

A geoidmeghatározás jelenlegi helyzete Magyarországon

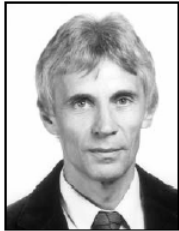
Dr. Völgyesi Lajos egyetemi docens^{1,2}, dr. Kenyeres Ambrus főtanácsos³
dr. Papp Gábor tudományos főmunkatárs⁴, dr. Tóth Gyula egyetemi docens^{1,2}

¹ BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszék

² MTA-BME Fizikai Geodéziai és Geodinamikai Kutatócsoport

³ FÖMI Kozmikus Geodéziai Obszervatórium

⁴ MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet



Az MTA Geodéziai Tudományos Bizottságának Felsőgeodéziai és Geodinamikai Albizottsága legutóbbi ülésén áttekintette a geoidmeghatározás jelenlegi helyzetét és eredményeit Magyarországon, megvitatta a fontosabb intézményekben ezzel kapcsolatban folyó kutatási fejlesztési tevékenységet és a jövőbeli terveket.

Jelenleg három intézményben folynak jelentősebb munkák és kutatások a geoid magyarországi felületdarabjának részletes meghatározására: a FÖMI Kozmikus Geodéziai Obszervatóriumában, az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézetében és a BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszékén. A következőkben röviden bemutatjuk az egyes intézményekben folyó kutatás-fejlesztés jelenlegi helyzetét, tekintést is adva a jövőbeli tervekre.

FÖMI Kozmikus Geodéziai Obszervatórium

Az 1970-es évektől kezdődően az Állami Földmérésnek úttörő és vezető szerepe van a geodéziai gyakorlatot is szolgáló geoid megoldások előállításában. A kezdeti „analóg” asztrogravimetriai geoid térképeket (Gazsó, Taraszova 1984) a 90-es években felváltották a digitális gravimetriai geoid változatok. Az 1999-ig terjedő három évtized eredményeiről már jelent meg összefoglaló szaklapunkban (Ádám, Gazsó, Kenyeres, Virág, 2000). A geodézia valamennyi területére, így a geoid fejlesztésére és alkalmazására is a GPS termékenyítő hatással volt. Ma már a cm-es pontosságú geoid előállítása reális cél, és erre van is igény a terepi gyakorlat részéről. Hazánkban a KGO-

ban elkészült első kombinált, GPS-gravimetriai geoid (OGG98B) hozott áttörést a geoid terepi alkalmazásában, lehetővé téve a GPS technikára alapozott magasságmeghatározást (Kenyeres, 1992). A nem színtezett OGPSH pontok tengerszint feletti magasságát már az OGG98B GPS-gravimetriai geoiddal számították (Kenyeres, Seeman, 1999). Az így előállított, tájékoztató jellegű magasságok pontossága mindössze 3–5 cm. Ez a gyengébb pontosság nem első sorban az alkalmazott geoid számlájára írható, hanem többek között az OGPSH pontok mérési stratégiája (egy órás periódusok) csak a vízszintes komponens cm-es pontosságára koncentrált, és az illesztéshez használt színtezett pontok nem mindegyike volt még ismert az EOMA rendszerében.

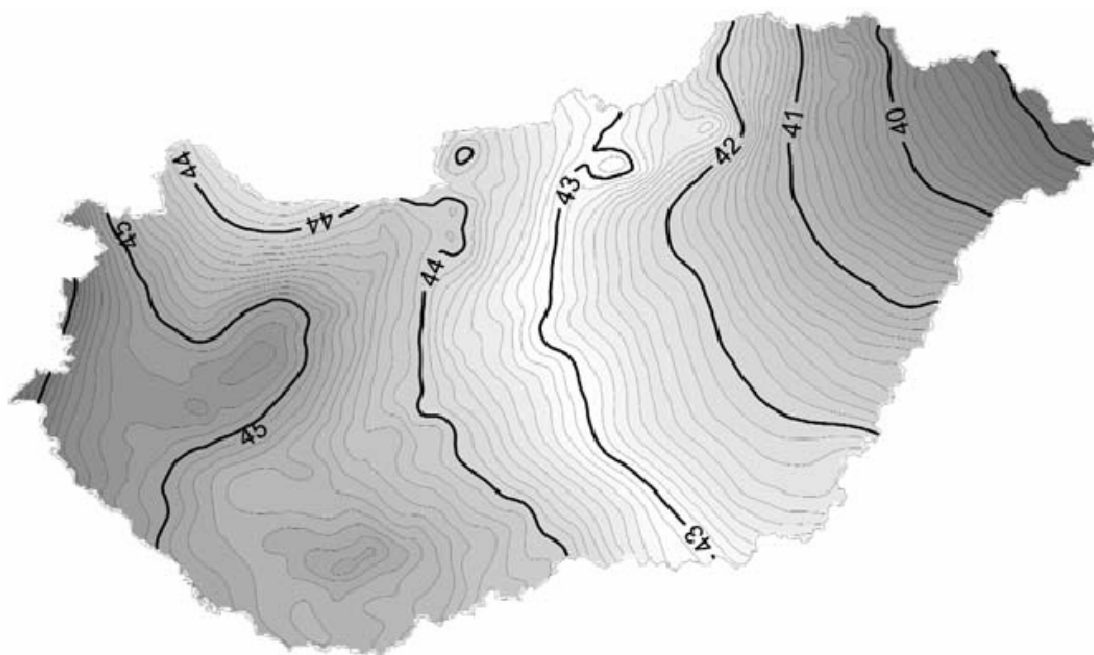
Kutatásainkat a cm-es pontosságú, a terepi geodézia számára is használható geoid megoldások előállítása irányába végezzük. A lehetőségekhez képest legmegbízhatóbb gravimetriai adatbázis összeállítása és az optimális számítási eljárás kiválasztása mellett egyedi szempont a tényleges gyakorlati alkalmazhatóság a leendő GPS magasság meghatározási feladatoknál. A 2000-ben elkészült gravimetriai (HGEO2000) és GPS-gravimetriai (HGGG2000) geoid változatok egy hosszadalmas kutatás-fejlesztési munka termékei, amelyek a földmérési munkálatoknál a jelenleg „hivatalos” megoldások. A gravimetriai geoid pontosságát nehéz reálisan megbecsléni, mert jelenleg kevés a megbízható, egységes rendszerben ismert GPS/színtezési pont. Az ismert színtezett OGPSH pontok (kb. 270 db alkalmas csak minőségi összevetésekre) alapján a relatív

pontosság inhomogén, 1–4 ppm. Abszolút értelemben az eltérések a 2–3 dm-t is elérhetik, ez az eredmény teljes összhangban van a független geoid megoldásoknak az 1. táblázatban bemutatott statisztikáival.

Részletes vizsgálatainkban, amelyből PhD értekezés is született (Kenyeres, 2001) bemutattuk, hogy az ellentmondásokat döntően a geoid hosszú hullámú komponensében lévő eltérések okozzák. Ezek az ellentmondások azonban ismert illesztési eljárásokkal minimalizálhatók, így állítható elő a kombinált GPS-gravimetriai geoid, amely eszköze a GPS magasságméréseknek. A kutatás-fejlesztés fő irá-

nya tehát a geoid finomszerkezetének a minél pontosabb meghatározása.

A GPS-gravimetriai geoid az adott rendszerű (ETRS89) GPS koordináták (ellipszoid feletti magasságok) és a gravimetriai geoid kombinációja. A HGGG2000 változatot az EUREF rendszerének 2002. évi újra-meghatározását követően fel kellett újítani. A 2004-ben elkészült – az 1. ábrán látható HGGG2004 változat 2005-től kerül be a FÖMI adatszolgáltatási rendszerébe. E felújítás még nem a geoid finomszerkezetének pontosítását, hanem az új rendszerben adott GPS hálózati pontokhoz történő újraillesztését jelentette.



1 ábra HGGG2004 geoid

A mérnöki gyakorlat részéről fokozódó igény van a geoid alkalmazására a GPS-szel végzendő magasság meghatározási munkáknál, ezért a HGGG2004 geoid változat a kereskedelmi GPS feldolgozó szoftverek által kívánt formátumban is elérhető lesz.

Az illesztett GPS-gravimetriai geoid változatok alapja a geoid finomszerkezetét nyújtó nagy pontosságú gravimetriai geoid. Újbóli előállítás, eseti vagy rendszeres felújítása csak akkor racionális, ha érdemi, új adatok bevonására van lehetőség, illetve ha újabb számítási eljárások jelennek meg. Miután geoid témakörben az Állami Földmérés keretei között is korlátozott kapacitások állnak rendelkezésre kutatás-fejlesztésre, fontosnak tartjuk szakterületünkön az egyetemi és a gyakorlat orientált intézmények közötti együttműködést, amely lehetővé teszi az új kutatási eredmények beépítését a gyakorlatot szolgáló, minél pontosabb és megbízhatóbb geoid változatok előállításához. Erre a tényleges együttműködésre kiváló példák a közös OTKA

példák a közös OTKA pályázatok, ahol bár az anyagi lehetőségek szerények, de legalább egy minimális szintű közös munkát támogatnak.

Az elméleti fejlesztések mellett kiemelt fontosságú az adatbázisok karbantartása, bővítése. A gravimetria téma ismert hanyatlása miatt az adatbázis bővítése jelenleg csak külső források bevonásával lehetséges. Jelenleg a Mecsekérc Rt. megbízásából a Mecsek területén és a Dunántúl kisebb fehér foltjainál az EOMA sűrítési munkálatokhoz végeztenek gravimetria méréseket. Ezek az új adatok már beépülnek a geoid adatbázisába.

Figyelembe véve a hazai és nemzetközi szinten a geoidszámításhoz felhasználható újabb adatbázisok megjelenését (itt elsősorban a műholdas gradiometriai programok geopotenciális modelljeire gondolunk, amelyek minőségi ugrást hoznak a geoid közepes és hosszúhullámú spektrális tartományának pontosságában) már a közeljövőben várható egy új

gravimetriai geoid változat meghatározása az Állami Földmérés keretei között.

2000 és 2005 között a Dunántúlon a 2–3–4–5 poligonokban és a kapcsolódó félpoligonok mérésével befejeződik az Egységes Országos Magassági Alaphálózat (EOMA) II–III. rendű sűrítése. A dunántúli hálózatrészekben a III. rendű sűrítést (Kenyeres, Csizmadia, Horváth, Kisasszondi, 2002) a FÖMI KGO által kidolgozott GPS/geoid technológiával eredményesen végzik (Kenyeres, Borza, 2000). Az egyébként időben rendkívül elhúzódo munka hosszú szünet utáni gyorsított lezárását tette lehetővé a hatékony III. rendű GPS technológia. (Hasonlóan segített a GPS egy évtizeddel korábban az EOVA IV. rendű hálózatának befejezésében is!) A mérési-feldolgozási technológia eddigi eredményei a beépített ellenőrzési és minőség-biztosítási mechanizmusok által bizonyította, hogy ténylegesen képes cm-nél jobb pontosságú magasságokat produkálni. Az eddigi eredményekről szaklapunk egy későbbi számában fogunk részletesebb beszámolót adni.

E munka egyik „melléktermékeként” a Dunántúl területére 2006-tól rendelkezésre fog állni egy kb. 30 km-es pontsűrűségű és szub-cm-es pontosságú GPS-szintezési adatbázis, amely alkalmas lesz a leendő gravimetriai geoid-megoldások tesztelésére.

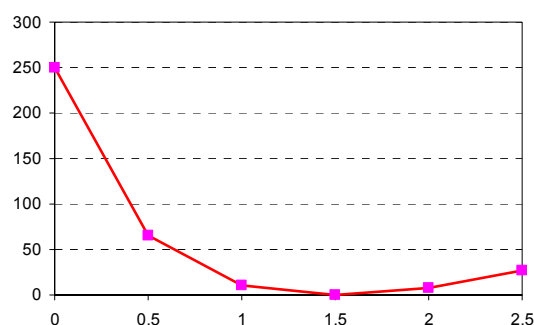
Az EOMA III. rendű adatbázis további, gyakorlati szempontból talán még jelentősebb, jövőbe mutató terméke a korábban már tárgyalt GPSgravimetriai geoidnak (szub-) centiméteres pontosságú megvalósítása. Ez a geoid a GPS technikával bárhol és bármikor lehetővé teszi majd a cm-es pontosságú magasságmeghatározást, szintezési pontoknak a mérésekbe való bevonása nélkül! A méréseknek mindössze az ETRS89 rendszerre kell vonatkozniuk, ami a kiépülő GPSnet.hu permanens állomás hálózatunk alapján egyre több helyen valósítható meg. Kissé most még futurisztikusan hangzik, de gondolatban egy lépéssel még tovább léphetünk: az aktív hálózati állomások által előállított és az Interneten keresztül elérhető RTK korrekciók használatával akár valós időben végezhetünk majd magasságmeghatározást (bár csak korlátozott, a szintezéstől elmaradó, kb. cm-es pontossággal)! A műholdas helymeghatározó technológiák jelenlegi szintjén még persze ez a lehetőség a permanens állomások környezetére korlátozódik és pontossága is korlátozott, azonban meggyőződésünk szerint néhány éven belül valósággá válik. A már ma is létező hálózati RTK technológiák (Trimble VRS, Geo++ FKP) tudják a cm-es pontosságot a vízszintes koordinátákra, az új GPS civil frekvencia és elsősorban az európai Galileo

rendszer belépésével a magasság összetevő pontossága is el fogja érni ezt a szintet. Ráadásul ez a virtuális magassági alapfelület a digitális világban időtállóbb lehet, mint az azt részben definiáló GPS/szintezési hálózat, hiszen a pontjelre csak a felület definiálásához volt szükség, az információ a pontok esetleges pusztulásával nem vesz el.

MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet

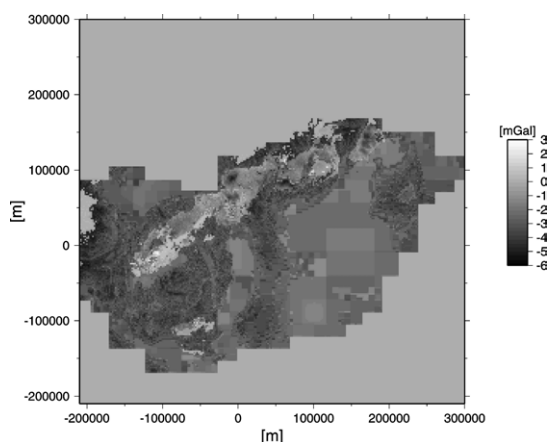
A csillagászati szintezés, azaz a függővonal-elhajlás adatok felhasználása a geoid meghatározásában az utóbbi két évtizedben háttérbe szorult, pl. a gravimetriai módszerekkel szemben. Ennek oka elsősorban a rendelkezésre álló viszonylag kis számú adatban rejlik, amely egyenes következménye az elhajlás értékek hosszadalmas és fáradságos meghatározásának. A mai korszerű műszerek (pl. CCD érzékelővel ellátott zenitkamerák) azonban lehetővé teszik, hogy akár 5-10 asztrogeodéziai pontot is meghatározzunk egyetlen éjszaka alatt néhány tized szögmásodperc megbízhatósággal (Bürki, Müller, Kahle 2004; Hirt, Reese, Enslin 2004). Így természetszerűleg felvetődik annak igénye, hogy a függővonal-elhajlást, mint a gravitációs adatoktól a mérési technológia tekintetében független mennyiséget, ismét felhasználjuk a geoid pontosítására ill. megfelelő sűrítés után tisztán „geometriai geoid” kiszámítására. Mivel ez utóbbi esetben a geoidundulációk meghatározása hálózatkiegyenlítéssel történik (Papp és mások, 2004), szükséges pl. a súlyozás kérdésének vizsgálata is. A Kárpát-Pannon térség 3D litoszféra modelljéből analitikusan kiszámítható, a valóságot kielégítően megközelítő erőtermodell (Kalmár és mások, 1995; Papp és Kalmár, 1996; Papp, 1996) lehetőséget biztosít a csillagászati szintezés kiegyenlítésének tanulmányozására is. Ugyanis mind a kiinduló adatok (függővonal-elhajlások) mind a numerikusan meghatározni kívánt mennyiségek (geoidundulációk) kiszámíthatók és így az analitikusan (Nagy és mások, 2000) ill. numerikusan kapott eredmények összevethetők (Benedek, 2000). Az eddigi vizsgálatok szerint úgy tűnik, hogy a függővonal-elhajlási adatokat a távolság reciprokának $3/2$ -ik hatványával súlyozva kapunk realisztikus pontosság becslést az a posteriori súlyegység középhibán keresztül. A magyarországi asztrogeodéziai hálózat 138 pontjában szimulálva az erőter paramétereiket a geoidundulációk megbízhatósága ± 10 cm nagyságú. A valódi, minden bizonnyal hibával terhelt mérések feldolgozása ± 19 cm-es középhibát eredményezett ugyanezen súlyozással. A távolság reciprok függvény ($1/t^a$) kitevőjének vál-

toztatása erősen módosítja a súlyegység középhiba értékét, de egyezés a valódi középhiba (σ_0) és a kiegyenlítésből becsült középhiba (μ_0) között csak az $1/t^{3/2}$ alakú súlyfüggvény esetén áll fenn (2. ábra).



2. ábra. Összefüggés a súlyegység a posteriori varianciái μ_0 és az $N_{analitikus} - N_{csill.szint.}$ unduláció eltérések valódi varianciái σ_0 között a súlyozási módszer függvényében

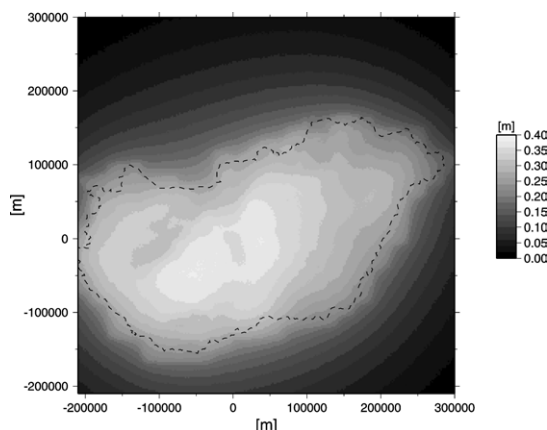
Annak vizsgálatához, hogy milyen pontsűrűség szükséges néhány cm-nyi, a jelenlegi gravimetriai megoldásokkal megegyező pontosságú geoidundulációk (1. Táblázat) levezetéséhez szintén a szintetikus modellezés módszere használható hatékonyan.



3. ábra. A homogén és az inhomogén topográfia tömegvonzási hatása közötti különbség (δg_a) gravitációs zavarra átszámítva a tengerszinten

Az elmúlt évek során pontosításra került a folyamatosan bővített litoszféra modell felszíni topográfiát leíró része. Magyarország 1:500000 méretarányú geológiai térképe alapján a felszíni illetve a felszín közeli kőzeteket az $1990 \text{ kg/m}^3 \leq \rho \leq 2800 \text{ kg/m}^3$ tartományban 27 különböző sűrűség osztályba sikerült besorolni. Az inhomogén (ih) és a homogén (h) sűrűség eloszlású modellek analitikusan meghatározott tömegvonzási hatásának különbsége mind a nehézségi rendellenességek ($\delta g_a = g_h - g_{ih}$) mind a geoidundulációk ($\delta N_a = N_h - N_{ih}$) vonatkozásában $-1 \text{ mGal} \pm 1.5 \text{ mGal}$ ill. $18 \text{ cm} \pm$

11 cm statisztikákkal jellemezhető eltérést mutatnak (3. és 4. ábra). A jelentős szisztematikus különbségeket az inhomogén sűrűség eloszlás alacsony átlagértéke (kb. 2200 kg/m^3) okozza.

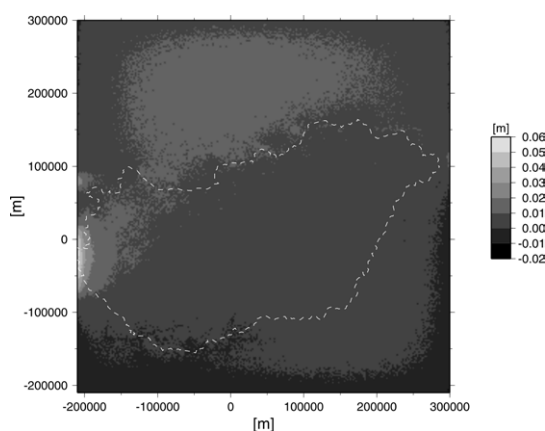


4. ábra. A homogén és az inhomogén topográfia tömegvonzási hatása közötti különbség geoidundulációra (δN_a) átszámítva a tengerszinten

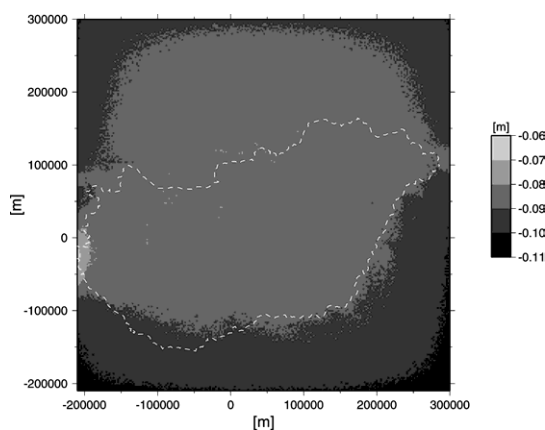
Ehhez hasonló szisztematikus eltérés megjelenhet a gravimetriai geoid meghatározása során is, amikor a topográfiai korrekció értékét, amelynek kiszámításakor általában a 2670 kg/m^3 értéket használjuk, levonjuk a mérési eredményekből, azaz a szabadlevegő nehézségi rendellenességekből az ún. remove lépésben (természetesen az alkalmazott geopotenciál modell hatásával egyetemben). Ha az így képződött maradék adatokat valamilyen numerikus eljárással dolgozzuk fel (pl. a Stokes-féle integrál spektrális megoldása az FFT alkalmazásával), akkor fennáll a veszélye annak, hogy a szisztematikus különbségek (ld. 3. ábra) a numerikus módszer sajátosságai/hibái miatt torzítva jelennek meg a végeredményben, azaz a geoidundulációban. Ennek ellenőrzésére R. Forsberg: GEOFOUR és M. Sideris: FFTGEOID két különböző szoftverét használva vizsgáltuk meg, hogy a kiszámított, 3. ábrán látható gravitációs zavar geoidundulációvá transzformálása során keletkezik-e valamilyen nem kívánatos torzulás.

Az 5. és a 6. ábrán látható, hogy szignifikáns, nem konstans torzulás (lineáris trend, periodikus változás) nem mutatható ki az ország területén. Ez elsősorban annak köszönhető, hogy a szimulált adatok a modell végességéből adódóan a számítási terület szélei felé haladva (ahol „elfogy” a modell) fokozatosan zérus értéket vesznek fel. A szintetikus adatoknak ez a tulajdonsága igen kedvező a digitális FFT alkalmazása során fellépő perem hatás szempontjából. Sajnos a valódi adatok nem teljesítik ezt a feltételt, ezért a hatás csökkentésére a spektrális konvolúció számításában ún.

100%-os *zero-padding*-et alkalmaznak, vagyis a mérési adatokat tartalmazó mátrix méretét szimmetrikusan növelik zérus értékekkel. Ezzel a lehetőséggel mi is éltünk a vizsgálatok során.



5. ábra. Az analitikusan és az FFT-vel (Forsberg módszerével) számított topográfiai geoidunduláció hozzájárulások ($\delta N_a - \delta N_{FFT}$) különbségei a tengerszinten



6. ábra. Az analitikusan és az FFT-vel (Sideris módszerével) számított topográfiai geoidunduláció hozzájárulások ($\delta N_a - \delta N_{FFT}$) különbségei a tengerszinten

BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszék

A magyarországi geoidfelület cm pontosságú meghatározása céljából többféle gravimetriai geoidmegoldás készült el a Budapesti Műszaki Egyetem Általános- és Felsőgeodézia (korábban: Felsőgeodézia) Tanszékén, többféle eljárás felhasználásával. Ezek a megoldások a HGTUBXX jelzéssel utalnak erre.

A korábbi, kevésbé részletes gravimetriai adatokkal számított geoidmegoldások után az 1998-as HGTUB98 meghatározás az első, amelyben egy $30'' \times 50''$ (kb. $1 \times 1 \text{ km}^2$) felbontású földrajzi rácsra interpolált (421 sort és 505 oszlopot tartalmazó) nagyfelbontású nehézségi rendellenesség adatrendszerrel használtunk fel a megoldás során. Ezeket az adatokat az ELGI

adatbázisában akkor meglevő kb. 120 000 pontbeli nehézségi rendellenesség értékből interpolálták. A megoldás során az MN TÁTI $500\text{m} \times 500\text{m}$ -es domborzatmodelljét használtuk fel a terepi korrekciók számítására (Tóth, et al 2000).

A HGTUB98 megoldás során az EGM96 modellt maximális fokszámig felhasználva az ún. „remove-restore” eljárással határoztuk meg a geoidfelület magyarországi részét. A meghatározás során figyelembe vettük a tömegprizma elemekből felépített, konstans sűrűségű domborzatmodellből számított terephatást és az indirekt hatást. A maradék nehézségi rendellenességekre a Stokes-integrált diszkrét egydimenziós konvolúciós integrál alakjában felírva határoztuk meg a geoidundulációkat. Megemlítjük, hogy a diszkrét konvolúciót a hatékonyabb, de elvileg és számszerűen is a közvetlen módszerrel azonos eredményt adó FFT-n alapuló számítási eljárással határoztuk meg.

A HGTUB98 megoldás meghatározását kísérte a gravimetriai függővonal-elhajlások magyarországi nagyfelbontású ($1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ -es) adatrendszerének előállítás is a Vening-Meinesz integrál alkalmazásával, valamint meghatároztuk a HGTUB98 szeizmikus adatok alapján készült MOHO térképpel számított korrelációját. Az elkészült geoidmegoldást az OGPSH 308 pontjában tesztelve a maradékok szórása $\pm 8.7 \text{ cm}$ volt, ami egy lineáris eltolást és dőlést korrekcióba véve $\pm 4.4 \text{ cm}$ -re csökkent.

Időközben az ELGI több mint 300 000 pontbeli nehézségi rendellenességgel kibővült gravimetriai adatbázisa miatt új geoidmegoldást készítettünk (Tóth, Rózsa 2000; Rózsa 2002). Ebben felhasználtuk az ELGI-ben $1' \times 1.5'$ -es földrajzi rácsra interpolált, Magyarország területére eső 26 478 nehézségi rendellenességet. Az új gravimetriai adatok esetében megvizsgáltuk az ELGI-ben alkalmazott terepi korrekció hatását a geoidfelület alakulására, valamint különböző számítási eljárásokat is teszteltünk, ezért a HGTUB2000 gravimetriai geoidmegoldás esetében különböző megoldások egész soráról beszélhetünk. A terepi korrekció számítása esetében az országon kívüli területre a korszerűbb GLOBE terepmodellt vettük igénybe. A geopotenciális modellek esetében pedig az EGM96-os modellen kívül a kétszer akkora felbontású GPM98CR modellt is alkalmaztuk.

A már előzőleg is alkalmazott „remove-restore” eljárás mellett teszteltük a Hipkin (1995) (eredetileg Stokes) által javasolt Bouguer-anomálián alapuló eljárást is. A módszer alkalmazásával kapott kiváló eredmények

igazolták, hogy nem csupán a szabadlevegő (free-air) nehézségi rendellenességekből lehet a geoidfelületet meghatározni, hanem Bouguer-anomáliákból is.

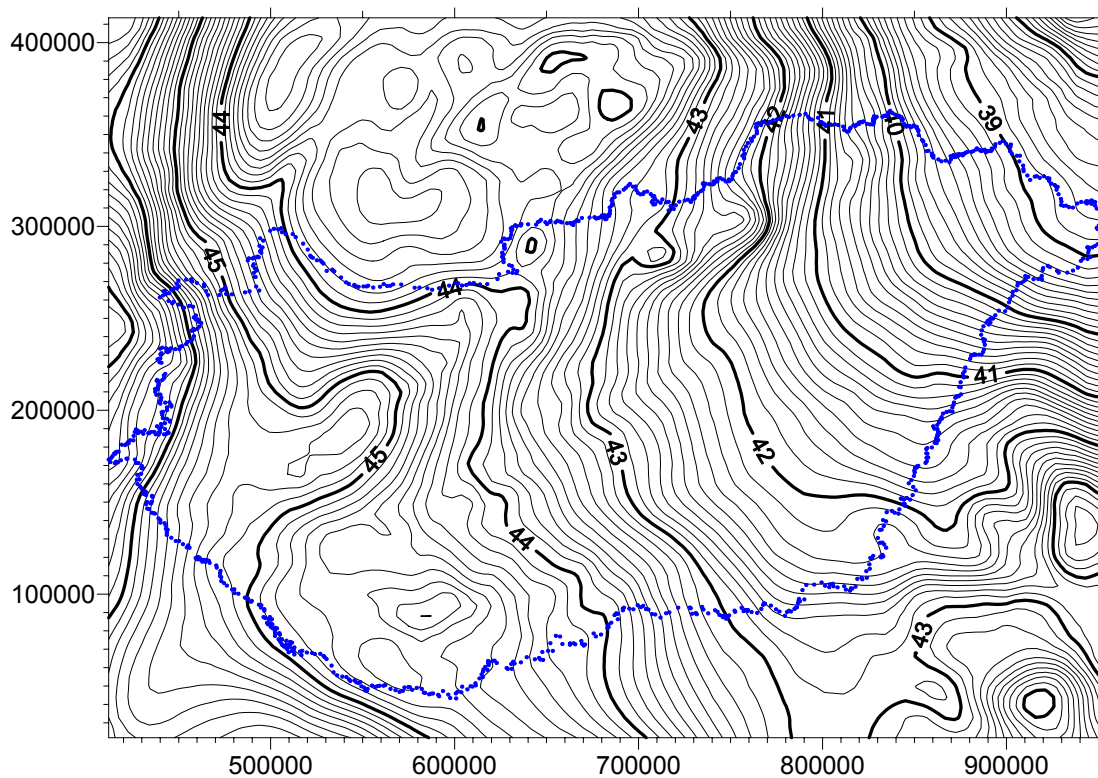
Az Európai Gravimetriai Geoid (EGG97) meghatározása során (Denker, et al. 1997) a spektrális kombináció eljárását alkalmazták. Ez lényegében egy kiegyenlítési eljárás, ahol heterogén adatokat kombinálnak a legkisebb négy-

zetek módszerével spektrális súlyozással, a súlyokat pedig az optimális kombinációhoz az adatokat jellemző becült hibák segítségével állítják elő. Ezt a módszert is alkalmaztuk a magyarországi geoidmegoldás előállítására. A nehézségi rendellenességeket jellemző hibákat kétféle elméleti hiba kovariancia függvényből állítottuk elő.

1. Táblázat. A különböző HGTUB2000 megoldások összevetése az OGPSH 308 szintezett pontjában számított geoidundulációkkal (méterben).

	min.	max.	átlag	szórás
EGM96 geopotenciális modell	-0.273	0.181	0.013	±0.082
EGM96 geopotenciális modell*	-0.146	0.145	0.000	±0.041
GPM98CR geopotenciális modell	-0.292	0.218	0.022	±0.094
GPM98CR geopotenciális modell*	-0.152	0.114	0.000	±0.045
Bouguer anomáliákból	-0.236	0.170	0.016	±0.060
Bouguer anomáliákból*	-0.190	0.154	0.000	±0.048
Spektrális kombináció, exponenciális kov.fv.	-0.471	-0.076	-0.216	±0.064
Spektrális kombináció, exponenciális kov.fv.*	-0.161	0.128	0.000	±0.041

*-gal jelölt eredmények lineáris eltolás és dőlés eltávolítása után



7. ábra. A HGTUB2000 geoid

Az elkészült HGTUB2000 megoldásokból az OGPSH 308 szintezett GPS pontjára geoidmagasságokat számítva összevethetjük azokat a GPS/szintezésből számított értékekkel. Az 1. Táblázatból kiderül, hogy az eltéré-

sek átlaga és szórása tekintetében az EGM96 modellből, illetve a Bouguer anomáliákból számított megoldás a legjobb, míg egy lineáris eltolást és dölést korrekcióba véve a spektrális kombinációval előállított – EGM96 modellen

alapuló – exponenciális hibafüggvényt használó megoldás szórása lett a legkisebb. Ezért ez a modell kapta a HGTUB2000 jelzést (7. ábra).

A megoldásokat elemezve látszik, hogy bár már valamivel jobban illeszkednek a GPS/szintezési adatokhoz mint a korábbi HGTUB98 geoidmagasságai, abszolút értelemben véve az illeszkedés csupán 5-10 cm-es, és több, akár 1-3 dm-es eltérések is adódnak egyes pontokban. Ezekben az eltérésekben természetesen benne vannak még a GPS magasságmeghatározási hibái is, csakúgy mint az OGPSH pontok szintezett magasságait terhelő hibák. Ez utóbbiak nagysága, eloszlása jórészt ismeretlen.

Összefoglalás, jövőbeli feladatok

Az eddigi magyarországi geoidmeghatározásokat áttekintve megállapítható az, hogy ezekben a felhasznált geopotenciál modelleken kívül a számításban többnyire csak egyféle adatrendszer (gravimetriai adatbázis: HGR95C, HGEO99B, HGEO2000, HGTUB98 és HGTUB 2000) került felhasználásra, illetve a GPS/szintezési adatok olyan értelemben, hogy az elkészült gravimetriai megoldást hozzáillesztettük a GPS/szintezési adatokhoz (HGEO2000). Kivételt képeznek azok a csillagászati-geodéziai módszerrel előállított geoidmegoldások (AGG69, AGG71, AGG76 és FAGRG80), ahol a meghatározásban gravimetriai úton sűrített függővonal-elhajlás összetevőket is felhasználtak. Ezek a megoldások ± 5 -20 cm-re térnek el egymástól.

Kívánatos lenne ezért bevonni a geoidmeghatározásba minden jelenleg is elérhető, és a nehézségi erőterhez kapcsolható adatot, például új (a CHAMP és GRACE műholdak mérésein alapuló) geopotenciál modelleket, a meglévő csillagászati-geodéziai méréseket, Eötvös-ingaméréseket, közetsűrűség adatokat, illetve szintetikus litoszféra modelleket, valamint nagy pontosságú GPS/szintezési adatokat. Megemlítjük, hogy 2005 végére várható az új nagyfelbontású ($5' \times 5'$ -es) EGM05 geopotenciál modell megjelenése. A meghatározáshoz felhasználható lenne a legkisebb négyzetek szerinti kollokáció módszere, amely mindezeket az adatokat képes fogadni és együttesen kezelni, ha a megfelelő kovariancia függvények rendelkezésre állnak. A szintetikus litoszféra modellek pedig a számítások/eljárások tesztelésére lennének kiválóan használhatók, hiszen az analitikusan számított modelltől minden erőter jellemző előállítható és konzisztens, valamint egy jól felépített litoszféra modell realiztikus statisztikai jellemzői biztosítják azt, hogy a levont következteté-

sek helytállóak lehetnek a valódi nehézségi erőterre vonatkozóan is.

A szükséges számítási kapacitást megbecsülve azt találjuk, hogy teljesen kitöltött kovariancia mátrix esetén a megoldandó egyenletrendszer mérete miatt már körülbelül 50 000 adat esetében is szuperszámítógép kapacitás szükséges. Ez viszont rendelkezésre áll a BME-n (BME Compaq Southpark 4*8 GB memória). Másrészt a kovariancia függvény egy adott maximális távolságon túl zérusnak véve ritkán kitöltött kovariancia mátrixot kapunk, melynek kezeléséhez nincs szükség ilyen nagy számítási kapacitásra.

Javasoljuk tehát:

- új magyarországi geoidmegoldás készüljön az elérhető adatok kombinációjával (Bíró, 2004),
- a számítási eljárás tesztelése történjen szintetikus nehézségi erőter modell adataival,
- a megoldás ellenőrzése független adatokkal (GPS/szintezés, függővonal-elhajlás, stb.) történjen.

A jövőben javasoljuk a függővonal-elhajlás adatok sűrítését a geoidmeghatározás pontosságának a növelése érdekében. Erre kiváló lehetőséget adnak azok a Zürichi Műszaki Egyetemen és a Hannoveri Egyetemen már működő CCD alapú zenitkamerák, amellyekkel egy ponton a függővonal-elhajlás két összetevőjét mintegy $\pm 0.1 \div \pm 0.15$ szögmásodperces pontossággal akár 30 perc alatt meg lehet határozni (Bürki, Müller, Kahle 2004; Hirt, Reese, Enslin 2004).

A jövőképünk tehát tiszta, de fontos előkészítenünk az új technológiák fogadására a megfelelő infrastruktúrális elemeket. A GPS (ha már a jövőről beszélünk: GNSS) technika esetében az aktív hálózat fejlesztésének prioritást kell élveznie, ezzel azonban együtt kell járnia szűkebb szakterületünk, a gravimetria és a geoid fejlesztésének is. A végcél a cm-es pontosságú geoidfelület előállítása, ami csak szakterületünk valamennyi kutatóhelyének együttműködésével valósulhat meg. Az OTKA keretében már elkezdett tudományos vizsgálatok (pl. az adattípusok optimalizált kombinációja) mellett fel kell éleszteni a gravimetriai hálózatunkat és a jelenleg még adathiányos területeket felmérni.

A leendő gravimetriai geoidváltozatok tesztelésére és a cm-es pontosságú GPS-gravimetriai geoid előállításához az egész ország területére szükséges a szélső pontosságú GPS-szintezési hálózat kialakítása, ennek szakmai támogatása valamennyi, a témában érintett kutató érdeke. E hálózat a Dunántúl szinte teljes területére készül 2005-re. Kiter-

jesztését a Dunától keletre a tervezett EOMA I. rendű újramérés keretében képzeljük el.

Megjegyzés

A kutatások a T-037929, a T-043413 és a T-046718 sz. OTKA támogatásával folynak.

Irodalom

- Ádám J, Gazsó. M, Kenyeres A, Virág G. (2000): Az Állami Földmérésnél 1969 és 1999 között végzett geoidmeghatározási munkálatok. *Geodézia és Kartográfia*, 52, 2, pp. 7-14.
- Benedek J. (2000): The effect of the point density of gravity data on the accuracy of geoid undulations investigated by 3D forward modelling. In: Meurers, B. (ed.), *Proc. of the 8th Intern. Meeting on Alpine Gravimetry, Leoben 2000, Special Issue of Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik, Heft 26*, pp. 167-179.
- Biró P. (2004): A csillagászati geodézia helye a XXI. Században. *Geodézia és Kartográfia*, 56, 2, pp. 3-11.
- Bürki B, Müller A, Kahle H.G. (2004): Diadem: The new digital astronomical deflection measuring system for high-precision measurements of deflections of the vertical at ETH Zürich. *IAG Int. Symp. Gravity, Geoid and Space Missions, Porto, Portugal*.
- Denker H, Behrend D, Torge W. (1997): The European gravimetric quasigeoid EGG96. In: Segawa, H, Fujimoto, Okubo, S. (eds.) *Gravity, Geoid and Marine Geodesy, IAG Symp. Springer Verlag*, 117: 461-469
- Gazsó M, Taraszova G. (1984): A kvázigeoid asztrogravimetriai meghatározása Magyarországon. *FÖMI Tudományos Közleményei*, 5. évfolyam, Budapest.
- Hipkin R.G. (1995): How Close are we to a Centimetric Geoid? In: Sünel H, Marson I (eds) *Proc. Of Joint Symp. Of IGC/IGeC Graz, Austria, 11-17 Sep 1994. Springer Verlag*, pp. 529-538.
- Hirt C, Reese B, Enslin H. (2004): On the accuracy of vertical deflection measurements using the high-precision digital zenith camera system TZK2-D. *IAG Int. Symp. Gravity, Geoid and Space Missions, Porto, Portugal*.
- Kalmár J, Papp G, Szabó T. (1995): DTM-based surface and volume approximation. *Geophysical applications. Comp. and Geosci.*, 21, pp. 245-257.
- Kenyeres A. (1992): GPS-gravimetric Geoid Determination Based on Combination of GPS/Levelling and Gravity Data. *Proceedings of the 1st Continental Workshop on the Geoid in Europe "Towards a Precise Pan-European Reference Geoid for the Nineties"*, Prague, 11-14 May, 1992, pp. 482-490.
- Kenyeres A, Seeman J. (1999): Az OGPSH pontok tengerszint feletti magasságának meghatározása GPS technikával. *Geodézia és Kartográfia*, 51, 1, pp. 18-23.
- Kenyeres A, – Borza T. (2000): Technológia fejlesztés a III. rendű szintezés GPS technikával történő kiváltására. *Geodézia és Kartográfia* 52, 1, pp. 8-14.
- Kenyeres A, Csizmadia M, Horváth J, Kisasszondi F. (2002): A GPS-szel végzett EOMA III. rendű hálózatsűrítés tapasztalatai. *Geomatikai Közlemények V.*, 2002, pp.285-293.
- Papp G., Kalmár J. (1996): Toward the physical interpretation of the geoid in the Pannonian basin using 3-D model of the lithosphere. *IGeS Bulletin*, 5, pp. 63-87.
- Papp G. (1996): A Pannon-medence nehézségi erőterének modellezése. *Kandidátusi értekezés. MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet, Sopron*. 107 old.
- Papp G, Benedek J, Nagy D. (2004): On the information equivalence of gravity field related parameters – a comparison of gravity anomalies and deflection of vertical data. In: Meurers, B. (ed.), *Proceedings of the 1st Workshop on International Gravity Field Research, Graz 2003, Special Issue of Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik, Heft 31*. pp. 71-78.
- Rózsa Sz. (2002): Magas frekvenciájú adatok felhasználása a geoidmeghatározásban. *PhD értekezés, BME Építőmérnöki Kar*.
- Tóth Gy, Rózsa Sz, Andritsanos V.D, Ádám J, Tziavos I.N. (2000): Towards a cm-geoid for Hungary: recent efforts and results. *Physics and Chemistry of the Earth (A)*, 25, 1, pp. 47-52.
- Tóth Gy, Rózsa Sz. (2000): New Datasets and Techniques - an improvement in the Hungarian Geoid Solution. Paper presented at Gravity, Geoid and Geodynamics Conference, Banff, Alberta, Canada July 31-Aug 4, 2000. Interneten elérhető: http://vector.geomatics.ucalgary.ca/~vergos/GGG2000_CD/Session9/Toth_hun.pdf

The present state of geoid determination in Hungary

L. Völgyesi – A. Kenyeres – G. Papp –
Gy. Tóth
Summary

The present state of geoid determination in Hungary was discussed by the Geodesy and

Geodynamics' Subcommittee of the Scientific Committee of Geodesy of Hungarian Academy of Sciences. Results and future tasks of

geoid determination are summarized in this paper.

* * *

Völgyesi L, Kenyeres A, Papp G, Tóth Gy (2005): [A geoidmeghatározás jelenlegi helyzete Magyarországon](#). Geodézia és Kartográfia, Vol. 57, Nr.1, pp. 4-11.

Dr. Lajos VÖLGYESI, Department of Geodesy and Surveying, Budapest University of Technology and Economics, H-1521 Budapest, Hungary, Műgyetem rkp. 3.
Web: <http://sci.fgt.bme.hu/volgyesi> E-mail: volgyesi@eik.bme.hu