiát alkalmazó *alacsony pályás* (nem geostacionárius pályát használó) hírközlő műholdak felbocsátásának a lehetősége. Lehetséges például, hogy csak a geológiai-ásványkincs kutatási expedíciók kiszolgálása esetén ez optimális és kifizetődő megoldás lenne, hiszen csak az USA kőolajkutatója kb. 50 000 terminált igénylő járművel dolgozik.

A másik fontos terület a *műholdas műsorszórás*, amely a dolog természetéből fakadóan a föld felé irányuló ágon (műsoridő stb. miatt) regionális jellegű, míg a műhold felé irányuló ágon a jelenleg már (különféle kísérleti jelleggel) üzemelő rendszereknél regionális, de nem hosszú távon globálissá bővül. (Ez a megjelölés földrajzi és nem tulajdonjogi stb. jellegű, mivel egyébként a műholdas szolgáltatások is a nemzeti szervek és szervezetek hatáskörébe tartoznak, azaz nemzeti jellegűek.) A műsorszórás célja a jó minőségű és sokféle igényt kielégítő, egyidejűleg sokféle műsor vételét lehetővé tevő tv-műsorbiztosítás. Hasonló szolgáltatást biztosít a kábel-tv. (Ennek műsorpoltikai konzekvenciáival nem foglalkozom.) A trendet jól mutatja a nyugat-európai felmérés, ahol kb. 120 millió otthon műsorellátását kell biztosítani. 1990—95 közöttre (10 év alatt) az otthonok kb. 25%-át fogja kiszolgálni a kábel-tv, a településszerkezetből is adódóan. Másik 25%-át el lehet látni a kisebb adóteljesítményű (műsorelosztás — azaz jogilag nem műsorszóró) műholdas csatornák vételével közösségi vevőkön és kábeles elosztórendszeren keresztül. Az otthonok maradék 50%-át a nagy teljesítményű műholdas műsorszórás kell ellássa műsorral, ahol egy egyéni vevő árát kb. egy színes tv-készülék 1984-es árával tervezik azonosra az évtized végére. A tervek szerint csak Európa „felett” 1988—90-ben 136 db kis és nagy teljesítményű műholdas tv-műsor átjátszó üzemel majd a műholdak fedélzetén, s 1990-ben ebből kb. 20 db nagy teljesítményű műsorszóró transzponder szolgálja már ki az igényeket. A fellendülést jól jellemzi, hogy az Egyesült Államok és a Szovjetunió mellett az űriparban-űrkutatásban kisebb volumenű tevékenységet folytató nyugat-európai űrkutatás a komerciális tevékenység következtében az 1983-tól 1988-ig terjedő öt év alatt megduplázódik. Elkerülhetetlennek látszik az „össz-európai” műsorszórás kialakulása és a műholdas műsorszórás legalább Európában, esetleg globálisan közös szabványának a megvalósítása. Hazánk földrajzi helyzete következtében a Közép-Európát el látó különféle csatornák a Dunántúlt ellátott körzetnek megfelelő térről általában besugározzák, de egyes transzponderek (pl. ESA „Olympus” műhold egyik műsorelosztó csatornája) egész Magyarországot

is. Hazánk viszonyai megítélésénél figyelembe kell venni, hogy az Interszputnyik Szervezet is foglalkozik nagy teljesítményű műsorszóró műhold fejlesztésével, amelynek hazánk egyéni előfizetői ellátása is perspektivikus célja.

Nyugat-Európában a közösségi és egyéni vételt biztosító műsorszórás előkészítését az OTS technológiai holdakkal kezdték 1982-től jó eredménnyel. Ez azonban nem úttörő kísérlet, ugyanis 1984-ben már — elsősorban közösségi vevők részére — kísérleti műsor-sugárzásnál tartottak Észak-Amerikában (USA, Kanada), Indiában, Japánban. Észak-Amerikában az egyedi vevők számára is folyt kísérleti adás. Európában 1985—86-ra tervezik a közösségi vevők és az egyedi vevőkészülékek számára egyaránt sugárzó első műsorszóró műholdak üzembe állítását — a TV-Sat műhold a NSZK tulajdona, a TDF—1 Franciaországgé. De még ebben az évtizedben műsorszóró műholdat bocsát fel csak Európában Anglia, a skandináv országok, az ESA, sőt az említett két holdon kívül továbbiakat az NSZK és Franciaország is.

Ez a fellendülés üzletnek is nagy, hiszen az ezredfordulóig kb. 200 „civil” műholddal számolnak 20 milliárd \$ értékben, és például csak 1984—85-ben egyetlen cég (Citicorp Industrial Credit, Inc.) 3 milliárd \$ forgalmat remél 1 millió db (!) átlagosan 3000 \$/db áru parabola antenna eladásából.

A világban általában hasonló az aktivitás: Brazília, Kína, India, Indonézia, arab államok stb. mind rendelkeznek vagy rövidesen rendelkezni fognak hírközlő műholdakkal, de az USA-nak, Kanadának, Japánnak már sok műhold áll a rendelkezésére. A Szovjetunió különféle hírközlési (ezen belül távközlési) igény kielégítésére a Molnyija—1, 2, a Raduga, az Ekran, stb. műholdakat üzemelteti. Az évtized vége felé (1987—1990) egyre több *komplex* szolgáltatást nyújtó műhold (inkább már kisebb űrhírközlő állomás) felbocsátását tervezik. A TELE—X Skandinávia műsor-ellátása mellett adatátvitelt is biztosít majd. Az Arabsat (1985-től) 22 arab ország és szervezet pont-pont közti távközlési kapcsolatát is biztosítja a közösségi tv-vevőkkel vehető (kis teljesítményű) műsorelosztás mellett. Az évtized vége felé jellemző lesz, hogy egy-egy műhold tartalmazza a szokásos pont-pont összeköttetést biztosító 6/4 GHz távközlési átjártsót, a 12/14 GHz tv-műsorszóró átjártsót, ugyanebben a sávban (12/14 GHz) a professzionális szolgálati hírközlést, a kormányzati hírközlési csatornákat (például 7/8 GHz); a követés, a telemetria és parancsadás (TT & C) továbbra is az S-sávban (2 GHz) zajlik. Az 1990-re tervezett Big Communicator műhold sokféle szolgáltatást biztosít egyszerre az igen nagy sebességű (40 Mbps) és nagy teljesítményű szélessávú csatornától kezdve, a műholdas mentőszolgálatig. Az évtized végéig a hagyományos űrtávközlésen kívül (C-sáv) az X/Ku-sáv, illetve Ku/X-sáv intenzív használata bizonyos. A NASA koordinálásával azonban folyik a Ka-sáv kísérleti üzemi vizsgálata, amelyet 1990-re a komerciális forgalomra kívánnak igénybevenni. A Nippon (Japán) Ka/K-sávú műhold szolgálatba állítását tervezi 1988-ra. Más szóval az évtized végére az UHF-től (P-sáv) a Ka-sávig minden frekvenciatartományt használni fog a műholdas hírközlő szolgálat. Az egyedi vételt biztosító műholdas műsorszóró csatornák teljesítménye jellegzetesen 100—230 W/csatorna, de

ebből a nagyobb értéket tekintik általában mérvadóknak. Például az 1987-re tervezett HS 394 műhold (Hughes, USA) a Ku-sávban (műhold-föld irány) 8 db műsorszóró csatornával rendelkezik majd, 230 W/csatorna teljesítménnyel, s nyalábolása lehetővé teszi, hogy vételére 2 láb—0,6 m átmérőjű egyéni vevőantenna elegendő (kb. 30-szoros átmérő/hullámhossz viszony, 2 cm-en). Földi vételre a különféle műholdaknál (a frekvenciától, a csatornateljesítménytől és a vételi céltől függően) \varnothing 3 m-től \varnothing 0,3 m-ig terjedő antennákat ajánlanak, s még profi vevők árát is 10 000 US \$ alatt kívánják tartani a kellően nagy piac kialakulása érdekében.

Pillanatnyilag még nem a postaszolgálat (vagy analóg közhasznú szolgálat) részeként, de már üzemelnek az első *komplex* adatforgalmat biztosító űrbeli hírközpontok. Ezek egyik jellegzetes képviselője a TDRS—1, amelyik az űrrepülőgépek, illetve a Space-lab és a föld közötti adatforgalmat, általában műhold-műhold adatforgalmat (például Landsat műholdak és földi állomásaik kapcsolatát), szokásos távközlést, kisebb és nagyobb (48 Mbps) sebességű adatátvitelt biztosít. A TDRSS globális szolgálatként jelenleg épül ki. A már említett Big Communicator (1990) hasonlóan összetett szolgáltatást már „közhasznú” szolgálatban is biztosít. Jellegzetes fejlődési irány a földi műholdmegfigyelő állomáshálózatok fokozatos kiváltása az űrben telepített komplex hírközpontokkal. Az ACTS műholdon (Advanced Communications Technology Satellite) komplex telefonközpont helyeznek műholdpályára a közeljövőben. Tíz éven belül várható, hogy a már említett növekvő adatátviteli igényeket komplex, műholdas hírközpontok elégítik ki, amelyek egymással széles sávú (esetleg a \geq 50 GHz vagy optikai sávba eső) műhold-műhold csatornákkal állnak kapcsolatban nagyon megnövelve a hálózat rugalmasságát.

A nagy igényű, *speciális* hírközlés területén meg kell említeni az űrkutatás, űrszolgálat és űripár saját hírközlését, a katonai hírközlést és egyes polgári igények kielégítését is. Ez utóbbira jó példát nyújtanak a geológiai expedíciók, amelyek a terepi (szárazföldi vagy tengeri) mérések során real-time kapcsolatban vannak műholdon keresztül anyaintézetükkel, és így a mérést, feldolgozást és értékelést azonnal, a helyszínen el tudják végezni az intézet számítástechnikai apparátusát, adatbankját stb. használva.

E fejlődés előre vetíti a *totális hírközlés* kialakulását, amely a pont-pont közti távközléstől a globális személyhívásig és a vevő-stúdió kapcsolatot is biztosító kétoldalú (vagy aktív) tv-műsorokig terjed. Igen érdekes e fejlődés azért, mert a klasszikus idők rendszertervezési filozófiájának „fejreállítását” jelenti. Régebben azt mondtuk, hogy az űrben kisebb antennákat helyezhetünk el, kisebb adóteljesítménnyel és érzéketlenebb vevőkkel. A földön pedig nagy antennákat, nagy adóteljesítménnyel és érzékeny vevőkkel. E tervezési koncepció a 60-as évek technológiai korlátai miatt triviálisnak tűnt. (Lásd például a hazai Interszputnyik földi állomást is.) Az új igény (például globális és totális személyhívás) kielégítésének feltétele, hogy a földön kicsi, illetve cigarettadoboz méretű, vagy még kisebb, kis teljesítményű, érzéketlenebb vevőjű, kicsi, esetleg irányítatlan antennájú eszközöket használhassunk. Ezért az ezredforduló körüire (pél-

dául Omninet műhold) Ø50—60 m-es vagy nagyobb óriás antennájú (!), 15 kW primer-teljesítményű és igen érzékeny vevőrendszerrel felszerelt műholdakat terveznek. A generális és globális audio, video és adatátviteli szolgálatok kiépülésének a reális technológiai hátterét pedig az biztosítja, hogy a szükséges technológia a katonai hírközlésben érdemben rendelkezésre áll.

3.2. Hírközlés egyéb ürtevékenység kapcsán

Már az előzőekből érzékelhető, hogy egyre nehezebben szeparálható területről van szó. A hírközlés (távközlés, adatátvitel, TT & C stb.) eredetileg is minden emberi tevékenység része volt, ma is az, csak sokkal kiterjedtebben. Így az űrkutatás „hőskorának” hagyományos felosztásai lassan értelmetlenné válnak. Egyes területek azonban éppen az integrálódás közben növekvő súlyuk miatt feltétlenül említést érdemelnek.

Az *ürtevékenység és kutatás* kiszolgálása (TT & C), a kutatási adatok átvitele, azon belül a rendkívül nagy távolságú — pillanatnyilag a Naprendszer határáig megbízhatóan üzemelő — rádiókapcsolat a távközlés és adatátvitel folyamatos kutatását-fejlesztését biztosítja. Ez marad a mindenkori csúcsteljesítmények területe! Dominánsan az S-sávot használja légköri terjedési okokból, kisebb mértékben az UHF, L, X, ... sávokat is. A nagy űrállomásokra áttelepülő követőrendszerek létrejöttét után várható az igen nagy frekvenciák használatára történő áttérés.

Egyre nagyobb súlyt kap a műholdas *navigáció* (alapvetően az UHF sávot, néha az L sávot használja), amelyet ma már a légi, tengeri és szárazföldi (akár városi) forgalom is használhat, illetve használ. Működése navigációs és egyéb irányítási információ továbbítását is igényli, illetve a műholdak a navigáció mellett kétoldali jelzés- és célinformáció-átvitelt is biztosítanak máris, illetve a közeli jövőben. A szolgálat súlyát jól szemlélteti, hogy csak NAVSTAR holdból 1986—88-ban 21 db üzemel a tervek szerint. (Részletesen lásd a 4. pontot.) E szolgálatok összekombinálódnak a különféle célú — jelenleg legkiterjedtebben tengeri — mozgó hírközlési szolgálatokkal (INMARSAT holdak, STARSAT, SKYLINK, PROSAT, ...), amelyek már üzemelnek, illetve még 1990 előtt üzembe állnak. A *mobil* (telefon, telex, képtáviró, ...) kapcsolatot mozgó földi állomás esetén általában az UHF sávban (legtöbbször 800 MHz körül, de üzemelnek 240—400 MHz körül is), repülőgép esetén az L sávban, hajók esetén az L és C sávban, speciális szolgáltatást és a műhold-földi központ kapcsolatát a Ku sávban biztosítanak. De e műholdakra (pl. STARSAT) terveznek L-sávú rural szolgálatot, keskenysávú adatátvitelt, speciális (nem kompatibilis) mobil telefont, alfanumerikus üzenettovábbítást stb. is. (Csak a képtáviró adathálózatban — Ku-sáv — a közeli jövőben globálisan 50 000 földi „állomásra” — készülékre — számítanak.) A mobil szolgálatok között igen fontos a már több műholdat üzemeltető INMARSAT műholdas, tengeri forgalomirányító és mentő szolgálat. 1984 végén már 42 tagállammal rendelkezett, és elkészült, üzemelt 12 tengerparti (kikötői) nagy földi irányító és mentésszervező központi állomás (2 a Szovjetunióban, 2 az USA-ban, 2 Japánban, 1 Norvé-

giában, 1 Angliában, 1 Szingapúrban, 1 Franciaországban, 1 Kuvaitban és 1 Brazíliában). Két parti állomás (Bulgáriában és Argentínában 1—1) még hajóra települve működik a végleges állomás épülésének ideje alatt. Ugyanakkor több mint 3000 hajó van felszerelve Inmarsat rádiórendszerrel. A jól üzemelő rendszer szorosan együttműködik a COSPAS/SARSAT mentőrendszerrel és részt vesz annak fejlesztésében is.

Megszületett a mobil szolgálat egy speciális és kiemelkedően fontos változata — a globális műholdas *kereső és mentő szolgálat* (Search And Rescue S.4 Tellite = SARSAT, illetve szovjet változata COSPAS) — a SARSAT/COSPAS rendszer, amely már üzemel és bővül. A Szovjetunió és az USA-n kívül több más ország is bekapcsolódott, és nemcsak a globális érdeklődés nagy, hanem úgy tűnik, hogy elsősorban a szovjet műholdak sikeres működése következtében (az első SARSAT ugyanis meghibásodott), a jövőben a már említett mobil szolgálatot ellátó műholdakra is felkerül a rendszer, a speciálisan csak mentőszolgálatot ellátó holdakon kívül. A rendszer létrehozói a Szovjetunió és az USA mellett Kanada és Franciaország, de bekapcsolódott már sok más állam is és az INMARSAT tengeri forgalomirányító és mentő szervezet. Ez évtől (1985) a rendszer operatív, a kísérleti üzemet sikeresen lezártak tekintik. Az átvitel jelzés (vészjelzés, lokalizációs adatok, egyszerű jelzésrendszerű üzenet), lassú (480 bps ~ 4 kbps). A rendszer nagyon kis teljesítményű (30 mW ≤ 1 W) és fedélzeti memóriát használ (1,5 kbit ~ 320 kbit). Jelenleg a 121,5 MHz (polgári légiforgalmi) és 243 MHz (katonai) frekvenciákon dolgozik szolgáltatású, s kísérleti jeleggel a 406 MHz-en. Tervezik egy L-sávba eső frekvencia felhasználását is. A jövőben az INMARSAT műholdjaira a 406 MHz és/vagy az L-sáv beépítése várható. Megítélésem szerint a következő években a sikeres operatív szolgálat megindulása után a SARSAT/COSPAS globális riasztó és mentő rendszer nagyon gyorsan elterjed.

Kiemelt gazdasági jelentősége miatt említem meg itt is külön a *földi környezet műholdas megfigyelését* (meteorológia; természeti erőforrás-kutatás; globális, regionális és helyi gazdaságirányítási és veszélyjelzési monitorozás; katonai felderítés; stb.). E szolgálatok-nak kétféle hírközlési vonatkozása van.

— Egyrészt igen nagy tömegű adatot kell nagy sebességgel eljuttatni a földi központokba, részben közvetlen megfigyelő ~ műhold ~ földi-központ csatornán át, részben műhold ~ műhold kapcsolatok révén. E jellemzően néhány Mbps, néhányszor tíz Mbps adatforgalom általában az L, S, C és X sávokban bonyolódik jelenleg és a következő néhány évben.

— Másrészt a földfelszínen (szárazföldön, vízen vagy sodródó léggömbön) elhelyezett mérő-adatgyűjtő (automata) állomások adatait műholdak gyűjtik össze és továbbítják földi központokba. Az adatösszegyűjtés (és esetleg mérőállomás lokalizáció), azaz a föld—műhold kapcsolat az UHF sávban üzemel (jelenleg), míg a műhold—földi központ csatorna legtöbbször az S-sávba esik. Jellemző, hogy csak a Meteosat (1990-ig) globális adatgyűjtésnél 16 000 mérő-adatgyűjtőt tud kezelni, illetve adatgyűjtő és lokalizáló üzemmódban 4000-et. Ez a szolgáltatás is terjed. A Landsat, Nimbus, Meteosat stb. holdakon túl pl. Brazília 1989—90-ben saját műholddal 500 mérő-

állomás adatait kívánja begyűjteni, s az Interkozmosz is elvégezte egy ilyen rendszer létesítésének kifejlesztését és kísérleti-üzemi próbáit. (E fejlesztésben hazánk is részt vett.)

A hírközlés terén — a rend kedvéért — meg kell említeni az *amatőr rádiózást* is. Szemben a rövidhullámú időkkel, jelenleg az amatőr műholdaknak nincs technikai-technológiai úttörő jellegük, nagyon színvonalas hobbinak tekinthetők. (Ez nem jelenti azt, hogy teljességgel kizárt lenne valamilyen jó ötletnek az amatőr műholdas hírközlés terén történő felbukkanása, de ezt nagyon esetlegesnek ítélem.)

3.3. Egyebek

A fenti kép jobb megítélhetőségéhez szükséges néhány dolgot még felemlíteni. Rohamosan fejlődik az említett műholdas rendszerek IC-technológiája és közben csökkennek az árak. A műholdak garantált élettartama több év (pl. Arabsat 3 év, HS 394 10 év). Megoldotta a műholdak napelemes energiaellátása.

A hosszú élettartam, a nagy globális információforgalom és a geostacionárius pálya zsúfoltsága (interferenciák stb.) megkívánja az összehangolt szabványosítást, a föld—űr—föld vonalak különösen gazdagságos használatát, az űr—űr vonalak egyre nagyobb igénybevételét. Nem tűnik hosszú távon tarthatónak, hogy globálisan többféle műholdas távközlési stb. szabvány létezzen egyidejűleg. Nem perspektivikus. A nagy, komplex, orbitális hírközpontok megszületése a problémákat feltehetően eliminálni fogja.

4. Műholdas helymeghatározás

A korábbi előrejelzések helyesnek bizonyultak. Amint az már 20 éve látható volt, minőségi módszertani (elvi) változás nem történt a geodéziai és navigációs alkalmazások területén, s az elméletileg legegyszerűbb kezelhető és mérés technikailag is kemelkedően pontos Doppler-eljárás egyértelműen dominánssá vált. E mellett még az elméletileg és mérés technikailag szintén jól kezelhető interferometria (műholdkövető interferométerek VLBI, stb.) és kisebb mértékben a lézeres távmérés szerepel nagyobb súllyal. Az alkalmazás pontosságában és tömegességében azonban rendkívüli áttörés zajlik pillanatnyilag (1980—1990), a Doppler-eljárás nagy pontosságát és a berendezések miniatürizálhatóságát, valamint a műholdas adatátviteli technika gyors fejlődését kihasználva. Ez a változás igen komolyan érinti a népgazdaságot is és a közeljövő életformáját, az élet minőségét is.

Mint ismeretes, Doppler-mérésekre alapozva egy pont (például műhold) térbeli helyzetét 4 ismert pontról (földi állomások) lehet meghatározni. (Mesterséges holdak Doppler-görbéi, geodéziai alkalmazása és hazai lehetőségei; BME tanulmány, 1967). Az elméletben persze nincs kikötve, hogy az egy ismeretlen és a négy ismert pont hol legyen. Ezért minden további nélkül lehet a négy ismert pont az űrben és az egy ismeretlen valahol a földön. Ezt a lehetőséget futási idő mérésrel is kombinálva próbálták ki a katonai navigációs célra kifejlesztett NAVSTAR műholdas globális helymeghatározó rendszernél — GPS (Global Positioning System). (Általában is minden műholdas, katonai, navigációs rendszernél.) A rendszer kb.

18 000 km magas pályán keringő műholdakat használ, amelyek saját azonosítójukkal együtt védett (titkosított) kódolással pályadataikat, pillanatnyi pozíciójukat, precíz időt és Doppler-mérésre, terjedési korrekciókra alkalmas L sávú jeleket sugároznak. A vevő beépített, generált kód segítségével veszi az információ csomagot, amelyből meghatározza a műhold-(földi)vevő *távolságot*. Egy pozícióhoz 4 különböző műhold jelét kell venni, és minden esetben 2 db L sávba eső rádiójel segítségével terjedési korrekciót is végez a vevő egység. A GPS célja egyszeri méréssel nagy pontosságú pozíció-adathoz jutni. A pontosság attól függ a GPS-en belül, hogy a vevőbe épített generált kód a műholdról jövő adatok milyen pontosságú dekódolását teszi lehetővé. A katonai vevőkkel elérhető *egyméréses (navigációs) pontosság jobb 10~16 m-nél a felszín mentén és jobb 30 m-nél magassági irányban!* Polgári alkalmazási célra készült vevőkkel is a pozíció-hiba nem több 30~35 m-nél, biztosan kisebb 100 m-nél. Geodéziai módszereket is használva, azaz sok mérést végezve egy helyen is egyenlítő számításokat is alkalmazva, a néhány dm \leq 1 m hiba abszolút pozícióban nehézség nélkül elérhető.

Jelenleg a NAVSTAR GPS a teljes mérnöki fejlesztési-kivitelezési stádiumban van. A kísérleti NAVSTAR-rendszer teljes sikerrel üzemel, de ez még nem biztosít globális, 24 órás fedettséget. Az első *operatív* holdat 1986-ban viszik pályára valamelyik űrrepülőgéppel. A GPS operatív üzeméhez 18 db műhold kell, a teljes rendszer 1988 végére — 1989 elejére épül ki. Áttörési küszöbnek a 24 órás szolgálat 1988-as megindulását tekinthetjük, amelyik ekkor még csak kétdimenziós helymeghatározást biztosít globálisan. A 18 műholdból álló, teljes GPS 1989-re tervezett üzembe állítása *minőségi áttörést* jelent a 24 órás, háromdimenziós, nagy pontosságú helymeghatározási szolgáltatással. — Hasonló frontáttörési helyzet alakult ki, mint 30 év előtt az inerciális navigáció megjelenésével, bár hatása, most kiterjedtebbnek és átütőbbnek ígérkezik.

A rendszert a katonaság fejlesztette ki és univerzálisan alkalmazza is repülőgépeken, hajókon és szárazföldi járműveken. (Lehetséges például az automatikus átrepülés Amerikából Európába stb.). Már a katonai alkalmazás is komoly üzlet, hiszen e célra a következő 10 évben kb. 27 000 db NAVSTAR vevőt gyártanak. De a NAVSTAR megváltoztatja az összes helymeghatározási munkát a földmérésben, a geofizikában, a földrengéskutatásban és előrejelzésben, ... és nagyon sok egyéb mérnöki munkaterületen. Már pillanatnyilag is (1984 vége) kb. 100 GPS vevőt használnak polgári célra, a kísérleti NAVSTAR rendszerre támaszkodva. Az első polgári NAVSTAR vevő-típus 1985—86-ban megjelenik a piacon. Ezek is megadják bárhol és bármikor a Földön, a három térbeli koordinátát, a sebességet és az időt, csak a fentebb leírtaknak megfelelően kicsit pontatlanabban, s ezért sokkal olcsóbban. A 80-as évek végére a professzionális minőségű, „civil” vevőkészülék ára \leq 10 000 \$-ra várható.

A polgári alkalmazásban a legnagyobb piacot a szárazföldi járműveken történő alkalmazás jelenti a rendkívül nagy db-szám következtében. Már a kezdeti időkben használják a GPS-t a szükségjárművek (men-

tők, rendőrség, tűzoltók, ...), a kamionok és más profi szállító járművek, a vasutak, s 1988—90-től kezdődően, egyre nagyobb mértékben a személygépkocsik. A piaci szempontból második legjelentősebb polgári alkalmazási terület a tengeri (és egyéb, édesvízi) hajózás, amely szintén azonnal használni kívánja a GPS-t, ami a balesetmegelőzéstől az automatikus kurzustartásig stb. mindent lehetővé tesz. Végül a harmadik nagy piac a légiforgalom. Itt a biztonság igen nagy mértékben növekszik. Már a kezdet kezdetén a GPS lehetővé teszi az egészen precíz magassági elválasztást jobb légifolyosó kihasználással, és azt, hogy a gépek pozíciójukat és sebességüket egyidejűleg tovább sugározzák az irányítótornyoknak is. További piac és már a kísérleti fázisban is meglévő polgári alkalmazás a földmérés (geodézia), a térképezés, a pontos és stabil (etalon!) időszolgálat stb.

Még a következő tíz évben, a legnagyobb és legartósbabb piaccá, a személygépkocsiban történő alkalmazás válik. A kísérleteket 1984-ben a General Motors már megkezdte. A személygépkocsiba beépített NAVSTAR vevő a gépkocsi rádióantennájával egybeépített $\varnothing 20 \text{ mm} \times 90 \text{ mm}$ antennával rendelkezik, s az eredményt a vezetővel 23 cm-es színes display-en közli. A mikroszámítógép tárolt, digitális térképet ír ki az ernyőre és azon jelzi a gépkocsi helyét, sebességét, a legfontosabb adatokat (kórház, benzinkút, szerviz, ...), s a térképet automatikusan lapozza. A térképkészlet cserélhető menet közben is. Bevihető előre a gépbe az indulási hely, a cél, a közbülső megálló, kérhető javasolt útvonal stb. (E rendszer fejlesztett változata már reálissá teszi az automatizált közlekedést.) A személygépkocsi-piac méretei és a NAVSTAR rendszer globalitása következtében a következő évtized második felére, azaz 10 < 15 éven belül $\approx 500 \text{ \$}/\text{db}$ komplett készülékárát becsülnék.

Figyelemre méltó, hogy emellett kormánytámogatással fejlesztik a személyi NAVSTAR vevőt, amelyik vevőstől, antennástól, display-estől, telepestől el kell férjen egy „king size” méretű cigarettásdobozban.

A polgári felhasználók száma min. 1 millió, de a várakozások szerint sok millió. Nem zárható ki, hogy a műholdas hírközlésnél nagyobb üzlet és igen nagy civilizációs hatás bontakozik ki a navigációs mérések e fejlett változatából. Az is érdekes, hogy e katonai céllal indult program, mire szolgáltatászerűvé kiépül, már „civilizálódik”, és a katonai vonatkozások gazdaságilag kevésbé fontos tényezővé válnak, az igen nagy polgári felhasználás mellett.

5. Távérzékelés

A távérzékelés fizikai alapjait a korábbi helyzetképben (1976) már ismertettem, ezért itt nem ismétlem meg. Az is várható volt, hogy a műholdas távérzékelés keretében a hasonló detekciós elemeket használó alkalmazási területek összefonódnak. Ez a folyamat érdemben megkezdődött és a közeli jövőben a meteorológia és az egyéb célú távérzékelés azonos adatbázisra támaszkodó, de különböző célú adatfeldolgozásként válik csak szét. Ugyancsak a távérzékelés része a katonai és gazdasági felderítés, de ezzel egy-két utaláson túl nem foglalkozom.

5.1. Meteorológia

A már hosszú ideje kialakult meteorológiai műholdas világhálózat folyamatosan üzemel, és tartalmazza a közelítően poláris pályán keringő műholdakat, szinkron pályán levő holdakat, és használ meteorológiai, illetve egyéb műholdakon levő adatátviteli csatornákat. A rendszert a WHO koordinálja. A műholdakat az USA, a Szovjetunió, az ESA és Japán bocsátja fel és üzemelteti, de várható további országok bekapcsolódása is. A műholdakról érkező közvetlen mérési adatok mellett (különféle frekvenciákon készült képek, hőmérsékleti és nedvességi adatok, szél és vízhullám jellemzők stb.) mód van arra, hogy a nagyobb központok által már előzetesen feldolgozott és a műholdakon, mint átjátszó állomásokon át szétsugárzott adatokat vegyék egyes felhasználók interpretációs célból. Ekkor azonban a megszerezhető információ korlátozott értékű a primer adatokkal összevetve. A szükséges észlelési (mintavételei) sűrűség, amely az adatok természetétől és a felhasználási területtől is függ, a ≈ 30 perctől 24 óráig terjed. Az összeolvadási tendencia részeként a meteorológia sok más célú távérzékelési hold adatait is használja, különösen hidrológiai (víz és jég) és környezetállapotra vonatkozó (albedo, levegőszennyezettség stb.) adatokat. Ugyanakkor a meteorológiai holdak műszerei kompatibilis adatokat szolgáltatnak a többi távérzékelő hold adataival, s ezért ezeket egyéb célból (legtöbbször növénytakaró állapot, várható termés becslése stb.) is feldolgozzák, de e célra csak a primer adatok minősülnek teljes értékűnek.

Összefoglalva azt mondhatjuk, hogy megvalósult a globális meteorológiai monitorozás. A jövőben az észlelési és adatátviteli, adatszétosztási és adatfeldolgozási technika még mindig gyors fejlődése várható. Ennek részeként olyan műholdak jelennek meg, amelyek már nem kizárólag meteorológiai célúak, részben sokféle műszert hordozva a fedélzetükön (meteorológiai célúakat és másokat), részben pedig olyan műszereket, amelyek adatai sokféle célra, többek között meteorológiai célra is felhasználhatók.

5.2. Erőforrás-kutatás

A Landsat—1 (ERTS—1) műhold felbocsátása óta (1972) a távérzékelő holdak száma gyors tempóban növekedett, s mind műholdon, mint űrhajón, űrállomáson, űrrepülőgépen sok és sokféle távérzékelő műszer repült és repül. Adataikat népgazdasági és földkutatási-feltárási célból, azaz a megújuló-megújítható és nem-megújuló—nem-megújítható erőforrások feltáráására, illetve gazdasági-társadalomirányítási területeken hasznosítják. Ma még alapvetően kísérleti, illetve szolgálat előkészítési-bevezetési fázisnál tartanak világszerte. A közeljövőben, 5 < 10 éven belül a távérzékelési-erőforráskutatási szolgálatok az életképes gazdaságok fontos és lényeges részévé válnak.

Az alkalmazási területeket már a 70-es évek elején jól lehetett látni. Jelenleg eredményes, de igen nehéz kutató munka folyik az operatív szolgáltatás megindítása érdekében. Tekintsük át röviden a legfontosabb alkalmazási területek helyzetét:

— *Mezőgazdaság:* Mind az erőforráskutatási, mind a meteorológiai, mind a komplex célú műhol-

duk és egyéb űreszközök adatait használja. Operatív célra azonban csak a rendszeres és sűrű adatszolgáltatást biztosító műszerek, azaz a műholdak alkalmasak e téren. A folyamatok — változások — relatíve gyorsak, egy teljes mezőgazdasági ciklus egy év, azaz az észlelési (mintavételi) periódus néhány nap ≤ 1 hét kell hogy legyen. Ez azonban nem követelmény minden adattípussal szemben, ezért különféle műholdak kombinált alkalmazása került előtérbe. A növényzet állapotának, a növényfedettségnek (ültetési sűrűség, növénytakaró vastagsága és egyenletessége stb.), a talajnedvességnek és a felszínközeli légréteg állapotának, kártevők, fertőzések stb. felderítésének a megállapítására sűrűn (néhány naponként, vagy hetenként, speciális helyzetben esetleg sűrűbben is) kellene adatok. A növényzet azonosítására (terményazonosítás, azaz klasszifikáció), a vetésterület felmérésére, a művelés helyzetének és előrehaladásának a megállapítására, a kellően pontos terméselőrejelzés folyamatos kibocsátásához, stb. a (további) adatok hetenkénti < havonkénti időközökben kellene, de általában jobb felbontással. Míg a környezeti állapot meghatározása, a talaj azonosítás, állapot és változások (erózió, egyéb talajpusztulás, belvíz fedettség, hótakaró vastagsága, valószínű fagykár mértéke és kiterjedése, ...) nyomonkövetése elvégzéséhez havonkénti \leq évenkénti adatok is elegendők, sőt az általános talaj-térkép karbantartás esetleg ennél ritkábban (2—5 év) is elképzelhető. — Mindezekben a területeken eredményes kutató-fejlesztő és alkalmazási munka folyik. Az azonban kiderült, hogy a mezőgazdasági célú adatok interpretációja igen nehéz, nagyon pontos elméleti modelleket kíván, csak kellő pontosság és megbízhatóság esetén gazdaságos, s ehhez nemzetgazdasági, regionális és globális közgazdasági-piaci számítógépi modelleket is fel kell használni; gyors és pontos, időre történő adatfeldolgozással párosul, ami csak digitális úton oldható meg, ahol mind a geometriai (térképi), mind az indentifikációs pontossági követelmény nagy. Kiemelkedően fontos mind piaci, mind helyi és világlelmezési szinten. Jelenleg már egyes területeken (növényállapot-felmérés, terméselőrejelzéshez adatszolgáltatás stb.) az operatív szolgáltatás bevezetése is megkezdődött a világ élvonalában. (A magyar mezőgazdaság kiemelt fontossága miatt e téren fokozott erőfeszítések szükségesek, különben a helyzet romlani fog.)

— **Erdészeti, földhasználati, településfejlesztés, ipartelepítés:** Ezen alkalmazási terület lényege a felszintakaró (növényzet, talaj, épületek, víz stb.) minél differenciáltabb azonosítása (klasszifikáció) nagy geometriai (térképi) pontosság mellett. A katasztrófa (erdőtűzek, ...) monitorozásától eltekintve — ami majdnem folytonos, de csak igen durva osztályba sorolást lehetővé tevő (például: tűz — nem tűz) változás-észlelést kíván — nem kíván 1—2 hónapról sűrűbb észlelést. Egyes esetekben elegendő egyszeri célmegfigyelés (azaz alkalmazható speciálisan felműszerezett űrhajó, űrrepülőgép igen jól kvalifikált személynél), illetve 1—5 éves térképfrissítés. Sikeres megoldani speciális eljárás segítségével az erdőklasszifikálást, azaz az erdőtípusok megkülönböztetését, ami különösen ferde felszínnek, azaz nem sík területek esetén nehéz. Alkalmazzák a távérzékelést károsult területek felmérésére, erdőművelés tervezésére és ellenőrzésére, újratelepítési tervek kidolgozására, to-

vábbá általános ipari és bányászati területek, lakott területek, rétek, legelők és mezőgazdaságilag művelt földek, valamint erdők megkülönböztetésére, térképezésére, állapotmegfigyelésére továbbá száraz (esetleg sivatagosodó), mocsaras, vízfödte területek felmérésére, változások kimutatására. Az erőforrás-felhasználás tervezésére. Települések kiterjedése meghatározására és településfejlesztési, közlekedési nyomvonal stb. tervek készítésére. Partvonalak, lakott területi tényleges határvonalak, természetes és mesterséges lineamentumok, illetve határok meghatározására. (Még az államhatárok is láthatók az esetek nagyobbik részében az űrfelvételeken.) — Fontos új eljárás ezen alkalmazási területen a Viking Mars-expedíciók idején kifejlesztett módszer, amelynek segítségével a távérzékelési adatokból megszerkesztették (számítógéppel) egy terület (marsi vulkánokra alkalmazták először) *madártávlati* képét. 1983—84 óta ezt sikeresen alkalmazzák a földre vonatkozó távérzékelési adatok feldolgozásában is, elsősorban a településfejlesztés, közlekedési nyomvonal kijelölés, ipartelepítés, épület tájbeillesztés, stb. területeken.

— **Geológia:** Ez a kutatás legtöbbször minél nagyobb felbontásra törekszik, s általában elegendő néhány „felvétel” egy-egy területről, ritkán (évenként-évtizedenként). Mind fotogrammetriai és egyéb hagyományos (analóg, néha vizuális) interpretációval, mind digitális adatértékelési eljárásokkal dolgoznak; nagy felbontással, és a lehető legnagyobb geometriai (geodéziai-térképészeti) pontossággal. Vizsgálják, illetve meghatározzák a különféle geológiai alakzatokat, általában analógiákra támaszkodva kutatják a potenciális nyersanyag és energiahordozó (olaj, földgáz, szén) előfordulásokat, vizsgálják az egyes alakzatok, geológiai egységek pontos kiterjedését, egyes nagy területek egységes képét, az alakzatok keletkezését, eddig észre nem vett alakzatokat tárnak fel stb. Az alkalmazás eredményes.

— **Geodézia, térképészet:** Az abszolút és relatív helymeghatározási módszerekkel (4. pont) együtt távérzékeléssel nyert két és három (sztereó stb.) dimenziós adatok alapján globális, regionális és helyi térképezést végeznek, megkezdték a napra kész térképészlet kialakítását. Ennek egyik sarokpontja a változás detekció, ami a katonai felderítésben is kulcskérdés volt és a nem polgári területeken megoldottnak tekinthető az élenjáró űrtechnológiát birtokló államokban. E területeken is lényeges a minél nagyobb felbontás. Azonban globális lefedés céljára, illetve az adatok hosszú idejű homogenitása miatt általában is változatlanul fontos a kb. egy évtizede folyamatosan adatokat szolgáltató műszerek (például: Landsat MSS, MKF-6M, Meteor-Priroda MSS, ...) pillanatnyi és jövőbeni üzeme. Ezek standard műszerekké váltak, annak ellenére, hogy felbontásuk nem nagy (70 m \times 70 m, illetve > 100 m \times 100 m) az MKF-6M kivételével. (Más célokra ez a felbontás igen célszerű és e téren is a fentiek miatt jól alkalmazható.) De a belépő újabb műszerek felbontása jellegzetesen a 10 \times 10 m² kategóriába esik, míg a katonai felderítésben a csúcsertékek *jobbak* az 1 \times 1 m², illetve 1 \times 1 dm²-nél is. (Lineamentumok esetén a felismerhetőség majdnem egy nagyságrenddel jobb, de a csak a képek alapján történő lineamentum-lokalizáció pontossága az alapfelbontási érték.)

— *Víz-, jég- és óceánkutatás:* A vízhelyzet, különösen az áradások nyomon követése időben sűrű észlelést kíván, egyébként a heti-havi adatoktól az évenkénti állapotfigyelésig ritkul az időbeli mintavételi szükséglet. Elkészülnek az előntések térképei, az áradások dinamikáját nyomon követik, térképezik a hó- és jégfedettséget, figyelik az olvadás sebességét, a fagyva tárolt vízmennyiséget, a jég korán keresztül, a globális hűlés-melegedés változásait, a felszíni és föld alatti vizek elhelyezkedését. A közeli jövőben speciális holdakkal megkezdődik a szélmező és szélsébség felmérése, a vízhullámok folyamatos vizsgálata (óceánokon, tengereken, nagyobb tavakon — már a Balaton is éppen vizsgálható méretű az első holdak pontosságával — és víztározókon stb.); az a vízfelszín hőmérsékletét méri, a felszínközeli légrétegek páratartalmát; kiegészítve rádiós — azaz időjárástól függetlenül elkészíthető — felszínképekkel és felszíni (terepi) magassági adatokkal. — Például az e célú radaros magasságmérés abszolút hibája ≤ 2 m, relatív hibája max. ± 10 cm (!) lesz. Tehát ezek az adatok fontosak lesznek az összes eddig felsorolt alkalmazásban is. — Így megkezdődik az eddigi vízügyi alkalmazásokon túl az egyidejű meteorológiai és klimatológiai alkalmazás is, a tengerállapot előrejelzése, a változások figyelése, a 200 mérföldes partmenti gazdasági övezetek távérzékeléses operatív menedzselése és ellenőrzése, a partok és a létesítmények állapotfigyelése stb.

— *Környezeti állapotfigyelése:* A jelenlegi helyzetben a környezet szennyezettségi állapotának és változásainak felmérése, a még nem ismert szennyező források és szennyezett területek felderítése, a levegő és víz szennyezettségének meghatározása folyik. Szintén igen nehéz interpretációs feladat. A cél a mielőbbi operatív figyelőszolgálat kiépítése és a szennyezési-riasztás megoldása.

— *Államigazgatás:* Az eddigiekből jól látszik, hogy az interpretációs eljárások az államigazgatás számára igen sok adatot szolgáltatnak az állapotfelméréstől (térképek, területhasználat, településhatárok, szennyezettség stb.) az operatív gazdaságirányításig (várható termés, ipartelepítés, úthálózat fejlesztés stb.). Az önállóan műholdat felbocsátó országokban az államigazgatás természetesen a műholdas katonai felderítési adatokat is használja, s ezért a kommersz távérzékelő műholdak felbocsátása és üzemeltetése nagyjából az egyéb felhasználóknak és az önálló műholdfelbocsátásra nem képes országoknak az érdeke.

— *Globális (bioszféra) vizsgálatok:* Már az 1. pontban kitértünk e különösen fontos területre. Az ott leírt kutatást kiegészíti a távérzékeléses adatok egész földre történő értékelése és speciális távérzékelési programok (például: a föld sugárzási egyenlege, globális és helyi alakulásának a vizsgálata) lebonyolítása. A cél a föld életre alkalmas állapotának a megértése és a zavarok időben történő észlelése.

— *Régészet:* Ez az alkalmazási lehetőség már tíz éve is felmerült. Azóta azonban nagy sikerrel alkalmazták mind hagyományos lelőhelykutatásra (például Bulgáriában), mind új technikával teljesen új feltárásokra. Ez utóbbiak közül kiemelkedik a közép-amerikai őserdő által teljesen elborított és a 80-as évek elején mikrohullámú mérésrel feltárt ősi indián út, település- és csatornarendszer, illetve ürrepülőgépes

radarméréssel (Szudánban) a Nílus-völgyhöz csatlakozó és a sivatagi homokkal néhány ezer éve 2—5 m átlagos vastagsággal végleg elfedett, eddig teljesen ismeretlen ősi kultúrvidék felfedezése. Általában a régészeti célú interpretáció segíti a felszín alatti alakzatok felismerési módszereinek a fejlesztését és a megbolygatott — meg nem bolygatott területek elkülönítését, a természetes és mesterséges objektumok megkülönböztetésének pontosabbá válását. — A fontos fejlődési út első lépése az, hogy — elsőként a régészetben, de várhatóan rövidesen más területeken is — a távérzékelő műszereket *laboratóriumokban* alkalmazzák tárgyak (szerkezet, anyagi összetétel) vizsgálatára. Ez azért fontos, mert ilyen esetben nemhogy ronszolni nem kell a vizsgált objektumot, de még a természetes megvilágításon túl besugározni sem. Így ez a módszer a régebbi „roncsolásmentes” vizsgálatoknál (röntgen, neutronaktiváció, röntgen-fluoreszcencia stb.) is veszélytelenebb. Épp ez indokolta a rendkívül érzékeny, igen öreg leletek vizsgálatára a távérzékelés alkalmazását.

A távérzékelési technika nagy fontossága miatt gyorsan fejlődik. Jelenleg még csak a kialakulási fázisban van, ezért is kisebb a közvetlen (és csak a közvetlen) piaci súlya, mint a hírközlésnek vagy a navigációnak. De általános gazdasági, államigazgatási és technológiát forradalmasító szerepe igen nagy. A közvetlen piaci forgalom várhatóan a nyers adatok forgalmazásából (mint a 2. pontban láttuk) kb. 2 milliárd \$/év az USA-ban, s az interpretáció kb. ugyanennyi. E téren nagyságrendi növekedést nem várhatunk. De a Szovjetunió és az USA mellett további műhold-felbocsátó és adatforgalmazó országok, országcsoportok (Franciaország, Japán, ESA, Brazília, talán Kína ...) lépnek be 1 < 10 éven belül, s így tíz év múlva a globális piaci adatforgalom eléri a 10 \leq 20 milliárd \$ értéket, és az interpretációs forgalom sem lesz kisebb, inkább nagyobb, mivel még több ország (illetve intézet, cég stb.) kapcsolódik be az üzlet ezen részébe.

A technika-technológia fejlődésének fő trendje nyilvánvalónak tűnik: A spektrum minél nagyobb részének birtokbavétele, egyre pontosabb, felhasználási célra orientált műszerek (felbontás, képméret, sávok száma, sávok elhelyezkedése, műszerkombináció, a térbeli-időbeli-frekvenciabeli mintavételezés együttesének megválasztása stb.) felbocsátása, térben háromdimenziós adatszolgáltatás. E mellett a fejlődés mellett több operatív adatszolgálat is létrejön. A közeli jövő távérzékelő holdjait ismételt szervizre és újra hitelesítésre tervezik már, azaz hiba, üzemanyaghiány vagy részletes kalibrálási igény esetén a hold a szolgálati pályáról szervizpályára áll át, ahol úrhajósok a javítást, feltöltést vagy kalibrálást elvégzik, majd a hold visszaáll a szolgálati pályára. (Például így tervezik már Kanadában a RADARSAT műholdat.) Ez nagyon megnöveli az időben egymásutáni adatok hosszútávú homogenitását, a csökkenő üzemeltetési költségekről nem is beszélve.

Miután a távérzékelésnek hagyományos szervezete — lévén teljesen új — még nincs, az egyes országok különféle szervezeti megoldásokkal kísérleteznek, de ettől függetlenül, a szolgálatok kiépülése igen gyors. Például csak Kanadában 5 nagy távérzékelési központ van pillanatnyilag, nagy számítóközpontokkal is fel-

szerelve, ezeket 2 saját távérzékelési adatvétellel foglalkozó rádiós műholdmegfigyelő állomás szolgálja ki és más országokból is vesznek át távérzékelési adatokat. Ugyanakkor a még csak kialakuló és sokszor rendezetlen szervezeti formák miatt időnként adatellátási zökkenőkkel — esetleg bajokkal — kell számolni leginkább a saját adatvevő állomásokkal nem rendelkező országokban, mivel ezeket a műholdfelbocsátóknál és adatszolgáltatóknál fellépő szervezeti gondok (jelenleg például az USA-ban várható ilyen jellegű problémák) fokozottan érintik. (Ez hazánkat mezőgazdaságunkon keresztül érinti.)

Az is nyilvánvaló az eddig eltelt több mint tíz év tapasztalatai alapján, hogy a távérzékelés érdemi alkalmazásának kulcsa, a kifinomult elektromágneses hullámterjedési elmélet. Ezért is az URSI kiemelten foglalkozik e területtel, és világszerte előtérbe került az elektromágneses hullámterjedésben járatos szakemberek (mérnökök) képzése, illetve a felhasználók ez irányú jártasságának biztosítása.

6. Ipari tevékenység a világűrben

A világűrbeli környezet speciális anyagtechnológiai laboratóriumi és ipari gyártási körülményeket biztosít. Ezeket összefoglaltuk a 2. pontban és részletesen ismertettük a korábbi (1976) helyzetképben. A rendkívüli környezet, bizonyítottan rendkívüli gyártmányok előállítását teszi lehetővé. Éppen ezért, mint az várható volt, mind a szovjet és az Interkozmosz programokban — a Szozjusz-Szaljut rendszerre támaszkodva, mind az USA, Japán, ESA, NSZK, angol, francia, svéd, kanadai, ... programokban — speciális kutatórakétákra (TEXUS, SPAR), majd az űrrepülőgépek szolgálatba állása óta egyes speciális fedélzeti eszközökre, illetve a Spacelab rendszerre támaszkodva, intenzív alap és alkalmazási kutatás folyt és folyik az űrbeli gyártás lehetőségeinek felmérésére, a gyártás megkezdésére. E munkák fontosságát jelzi, hogy az űrrepülőgépek előtti időszakban az NSZK és Svédország egyéb lehetőség híján kutatórakétákkal több mint 100 kísérletet végzett 16 rakétafelbocsátással. Pedig a súlytalanság egy-egy startnál csak kb. 6 percig tartott. A tartósan üzemelő űrállomások (jelenleg csak a Szaljut-rendszer üzemel) e téren kiemelkedő fontosságúak. Ez az egyik oka annak, hogy a fejlett nyugati ipari államok az USA vezetésével szintén megkezdtek űrállomás létesítésének előkészítését. De ugyancsak nagyon fontos a „menetrendszerű”, olcsó és kisebb kockázatú űrrepülés megoldása, azaz az űrrepülőgépek használata. A Spacelab űrlaboratórium pedig az űrrepülőgépek közvetlen ipari hasznosíthatóságához a feltételeket (legalábbis első lépésben) magas színvonalon biztosítja. — Nekünk fontos, hogy Farkas Bertalan repülése alatt módunk nyílt anyagtechnológiai kísérletek végzésére. Ezeket részben kihasználtuk (a vegyipar és gyógyszeripar kimaradt), s így fémötvözési, felületi feszültség vizsgálati, diffúziós és félvezető kristályosítási kísérleteket végzett el a legénység a Szaljuton. A sok szempontból szép és reménykeltő kísérletek a szükséges intenzitással nem folytatódtak.

A pillanatnyi helyzet és a közeljövő jellemzésére a már sokszor ismertett kísérleti eredmények felsoro-

lása helyett a nagy ipari érdeklődésből kialakult trendeket tartom fontosnak. Mindenekelőtt ki kell emelni, hogy az (állami) űrkutatási intézmények e munkának csak kisebbik részét végzik, koordinálják és biztosítják a startokat, a fedélzeti munkalehetőségeket. Azonban az űrben csak ipari célra használható — időlegesen magára hagyható, automatikusan üzemelő — majd újra (akár hosszú idő múlva) fedélzetre emelhető, tehát az automata „űrgyárak” előfutárának tekinthető eszközök kifejlesztését már e célból alakult magánvállalkozások végzik. Az egyik típus 1986—87-től, egy másik 1989-től áll az ipar rendelkezésére. Érdekesebb az is, hogy 1988-ban kizárólag ipari megbízásokat lebonyolító Spacelab start várható. Ugyanakkor a NASA már rendelkezik az említett, magára hagyható, univerzális, kísérlethordozó (illetve gyártóautomatát hordozó) egység egy típusával, amelynek egy példánya 1984 óta repül (COSPAR Inf. Bull., No. 102, 108. o., 1985). Az érdeklődés nagy. A 2. pontban láttuk, hogy csak az USA-ban 25 milliárd \$-os üzletet várnak, de egyes becslések szerint csak a kémiai tevékenység (gyógyszeripar, vegyipar) meghaladhatja a 30 milliárd \$-t.

A legközelebbi időn belül felfutó gyártási területnek a *gyógyszeralapanyag-gyártás* és általában a *vegyipar* látszik. E téren kb. egy év késést okozott egy elektroforézis kísérlet anyagának nem kellően steril kezelése, de ez csak zökkenő. A nagy tisztaságú anyagsztválasztás és az erre támaszkodó új gyógyszerek gyártása, a gyógyászat színvonalának emelése — s az űrbeli lehetőségeket nem használó versenytársak kiesése a piacról — még ebben az évtizedben véglegessé válik. Az eddigi eredmények alapján gyártáselőkészítési munkák folynak (illetve az ipari titok-örzés miatt csak becsülhető a programok haladása világszerte az űrrepülések ismertetései alapján). Például, a folyamatos elektroforézis alkalmazásával, a földi gyártásban lehetségesnél nagyobb tisztasággal, 700-szoros (!) hozamnövekedéssel végezhető a fehérjeszeparáció (például: McDonnell Douglas, Johnson & Johnson). E munkák keretében repült a világon először magáncég szakembere űrhajósként a világűrben (Ch. D. Walker a McDonnell Douglas-tól). Azóta már több „cég-űrhajós” repült. Általános igény, hogy a cégek nem speciálisan kiválasztott és kiképzett űrhajósokkal, hanem saját kutatókkal-fejlesztőkkel akarják elvégeztetni az űrbeli munkákat is, mivel egyébként a határfok leromlik, a kutatás-fejlesztés elhúzódik, az egész ráfizetéses lesz és lemaradnak a versenyben is. Ezért várható az űrrepülések adminisztrációjának drasztikus csökkentése mellett a körülmények változtatása (amennyiben ez megtehető), hogy lehetőleg átlagos egészségű emberek repülhessenek űrpilóták és űrhajósok társaságában. (Lásd analógiaként a légiközlekedést.) E téren kiemelkedő az első nem-űrhajós (egy USA szenátor) űrrepülése 1985 tavaszán. Ugyancsak kiemelkedően fontos, hogy $g=0$ környezetben a kísérletek tanúsága szerint nagy fehérjekristályok növeszthetők. Ezért jelenleg a több ezer fehérjekristály szimultán kezeléséhez szükséges eszközöket fejlesztik (cégek is, a NASA-nál is stb.). A nagy kristályok lehetővé teszik a szerkezet gyors és biztos dekódolását, ami új gyógyszerek megszületését eredményezi. Sok milliárd \$-os üzletet remélnek (például: Schering Co., Upjohn Co., Smith Kline Beckman Co.). Igen

nagy és tőkeerős az európai és japán gyógyszeripar és vegyipar érdeklődése is. Figyelmet érdemel, hogy még azokban a programokban is, amelyeket nem kizárólag az ipar finanszíroz, hanem költségvetési stb. támogatást is kapnak, az ipari befektetés általában a költségvetési támogatást meghaladja.

Általában is gyors tempóban fejlesztik tovább az igen kis méretű (1–100 μm) termékek precíz és fél-automatikus, illetve teljesen automatikus kezelésének technológiáját. Ez a gyártástechnológia általában fontos, különösen az űrben növesztett kristályok kezelésénél. De az *első űrben gyártott piaci termék* is kis méretű (COSPAR Inf. Bull., No. 101, 76–77. o., 1984). Az előkészítés 1978-ban kezdődött. 1983-ban összesen 15 g polystyrene-t (latexet) dolgoztak fel azonos méretű (!), \varnothing 10 μm -es precíz alakú gömbökké. Ezeket a mikroszkópi vizsgálatokban lehet etalonként használni. Ilyen precizitású termék a földön nem gyártható. A terméket az USA Mérésügyi Hivatala standard referencia anyagnak elfogadta és a forgalmazását engedélyezte. 1984 ősze óta a kereskedelemben kapható. (A forgalmazó a gyártó és a NASA közösen). A tény, az első űrben gyártott árucikk megjelenése a piacon, frontáttörés! 1985-ben hasonlóan precíz, de más, nagyobb méretű, csak az űrben gyártható etalongömbök előállítását tervezik.

A másik, nagy érdeklődést kiváltott terület a *kristálynövesztés és félvezetőgyártás*, valamint a *fémkohászat*. A cél ultratiszta üvegek, optikai anyagok, kristályok, félvezetők, rendhagyó szerkezetű, összetételű és tulajdonságú fémek és kerámiák esetenként nem is kis mennyiségű gyártása. Az egyik kiemelkedő gyártási cél a mai földi csúcstechnológia által produkálhatónál gyorsabb, kisebb méretű (illetve nagyobb integráltsági fokú) és kisebb fogyasztású elektronika előállítása. Az eddigi tapasztalatok alapján ezt *GaAs*-bázison tervezik. Irányított kristályosítással, precízen vezérelt hőmérsékleti körülmények között hibamentes *GaAs*-kristályok növeszthetők. A világűrbeli *GaAs*-növesztésre nemzetközi (amerikai, európai és japán) tőkével 1979-ben külön cég is alakult (Microgravity Res. Ass.), amely együttműködik az M.I.T.-vel és a NASA-val speciális startbiztosítási szerződése van. Ezen túlmenően, intenzíven fejleszt e téren csak az USA-ban a Grumman Aerospace Co., a Boeing, a GE stb. A GE megítélése szerint ez a közeljövő „aranybányája”. Az űrbeli *GaAs*-gyártásban a földihez képest 7000%-os hozamnövekedést várnak, a számítógép orientált chipek kapacitása kb. 100-szorosára növekszik (!), s hasonló eredményeket remélnék a mikrohullámú és a lézertechnikában is. Már elkészültek az automatikus űrbeli gyártás tervei, amelyek szerint csak a kész chipeket szállítják majd vissza a földre. Igen fontossá válhatnak a 3M Co. és a John Deere & Co. *karbamid* kristály gyártási kísérletei, amelyek célja, hogy űrtechnológiai bázison az elektronika helyett optikai eszközöket alkalmazzanak. A fémkohászatban a precíz energiabevitelű (elektromágneses) olvasztás, a lebegtetés közbeni ötvözés és hűtés, valamint az irányított struktúra kialakítása olyan célok, amelyek a demonstrációs fázison túljutottak. Az űrbeli fémgyártásban is sokan érdekeltek (John Deere & Co., GE, General Dynamics Co., Alcoa, Kaiser Aluminum stb.). 1985-től a gyártási kísérletek bizonyosan megkezdődnek. *Alumínium, vas és wolf-*

ram bizonyosan szerepel a programokban! A nagy tömegben gyártani tervezett fémeket, ötvözeteket a repülőgépek gázturbinás hajtóműveitől a mezőgazdasági gépekig (!) akarják alkalmazni.

A felsoroltakon túl, számos technológiai kísérlet folyik, a terület igen dinamikus, és az anyaggyártási programokat mindenkor költségoptimalizálással tervezik. Hiszen az űrben dolgozni csak akkor szabad és érdemes, ha megtérül.

Minden eddigi tapasztalatot összegezve a folyamatos ipari gyártás szempontjából is nagyon fontosak a folyamatosan üzemelő nagy *űrállomások*. Ezért a Szovjetunió megkezdte összecsatolható modulrendszer kidolgozását, hogy a Szaljutokon bevált konstrukciós megoldású egységekből nagy méretű űrállomást alakítson ki. Már végrehajtottak sikeres űrállomás (Szaljut—7) és kísérleti modul dokkolást (1984-ben és 1985-ben). Az USA európai és japán közreműködéssel Amerika felfedezésének (Kolumbusz Kristóf, 1492) 500. évfordulója táján (1992–94) nagy méretű űrállomást (a „Columbus”-t) akar üzembe helyezni. Az űrállomások legfontosabb céljai az űrbeli gyártás, a távoli világűr kutatása, orvos-biológiai vizsgálatok végzése és űrbeli rakéta-starthelyként való működés. Úgy tekinthetjük, hogy a kocsis és a gépkocsis egy ország teljes birtokbavételét jelentette, a repülőgép a glóbuszt, míg az űrállomás betörés a Naprendszerbe, kapu a világűrbe, út az első űrvárosok felé, amelyek az élenjáró technológiák, a legnyereségesebb emberi tevékenység otthonai lesznek a jövő században — ha a jelenlegi krízist túléljük, és ha az ember tényleg képes véglegesen a világűrbe települni.

7. Magyarország helyzetéről

E helyzetképnek nem célja, hogy kimerítően elemezze a hazai űrkutatás helyzetét, eredményeit és gondjait, de nem is kíván helyettesíteni egy átfogó hazai helyzetképet. Az űrtevékenység fontosságának gyors növekedése miatt azonban, inkább csak jelzésszerűen, mégis foglalkozni kell a hazai helyzettel.

Önmagában nézve a hazai űrkutatás 1957 óta nagy fejlődésen ment keresztül. 1957-ben csak az első Szputnyikok távcsoves és rádiós észlelésére voltunk képesek. Az 1960-as évek közepére már kutatásról beszélhetünk (optikai és rádiós műholdmegfigyelés, áramkör fejlesztési kísérletek, rakétaszervezeti stb. vizsgálatok, műholdas geodézia és meteorológia indulása). Majd az évtized végére az Interkozmosz megalakulásával kibővül az űrkutatás. Négy (fizika, meteorológia, távközlés, orvos-biológia) területen, és a 70-es évek közepétől a távérzékelés területén is, dolgozunk. 1975-ben repül az első magyar elektronikus egység műholdon, 1980-ban magyar űrhajós (Farkas Bertalan) is dolgozik a világűrben. 1984-ben már bolygóközi térben repülnek bonyolult magyar műszerek (a Halley-üstököst kutató VEGA-szondák fedélzetén), és az egyik űrrepülőgépen is van magyar műszer (PIL-LE doziméter). Minden évben történik valami. Mondhatnánk, hogy rétünkön nő a fű.

De hogyan nő a többiek réjtjén, hogyan alakult relatív helyzetünk? Az elmúlt 20 évet vizsgálva a világban az űrtevékenység minőséget váltott, míg a miénk folyamatosan növekedett ugyan, de nem váltott minőséget. Azaz másoknál jobban nőtt a fű, már kaszálhat-

nak. Aki pedig nem tud időben kaszálni, annak aratási ünnepe is elmarad. — Nézzünk egy húsz évet áthidaló összehasonlítást.

1965 táján világszerte kutatás folyt, nálunk is. Az általunk is művelt területeken e kutatás keretében közel álltunk a kutatók felkészültségében a világszínvonalhoz. A legfontosabb alkalmazási területeken a helyzet a következő: Geodézia — fotografikus, Doppleres és lézeres mérések vannak az élvonalban; nálunk fotografikus mérések folynak, Doppler-görbék sikeres regisztrálása is megtörténik, lézer-radar még sokáig nincs. Távközlés — már üzemelnek az első távközlési műholdak; nálunk az ATS—3 műholdat felhasználva sikeres transzocéáni összeköttetést hoznak létre. Meteorológia — a világon éppen megindult a meteorológiai műholdak adatainak közvetlen globális vétele (APT-képszolgálat); hazánk Közép-Európában elsőként megoldja az APT-képek vételét hazai eszközökkel. Amatőr műholdak — már vannak; vételük, használatuk nálunk is sikeres. Orvosi kutatások — rendkívül intenzívek világszerte; nálunk még nincsenek. Telemetria, terjedési vizsgálatok stb. — világszerte intenzív e téren a kutatás-fejlesztés; nálunk is folynak az alapozó vizsgálatok, ezért javasoljuk az Interkozmosznak az *Egységes Telemetria Rendszer (ETMSz)* létrehozását. Egyéb (fizikai, Naprendszer stb.) kutatás — világszinten intenzíven folyik; nálunk még nincs.

1985 táján a fő súly világszerte a hasznosításra, az űrkutatás mellett a domináns ipari-gazdasági űrtevékenységre került. Részletezve egyes területeket: Helymeghatározás — lásd 4. pont; nálunk élvonalbeli készülék nincs, bár a Doppleres helymeghatározásban intenzíven dolgozunk, importkészülékkel; hazai, adott célú elektronika és vevőfejlesztés nagyon korlátozott; navigációban teljesen elmaradtunk. Hírközlés — lásd 3. pont; nálunk üzemel egy Interszputnyik állomás a 6/4 GHz-es sávban, s legújabban egy szovjet adatátviteli állomás, amely a VEGA-adatokat veszi át a Szovjetunióból; a kommersziális használatba vétel, eltekintve az Interszputnyik állomás nem nagy forgalmától, tulajdonképpen nem kezdődött meg. Meteorológia — lásd 5.1. pont; nálunk a szükséges és lehetséges adatoknak ma még csak egy kisebb részét vesszük, bár a közeli jövőben újabb adatok vétele is lehetővé válik. Erőforráskutatás — lásd 5.2. pont; nálunk az eddigi erőfeszítések ellenére, csak kezdeti alkalmazási kísérletek folynak, s a műszaki-technikai feltételek sem kielégítőek. Orvosi kutatások — világszerte ma is intenzívek és igen kiterjedtek; nálunk is eredményesen folynak több területen, és egy űrrepülés tapasztalatai is leszűrődtek. Telemetria, terjedési vizsgálatok stb. — ma is intenzív tevékenység folyik világszerte; hazánk aktív telemetriai elektronika fejlesztő, de megfelelő rádiós földi állomás híján a többi tevékenység teljesen megszűnt, és ez számos alkalmazást is gátol. Űrbeli gyártás — lásd a 6. pont; nálunk Al-Cu ötvöztési és félvezetőkristály-növesztési kísérlet folyt az első magyar űrrepülés kapcsán, azóta e tevékenység nem bővült, a gyógyszeripar, vegyipar stb. teljesen kimaradt. Egyéb (fizikai, Naprendszer stb.) kutatás — a világban összességében *változatlan* intenzitással folyik (1. pont); a kutatási programok, a startok stb. száma érdemben változatlan, s a befektetett összegek is, eltekintve az inflációtól, változatlanok, a többi te-

ülethez képest az arányuk csökken); nálunk e téren zajlott le *ugrásszerű növekedés*, több rakétán és műholdon repültek fizikai mérőműszerek, a fő kutatási irány a nagyobb energiájú részecskék vizsgálata a föld körüli és a bolygóközi térben, a Naprendszerben, és ezen kutatás része a VEGA-programban való nagyrészt magyar részvétel is.

Összegezve a helyzetet azt mondhatjuk, hogy a *relatív* lemaradásunk, eredményeink ellenére is nőtt, és a gazdaságilag-iparilag hasznosítható területeken kialakult lemaradásunk a világszínvonaltól nemcsak általános kutatás-fejlesztési gondokra vezethető vissza, hanem a hazai űrtevékenységen belüli nem gazdasági és ipari orientáltságra is.

— Pedig az idő eljárt! Még „indul a küszöbről az út” (amin persze gyalog sokkal nehezebb), de már nem sokáig.

8. Összefoglalás

Az előzőeket összefoglalva megállapíthatjuk, hogy az űrtevékenység lassan civilizációnk lényeges része lesz, az elektronika és hírközlés, valamint alkalmazásaik fő fejlesztője és használója, és az űrtevékenység ipari-gazdasági-köznapi részéből kimaradó országok az elmaradott országok közé kerülnek jelenlegi helyzetüktől függetlenül.

Ki kell emelni, hogy milyen nagy mértékben megnőtt az elektromágneses hullámterjedési elmélet és praxis, általában az elektrodinamika (BME megnevezéssel: villamosságtan és elméleti villamosságtan) szerepe. Szükséges, hogy ez érintse felsőoktatásunkat is.

Végül, nem szabad elhallgatni, hogy az űrtevékenység is felvet komoly környezetszennyezési és ökológiai problémákat. (Lásd részletesebben a 2. Bécsi ENSZ Világűrkonferencia anyagait). Az ökológia kérdései különösen hosszú idejű űrben tartózkodás, az ember űrgyárak, űrlaboratóriumok és a majdani űrvárosok kapcsán jelentkeznek, amelyekben miniatűr, mesterséges és biztosan csonka ökoszisztéma van, illetve lesz, amely több lényeges jellemzőjében eltér az ember természetes környezetétől. Az űrszennyeződési problémák általánosabbak, és az űrben keringő törmeléktől és bedöglött műholdaktól kezdve a nagy rakéták startja idején rekombináldott (azaz kilyukasztott) ionoszféráig terjednek. Többek között ez az egyik oka annak, hogy azok a tervek, melyek szerint a világűrben a Napenergiát mikrohullámú energiává alakító erőműveket kell telepíteni, melyek az energiát lesugározzák a Földre, ahol a szokásos váltakozó árammá alakítanánk, a háttérbe szorultak. Ugyanis egy ilyen nyaláb nagyon megváltoztatná az ionoszféra és áramlószerkezetét, és persze irányítási hiba esetén „halál sugárként” kaszálna a földfelszínen. E helyett az energiát fogyasztó ipar „kitelepipítését” mérlegelik.

Néhány nagy műhold és a Skylab űrállomás visszazuhanása a Földre a jövőbeni egyik fontos kérdésre hívta fel a figyelmet. A nagy űrállomások — méretük miatt — nem szabad, hogy a Földre visszazuhanjanak ellenőrizetlenül, vagy — adott mérethatár felett — egyáltalán nem. Ezért meg kell előzni a csak nagyon kis valószínűségű ütközésüket, akár embertől származó nagyobb űrronccsal, akár meteorral, akár kormányozhatatlanná vált űrjárművel, például randevű köz-

ben stb. Tehát a nagy űrállomásokat üzembe helyezés után rövidesen fel kell majd szerelni az ilyen katasztrófa elhárítására alkalmas felderítő és megsemmisítő berendezésekkel.

Világunk gyorsan változik, s ebben az egyik domináns tényező ma már az űrkutatás, űrtevékenység. Hogy pontosan hova vezet, azt nem tudjuk. De a „véges Föld” dilemmát feloldhatja. Persze erre nincs garancia. Az azonban biztos, hogy a közeljövő legfontosabb űrtevékenységi haszna nem a remélt (és felvázolt) eredményekben születik meg, hanem az ismeret-

len természete szerint valami olyasmi lesz, amit még el sem tudunk képzelni.

(Főszerkesztői megjegyzés: A helyzetkép hazai eredményekre vonatkozó része, széles körű vitát hozott a szakemberek körében. Ezért, további szakértőket kérünk fel, a hazai helyzet és jövő értékelésére. Amennyiben ezen szakértők a felkérést elfogadják, örömmel adunk helyet gondolataiknak. Ezen témával kapcsolatosan, szívesen vállalnánk egy szakértői vitát is annak érdekében, hogy saját dolgainkat minél szélesebb tartományban és minél több irányból értékelhessük.)