



A magyarországi gravimetria története napjainkig

Csapó Géza¹ – Földváry Lóránt²

¹Eötvös Loránd Geofizikai Intézet,
1145 Budapest, Kolombusz utca 17/23.

E-mail: csapo@elgi.hu

²MTA-BME Fizikai Geodézia és Geodinamikai Kutatócsoport,
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Általános- és Felsőgeodézia Tanszék,
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. Kmf. 16. E-mail: fl@sci.fgt.bme.hu



Bevezetés

A geodézia alapvető feladata a Föld alakjának és méreteinek minél pontosabb meghatározása. Ezt a feladatot korábban pusztán *geometriai alapú* módszerekkel igyekezett megoldani. A Föld aktuális alakja azonban szoros összefüggésben van a belső tömegelrendeződéssel és a geodinamikai folyamatok alakulásával (pl. lemeztektonika) is. A tömegek méreteinek, elhelyezkedésének vizsgálatával a geofizika foglalkozik – *fizikai alapú* vizsgálati módszerekkel (többek között gravitációs módszerrel). Ezért a geodézia és a geofizika egymástól elválaszthatatlan akkor, amikor a Föld aktuális alakjának tanulmányozásáról beszélünk [CSAPÓ, 2005]. Jelen dolgozatban először a gravitációs mérések alapfogalmait (mérőberendezések, mérési közegek) ismertetjük, majd a hazai gravitációs kutatások/mérések rövid történetét igyekszünk áttekinteni. Végül a gravimetria aktuális feladatait, valamint a korszerű mérési módszerek várható hatásait elemezzük.

A gravitációs mérések csoportosítása és az alkalmazott berendezések

A gravitációs módszerrel a nehézségi erőter gradiensei, a nehézségi gyorsulás abszolút és relatív értéke határozható meg. Amikor a *gravitációs mérésekről* általánosságban beszélünk, akkor ingaberendezésekkel, graviméterekkel és gradiométerekkel végzett mérésekre gondolunk. A történeti fejlődés során először a különböző ingaberendezések (relatív és abszolút ingák) terjedtek el. Ezekkel a műszerekkel a szintfelület görbületi viszonyai és a nehézségi erő horizontális változásai (gradiensei) határozhatók meg, de függőleges irányú változásai (vertikális gra-

diens) nem. További „hátrányuk” az egy állomás leméréséhez szükséges hosszú idő (mintegy 6–8 óra), valamint az, hogy csak síkvidékeken vagy enyhén tagolt domborzatú területeken használható. A XX. század 30-as éveinek végétől ezeket a berendezéseket fokozatosan a graviméterek váltották fel, többek között azért, mert a geofizika, ezen belül a nyersanyagkutatás egyre nagyobb számú földi nehézséggyorsulási mérést igényelt gyors és gazdaságosan végezhető berendezésekkel. A Graviméterekkel közvetlenül határozhatók meg a nehézségi gyorsulás vagy két pont között a nehézségi gyorsulás különbségének értékei. E berendezések előnye egyrészt az, hogy velük egy pont mérése csupán percek (típustól függően 3–10 perc) vesz igénybe, könnyen kezelhetők és szállíthatók. Ezért ma a gyakorlati munkákhoz általában a *graviméteres* méréseket részesítik előnyben; ezekhez a mérésekhez abszolút és relatív gravimétereket használnak. A 60-as évektől kezdődően egyre nagyobb mértékben alkalmazzák az ún. „abszolút gravimétereket” (GABL, JILA-g, AXIS stb.), amelyek általában a szabadesés mozgásegyenlete alapján szerkesztett berendezések. Ezeknél a próbatest esési idejét és az adott idő alatt megtett úthosszat mérik. A relatív graviméterek alapelve az, hogy a nehézségi erő valamely tőle független erővel hasonlítják össze (pl. egy rugó rugalmas erejével). A legújabb – és legnagyobb érzékenységgű – graviméterek az ún. „szupravezető” graviméterek [RICHTER, 1987], amelyeket általában laboratóriumokban alkalmaznak, igen nagy pontosságot (0,1 μGal * alatti) igénylő mérésekhez. A legutóbbi évek műszerfejlesztései a pontosság fokozása helyett/mellett a

* 1 $\mu\text{Gal} = 1 \cdot 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$, a 1 mGal = 1000 μGal (nem törvényes, de a gyakorlatban ma is alkalmazott mértékegység)

mérési műveletek leegyszerűsítését tartják szem előtt: ennek eredményeképpen az elmúlt néhány évben megjelentek a hordozható, a terepi pontonkon is alkalmazható abszolút graviméterek.

A gravitációs méréseket olyan szempontból is csoportosíthatjuk, hogy azokat milyen közegben végzik. Ebben az értelemben földi, tengeri, légi, műholdas és fűrőlyukakban végzett mérésekről beszélünk. A különböző közegekben végzett mérésekhez természetesen a célnak megfelelő berendezéseket fejlesztettek ki.

A *földfelszínen végzett mérések* további két csoportba sorolhatók, az egyik esetben valamely pont aktuális nehézségi gyorsulás értékének meghatározása a feladat, a második esetben viszont azt vizsgáljuk, hogy egy adott pont nehézségi gyorsulási értéke hogyan változik az időben. Ide tartozik a regisztráló graviméteres méréseknek legrégebbi és legismertebb fajtája, az ún. „árapály regisztrálás”, amelynek lényege a környező égitestek (alapvetően a Nap és a Hold) tömegvonzásából származó, periódikusan változó hatás regisztrálása. Bár ez a hatás a teljes nehézségi erőhöz képest igen csekély, azonban a műszerek fejlődésével ezt a hatást terepi mérések feldolgozásánál is figyelembe kell venni. Az árapály kutatás eredményei ma már az önálló tudományágként számon tartott geodinamika számára alapvető fontosságúak. Végül a földfelszínen végzett méréseknek egy speciális fajtája az, amikor egy pont függőlegesen kijelölt egymás fölötti pontok között végzünk méréseket a nehézségi gyorsulásnak az adott földfelszíni ponthoz tartozó vertikális gradiensének ($\partial g/\partial H$) a ($\Delta g/\Delta H$) közelítéssel történő meghatározása céljából.

A *tengeri gravimetriánál* alkalmazott mérési módszerek erősen függenek attól, hogy a felméréendő területen milyen mély a tenger, milyen szállítási módot alkalmaznak, és hogyan határozzák meg a mérési pontok koordinátáit, illetve a szállítóeszköz sebességét. A méréseket a tengeri gravimetria esetében is kezdetben (az 50-es évek elején) ingaberendezésekkel végezték, a műszertechnika fejlődésével azonban ezeknél a munkáknál is a graviméterek vették át a főszerepet. A tengeri méréseknél megkülönböztetjük a partközeli, sekély mélységű területek (shelf) felmérését és a nyílt tengereken végzett méréseket. Az eredmények megbízhatóságát a szállítóeszköz haladási sebességének meghatározási pontossága (Eötvös hatás miatti javítás), a mérési pontok koordináta meghatározási hibája és a berendezésnek a vízszintes helyzetéhez képesti elmozdulá-

sainak javításba vételi lehetősége határozza meg. A tengeri gravimetriai mérések megbízhatósága 1 mGal körüli érték. Hazánkban a 70-es években történtek próbálkozások a Balatonon graviméteres mérésekkel, ahol a vízmélység nem haladta meg az 1–2 métert. A méréseket szélszentes időben, magas háromlábú állványra állított graviméterrel végezték. Az eredmények nem voltak kielégítőek. Kedvezőbb eredményeket értek el a befagyott Balaton jegén (1963) végzett méréseknél, amelyeket *Eötvös* kezdett el ingákkal 1901-ben és 1903-ban.

A levegőben végzett méréseknél (*légi gravimetria*) a műszereket repülőgép fedélzetén vagy helikopteren helyezik el. Ezeknél a méréseknél még fontosabb a szállítóeszköz sebességének minél pontosabb meghatározása. Ilyen méréseket általában a földfelszíni eljárással csak nehezen, vagy egyáltalán nem megközelíthető területeken (öserdők, óceánok stb.) végeznek. Jóllehet, ezen mérések pontossága nem éri el a földfelszíni méréseikéit (többek között a magassági javítás igen korlátozott pontossága miatt), mégis alkalmazzák, mert a gravimetriai „fehér foltokról” jó felbontásban csak ezzel az eljárással nyerhetők információk. Ezt az eljárást hazánkban nem alkalmazták.

Műholdas gravimetria esetén a gravitációs gyorsulást (a műholdas gradiometriai kivételével) közvetve határozzuk meg. A műhold fedélzetére gyorsulásmérőt helyeznek el, amelynek segítségével a műhold pályája mentén a gravitációs gyorsulás-vektorok számíthatók (CHAMP). Egy másik meghatározási mód szerint a két, közel azonos pályán haladó műhold között folyamatosan végzett távolságmérésekből következtethetünk a pálya menti gravitációs gyorsulás értékeire (GRACE). Közvetlen mérési módszer a *műholdas gradiometria*, amelynek lényege, hogy a műhold fedélzetén lévő gradiométerrel gravitációs gradiens méréseket végeznek (GOCE). A műholdas gradiometria mindenképpen új módszernek nevezhető, hiszen 2000 előtt nem volt tisztán gravimetriai céllal felbocsátott műhold, noha az eljárások alapelveinek kidolgozására már a 60-as években sor került. Összességében a műholdas gravimetriáról elmondhatjuk, hogy pár száz km-rel a felszín feletti, kis felbontású, ám nagy mennyiségű mérési adatot szolgáltat. A műholdas módszerek a globális, kontinens-méretű jelenségek észlelésének az egyedüli igazán járható módját jelentik.

Fűrőlyukakban végzett méréseknél a kutatószondában egy erre a célra szerkesztett speciális

gravimétert is elhelyeznek. Fúrólukban alkalmazható graviméter megépítésével az ELGI-ben is próbálkoztak a 70-es években, a gyakorlatban azonban ez a műszer nem vált be.

Gravimetria – történelmi áttekintés

A geodézia intézményesített formájáról Magyarország viszonylatban a kiegészítés óta beszélhetünk. A hazai földmérési intézmény a Magyar Pénzügyminisztérium illetékessége alá került [RÉDEY, 1966]. Önálló magyarországi geofizikai kutatásról pedig 1907 óta beszélhetünk, mert az akkori magyar Vallás- és Közoktatásügyi Minisztérium ekkor kezdte költségvetési pénzből támogatni *Eötvös* önálló gravitációs (és mágneses) kutatásait. Ebben a döntésben nagy szerepet játszott az, hogy az „Internationale Erdmessung” (a geodézia I. világháború előtti nemzetközi szervezete) 1906-ban Budapesten tartotta XV. konferenciáját, ahol *Eötvös* (mint a budapesti magyar királyi Tudományegyetem Kísérleti Fizikai Intézetének igazgatója) beszámolt nehézségi variométerével (a későbbiekben *Eötvös*-inga néven világhírű) terepen végzett eredményeiről [POLCZ, 2003]. Az említett költségvetési támogatással „Geofizikai Intézet” néven önállósult kutatóhely – a Pázmány Péter Tudományegyetem Kísérleti Fizikai Intézetének keretein belül – önálló egységként kezdte meg működését. Feladatait 1919-ben a Pénzügyminisztérium Bányakutatói Osztálya vette át, immár magyar királyi báró *Eötvös Loránd* Geofizikai Intézet néven. 1965-től neve Magyar Állami *Eötvös Loránd* Geofizikai Intézet (ELGI) [lásd: ELGI honlap].

Említettük, hogy a geodézia alapfeladatának tanulmányozásakor a geodézia és a geofizika szorosan kapcsolódik egymáshoz. Érdekes azonban, hogy e két tudományág Magyarországon a kezdetektől fogva külön utakon járt, és ez a kettősség azóta sem szűnt meg. A gravimetriával kapcsolatos országos jelentőségű feladatok (áttekintő jellegű és műszerkalibrációs mérések, országos gravimetriai alaphálózat, nemzetközi hálózatok, gravitációs térképsorozatok kiadása, országos gravimetriai adatbank kezelése stb.) napjainkban a Magyar Geológiai Szolgálat (MGSZ) hatáskörébe tartozik (amelynek felügyeletét az ipari és kereskedelmi miniszter látja el), a kutatásokat pedig nyilvánosan – az MGSZ megbízásából – a Magyar Állami *Eötvös Loránd* Geofizikai Intézet (ELGI) munkatársai végzik. A geodézia geometriai alapú módszereinek témája a Földmű-

velésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium Földügyi és Térinformatikai Főosztálya (FVM FTF) szakmai felügyelete alá tartozik. Ez a szervezeti elkülönülés sok esetben gyakorlati problémákat eredményez, elsősorban abból fakadóan, hogy nincs elvi megállapodás az egyes közhasznú, állami feladatok hovatartozásának (és ennek folyamánaként a finanszírozásának) kérdésében olyan esetekben, amikor a geodéziai munkák a nehézségi erőterrel kapcsolatos adatokat, méréseket is igényelnek. Jó példa erre az országos gravimetriai alaphálózat állami alapmunkáinak finanszírozási kérdése, amelynek bizonytalansága és esetlegessége miatt ez a tevékenység hovatovább ellehetetlenül, jóllehet fenntartása és fejlesztése mindkét szakág – és más tudományágak, valamint a mérnöki gyakorlat – számára is nélkülözhetetlen.

A gravitációs módszer hazai fejlődésének jelentősebb állomásai szorosan kapcsolódnak a mérés- és műszertechnika fejlődéséhez. Az első jelentős munka az osztrák *Robert Daublebsky von Sterneck* nevéhez kapcsolható, aki már 1884-től végzett ingaméréseket hazánk mai területén a róla elnevezett invariabilis relatív-ingával [SZILÁRD, 1980]. A nehézségi gyorsulás abszolút értékének ingaberendezéssel történő első meghatározója *Gruber Lajos* volt 1885-ben, aki ezt a mérést egy *Repsold*-féle reverziós ingával végezte [GRUBER, 1886]. E tudományterületen azonban hazai és nemzetközi vonatkozásban is *Eötvös Loránd* munkásságát tartjuk a legjelentősebbnek; neki köszönhető a róla elnevezett inga világméretű elterjedése és gyakorlati alkalmazása a XX. század első harmadában, és igen fontosak elméleti kutatásai is [SZABÓ, 1999]. Nevéhez fűződik többek között az első részletes geoid térkép elkészítése (Arad környéke) is. Mérései kezdetben alapvetően geodéziai célokat szolgálták, ám a két világháború közötti időszaktól *Eötvös* (is) kénytelen volt mérési tevékenységének egyre nagyobb részét az olajkutatás szolgálatába állítani, mert erre a célra biztosítottak anyagi forrásokat. A hazai gravitációs munkákban jelentős szerepet játszott *Oltay Károly* is, aki a Potsdami Geodéziai Intézetben meghatározott nehézségi gyorsulási értéket 1908–1915 között többször is levezette a Budapesti Műszaki Egyetemen létesített gravitációs alapontra, amely érték a hazai mérések kiinduló értéke lett. Ezzel párhuzamosan 1908–1933 között *Oltay* 110 pontból álló alaphálózatot is létesített munkatársaival, és számos olyan ponton is mért, ahol korábban *Sterneck*, így becsülhető volt a korábbi

mérések megbízhatósága [OLTAY, 1944]. Később *Facsinay László* telepített graviméteres hálózatot a Kisalföldön a korábbi torziós ingamérések kiegyenlítéséhez [FACSINAY, 1942].

A harmincas évek végétől a nehézségi gyorsulásmérésekhez kifejlesztett statikus mérőeszközt, a gravimétert kezdték előszeretettel alkalmazni, amely eszköz azután a 60-as évek végére fokozatosan kiszorította az Eötvös-ingát az iparszerűen végzett hazai nyersanyag-kutatási munkákból (az utolsó terepi ingamérést 1967-ben végezték). Tudománytörténeti szempontból érdemes megemlíteni, hogy *Eötvös* már 1901-ben (!) a világon elsőként szerkesztett gravimétert (bifiláris graviméter), azonban a kísérleti mérések elvégzése után az eszközt nem találta fejlesztésre alkalmasnak, és tovább ezzel a kérdéssel nem foglalkozott [CSAPÓ, 2006]. E graviméter egyetlen példánya ma az ELGI székházában állandó jelleggel üzemeltetett Eötvös Múzeumban látható.

Mint arra *Eötvös* kapcsán közvetve utaltunk: a gravitációs kutatásokat két egymástól eltérő céllal végezték. Egyrészt a Föld alakjának és belső szerkezetének tanulmányozása végett, másrészt nyersanyagkutatás céljából. A földtani célú alkalmazott kutatást hazánkban két intézmény végezte: az ELGI [POLCZ, 2003], illetve 1949-ig a hazai olajipari cég, a MAORT. Az ott végzett kutatásokat 14 évi szünet után 1963-tól az Országos Kőolaj és Gázipari Tröszt (OKGT) Szeizmikus Kutatási Üzemében (SZKÜ) akkor megalakult gravitációs osztály vette át. Az OKGT jogutódja 1991-től a Magyar Olajipari Zrt. (MOL), amely intézmény a gravimétriai kapcsolatos mérési feladatokat a Geofizikai Szolgáltató Kft.-nek (GES) adta át. E szervezet ma is végez terepi gravimétriai méréseket [GOMBÁR ET AL, 2002]. E mérések eredményeinek tudományos célra történő hasznosítására azonban csak évek múlva kerülhet sor – üzleti titokra való hivatkozás miatt.

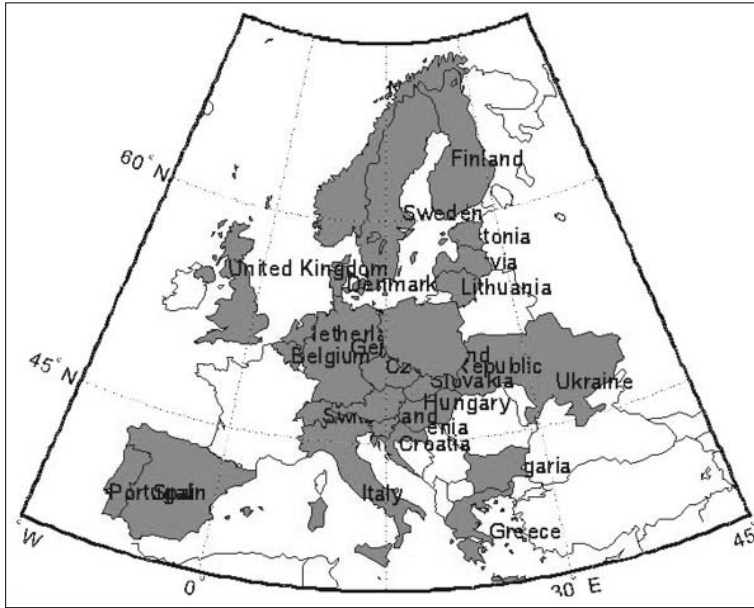
A hazai gravimetria fejlődésének jelentős állomása volt az egész ország területét lefedő első országos gravimétriai alaphálózat (MGH-50) létrehozása [FACSINAY–SZILÁRD, 1956] az 50-es évek elején, ami lehetővé tette az egyre sokasodó graviméteres mérési eredmény egységes rendszerben történő kezelhetőségét. Ez a munka nagymértékben hozzájárult a gyakorlati mérések eredményeinek földalaki vizsgálatok céljaira történő alkalmazásához is. Ilyen kutatási témák voltak például az árapály hatása a graviméteres mérések eredményére [LASSOVSKY–OSZLACZKY, 1952] vagy a geoid undulációival kapcsolato-

tos vizsgálatok, amelyekkel azt tanulmányozták, hogy milyen hatással van egy asztrogeodéziai ponton mért függővonal elhajlásra a környezet topografikus hatása [RENNER, 1952, 1957].

A 60-as évek közepén létrejött a volt szocialista országok geodéziai szolgálatainak (SZOGSZ) együttműködési megállapodása a közös célokat szolgáló geodéziai-gravimétriai munkák és közös kutatások összehangolására és egy nemzetközi kutatócsoport felállítására. A SZOGSZ gravimétriai munkáiban hazánk részéről az ELGI vett részt. Létrehozták az ezen országok területére vonatkozó első „Nemzetközi Gravimétriai Hálózatot” (MEGP), és országos graviméter kalibráló alapvonalakat telepítettek. Közös graviméter vizsgálatokat végeztek a nagypontosságú mérésekhez használható (és abban az időben korszerűnek számító) Sharpe és Worden graviméterek egyedi műszaki paramétereinek megállapítása céljából, és mérési metodikát dolgoztak ki ezekhez a mérésekhez. Ez a számunkra is gyümölcsöző együttműködés a 80-as évek közepére (elsősorban anyagi okok miatt) lassan háttérbe szorult.

1990 után (a politikai változások egyik következményeként) feloldották a gravimétriai adatokra addig érvényes „szigorúan titkos” minősítést, és lehetővé vált bekapcsolódnunk a nemzetközi gravimétriai programokba. Ennek első eredménye az USA Védelmi Térképész Szolgálatának (DMA) a WGS-84 elnevezésű referencia ellipszoid korszerűsítése céljából végzett munka volt 1993–95 között, amelynek során hazánkban is több abszolút graviméteres állomás létesült. Ekkor hozták létre 11 európai ország területére vonatkozóan az „Egységes Európai Gravimétriai Hálózatot” (UEGN-93) [BOEDECKER, 1993]. A hálózathoz később az alapító országokon kívül további 14, köztük hazánk is csatlakozott [CSAPÓ–VÖLGYESI, 2002]. A bővített hálózat neve UEGN-2002 (*1. ábra*). Kiegyenlítésére 2005 végén került sor, amely munkát a Bajor Tudományos Akadémia irányításával az ELGI és a BME munkatársai végezték.

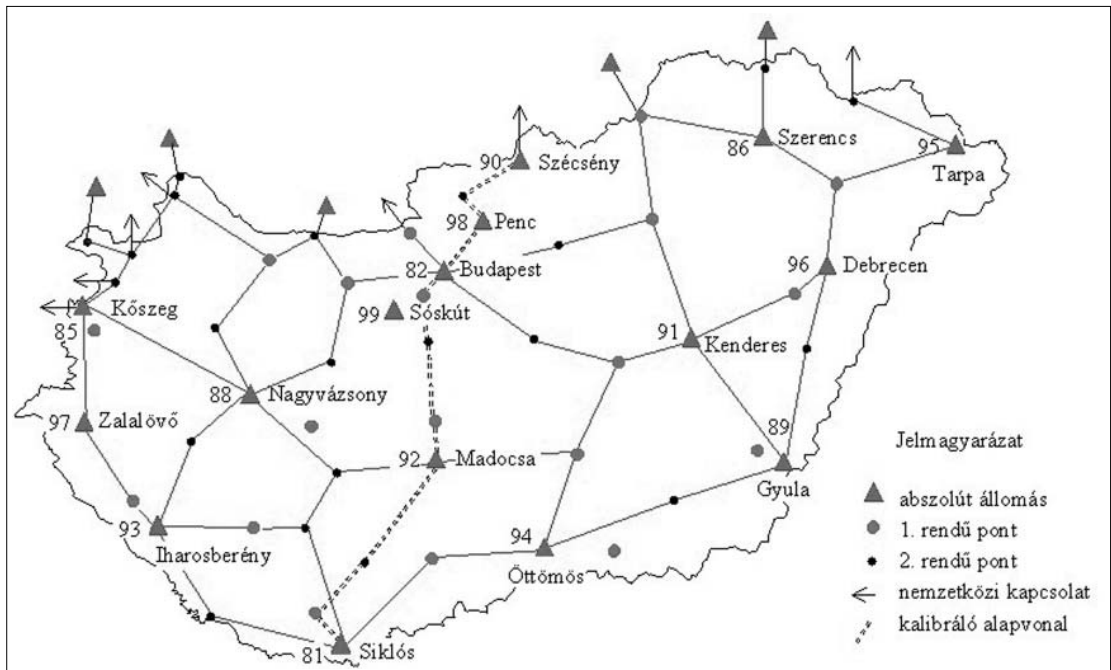
Az UEGN magyarországi szakasza az országos gravimétriai hálózat (MGH-2000) célszerűen kiválasztott 45 pontjából létesített hálózat, amelyben a 16 hazai abszolút állomáson kívül I. és II. rendű bázispontok szerepelnek. Ezeket részben egymással, részben a szomszédos országok (Ausztria, Szlovákia) megfelelő pontjaival összemértük. A 45 pontból álló hálózat kiegyenlítés utáni hálózati középphibája $\pm 14 \mu\text{Gal}$ (*2. ábra*).



1. ábra Az Egységes Európai Gravimetriai Hálózat (UEGN) résztvevő országai (2006-os állapot)

A gravimetriai alaphálózat állami alaplunckáin kívül mind geodéziai, mind geofizikai szempontból fontosak a nehézségi erőter nem árapály

Geodéziai Observatóriumában (FÖMI KGO), valamint a soproni Geofizikai és Geodéziai Kutató Intézetben (GGKI) folynak.



2. ábra Az UEGN magyarországi szakasza

jellegű – lokális és regionális – változásainak vizsgálatával kapcsolatos munkák, a geodinamikai célú árapály regisztrálás, az országos felsőrendű szintezési vonalakon végzendő graviméteres mérések, valamint a függőleges kéreg- és felszínmozgás komplex módszerekkel történő vizsgálata. Mindezekről számos publikáció található a magyar szakirodalomban.

Gravitációval kapcsolatos ismereteket a felsőoktatási intézményekben oktatnak, amely helyeken elméleti kutatásokat is végeznek a gravimetriának a geodéziai feladatok megoldásához kapcsolódó témáiban (pl.: BME), további kutatások a Budapesti Geodéziai és Térképészeti Rt.-nél, a FÖMI Kozmikus

A hazai gravimetria jelenlegi helyzete és feladatai

A geodéziai gravimetria témakörében végzett munkák eredményei/termékei iránt a GPS-szel végzett helymeghatározás kapcsán komoly felhasználói igény merült fel az elméleti földalakra (geoid) pontosítására irányuló kutatásokhoz. Mégis, a gravimetria jelenlegi hazai helyzetét ellentmondásosnak ítéljük meg. Egyrészt az eddig elvégzett munkák alapján szólni kell a nemzetközileg is elismert magas színvonalú országos alaphálózatról (MGH-2000), amely hálózati pontosság szempontjából Európa legjobbjai közé tartozik, és jelenleg jó keretet biztosít a gyakorlati graviméteres munkákhoz. A komplex módszerekkel végzett lokális és regionális mozgásvizsgálati munkák eredményei bebizonyították, hogy a gravimetria hasznos információt szolgáltat a geometriai alapú mérések eredményeinek értelmezéséhez [CSAPÓ, 2004]. Ugyancsak jelentős eredményeket értünk el az Eötvös-inga mérési eredmények felhasználási lehetőségeinek tanulmányozásában a geoid pontosítása terén [VÖLGYESI ET AL., 2005] [SZAFIAN ET AL., 2006]. A még meglévő Eötvös-inga anyagok (mérési jegyzőkönyvek, gradiens térképek) digitális adatbankban történő archiválása még évekig tarthat, jelenleg mintegy 25000 állomás adatait tartjuk nyilván az adatbankban.

Másrészt azonban látni kell (és rá kell mutatni) a hiányosságokra is. Ezek egy része az *anyagi források beszűküléséből* származik: a jelenlegi költségvetési „támogatás” az alaphálózat fenntartásának munkáit sem fedezi már, ami előrevetíti annak erkölcsi és fizikai avulását, pusztulását. Igen rossz szemléletnek tartjuk az ún. „alapkutatás” és „alkalmazott kutatás” éles megkülönböztetését. Egyrészt, mert manapság a kettő közötti határvonalat – főleg a geodéziai gravimetriában – meglehetősen mesterkéltén lehet csak megvonni, másrészt, mert a pályázatok zöme az alkalmazott kutatásokat (ide tartoznak az állami alapmunkákkal kapcsolatos kutatások is) nem támogatja. A gravitációs erőter graviméteriai módszerekkel történő tanulmányozásához szerte a világon ma már alapvetően abszolút gravimétereket alkalmaznak éppúgy, mint az országos alaphálózat újraméréséhez vagy a hálózati pontok sűrítéséhez. Ezek a berendezések számunkra elérhetetlenek. Komoly kiadást jelent egy-egy ilyen mérés megrendelése a külföldi cégektől. Számos további olyan graviméteriai kutatás lenne szükséges, amelynek nincs meg az anyagi feltétele (pl. vertikális gradiens mérések, adathiá-

nyos helyek – graviméteriai „fehér foltok” – sűrítő graviméteres mérései, lokális és regionális mozgásvizsgálatok stb.).

A nehézségek másik csoportját a *személyi feltételek* egyre nehezebb biztosítása, illetve fenntartása jelenti. Ez a probléma már a felsőoktatási képzésnél kezdődik, mert a hallgatók nem látnak perspektívát a felsőgeodéziai (ahová a gravimetriát is beleértjük) kutatásokban. Nincs kellő mennyiségű és minőségű gyakorlati képzés (általában a korszerű műszereket még csak nem is láthatják, tehát ezek használatát sem tudják elsajátítani), és a diploma megszerzése után ilyen témájú ambícióikkal munka nélkül maradnak, mert sem az egyetemek, sem más intézmények nem tudnak számukra munkalehetőséget biztosítani. Számos példa utal arra, hogy a gravimetriával foglalkozni kívánók tartósan/végleg külföldi egyetemeken vagy cégeknél helyezkednek el. Nem utolsó szempont az sem, hogy a továbbiakban – a tudományos fokozatok (PhD, DSc) megszerzésénél – alapvető bírálati szempont az ún. „impakt faktoros” publikációk száma. Tudott, hogy ebben a témában alig-alig akad olyan folyóirat, amelyik ebbe a körbe tartozik, ami szintén megnehezíti az e témában kutatók helyzetét, és indokolatlan hátrányba hozza őket a más tudományágakban tevékenykedő aspiránsokhoz képest.

Nem jobb a helyzet a hazai munkaerő piacon sem. Az egyetlen hazai munkahely, ahol graviméteriai mérésekkel és alap/alkalmazott kutatásokkal egyaránt foglalkoznak az ELGI. Itt a terepi méréseket (a tervezéstől az észlelésig és a mérések feldolgozásáig) és a kutatási feladatokat együtt mindösszesen három-négy kutató látja el (vagy nyugdíjas, vagy nyugdíj közeli alkalmazásban)! Terepi mérésen az állami alapmunkákat, nemzetközi együttműködésben végzendő méréseket itthon és a határokon túl és a csekély számú nyersanyagkutatási célú mérést értjük. Az „alapkutatást” végző intézményekben általában vagy korszerű graviméteriai műszerek nincsenek, vagy anyagi lehetőség nincs arra, hogy a kutatási eredményeket igazoló vagy az azokhoz szükséges méréseket megrendeljék.

A problémák harmadik csoportjába azt a hiányosságot soroljuk, hogy (általában) nincs megfelelő együttműködés azok között a hazai intézmények között, amelyek geodéziai-graviméteriai kutatásokkal foglalkoznak. Ez egyrészt az előző szakaszokban foglaltakból következik, másrészt abból a szerintünk hamis illúzióból, miszerint az együttműködés a résztvevők számával arányosan

csökkenti az egyes kutatók presztízsét, különösen, ha az együttműködők nem azonos kutatóhelyen tevékenykednek.

Korszerű mérési módszerek várható hatása

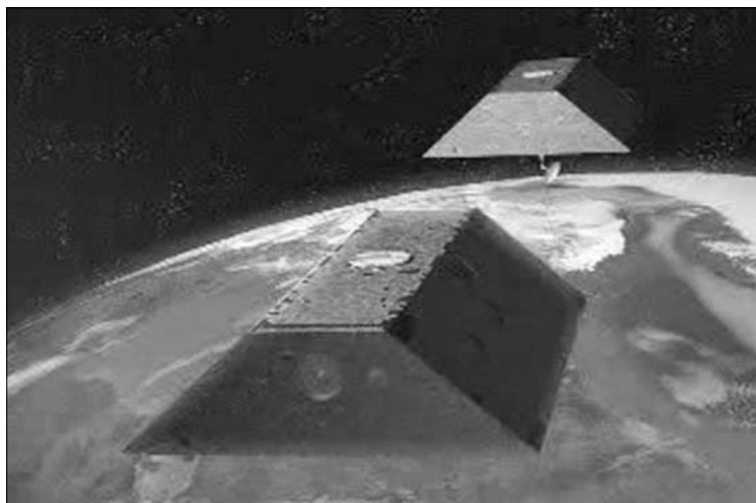
Az utóbbi években egyre több cég fejlesztett ki terepi pontokon is alkalmazható abszolút gravimétereket (3. ábra). Ezek alkalmazása alapjaiban változtatja meg a gravimetriai hálózatok tervezésének szemléletét: a hordozható abszolút graviméterek lehetővé teszik nagyszámú alappont rövid időintervallumban (6-10 nap) történő létesítését és rendszeres gazdaságos újramérését. Ez nem csupán az alaphálózat időbeni stabilitása biztosításának szempontjából fontos, de lehetőséget ad a nehézségi erőter regionális időbeli változásainak



3. ábra Abszolút graviméter a terepen

tanulmányozásához is. Az abszolút módszerrel meghatározott „g” értékek megnövekedett száma nagymértékben növeli a relatív mérésekkel sürített alacsonyabb rendű hálózati részek megbízhatóságát is. Úgy tűnik, hogy a közeli jövőben országos alaphálózatok létesítéséhez kizárólag abszolút gravimétereket alkalmaznak majd: egyrészt velük egy hálózat létesítése évek helyett egy-két hónap alatt elvégezhető, másrészt elmaradnak a relatív gravimétereknél szükséges méretaránytényező meghatározások és az ezek változásaiból adódó javítások, végül pedig az adott ország nehézségi gyorsulási tartományának nagyságától függetlenül a hálózati pontok homogén és nagyobb megbízhatóságú rendszert eredményeznek.

Szót kell ejtenünk a műholdas gravimetria eredményeinek várható szerepéről is. Ismeretes, hogy a műholdas mérések *globális gravitációs modell* előállítását teszik lehetővé. Ezeknek Magyarország viszonylatában csak a nagyon hosszuhullámú, nagyméretarányú vonások esetleges észlelhetőségében, pontosításában lehet szerepe. Mivel Magyarország területe a pár száz km-es pályamagasságú műholdak szemszögéből határozottan piciny, ilyen jellegű vizsgálatoknak meglehetősen kérdéses a kimenetele. Komolyabb feladat (de az előzőnél sokkal egyértelműbben hasznos eredményt ad) a műholdas és a terepi mérési eredmények együttes kiegyenlítése és az eredmények értelmezése. Ez nem a magyarországi gravitációs hálózatot, hanem a globális gravitációs modellt pontosítaná, illetve annak felbontását javítaná. A műholdas gravimetriából számolt globális modellek alkalmasnak bizonyulnak abszolút graviméteres mé-



4. ábra A GRACE műhold

rések egyes időben változó komponenseinek modellezésére és korrekciójára [FUKUDA–FÖLDVÁRY, 2001]. Ezt a feladatot a GRACE műhold (lásd 4. ábra) mérési eredményeiből számított hónapos felbontású globális gravitációs modellek segítségével lehet elvégezni. A hónapos felbontás jó lehetőséget biztosít szezonális változások becslésére, így pl. hidrológiai folyamatok (pl. talajvízszint ingadozás), az atmoszféra és az óceánok nagyobb tömegátrendeződései. Ezen szezonális modelleket egy regisztráló abszolút graviméter idősorának feldolgozása során javításként vehetjük figyelembe egyéb hosszuperiódusú változások elemzése céljából (pólusmozgás hatása, kéregmozgások, tengerszintváltozások stb.). Ez utóbbi hasznosítást számunkra megnehezíti, hogy nem rendelkezünk abszolút graviméterrel, így regisztrálási céllal üzemeltetett abszolút graviméterrel sem.

IRODALOM:

- Boedecker, G. 1993:* Ein einheitliches Schweregrundnetz für Europa: Unified European Gravity Network (UEGN). Zeits.f. Verm.wesen 8/9, pp. 422–428.
- Csapó G.–Völgyesi L. 2002:* Hungary's New Gravity Base Network (MGH-2000) and its Connection to the „European Unified Gravity Network”. Springer Verlag
- Csapó Géza 2004:* Felszínmozgások komplex vizsgálata Debrecen térségében. OTKA zárójelentés, ELGI adattár
- Csapó Géza 2005:* Az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet geodéziai vonatkozású gravitációs kutatásai napjainkig. Magyar Geofizika, 46., 2005/2, pp. 66–76.
- ELGI honlap: <http://www.elgi.hu/magyar/index.html#T>
- Facsinay László 1942:* A dunántúli relatív ingaállomásokon mért nehézségi anomáliák újabb meghatározása graviméterrel. (Doktori értekezés), Pécs
- Facsinay L.–Szilárd J. 1956:* A magyar országos gravitációs alaphálózat. Geofizikai Közlemények, V., 2., pp. 3–49.
- Fukuda, Y.–Földváry L. 2001:* Environmental Corrections for the Precise Gravity Observations by Mean of Satellite Gravity Data, Journal of Geodetic Society of Japan, Vol. 7, No. 2, pp. 679–685 (japánul, angol abstract-tal)
- Gombár L.–Göncz G.–Késmárky I.–Kloska K.–Molnár K.–Nagy Z.–Pogácsás Gy.–Szilágyi L.–Véges I. 2002:* A felszíni geofizikai kutatás 50 éve a kőolajiparban. GES Kft. kiadványa, Budapest
- Gruber Lajos 1886:* A földnehézség meghatározása Budapesten 1885-ben. MTÉ 4., pp.: 80–83.
- Lassovszky K.–Oszlaczky Sz. 1952:* A Nap és a Hold gravitációs hatása a graviméter mérésekre. Geofizikai Közlemények, I., 3., pp. 1–17.
- Oltag Károly 1944:* Relatív gravitáció-mérés invariábilis ingákkal. M.Tov.Int., Budapest
- Polcz Iván* összeállításában 2003: Az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet története I. (ELGI kiadvány), Budapest
- Renner János 1952:* A függővonalelhajlás. Az MTA Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei, V., 1–2. Budapest
- Renner János 1957:* A függővonalelhajlások regionális jellege. Geofizikai Közlemények, VI., 1–2., pp.: 61–67, Budapest
- Rédey I. 1966:* A Geodézia Története, Egyetemi jegyzet, BME, kézirat, Tankönyvkiadó, Budapest
- Richter, Bernd 1987:* Das supraleitende Gravimeter. D.G.K., Reiche C: Dissertationen, Heft Nr.329 (Verlag des Instituts für angewandte Geodäsie), Frankfurt am Main
- Szabó Zoltán 1999:* Az Eötvös-inga históriája. Magyar Geofizika, 40, 1, pp.: 26–38.
- Szafián P.–Timár G.–Horváth F. 2006:* Régi adat nem vén adat: Az Eötvös-ingás mérési eredmények újraélesztéséről. Magyar Geofizika, 46, 4, 146–151.
- Szilárd József 1980:* Sterneck érdemei a nehézség erő mérése terén. Geodézia és Kartográfia, 1980/2., Budapest
- Völgyesi L.–Tóth Gy.–Csapó G.–Szabó Z. 2005:* Az Eötvös-inga mérések geodéziai célú hasznosításának helyzete Magyarországon. Geodézia és Kartográfia, 57, 5, 3–12.

The History of the Hungarian Gravimetry So Far

Csapó, G. – Földváry, L.

Summary

In the recent paper first basic terms related to gravimetric measurements are discussed from the aspects of instrumentation and location, subsequently the history and recent situation of the Hungarian gravimetry is on the focus. The paper finally alludes to the actual tasks and probable effects of state-of-the-art measurement techniques on Hungarian gravimetry.