

GLOBALIS GEODÉZIAI MEGFIGYELŐRENDSZER

Ádám József

az MTA rendes tagja, tanszékvezető egyetemi tanár
BME Általános és Felsőgeodézia Tanszék
MTA–BME Fizikai Geodézia és Geodinamikai Kutatócsoport
jadam@sci.fgt.bme.hu

Bevezetés

2005. február 16-án, a *Földmegfigyelési Csúcs-értekezlet* brüsszeli ülésén jóváhagyták a globális földmegfigyelő rendszerek átfogó hálózata (Global Earth Observation System of Systems, GEOSS) megvalósításának tízéves akciótervét. A GEOSS célja a különböző földi szférákban (szilárd Föld belseje, a szárazföldek felszíne, világóceán, krioszféra, bioszféra, légkör) lezajló folyamatok kölcsönhatásainak vizsgálatára kiépült globális megfigyelőrendszerek és átfogó nemzetközi programok tevékenységének összehangolása és összekapcsolása. Ezzel el lehetne érni például a különböző természeti katasztrófák (földrengések, árvizek stb.) hatásainak korai előrejelzését (Gupta, 2005), gyors feltérképezését. Az említett természeti katasztrófák veszélyeinek minimálisra korlátozásához pedig létfontosságú lesz a földi és a műholdas megfigyelőrendszerek minél hatékonyabb együttes használata. A jelenlegi globális megfigyelőrendszerek tevékenységei között az összehangolt működés még hiányos, illetve részben nem is létezik.

A GEOSS kezdeményezésben foglaltakat megoldani és továbbfejleszteni nem lehet a

globális geodéziai hálózatok és a kapcsolódó feldolgozóközpontok kiterjedt használata nélkül. Ezért a Nemzetközi Geodéziai Szövetség (International Association of Geodesy – IAG; <http://www.iag-aig.org/>) elhatározta, hogy kiépíti, és 2005 második felétől működteti *globális geodéziai megfigyelőrendszert* (Global Geodetic Observing System – GGOS; <http://www.ggos.org>), amelyet a GEOSS metrológiai infrastrukturális alapként foghatunk fel. A GGOS integrálja többek közt a kozmikus geodéziai mérés technikákat, a globális navigációs műholdrendszerek (GPS, Galileo stb.) és a különböző műholdas mérési programok (úrgravimetria, szatellita-altimetria és távérzékelési holdak) tevékenységét az átfogó föld- és környezet-tudományi programok kidolgozása céljából (Rothacher, 2004; Rummel et al., 2002).

A geodézia feladatai és az IAG szerepe

A geodézia egyrészt a Föld alakjának, méreteinek, nehézségi erőterének és térbeli tájékozásának meghatározását, valamint ezek időbeli változásának rögzítését, másrészt a Föld felületén található természetes és mesterséges alakzatok geometriai adatainak megállapítását, és ezek alapján az alakzatok ábrázolását foglalja

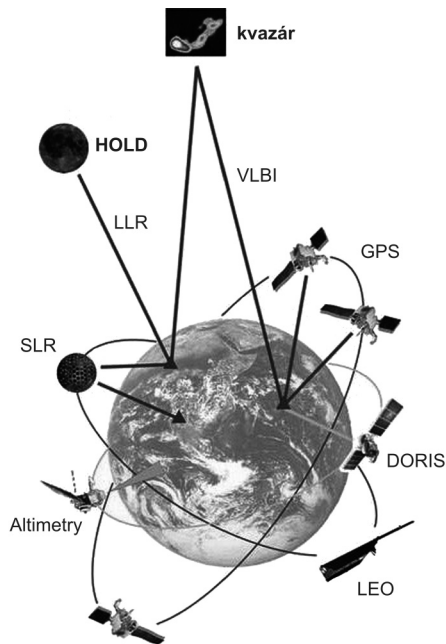
magában. A geodéziai feladatok megoldásában a mesterséges holdak megjelenése új távlatokat nyitott. A mesterséges holdakra vonatkozó mérési eredmények geodéziai célú feldolgozására, hasznosítására és geodéziai-geodinamikai értelmezésére a geodézia hajtásként fejlődött ki a szatellitageodézia. Ennek módszereit és eljárásait kiterjesztették a Holdra és a bolygókra is. A szatellitageodézia mellett a Holdon elhelyezett lézertükrök segítségével végzett lézeres távolságmérések és az extragalaktikus rádióforrások (kvazárok) földi interferométeres méréseinek geodéziai-geodinamikai hasznosításával kapcsolatos ismeretek köre a kozmikus geodézia tárgykörébe tartozik.

A kozmikus geodézia jelenleg még fejlesztés alatt álló mérési módszereinek célja a helymeghatározáson és navigáción túl a geodinamikai folyamatok vizsgálata (Ádám, 1997, 1999). Ezeket a technikai eszközöket és mérési módszereket a geodéziai feladatok és geodinamikai kutatások elvégzéséhez nélkülözhetetlen földi és égi vonatkoztatási koordináta-rendszerek meghatározásában és folyamatos fenntartásában is alkalmazzák. Ezek a technikák (1. ábra): a mesterséges holdra és a Holdra vonatkozó lézeres távolságmérés (Satellite Laser Ranging – SLR és Lunar Laser Ranging – LLR), az ún. nagyon hosszú alapvonalú interferometria (Very Long Baseline Interferometry – VLBI), továbbá a mikrohullámú rendszerek közül a globális helymeghatározó rendszer (Global Positioning System – GPS) és a DORIS (Doppler Orbit Radio-positioning Integrated on Satellite) elnevezésű rendszer. A felsorolt mérési technikák elsősorban geometriai típusú mérési adatokat biztosítanak a Föld geometriájának és térbeli elhelyezkedésének meghatározásához.

A földi nehézségi erőter meghatározására és vizsgálatára alkalmazott mérési technikák

többségében fizikai típusú mérési adatokat szolgáltatnak (graviméter, gradiométer, gyorsulásmérő stb.), de alkalmaznak geometriai adatokat mérő műszereket is (altiméter, tengerszint-regisztráló ún. mareográf stb.).

Az elmúlt évtized folyamán a kozmikus geodézia területén lényeges változás történt, mert az említett módszerekkel 10^{-9} relatív pontosságot értek el a felszín és a Föld forgási jellemzőinek mérésében. Az új műholdas űrgravimetria projektek (CHAMP, GRACE és GOCE – lásd 3. táblázat) a földi nehézségi erőter vizsgálatában is ennek megfelelő pontossági szintet érhetnek el. Számos új űrprojektet (az említett űrgravimetriai műholdak, a JASON-1, ENVISAT és ICESAT altiméteres, valamint asztrometriai projektek) készítenek elő, vagy terveznek, illetve már néhány működik is (lásd 3. táblázat).



1. ábra • A kozmikus geodézia mérési technikái együttes alkalmazásának szemléltetése (Forrás: <http://www.ggos.org>)

A geodézia feladatai és a geodinamikai kutatások nemzetközi kapcsolatok és összefogás nélkül nehezen lennének megoldhatók. Így a geodéziatudomány művelése globális méretben alapvetően nemzetközi együttműködést igényel. A nemzetközi együttműködés 1864-ben kezdődött, amikor Berlinben létrehozták a Nemzetközi Geodéziai Szövetség (IAG) első jogelődjét *Közép-európai Fokmérés* néven. A szervezet nevét 1867-ben *Európai Fokmérésre* változtatták, amelynek célja Európa államainak együttműködése a Föld alakjának és méreteinek meghatározásában. Európán kívüli államok bekapcsolódását követően a szervezet nevét *Nemzetközi Földmérésre* (Internationale Erdmessung) változtatták. A szövetség 1919-ben alapító tagja lett a Nemzetközi Geodéziai és Geofizikai Uniónak (International Union of Geodesy and Geophysics – IUGG). Az IAG nevet 1932-ben vette fel. Az IAG – a nemzetközi meteorológiai szolgálat után a második legrégebb – nemzetközi tudományos (nem kormányzati) szervezet, amely a geodéziatudomány (a felsőgeodézia [Ádám, 2003] tudományos) kérdéseivel foglalkozik, s elősegíti és támogatja a nemzetközi együttműködést e területen.

Az IAG jelenleg egyetlen kiemelkedő projektje a GGOS, amelynek keretében az IAG újraszervezi globális geodéziai infrastruktúráját. Ezzel a cél az, hogy a geodézia jelentősen hozzájáruljon általában a földtudományok és a GEOSS elnevezésű nemzetközi kezdeményezéshez, valamint hasonló nemzetközi akciótervekhez. A GGOS keretében gyűjtik, tárolják és biztosítják a nagy pontosságú mérésekből nyert adatokat a geodéziatudomány következő három alapvető területén:

- a Föld felszínének (kontinensek, óceánok és tengerek) geometriája és kinematikája (földfelszíni mozgások),

- a Föld térbeli tájékozása és forgási viszonyai,
- a Föld nehézségi erőtere, valamint ennek időbeli és térbeli változásai.

Mindhárom terület számára alapvető fontosságú a Földhöz rögzített és égi (csillagokhoz illetve a kvazárokhoz kötött, fogalmilag jól meghatározott, nagy pontosságú és stabil vonatkoztatási koordináta-rendszerek fenntartása, különösen abból a szempontból, hogy az időbeli változásokat mérni, kimutatni és nyomon követni lehessen (például tengerszintváltozások stb.). A Föld forgásának és nehézségi erőterének mért időbeli változásai a Föld-rendszerben bekövetkezett valamennyi tömegátrendeződés teljes (együttes) hatását képviselik.

A GGOS integrálja a különböző geodéziai mérési technikákat, modelleket és feldolgozási módszereket, hogy lehetővé tegye a geodézia említett három területén a megfelelő adatok meghatározását és az adatok változásainak pontos nyomon követését hosszú időtartamra. Ezzel az IAG által képviselt geodéziai közösség nemzetközi szinten a globális föld- és környezettudománnyal foglalkozóknak nagyon hatékony eszközt (metrológiai alapot) tud nyújtani, ami magas minőségű szinten működő szolgálatokat, szabványokat, vonatkoztatási koordináta-rendszereket, valamint elméleti és megfigyelési technikákra vonatkozó fejlesztéseket foglal magában. A GGOS hozzájárulást képez a földtudományokban a globális változás valamennyi kutatási területének tudományos és infrastrukturális alapjaihoz.

Az IAG felhasználói szolgálatai

Az IAG koordinálója számos nemzetközi tudományos szolgálatnak, amelyeknek célja a felhasználói szakmai-tudományos közösség

ellátása különböző geodéziai-geodinamikai adatokkal és információkkal, valamint elősegíteni a tudományos együttműködést (Muel-ler, 1993, 1997). Az IAG nemzetközi szolgálatainak elnevezését és elérhetőségét az *I. táblázatban* foglaltuk össze. Mindezek mellett számos fontos projektet (amelyek alapvetően véges időtartamú szolgálatok) fejeztek be az

elmúlt évszázad második felében az IAG ke-retei között. Néhány példa: *a)* Az ED50 (European Datum 1950) jelű európai geodé-ziái hálózat és vonatkoztatási koordináta-rend-szer, valamint ezek továbbfejlesztései (RETrig, ED87). *b)* Egységes európai szintezési hálózat (United European Levelling Network – UELN). *c)* Nemzetközi gravitációs vonatkoz-

1. Nemzetközi Földforgási és Vonatkoztatási Rendszerek Szolgálat (International Earth Rotation and Reference Systems Service) http://www.iers.org	IERS	1987 (1895)
2. Nemzetközi GNSS Szolgálat (International GNSS Service) http://igscb.jpl.nasa.gov	IGS	1994
3. Nemzetközi Lézertávmerési Szolgálat (International Laser Ranging Service) http://ilrs.gsfc.nasa.gov	ILRS	1997
4. Nemzetközi VLBI Szolgálat (International VLBI Service for Geodesy and Astrometry) http://ivscc.gsfc.nasa.gov	IVS	1999
5. Nemzetközi DORIS Szolgálat (International DORIS Service) http://ids.cls.fr	IDS	2003
6. Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Hivatal időszolgálat (Bureau International de Poids et Mesures – time section) http://www.bipm.org	BIPM	1920
7. Nemzetközi Nehézségi Erőtér Szolgálat (International Gravity Field Service) http://www.igfs.net	IGFS	2003
8. Nemzetközi Gravimetriai Iroda (International Gravimetric Bureau) http://bgi.cnes.fr	BGI	1951
9. Nemzetközi Geoid Szolgálat (International Geoid Service) http://www.iges.polimi.it	IGeS	1991
10. Nemzetközi Árapály Központ (International Centre for Earth Tides) http://www.astro.oma.be/ICET	ICET	1958
11. Nemzetközi Globális Földmodell Központ (International Centre for Global Earth Models) http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM	ICGEM	2003
12. Középtengerszint Állandó Szolgálat (Permanent Service for Mean Sea Level) http://www.pol.ac.uk/psmsl	PSMSL	1933
13. Nemzetközi Digitális Terepmodell Szolgálat (International DEM Service) http://www.igfs.net	IDEMS	2003
14. Nemzetközi Altiméter Szolgálat (International Altimetry Service) http://www.igfs.net	IAS	2006
15. IAG Bibliográfiai Szolgálat (IAG Bibliographic Service) http://www.leipzig.ifag.de	IBS	1984

I. táblázat • Az IAG nemzetközi felhasználói szolgálatai

tatási hálózat (International Standard Gravity Network 1971 – ISGN71). *d)* Geodéziai vonatkoztatási rendszerek (Geodetic Reference System 1967, 1980 – GRS67, GRS80 [Moritz, 2000]). *e)* Doppleres műholdmegfigyelési kampány Afrikában (African Doppler Survey – ADOS, 1981-86).

Megjegyezzük, hogy az IAG kezdetben (a XIX. század második felében) az alapítók célkitűzései szerint központi hivatal volt, amely különböző (főként európai) projektek megvalósítását irányította. Ez a szerepkör az I. világháború után lecsökkent a projektek koordinálására és a tudományos ismeretek terjesztésére az IAG általános közgyűlései keretében, valamint a hivatalos lapjában (*Bulletin Géodésique*). Az IAG legfontosabb feladatai közé napjainkban is a tudományos projektek koordinálása, a felhasználói szolgálatok létrehozása és tudományos ismeretek kicserélése fórumok (konferenciák, szimpóziumok, *Journal of Geodesy* stb.) biztosítása tartozik (Ádám, 2005). Ez a szerep alapvetően fontos a tudomány (különösképpen a geodézia tudomány) nemzetköziségének növekedése és a nemzetközi szabványok iránt felismert nagy szükséglet miatt.

Az IAG *I. táblázatban* összefoglalt felhasználói szolgálatai közül két legfontosabb átfogó, ún. ernyőszolgálatot képez az IERS és az IGFS. Az IERS fogalmilag meghatározza, és folyamatosan fenntartja a földi és égi vonatkoztatási rendszereket, és meghatározza a két vonatkoztatási rendszer közötti transzformációt az ún. földtájékozási paraméterek meghatározása alapján (Altamimi et al., 2002; McCarthy – Petit, 2004). Ezzel naprakészen nyomon követi a Föld és a hozzá kapcsolt koordináta-rendszer térbeli helyzetének változásait a csillagokhoz (rádióforrásokhoz) kapcsolt égi vonatkoztatási rendszer-

hez viszonyítva. Ehhez alapul veszik a geometriai jellegű geodéziai-geodinamikai adatokat szolgáltató felhasználói szolgálatok eredményeit, amelyeket (*1. ábra*)

- az IVS keretében szervezett VLBI-állomások globális hálózata,
- az ILRS keretében szervezett SLR- és LLR-állomások globális hálózata,
- az IGS keretében szervezett GPS/GLO-NASSZ állomások globális hálózata,
- az IDS keretében szervezett DORIS-állomások globális hálózata és
- a BIPM időszolgálatja biztosítja.

Az IGS 1994. január 1-jével kezdte meg hivatalosan is szolgáltatászerű működését (Beutler et al., 1994). Tevékenységét az IERS-sel szoros együttműködésben fejti ki. Az IGS több mint 350 globálisan elszórt, folyamatosan üzemelő (ún. permanens) GPS-követőállomást foglal magában. Tevékenységéhez nemzetközi szinten több mint 75 ország kétszáznál is nagyobb számú intézménye és szervezete járul hozzá. Az IGS szolgáltatásrűen többek között a következő szolgáltatásokat nyújtja: nagy pontosságú pályaadatokat az összes GPS-műholdra, a műholdak óraadatait, földforgási paramétereket, a követőállomások nagy pontosságú (1-3 cm) koordinátáit és földfelszíni sebességadatait (*2. ábra*). Ezáltal a geodézia szóban forgó adatait egyre inkább a geodinamika és a geofizika hasznosítja. Az IGS a GPS-technika tudományos célú alkalmazásaihoz kapcsolódó fejlesztések, kutatások fő mozgatórugójává vált. Olyannyira sikeres lett, hogy később a többi űrtechnika (SLR, VLBI, DORIS) is megalkototta saját szolgálatait.

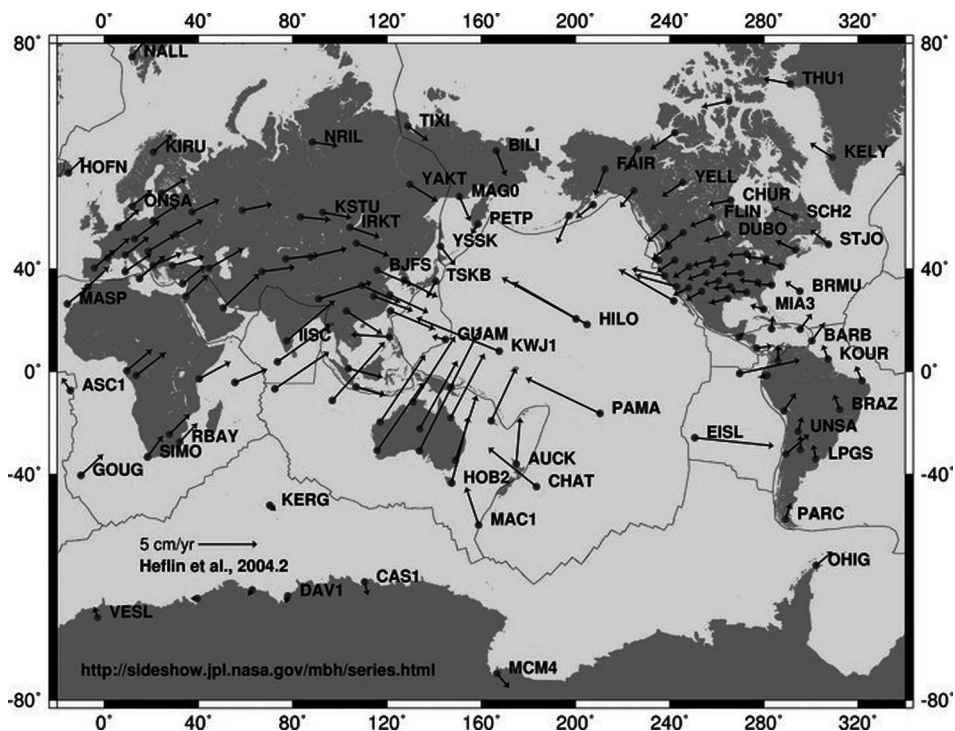
Az IGFS a földi nehézségi erőter részletes szerkezetének meghatározására vonatkozó fizikai és geometriai jellegű, földfelszíni és műholdas mérésekből származó adatokat

gyűjti és értelmezi. Ehhez alapul veszik a BGI, az IGeS, az ICET, az ICGEM, a PSMSL, az IAS és az IDS által szolgáltatott adatokat. Az említett szolgálatok közül példaképpen néhány tevékenységét kissé részletesebben ismertetjük a következőkben.

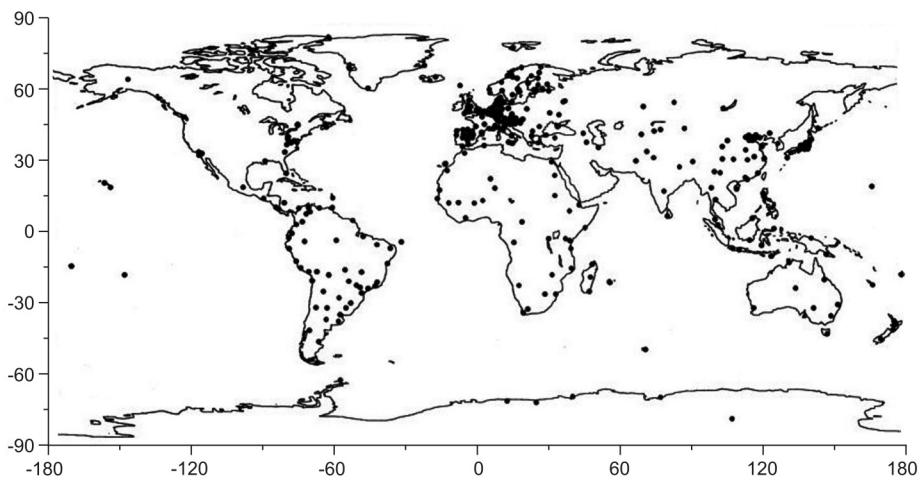
A Nemzetközi Gravimetriai Irodát (BGI) 1951-ben létesítették, és azóta Franciaországban működik. Fő feladata a szárazföldi, tengeri, légi és űrgravimetriai mérések eredményeinek gyűjtése világméretű kiterjesztésben, az adatok érvényességének vizsgálata, és kérésre adatok átadása tudományos célokból a felhasználók széles körének. A BGI maga nem végez gravimetriai méréseket, és ilyen

célú mérési kampányokban sem vesz részt. A BGI adatbázisában jelenleg mintegy 13 millió pontbeli gravimetriai mérés (közel 11 millió tengeri és valamivel több mint 2 millió szárazföldi adat) található.

A Nemzetközi Árapály Központ (ICET) feladatai: árapályadatok (graviméterek, dőlésmérők, extenzométerek nyers adatai) gyűjtése, az adatok kiértékelése, összehasonlítása, kalibrálása, az adatkiecsések pótlása, az adatbankban felhalmozott eredmények megvitatása, valamint az eredmények és a nyert információ közzététele és terjesztése. Napjainkban az ICET adatbázisa 360 árapály graviméter állomás (3. ábra) méréseit tartalmazza.



2. ábra • A Nemzetközi GNSS Szolgálat (IGS) munkájában részt vevő követőállomások földfelszíni mozgásának GPS-mérések alapján meghatározott sebességvektora cm/év egységben. A nagyobb kéreglemezek határvonalait is feltüntettük. Jól látható, hogy az egyes kéreglemezek a Föld felszínén egymáshoz viszonyítva különböző irányban és eltérő mértékben mozognak.



3. ábra • Az ICET keretében üzemelő árapály graviméter állomások globális eloszlása

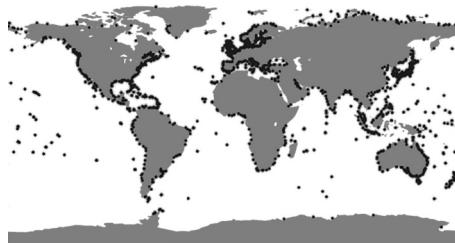
Az 1933-ban létesített Középtengerszint Állandó Szolgálatának (PSMSL) feladata a mareográfok globális hálózata (4. ábra) alapján nyert tengerszintadatok gyűjtése, közzététele, elemzése és értelmezése. A szolgálat adatbázisa több mint 190 nemzeti szervezet keretében üzemelő több mint 1750 mareográf havi és éves középtengerszint-értékét tartalmazza. A PSMSL működtetésében az IUGG Nemzetközi Óceánfizikai Szövetsége (IAPSO) is érdekelt. A PSMSL adatbázisát napjainkban oceanográfusok, éghajlatkutatók, geológusok és geodéták széles köre használja tudományos vizsgálataiban.

A GLOSS (Global Sea Level Observing System) elnevezésű *globális tengerszint-megfigyelő rendszert* közel két évtizede többek között azzal a céllal kezdeményezték, hogy a PSMSL-nek szolgáltatott adatok mennyiségét és minőségét fejlesszék. A GLOSS-t programként az IOC (Intergovernmental Oceanographic Commission, kormányközi oceanográfiai bizottság) koordinálja abból a célból, hogy globális és regionális tengerszint-hálózatokat létesítsenek. A GLOSS referen-

ciahálózata (Global Core Network) 287 állomásból áll, amelyek hosszú időtartamra az éghajlatváltozás és az oceanográfiai tengerszint nyomon követését végzik.

Globális helymeghatározó műholdrendszerek

Korunk információs társadalmában egyre inkább felértékelődik a helyhez kapcsolt információk szerepe. Ilyen információk a leggyorsabban és a legszélesebb körben a műholdas helymeghatározás és navigáció mérési eljárásaival nyerhetők (Ádám et al., 2004; Beutler, 2003). A műholdas helymeghatározásra és navigációra napjainkban világszerte



4. ábra • A PSMSL keretében üzemelő tengerszint-regisztráló (mareográf) állomások globális hálózata

az amerikai katonai GPS-t alkalmazzák legelterjedtebben (5. ábra). Az elmúlt évtizedben tanúi voltunk a GPS-technika egyre szélesebb körű alkalmazásának (Magyarországon is), nemcsak a geodézia, a térképészet, a navigáció és a térinformatika, hanem a föld- és műszaki tudományok más területein is. Az előrejelzések szerint a felhasználók köre a jövőben is egyre bővül. Ezt az is lehetővé teszi, hogy a jelenlegi GPS-rendszer nagyarányú továbbfejlesztésével foglalkoznak, amelynek célja az, hogy a rendszert a tengerhajózás és a repülés (különösen a polgári repülés) igen

sok területén megbízhatóan és hatékonyan lehessen alkalmazni. Így a műholdas navigációs rendszerek új, a jelenleginél is összetettebb változatait hozzák létre. Ezeket a rendszereket összefoglaló néven *globális navigációs műholdrendszereknek* (Global Navigation Satellite Systems – GNSS) nevezzük (2. táblázat).

A GPS-től függetlenül, hasonló céllal működik az orosz GLONASSZ rendszer is, amely jelenleg kevésbé elterjedt, de fejlesztésére komoly tervek vannak Oroszországban. Az Európai Űrügynökség (ESA) és az EU

Betűszó	A navigációs műholdrendszer elnevezése és honlapja
GPS	NAVSTAR Global Positioning System, Globális helymeghatározó rendszer (amerikai) http://gps.losangeles.af.mil/index.html • http://tycho.usno.navy.mil/gps.html http://www.nmt.edu/~mreece/gps • http://gpstk.sourceforge.net/papers/linuxjournal/
GLONASS	Globális navigációs műholdrendszer (szovjet-orosz) http://www.glonass-ianc.rsa.ru
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service, európai műholdas navigációs kiegészítő szolgáltatás http://www.esa.int/esaEG/estb.html • http://www.egnos-pro.esa.int http://www.essp.be
WAAS	Wide Area Augmentation System of the United States, amerikai műholdas navigációs kiegészítő szolgáltatás http://gps.faa.gov/Programs/WAAS/waas.htm
MSAS	Multifunctional Transport Satellite (MTSAT), Satellite-based Augmentation System of Japan, japán műholdas navigációs kiegészítő szolgáltatás: http://www.mlit.go.jp/koku/english/06_airtraffic/index.htm . jp.sa.int/papers/linuxjournal/
GAGAN	GPS and Geo Augmented Navigation System of India, indiai műholdas navigációs kiegészítő szolgáltatás http://www.isro.gov.in • http://www.essp.be
GALILEO	European Satellite Positioning and Navigation System, európai műholdas navigációs rendszer http://www.galileo-pgm.org • http://www.galileoju.com http://ec.europa.eu/dgs/energy-transport/galileo/

2. táblázat • Globális navigációs műholdrendszerek (Global Navigation Satellite Systems, GNSS)

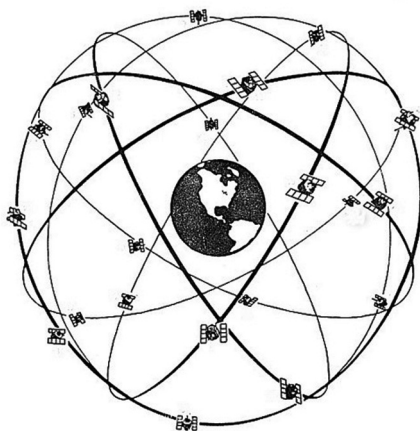
közös fejlesztésű navigációs műholdrendszerre, a GALILEO az elkövetkező évek folyamán épül ki, továbbfejlesztve és kiegészítve a globális műholdas helymeghatározást, amelyet ma gyakorlatilag az amerikai GPS-rendszer jelent.

A GPS azonban még mindig nem alkalmazható kellő biztonsággal bizonyos navigációs feladatokhoz, s ennek egyik legfontosabb oka az, hogy a rendszer önellenőrző képessége (integritása) egyelőre elmarad a szigorú közlekedésbiztonsági előírásoktól. A nagyobb helymeghatározási pontosság elérése céljából hozták létre az ún. kiegészítő rendszereket (Augmentation System). A kiegészítő rendszerek két típusát különböztetjük meg aszerint, hogy a szolgáltatások műholdakon (Satellite Based Augmentation System, SBAS) vagy egy földi kommunikációs csatornán (Ground Based Augmentation System, GBAS) keresztül érhetőek el. A kiegészítő rendszerek lényegében két szolgáltatást nyújtanak: egyrészt fokozzák a GPS-szel elérhető abszolút helymeghatározás pontosságát, másrészt információt szolgáltatnak a rendszer megbízhatóságáról. Több ilyen rendszer kezdte meg működését az elmúlt években. A WAAS Észak-Amerika, az MSAS Japán, az EGNOS rendszer pedig Európa területére biztosítja az említett szolgáltatásokat. Hasonló kiegészítő rendszert (GAGAN) terveznek kiépíteni India területére is. A GPS jeleit pontosító európai EGNOS rendszer lényegében a GALILEO előfutárának is tekinthető.

A GALILEO műholdrendszere a Föld körül három pályasíkban 24 ezer km magasan keringő harminc mesterséges holdból áll majd. Navigációs jeleit rádióhullámok segítségével sugározza. A GALILEO-vevőberendezések kompatibilisek lesznek a GPS-vevőkkel, és alapesetben is legalább néhány méte-

res pontosságú azonnali helymeghatározást tesznek lehetővé. A GALILEO-műholdakat tervek szerint 2007 második felétől kezdik pályájukra helyezni.

A műholdas helymeghatározás az évtized végére minden bizonnyal olyan fejlődésnek indul, mint napjainkban a mobil távközlés. Európa a GALILEO-val mindenekelőtt közlekedési rendszereinek hatékonyságát és főleg biztonságát kívánja növelni. A GALILEO emellett új lehetőségeket kínál a gazdasági élet minden olyan területén is, ahol pontos hely- és időmeghatározásra van szükség (például földmérés, flottairányítás vagy teherszállítmányok nyomon követése stb.)



5. ábra • A GPS-rendszert 21 aktív és három tartalék műhold alkotja, hat, egyenletesen elosztott pályasíkban. Ezek a mesterséges holdak a Föld felszíne felett 20 200 km magas, az egyenlítővel 55 fokos szöget bezáró pályájukon 12 óra alatt kerülnek meg a Földet. Az elrendezésnek köszönhetően a Föld bármely pontjáról egyszerre legalább négy GPS-hold tartózkodik a horizont felett. A műholdak időjeleket, saját pályadataikat és egyéb kiegészítő információkat sugároznak folyamatosan.

A GPS (és majdan a GNSS) várhatóan nagy befolyással lesz a mindennapi életünkre is. A GPS – az Internet után – talán a második legjelentősebb katonai hozzájárulás a polgári (civil) tudomány számára. Az ENSZ – megfelelő szakértői csoportok bevonásával – ajánlásokat dolgozott ki arra vonatkozóan, hogy milyen alapelveket kell alkalmazni, milyen módon lehet a GNSS-alkalmazások körét és hatékonyságát növelni a Föld különböző ré-

gióiban. Az alkalmazások a terepjáró-verseny-zéstől a sportrepülésen át, a térképészettől a geofizikai és meteorológiai kutatásokon keresztül a mobil távközlésig vagy a környezetvédelemig igen széles területet fognak át.

*Műholdas mérési programok
a föld- és környezettudományok céljára*

A föld- és környezettudományi kutatások céljából létesített mesterséges holdak (3. tábl-

Sz.	Betűszó	Az űrprogram elnevezése és honlapja	Űrkutatási szervezet
1.	CHAMP	CHALLENGING Minisatellite Payload http://www.gfz-potsdam.de/pbi/op/champ/ http://www.dlr.de/champ	GFZ/DLR
2.	GRACE	Gravity Recovery and Climate Experiment http://op.gfz-potsdam.de/grace http://www.dlr.de/grace http://www.csr.utexas.edu/grace/	NASA/DLR 2002
3.	GOCE	Gravity Field and Steady-state Ocean Circulation Explorer http://www.esa.int/export/esaLP/goce.html http://www.goce-projektbuero.de	ESA
4.	ICESat	Ice, Cloud, and Land Elevation Satellite http://icesat.gsfc.nasa.gov http://www.csr.utexas.edu/glas/	NASA
5.	ENVISAT	ENVIRONMENT SATellite http://envisat.esa.int/	ESA
6.	ERS-I-2	European Remote Sensing Satellite http://earth.esa.int/ers/	ESA
7.	TOPEX/ Poseidon	NASA/DLR 2002 http://topex-www.jpl.nasa.gov/mission/topex.html	CNES/NASA 1992
8.	Jason -I-2	Altimetric Satellites http://www.aviso.oceanobs.com/html/missions/jason/welcome_uk.html	CNES/NASA 2001
9.	CryoSat	Radar Altimetry Mission http://www.esa.int/esaLP/LPcryosat.html http://www.cryosat.de	ESA
10.	GeosatFO	Altimetric Satellite http://gfo.bmpcoe.org/Gfo/	US-Navy

3. táblázat • Műholdas programok föld- és környezettudományi kutatások céljára

lázat) egyidejűleg működnek, és egymást kiegészítő mérési adatokat szolgáltatnak. Ezek a mesterséges holdak általában alacsony földfelszíni magasságban (Low Earth Orbiter – LEO) keringenek Földünk körül, amelyek űrgravimetriai, szatellita-altiméteres és távérzékelési projektek megvalósítását szolgálják. A projektek eredményeinek felhasználását a földi tömegátrendeződés és a sűrűségeloszlás meghatározása céljából végzik multidiszciplináris környezetben.

A 3. táblázatban bemutatott űrprogramok keretében alacsony pályán keringő mesterséges holdak fedélzetén a szélső pontosságú pályameghatározás céljából GPS-vevőberendezést helyeztek el. A közeljövőben tervezett hasonló mesterséges holdakon (2008-ig mintegy harminc ilyen mesterséges holdon) is fognak GPS-vevőberendezést elhelyezni. Ezt a körülményt is figyelembe véve, a geodéziai objektumok és mérőeszközök négyféle csoportjával (réteggel) rendelkezünk (*1. ábra*):

1. a több milliárd fényév távolságban elhelyezkedő rádióforrások (kvazárok) égi hálózata,
2. a GNSS-műholdak (GPS és kiegészítő szolgáltató rendszerei, GLONASSZ, GALILEO) rendszere,
3. alacsony pályán keringő (űrgravimetriai, altimetriai, távérzékelési stb.) műholdak együttese, és
4. a földfelszínen elhelyezkedő megfigyelőállomások hálózatai.

A négy csoportban felsorolt objektumok és eszközök együttes alkalmazása optimális megoldást fog adni a globális geodéziai-geodinamikai paraméterek meghatározására. A LEO-műholdak bevonásának néhány oka a következő:

- a.) a LEO-műholdakon elhelyezett GPS-vevők helyzetének (a LEO-műholdak

pályájának) meghatározásakor nem kell számolnunk a troposzféra (troposzférikus kérés) zavaró hatásával,

- b.) a LEO-műholdakra vonatkozó mérési adatok hozzájárulnak a geocentrum (Földünk tömegközéppontja) helyzetének pontosabb meghatározásához,
- c.) a GNSS- és a LEO-műholdak közötti mérési geometria alapvetően különbözik a GNSS-műholdak és a földfelszíni közvetőállomások közötti mérés geometriájától,
- d.) a LEO-műholdak mérései ideális kapcsolatot képeznek a nehézségi erőter paraméterei, a Föld geometriai adatai és a földforgási paraméterek összekapcsolására.

Az űrgravimetria első mesterséges holdjai a német földtudományi kutatóközpont (GFZ) és űrkutatási intézmény (DLR) CHAMP jelű műholdja, valamint a NASA és a DLR közös vállalkozása, a GRACE (Földvály, 2004). Ezeket az ESA GOCE jelű gradiométeres mesterséges holdja fogja követni 2007-ben. A műholdas gravimetria célja a vonatkozó mérésekből a földi nehézségi erőter finomszerkezetének és időbeli változásának meghatározása. Ezáltal pontosodhat a földi hidrológiai folyamatok, valamint az oceanográfiai jelenségek ismerettára, mely már közvetlenebb és gyakorlatiasabb előrejelzéseket tesz lehetővé, elsősorban a globális éghajlatváltozás észlelésében. Ennek társadalmi haszna egyre nyilvánvalóbb a napjainkban gyakran jelentkező természeti katasztrófák miatt.

Az ún. gradiométeres méréseket végző GOCE (nehézségi erőter és állandó óceáni áramlás) (*6. ábra*) nevű műhold fő célkitűzése a földi nehézségi erőternek a korábinál sokkal pontosabb megismerése (Rummel, 2002), melynek révén Földünk belső szerkeze-



6. ábra • A GOCE űrgradiométeres műhold, melynek pályáját a GPS-műholdak segítségével határozzák meg nagy pontossággal. (Forrás: GOCE Projektbüro, München)

téről és dinamikájáról kaphatunk bővebb ismereteket. Ezáltal mélyebb betekintést szerezhetünk az óceáni áramlatokba, és abba, hogy hogyan befolyásolják bolygónk klímáját.

Az ún. altiméteres mesterséges holdak (pl. TOPEX/Poseidon, ERS-1, -2, ENVISAT, ICESat, Jason-1, -2 stb.) radaros (illetve újabban lézeres) magasságmérő berendezéssel vannak felszerelve. A műszer alkalmas arra, hogy saját óceánfelszín feletti magasságát meghatározza. Ha a mesterséges hold helyzete is ismert, akkor a vízfelszín magassága kiszámítható. A vízfelszín magasságának, illetve változásának mérése lehetővé teszi a helyi és globális áramlások feltérképezését. Mivel a magasságmérő műszerek mérési pontossága 1-2 cm, ezért a mesterséges holdak pályameghatározásában is hasonló mértékű pontosságot kell elérni. Ez ma már a fedélzeten elhelyezett GPS-vevőberendezések méréseinek feldolgozása alapján biztosítható.

A TOPEX/Poseidon oceanográfiai mesterséges hold Földünk jégmentes óceáni felszínének 95 %-át figyeli, tíznapos ciklusokban. A vízfelszín magasságára, a szélesebbségre és a hullámok magasságára vonatkozó mérései hozzájárulnak az óceánok és az éghaj-

lat kölcsönhatásának megértéséhez, és jól használhatók a hosszú távú klímamodellekben. A műholdra vonatkozó méréseket Földünk globális hőmérséklet-változása, a légköri modellek és a nehézségi erőter szerkezetének kutatásában hasznosították.

Az ICESat (műhold jég, felhőzet és felszíni magasság megfigyelésére) egyetlen jelentős fedélzeti műszere egy lézeres magasságmérő, mellyel a jég felszínének magasságát, annak időbeli változását, a felhők és aeroszolok magassági elhelyezkedését, a földfelszín magasságát, a felszíni növényzet és a tengeri jégtréteg közelítő vastagságát lehet vizsgálni.

Az ENVISAT környezetmegfigyelő mesterséges hold, amelynek tíz fedélzeti műszere a szárazföldek, a jégsapkák, az óceánok és a légkör állapotának változásairól szolgáltat adatokat. A tízből három a Föld felszínét tanulmányozza. Az egyik az óceánok vizének hőmérsékletét, egy másik az óceánok víztömegének mozgásait, a jégsapkák alakváltozásait és az erdőborítottság alakulását követi figyelemmel, a harmadik pedig az óceánok kémiai összetételét vizsgálja. A mesterséges hold fedélzetén elhelyezett négy műszer magasságmérő berendezés, amelyek a felhőszintek elhelyezkedését, a jégsapkák domborzatát és az óceánok hullámainak magasságát vizsgálják. További három műszer a légköri ózon és szén-dioxid mennyiségét méri folyamatosan.

A már tíz éve működő ERS-2 távérzékelési mesterséges hold egyik műszere az óceánfelszín fölött uralkodó szél sebességét méri. Sok fedélzeti berendezése közül ez nagy frekvenciájú radarnyalábot bocsát ki, s a tengerfelszínről visszaverődő sugárzás szóródásából megállapítja a víz hullámok nagyságát. Ebből a szél sebességére és irányára tudnak következtetni.

A CryoSat európai mesterséges hold felbocsátása 2006 elején sikertelen volt. A műhold a tervek szerint a Föld kontinentális és tengeri jégmezői vastagságának vizsgálatát, a globális felmelegedés hatásainak kutatását végezte volna.

Végül megemlítjük még, hogy a műholdas technika igen fontos alkalmazási területét képezik a távérzékelési mesterséges holdak. A nagyfelbontású űrfelvételek feldolgozása a digitális képfeldolgozás és a térinformatika eszközeinek alkalmazásával nagy segítséget jelentenek a katasztrófavédelemben, a környezet monitorozásában, és például a mezőgazdaságban is (Kugler – Barsi, 2005).

Befejezés

Az IAG GGOS elnevezésű projektje hozzájárul a kiemelkedő GEOSS akciótervének megvalósításához, nemcsak a GEOSS számos összetevőjéhez megkívánt nagy pontosságú vonatkoztatási koordináta-rendszerek biztosításával, hanem

- a globális hidrológiai ciklusra,
- az atmoszféra és az óceánok dinamikájára, valamint
- a természeti veszélyekre és katasztrófákra vonatkozó mérések végzésével is.

Ezzel az IAG által képviselt geodéziai közösség nemzetközi szinten a globális föld- és környezettudománnyal foglalkozóknak nagyon hatékony eszközt (metrológiai alapot) tud nyújtani, mely

- magas minőségben működő nemzetközi tudományos szolgálatokat,
- szabványokat és vonatkoztatási koordináta-rendszereket, valamint
- elméleti és megfigyelési technikákra vonatkozó fejlesztéseket foglal magában.

A GGOS az IAG jelenleg működő nemzetközi tudományos szolgálatainak fog nagyrészt

alapulni. Nem veszi át azonban a meglévő és jól működő szolgálatok feladatait, hanem stabil működési keretet nyújt számukra, és biztosítja hosszú időtartamú működésüket.

A GGOS jellemzői és küldetése:

- integrálja a különböző geodéziai mérési technikákat, modelleket és feldolgozási módszereket, hogy a geodéziai-geodinamikai és globális változási folyamatok jobb megértését és összhangját érje el;
- tudományos és infrastrukturális alapot nyújt a földtudományokban a globális változások kutatása számára;
- a Föld-rendszert egységes eszként tekinti, mely magában foglalja a szilárd Földet, a folyékony összetevőket, a statikus és időben változó mennyiségeket is;
- a geodézia hozzájárulását képezi a földtudományokhoz; hidat jelent más tudományágakhoz is, a geodézia helyét és szerepét erősíti a földtudományok területén;
- integrálja az IAG-on belüli tevékenységeket, és hangsúlyozza a geodézia kutatási és alkalmazási területei széles körének kiegészítő jellegét;
- gyűjtik, tárolják a geodéziai-geodinamikai méréseket, modelleket, és biztosítják ezekhez a hozzáférést;
- biztosítja a geodéziatudomány három alapvető területének, nevezetesen:
- a földfelszín geometriája és kinematikája,
- a Föld térbeli tájékozása és forgási viszonyai,
- a Föld nehézségi erőtere, időbeli és térbeli változásainak vizsgálatát;
- szoros együttműködésre ösztönzi a meglévő és majd újonnan felállítandó IAG tudományos szolgálatokat;
- megállapítja a geodéziai-geodinamikai termékek pontosságára, időbeli felbon-

tására és az adatok összhangjára vonatkozó követelményeket;

- azonosítja az IAG szolgálatait által nyújtott termékekben mutatkozó esetleges kimaradásokat, és eljárásokat dolgoz ki áthidalásukra;
- támogatja és fejleszti a geodéziai-geodinamikai kutatások eredményeinek na-

gyobb láthatóságát (visibility);

- központi témája: *A Föld-rendszer globális deformációja és tömegáthelyeződési folyamatai* című témakör (Ilk et al., 2005).

Kulcsszavak: *geodinamika, GEOSS, GGOS, GNSS, GPS, gradiometria, IAG, kozmikus geodézia, szatellita-altimetria, űrgravimetria*

IRODALOM

- Altamimi, Zuheir – Sillard, P. – Boucher, C. (2002): ITRF 2000: A New Release of the International Terrestrial Reference Frame for Earth Science Applications. *Journal of Geophysical Research*. **107**, No. B10, 2214, doi: 10.1029/2001JB000561, 2002.
- Ádám József (1997): A Föld dinamikai folyamatainak nyomon követése kozmikus geodéziai módszerekkel. *Magyar Tudomány*, **10**, 1202-1216.
- Ádám József (1999): A Föld dinamikai jelenségeinek vizsgálata korszerű kozmikus geodéziai mérés technikák alkalmazásával. In: *Közgyűlési előadások 1998*. MTA, Budapest. 609-630.
- Ádám József (2003): A felsőgeodézia helyzete és időszzerű feladatai Magyarországon. *MTA Székközlő 1999-2002*, MTA, Budapest
- Ádám József (2005): Egységes európai geodéziai és geodinamikai alapok létrehozása. *MTA rendes tagsági székközlő előadás* (<http://www.mta.hu/MTA/tagsaji/szekkoglolo/eloadások>, 39.).
- Ádám József – Bányai L. – Borza T. – Busics Gy. – Kenyeres A. – Krauter A. – Takács B. (szerk.) (2004): *Műholdas helymeghatározás*. Műegyetemi, Budapest
- Beutler, Gerhard – Mueller, I. I. – Neilan, R. (1994): The International GPS Service for Geodynamics (IGS): Development and Start of Official Service on 1 January 1994. *Bulletin Géodésique*. **68**, 43–51.
- Beutler, Gerhard (2003): Satellite Navigation Systems for Earth and Space Sciences. *Spatium*, **10**.
- Borza Tibor – Fejes István (2006): GPS-nagy pontosságú alkalmazások: mire jó a földi GNSS infrastruktúra? *Geodézia és Kartográfia*. **58**, 1, 23–27.
- Földváry Lóránt (2004): A 2000-es évek első évtizede: a gravimetriai műholdak korszaka. *Magyar Geofizika*. **45**, 118–124.
- Gupta, Harsh (2005): Mega-Tsunami of 26th December, 2004: Indian Initiative for Early Warning System and Mitigation of Oceanogenic Hazards. *Episodes*. **28**, 2–5.
- Ilk, Karl-Heinz et al. (2005): Mass Transport and Mass Distribution in the Earth System – Contribution of the New Generation of Satellite Gravity and Altimetry Missions to Geosciences. *Proposal for a German Priority Research Program*. 2nd Edition. p. 154. GFZ, Potsdam
- Kugler Zsófia – Barsi Ádám (2005): Űrfelvételek a délkelet-ázsiai szökőár katasztrófa mentési munkálatainak szolgálatában. In: *Doktori kutatások a BME Építőmérnöki Karán*. BME, Budapest, 48–51.
- McCarthy, Dennis D. – Petit, Gérard (eds.) (2004): IERS Conventions (2003). *IERS Technical Note*. **32**, Verlag des BKG, Frankfurt am Main
- Moritz, Helmut (2000): Geodetic Reference System 1980. In: *The Geodesist's Handbook 2000 – Journal of Geodesy*. **74**, 128–133.
- Mueller Iván István (1993): The Role of the International Association of Geodesy in Establishing User Services. In: Montag, H. – Reigber, Ch. (eds.): *IAG Symposium No. 112*, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg. 3–4.
- Mueller Iván István (ed.) (1997): IAG/FAGS Science Services. Presented at the IAG Scientific Assembly, Rio de Janeiro, Brazil.
- Rothacher, Mark (2004): Towards a Rigorous Combination of Space Geodetic Techniques. *IERS Technical Note*, **30**, 7–18.
- Rummel, R (2002): Gravitációs gradiometria: Eötvös Lorándtól a modern űrkorszakig. *Magyar Geofizika*. **43**, 145–150.
- Rummel, Reiner – Drewes, H. – Beutler, G. (2002): Integrated Global Geodetic Observing System (IGGOS): A Candidate IAG Project. *IAG Symposium Vol. 125*. (Ádám József – Schwarz, K. P. (eds): *Vistas for Geodesy in the New Millennium*), Springer-Verlag, 609–614.