

Az EOMA modernizációja

Dr. Mihály Szabolcs–*dr. Kenyeres Ambrus*¹–*dr. Papp Gábor*²–
*dr. Busics György*³–*dr. Csapó Géza*⁴–*dr. Tóth Gyula*⁵

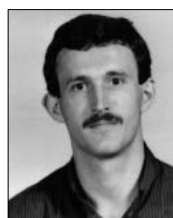
¹ Földmérési és Távérzékelési Intézet (FÖMI),

² MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet (MTA GGKI)

³ Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar (NyME GEO),

⁴ Eötvös Lóránt Geofizikai Intézet (ELGI),

⁵ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME)



1. Bevezetés

A Magyar Tudományos Akadémia Geodéziai Tudományos Bizottsága (MTA GeodTB) – figyelembe véve a Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium Földügyi és Térinformatikai Főosztálya (FVM FTF) szóban kifejtett kezdeményezését is – 2007-ben ad hoc bizottságot hozott létre az egységes országos magassági alappont-hálózat (továbbiakban: EOMA) korszerűsítése céljából.

Az EOMA ad hoc bizottság az MTA GeodTB tagjai voltak: elnöke *Mihály Szabolcs*, tagjai pedig *Csapó Géza*, *Joó István*, *Kenyeres Ambrus*, *Papp Gábor* és *Tóth Gyula*. A tagok közül *Joó István* sajnos 2007 nyarán eltávozott közülünk és helyette *Busics György* kapott meghívotti tagságot az ad hoc bizottságba.

Az MTA GeodTB által 2007-ben létrehozott ad hoc bizottság munkájának elsődleges célja az EOMA jelenlegi helyzetének áttekintése, és a Magyarországon alkalmazott A2, A4 és A6 jelű, a magassági hálózattal kapcsolatos szakmai szabályzatok naprakészségének felülvizsgálata volt (pl. a digitális színtezőműszerek használata és a gravimetriai adatok adekvát alkalmazása kapcsán). A kiinduló vitaanyagot a FÖMI részéről *Kenyeres Ambrus* készítette el, figyelembevéve a FÖMI Felmérésszervezési osztálya részéről

Csizmadia Mihályné által összeállított részletes szakmai anyagot is.

A kiinduló vitaanyag elkészítése során nyilvánvalóvá vált, hogy az eredeti célnél sokkal távolabbra kell tekintenünk, hiszen manapság nemzetközi szinten az eszközök, technológiák és a felhasználói igények jelentős változását éljük meg. Az alaphálózatok fenntartójának, a FÖMI-nek, ezekre a változásokra reagálnia kell és időben felkészülnie, amihez célszerű egy hazai szakmai konszenzust kialakítani. Kihhasználva az MTA GeodTB által biztosított szakmapolitikai keretet, az aktuális EOMA szabályzatok felülvizsgálatán túl közép- és hosszú távú ajánlások kidolgozását kezdeményezzük, amelyek segítik a FÖMI, a szakigazgatás és a szakma felkészülését a műholdas technológiák (GNSS, PS-InSAR) várhatóan egyre szélesebb körű befogadására a tengerszint feletti magasság és változása meghatározásának gyakorlatában {PS-InSAR: Persistent Scatterers Synthetic Aperture Radar Interferometry; magyarul állandó szórópontokon (pl. épület vagy pontjel) alapuló radar-interferometria, [4]}.

A FÖMI által elkészített vitaanyagot az ad hoc bizottság tagjai (tagintézményei) véleményezték, hozzátették javaslataikat, amelyeket feldolgozva, az EOMA szempontjából relevánsnak tartott elemeket integrálva készült el az MTA GeodTB

számára benyújtott és itt publikált tanulmány. Az anyag megvitatását követően az MTA GeodTB javaslatokat és ajánlásokat fogalmazott meg, amelyeket külön közlünk.

2. Nemzetközi kitekintés

Magyarország az Európai Egyesített Szintezési Hálózathoz (UELN, Unified European Levelling Network) 1995-ben csatlakozott I. rendű hálózatunk kiválasztott mérési anyagának átadásával. Az európai szinten végrehajtott együttes kiegyenlítés eredményei alapján hálózatunk minősége európai összehasonlításban a legjobb (Sacher et al. 2004). Ez elsősorban az elődeink által kidolgozott A2, A4 és A6 jelű szabályzatok és a terepi munkák alaposságának köszönhető, amiért ezúton is köszönettel tartozunk.

Az általánosan elfogadott gyakorlat szerint a pontpusztulás és az esetleges függőleges mozgások miatt a szintezési hálózatokat 20–30 évenként mérik újra. Ettől természetesen a nemzeti sajátosságok (pl. természeti veszélyeztetettség, a geodéziai 'lobbi' ereje, elismertsége) függvényében az egyes országok eltérnek.

Hollandia és az Egyesült Királyság két szélsőséges európai példa. Hollandiában a felszín-süllyedés és a tengerszint emelkedés okozta veszélyeztetettség miatt 10 évente mérik újra hálózatukat (az epocha mérése 1996–1999 között történt). Ezzel szemben az Egyesült Királyságban mindössze két mérési epocha volt, az 1930-as és az 1950-es években. A kettő között kimutatott dm-es nagyságrendű É-D-i irányú dőlés ellenére (talán hagyománytiszteletből) az első tartották meg! Jelenlegi hálózatuk nagyon elavult, a dőlés tényét a GPS-geoid analízis is világosan mutatja. Spanyolország szintezési hálózata is rendkívül elavult. Időben elhúzódó (1930–1970) mérésű hálózatukat napjainkban mérik újra, ami 2009-re lesz kész. Lengyelország (4. mérési epocha), Finnország (3. mérési epocha), Szlovákia, Svájc, a balti országok és a skandináv országok szintezési hálózatainak a mérése az elmúlt években fejlődött be.

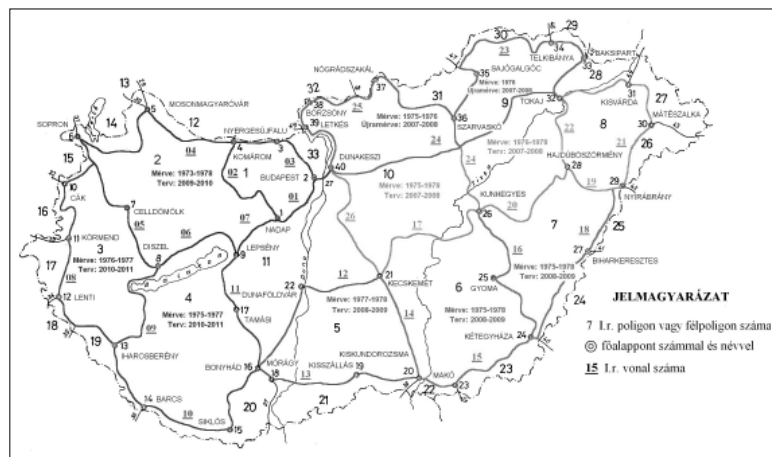
A számunkra sok tekintetben mérvadó Németországban manapság a vízszintes hálózat esetében a szelektív, tehát erősen lecsökkentett pontszámú hálózatfenntartás mellett döntöttek, ugyanakkor a magassági hálózatot – a német állami földmérési főhatóság, az AdV döntése értelmében – a 2006–2011 közötti időszakban felújítják, a szintezési hálózathoz kapcsolódóan egy integrált geodéziai hálózatot hoznak létre [3].

Az európaiaktól eltérő méretű és adottságú országokban (Ausztrália, Kanada, USA) már korábban megkezdődött a műholdas technológiákra és a geodra alapozva a magassági hálózatok modernizációja (www.geod.nrcan.gc.ca/hm/hmvl_e.php).

3. Magassági hálózatok Magyarországon, 1949–2011

Magyarország korabeli magassági hálózatait a 40-es évek végétől új rendszerben a Bendefy-féle hálózat kiépítése követte. Az egységes országos magassági alapot képező EOMA tervezése, szabályozása és kialakítása a 60-as évek végén és 70-es évek elején kezdődött. Eddigi eredményeinek leírása, mint előzmény, többek között az EOMA műszaki leírásában [7], valamint a FÖMI Felmérésszervezési osztály által készített EOMA újramérési tanulmányban megtalálható. Az EOMA I. rendű hálózatát a 1. ábra mutatja, amelyen az I. rendű poligonok és félpolygonok száma, a főalappontok száma és neve, valamint az I. rendű vonalak sorszáma található.

Az új rendszerű magassági hálózatunk történetét, létesítési-, mérési időszakait (epocháit) és a



1. ábra Az EOMA I. rendű hálózata (lásd színesben a hátsó, belső borítón is)

jelenlegi helyzetet itt csak röviden, címszavakban kiemelve soroljuk fel:

0. epocha: Bendefy-féle hálózat, 1949-től
 - I. rendű vonalai 1964-ig épültek ki,
 - II. és III. rendű hálózatrésze minden települést lefedően készült.
1. EOMA-epocha
 - 1967–1978. az I. rendű, illetve a kéregmozgási hálózat kiépítése és mérése,
 - 2005-ig: az EOMA II. és III. rendű részének sűrítése két fázisban történt, időben rendkívül elhúzódóan,
 - 2000–2005. a hálózat kiépítésének és mérésének gyorsított befejezése (a III. rendű hálózatrész mérése és meghatározása a Dunántúlon GPS technológiával történt).
2. EOMA-epocha
 - 2006–2012. az I. rendű hálózat teljes újramérése (elkezdődött és folyamatban van),
 - a II. rendű hálózatrész újramérését már nem tervezzük (az újramérés a beillesztések vizsgálatának lehet a függvénye),
 - a csak Bendefy-féle hálózati ponttal rendelkező települések EOMA rendszerbe történő bekötése GPS-szel történik.

A magassági hálózat kiépítése és működtetése kapcsán jellegzetes különbség az, hogy amíg az 1. EOMA-epocha a létesítésének időszakában az új, egységes geodéziai keretek (EOMA, EOVA, EOTR) létrehozásával volt összhangban, addig a jelenleg folyamatban lévő 2. EOMA-epocha mérése már a 3 dimenziós geodéziai alapok (OGPSH, műholdas GNSS földi geodéziai hálózati infrastruktúra, finomított geoid) kiépítéséhez kapcsolódik.

4. Az EOMA technológiai felülvizsgálata

A klasszikus szintezés technológiája jól kidolgozott, kiérlelt eljárás. Az elmúlt évtizedekben a műszerezettség tekintetében ugyanakkor jelentős változás történt a digitális (automatikus leolvasású) szintezőműszerek és a hozzátartozó vonalkód-osztású szintezőlécek megjelenésével. Könnyebb lett mind a terepi, mind pedig az irodai munka, csökkentek a hibalehetőségek, de az elérhető elvi pontosság alig változott. A felsőrendű szintezések hazai követelményrendszerét leíró A2 jelű szabályzat az akkoriban közel fél évszázados műszaki háttérre alapozva készült. A következőkben a szintezés technológiai elemeit tekintjük át és a megfelelő helyeken jelezzük a modernizációs és a finomítási elemek figyelembevételének szükségességét.

4.1. Vonatkoztatási rendszer

Európai szinten: az EVRS2007 jelű, 2007-re vonatkozó európai függőleges vonatkoztatási rendszer (European Vertical Reference System, 2007)

- Kiegyenlítése több, nem csak mareográf dátumpont alapján történik 2008-tól, ahol feltételként vezetik be, hogy az eddigi NAP (Normaal Amsterdams Peil – az amszterdami mareográf) által definiált alapszintre vonatkozó megoldáshoz képest az eltérés minimalizált legyen. Ehhez kapcsolódik az UELN egyesített európai szintezési hálózat megvalósítása. Az egyik kiválasztott UELN dátumpont a Nadap II.
- A kiegyenlítés a geopotenciális számok szintjén történik.
- Normál magassági rendszerű (ugyanúgy, mint az EOMA).

Az egyes redukciók és korrekciók definíciója változik. A jelenleg érvényes EVRS2000-hez képest változás lesz a permanens árapály adatok kezelésében. Összhangban az európai geoid megoldásokkal az ún. zero tide (a permanens árapálykeltő erők közvetlen hatását a potenciálon eltávolítjuk, ugyanakkor a földalag rugalmas deformációjából eredő közvetett hatást megtartjuk) rendszer bevezetése valósul meg, ami kontinentális szinten mintegy 6 cm-es É-D-i irányban növekvő magasság-változást fog okozni.

Országos szinten: Az EOMA

- Kezdőpont (a nemzetközi geodéziai kapcsolatok miatt mai szóhasználattal: dátumpont): a Nadap II. jelű főalappontunk.
- Bár a Nadap magassági alappont az UELN egyik dátumpontja, de az EOMA és az UELN magasságok kb. 14 cm-rel eltérnek egymástól, mert 'történeti' okokból az EOMA a kronstadti dátumpontra vonatkozik, nem pedig a NADAP dátumpontra.

Az EVRS2007 és az EOMA közötti viszony

- Amennyiben a gyakorlati és szakmai érdekek megengedik, az EOMA és az EVRS2007 definíciójának célszerűen összhangban kell lennie. A zero tide figyelembevétele az EOMA-ban országos szinten néhány mm-es nagyságú É-D-i irányú, közel lineáris változást okoz, amely 'megbújik' a majdani EOMA újrakiegyenlítéséből adódó változások között.
- Az UELN hálózatot – amennyiben új mérések állnak majd rendelkezésre – új kiegyenlítésekk-

kel tartják karban. A folyamatban lévő méréseket tehát ki kell egészíteni az EOMA hálózatot a környező országokkal összekötő kapcsolóvonalak mérésével azért, hogy az új eredmények bekerülhessenek az EVRS2007 rendszerben meghatározott UELN hálózatba.

- Nemzetközi feladatokhoz kettős nyilvántartás (UELN-geopotenciális számok és EOMA-normál magasságok) bevezetése javasolt. A FÖMI Adat- és Térképtári osztályán folyamatban van a nyilvántartási rendszer fejlesztése. Ebbe kell majd beépíteni a nemzetközi hálózathoz kapcsolódó adatokat is. Igény esetén a felhasználók ezeket is megkaphatják.

4.2. Szintezési technológia

Műszerezettség

Kétségtelen, hogy az EOMA I. rendű mérések 2006–2007. évi indítását nem előzte meg olyan részletekbe menő és szabályzatalkotó vizsgálat, mint az a korábbi mérési epocha esetében történt. A FÖMI a gyári specifikációk alapján (az „első generációs” műszerektől – ilyen pl. a Leica NA3003, aminek a gyári pontossága 0,4 mm/km – eltekintve a szabatos digitális szintezőműszerek megfelelnek a jelenlegi EOMA pontossági követelményeknek) hazai [12] és nemzetközi [11] tapasztalatok alapján a jobb ellenőrizhetőség miatt írta elő kötelezően a digitális műszerek alkalmazását. Ugyanakkor az is kétségtelen, hogy a műszerek generációváltására a szabályzatnak is reagálnia kell, mert vannak velük szemben olyan speciális követelmények [9, 15], amelyek nem szerepel(het)tek az eredeti szabályzatokban.

Az ad hoc bizottság munkája során számos, részletekbe menő, de ugyanakkor korántsem mindent lefedő szabályzatomodósítási javaslat született, ezeket azonban a jelen általános célú munkaanyagba (cikk anyagba) nem foglaltuk bele. Nyilvánvalóvá vált az A2 jelű szabályzat általános felülvizsgálatának szükségessége, amelyet a gyakorlatban is jártas szakemberek bevonásával, minél rövidebb határidővel, tanulmány keretében kell majd elvégezni.

Komparálás/kalibrálás

Általános szabály, hogy a méretarányhiba elkerülése érdekében a komparálást/kalibrálást mindig azonos helyen, lehetőleg azonos technológiával kell végrehajtani. A Müncheneri Műszaki Egyetem Geodéziai Vizsgálólaboratóriumában csak léckalibrálást, míg a Grazi Műszaki Egyetemen rend-

szerkalibrálást végeznek. Ez utóbbit – egy 1997. évi közös FÖMI–GGKI tanulmányút alkalmával tett megállapítások szerint – jóval kevesebb mérésre alapozták, és az általuk adott bizonyítvány alapján nem lehetett a hőmérsékleti és kalibrálási javításokat kiszámítani. Ezen történeti okból a FÖMI és az EOMA szintezését végző vállalkozó cég a lécek évenkénti kalibrálását Münchenben végeztette el.

Amennyiben az MTA GGKI megfelelő esz-közparkkal rendelkezik (pl. ismerik a leggyakoribb léctípusokra az elméleti vonalkód távolságokat és megvalósították a rendszer alapos tesztelését), a jövőben a léckalibrálás, illetve az alapvető műszeres ellenőrzések ott is elvégezhetők lehetnek. Szükség van még arra, hogy az MTA GGKI Műszervizsgáló Laboratóriuma egy tömör leírást készítsen, felsorolva a lehetséges vizsgálati képességeiket és az ehhez tartozó anyagi feltételeiket, s mindezt a szolgáltatás szempontjából viszonyítva a nemzetközi „mezőnyhöz” (Graz, München). Mivel az A2 jelű szabályzat „karbantartása” az állami földmérés feladata, a szabályzatban a kalibrálási előírások módosításához szükséges tesztmérések és vizsgálatok költségéhez a FÖMI-n keresztül célszerű hozzájárulnia.

Az aktuális szabályzat szigorú betartása, betarttatása

Az elvárható minőség szempontjából ez a legfontosabb. Ennek egyik fontos eleme (ami a digitális műszerek kötelező használatával vált lehetővé) a napi mérési anyag bekérése elektronikusan postán keresztül, amivel elkerülhető a mérések esetleges manipulációja is. Meg kell vizsgálni a terepi ellenőrző mérések rendszerének, feltételeinek szabályzatba való beépítését.

Adatminőség

A szabályzatot adatminőségi és minőségügyi előírásokkal kell kiegészíteni a mai kor követelményeinek megfelelően. Az ezzel kapcsolatos többlet tevékenység fedezetét az állami alapmunka keretből kell finanszírozni.

Hatékonyaság

A felsőrendű szintezés – bár munkaerő- és költségigényes – jelenleg még nem váltható ki az egyébként hatékonyabb GNSS technológiával. A III. rendű szintezés pontossági követelményétől kezdődően azonban már szerepet kaphat, és kapott is. A jövőben a korábbiaknál sokkal szé-

lesebb körű alkalmazására számítunk, amihez a felkészülést megkezdtük.

4.3. Gravimetriai adatok kezelése

Az EOMA szabályzat felújítására vonatkozó igény egyik fontos eleme a szükséges gravimetriai mérések paramétereinek és alkalmazásuknak a felülvizsgálata volt. A ma érvényes szabályzatban meghatározott, viszonylag ritka eloszlású gravimetriai mérésigény a normáljavítás számításához az elvárt pontossági és költségigénynek megfelelt. Gazdaságossági okokból sűrűbb mérésekre továbbra sincs lehetőség!

Amint az más országokban is felmerült [3], a magassági hálózat modernizációja váltást jelenthet pl. a kiegyenlítésben (geopotenciális számok szintjén is – erre később visszatérünk), ami magával hozza a gravimetriai adatok szerepének változását. Az MTA GGKI-ban kidolgoztak egy eljárást [8], amely az eddigi szabályzathoz képest nem igényel sűrűbb gravimetriai méréseket, és amely lehetővé teheti a nehézségi gyorsulás becslését és a geopotenciális számok meghatározását.

Az eljárás az EOMA mérések keretében elvégzett gravimetriai méréseken túl olyan kiegészítő adatokat is felhasznál (nagy felbontású digitális terepmodell, a hazai sűrű gravimetriai adatbázis, felszíni geológiai modell), amelyek közvetlenül vagy közvetetten pontos információkat szolgáltatnak a nehézségi erőter szerkezetének változásáról a szintezési vonal mentén. A módszer pontossága alapvetően a használt DTM felbontásától és pontosságától, az érintett területen rendelkezésre álló gravimetriai adatok (szabadlevegő nehézségi rendellenességek) számától, területi eloszlásától és a felszíni geológia változékonyságától függ. Az eljárás során egy, a gravimetriai adatokhoz legkisebb négyzetes értelemben optimálisan illeszkedő topográfiai tömegmodellt határoznak meg, melynek segítségével tetszőleges pontok között (pl. gravimetriai mérési pontok, szintezési kötőpontok) szintetikus modellezéssel meghatározható a gravitációs tér változása. Ha legalább egy helyen a számításba vett pontok közül ismerjük a g értékét, akkor a nehézségi gyorsulás értéke az összes többire kiszámítható. Így a kötőpontokon átmenő szintfelületek közötti potenciál különbség (ami leegyszerűsítve a g és a szintezett magasságkülönbség szorzata) meghatározható. Ennek alapján a szintezési hálózat tetszőleges pontja ellátható az ún. geopotenciális mérőszámmal.

Ahhoz, hogy a fenti, a tudományos kutatás szintjén lévő eljárás a gyakorlatban rutinfeladattá válhasson, az érintett intézmények kutatóinak és gyakorlati szakembereinek bevonásával egy részletes tanulmányt, majd egy 'terméket' (szoftver+adatbázis) kell készíteniük. A tanulmány hangsúlyos része kell legyen a kidolgozott eljárás eredményességének és alkalmazhatóságának demonstrálása. Ehhez a FÖMI a kiválasztott munkaterület(ek) szintezési mérési adatait a kutatók rendelkezésére bocsátja. A kellő előrelátással kiválasztandó terület(ek) egyben a további lépések (pl. kiegyenlítési eljárások) tesztelésének célterülete(i) is. A tanulmány elkészítését az állami alaplunka keretből indokolt finanszírozni.

Valamennyi érintett intézmény egyetértett abban, hogy az EOMA folyamatban lévő fejlesztésének és a jövőbeli integrált hálózat építésének elengedhetetlen feltétele az állami alapfeladatnak minősített országos gravimetriai alaphálózat (MGH-2000) fenntartása és fejlesztése. Az ELGI-nek, illetve főhatóságának, a Magyar Bányászati és Földtani Hivatalnak – bár alapvető érdeke a hálózat fenntartása – színvonalas fejlesztésekhez azonban nincs kellő pénzügyi fedezete. A szükséges költségvetési támogatás előteremtése érdekében ezért szorosabb együttműködés szükséges a geodéziai és a gravimetriai alaphálózatok témagazdái között. Az integrált hálózat építése kapcsán a FÖMI aktívabb jövőbeli szerepvállalásra törekszik.

4.4. Kiegyenlítés

A jelenleg folyó EOMA újramérés végleges kiegyenlítése (2. EOMA-epocha lezárásával) leg hamarabb 2012-ben történhet meg. Az addig hátralévő időszakban a következő előkészületi munkákat kell elvégezni:

- egy tanulmány keretében meg kell vizsgálni a különböző kiegyenlítési modelleket és időben (legkésőbb 2009-ben) javaslatot kell tenni a megfelelő eljárás(ok)ra. A tanulmányt célszerűen az érintett intézmények együttes bevonásával szükséges elkészíteni. Ehhez igény szerint, teszt jelleggel a FÖMI éles mérési adatokat szolgáltat. A kiegyenlítésnél figyelembe veendő az EVRS2007 leendő ajánlásai;
- a végső kiegyenlítést két független intézménynek kell elvégeznie: az egyik a normál magassági rendszerben, a másik a geopotenciális számok szintjén. A megoldások

- összevetése és esetleges korrekciója után kerülhetnek bele az eredmények az adatbázisba. A munkálatokat a FÖMI az állami alampunka keretből javasolja finanszírozni;
- az EOMA újramérés eredményeit egy teljesen új digitális adatbázisban kell tárolni és onnan szolgáltatni. Mivel a pontok magasságai időben változnak, egyértelműen el kell tudni különíteni a különböző időpontokhoz tartozó régi és új értékeket. Az adatbázisnak tartalmaznia kell a pontok síkrajzi koordinátáit cm élességgel (EOV, ETRS89 rendszer), a geopotenciális számot és a g-mérés eredményét (ha van ilyen) stb. Az adatbázis szerkezetét és kialakítását szabályzat jellegű előírással kell meghatározni.

5. Magasságmeghatározás napjainkban GNSS módszerrel

A FÖMI Kozmikus Geodéziai Obszervatóriuma (KGO) által 1998-ban kidolgozott GPS magasságmeghatározási technológia jelenleg elsősorban hálózatfejlesztéshez és -sűrítéshez használható. Egyedi pontok meghatározására 'ipari' feltételek mellett (a cm-alatti pontossági szinten) még nem kellően hatékony a mérések és a feldolgozás idő- és munkai igényessége miatt. A technológia jelenlegi alkalmazásai a következők:

- 2000–2005 között az EOMA szinte teljes dunántúli (kivételesen az I. poligon és a 11-es Dunán átnyúló része) III. rendű hálózatsűrítése (közel 1100 ponton történt GPS mérés) a „GPS mérés + geoid” technológiát használva készült el;
- 2007-ben hasonló megoldással a csak Bendefy-féle magassági pontokkal rendelkező településeket (50 db) a fennmaradó dunántúli területeken bekötöttük az EOMA rendszerébe. A Bendefy-féle és az EOMA hálózatok homogenizálását a FÖMI kiterjeszti a még fennmaradó, a Dunától keletre eső településekre (kb. 150 db) is.

Magyarországhoz hasonlóan pl. Franciaországban és Norvégiában alkalmaztak GPS magasságmeghatározási technológiát, hasonlóképpen III. rendű feladatok megoldására. Az USA és Kanada példája számunkra nem feltétlenül mérvadó az eltérő nagyságrendek és a náluk kialakult pontossági igények miatt, mégis fontos megemlíteni, hogy e két országban megkezdett magassági rendszer modernizációja keretében a magasságmeghatározást alapvetően az aktív GPS hálózata-

tukra (műholdas, GNSS geodéziai földi infrastruktúra működtetésére) alapozzák.

A FÖMI KGO további technológiai fejlesztéseket tervez a hatékonyság javítására, hogy optimális mérési idővel, akár 'ipari' körülmények között lehessen a cm-es pontosságú magasságmeghatározást elvégezni. A fejlesztések végső célja a műholdas GNSS geodéziai földi infrastruktúra segítségével történő valósidejű szolgáltatáshoz (GNSSnet.hu) kapcsolódva cm-pontos valósidejű helymeghatározási technológia kidolgozása és az ehhez szükséges adatbázisok kiépítése. Konkrétan:

- a rendelkezésre álló adatokból (geopotenciális modellek, gravimetriai adatbázis, DTM) a lehető legmegbízhatóbb (elsősorban a geoid finomszerkezetét tekintve) gravimetriai geoid előállítás;
- az országot lefedő cm-es pontosságú, 3 dimenziósan meghatározott, GPS mérésekkel rendelkező EOMA I–II. rendű pontokból álló, EOMA_3D jelű hálózati adatbázis kialakítása az állami földmérés finanszírozásában, amely folyamatban van;
- 2000–2007 között elkészült a teljes Dunántúlt, illetve az Északi-középhegység területét lefedő hálózat a kiválasztott I. és II. rendű EOMA pontokra alapozva. Az EOMA tiszántúli területein folytatni tervezett I. rendű újramérés ütemezésének megfelelően az EOMA_3D hálózatot országos szintre terjesztjük ki;
- az előzetes ütemtervnek megfelelően 2010 végéig a mérések megtörténnek és az egységes adatbázis, valamint az GPS-gravimetriai geoid 2011-re elkészül;
- szükség szerint a dunántúli EOMA újramérésével párhuzamosan kell GNSS méréseket végeztetni (lásd integrált hálózat). Ezek az EOMA pontok egy olyan 3D-s hálózatot képeznek, ahol felsőrendű szintezés, nagy pontosságú GPS és gravimetria mérések állnak rendelkezésre.

A geoid cm-es pontosságú változatainak fejlesztése és előállításuk kulcsfontosságú a GNSS-re alapozott magasságmeghatározási technológiák jövőbeli alkalmazásában. Cél szerű az érintett intézmények (BME, FÖMI, MTA GGKI) vonatkozó kutatásainak és fejlesztéseinek összehangolása, akár párhuzamos kutatások, akár feladatmegosztások keretében. Kiemelt kutatási irányok: a gravimetriai geoid finomszerkezetének meghatározása, továbbá a különböző fizikai és geometriai mérési adatok, eredmények integrálása.

6. Az EOMA modernizációja

Az EOMA újramérése az I. rendű vonalak szintjén várhatóan 2012-re fejeződik be. A II. rendű vonalak újramérését nem tervezzük. Tekintetbe véve a szintezési hálózatok újramérési ciklusát, az I. rendű hálózat következő újraszintezése leg hamarabb 2040 után történhet. A műholdas technológiák (GNSS/geoid és radar-interferometria) jelenleg tapasztalható előretörésével ekkora időtávlatban nagy bizonyossággal prognosztizálható a rendkívül idő- és költségigényes klasszikus szintezés háttérbe szorulása.

Ami napjainkban nem szabályzati szinten folyamatban van a vízszintes hálózatokban (a fenn tartandó fix állandósítású földi pontok számának csökkenése), az elkerülhetetlen lesz a jövőben a szintezési hálózatok vonatkozásában is. Ebbe a tendenciába tartozik már az EOMA III. rendű, GPS alapú hálózatrészt a Dunántúlon, ahol nem sűrűn (km-enként), vonalmentén elhelyezkedő pont hálózatunk van, hanem településenként egy (plusz 2 őrpont) ún. integrált pontjel. A technológiai felkészülésen kívül felvetődik tehát a jövőben fenntartandó magassági pontjelek köre és száma is. Ez utóbbi kérdésben nem ma kell dönteni, hiszen most az átálláshoz való felkészülés éppen jó állapotban és *„csúcsformában”* levő szintezési hálózatot követel meg.

Az EOMA I. rendű mérések lezárulásáig tovább fog tisztulni a GNSS-re alapozott magasság meghatározási technológiák lehetősége, várakozásunk szerint jobban kihasználható lesz a GLONAS és talán már a GALILEO rendszer is. A műholdak növekvő száma a GNSS-re alapozott magasság-meghatározás magassági összetevőjének pontosságjavulását fogja hozni, javítva ezzel a műholdas technológiák hatékonyságát és lehetővé téve a valósidejű cm-es pontosságú magasság-meghatározást.

A magassági hálózatok modernizációjára való felkészülés napjaink kihívása. A tengerentúlon (USA, Kanada) és Európában (Németország) ezek már elfogadott, megvalósítás alatt lévő projektek. A hálózati modernizáció alatt a független, egymást kiegészítő technológiák (szintezés, gravimetria, GNSS, majd ráadásul a PS-InSAR) pontjel és analízis szintű integrálását értjük. A FÖMI az EOMA_3D létrehozásával 2000-ben elkezdte ezt a munkát az EOMA-GNSS integrálásával a GNSS-re alapozott magasság-meghatározás támogatására. 2006-ban a FÖMI KGO egyik fontos kutatási témájává lépett elő a műhol-

das radar-interferometria, ezen belül az állandó szórópontok analízisének (PS-InSAR) geodéziai, sőt geodinamikai alkalmazása. A technológiával – akár milliós nagyságrendű pontszámra alapozva – az egész országra felületi lefedést adva meghatározható a felszín (az ahhoz köthető állandó szórópontok) magasságának változása. Ennek vizsgálatához már 16 évre visszamenő radarfelvételek állnak rendelkezésre, a működő és újonnan felbocsátandó radarholdak pedig erőteljes jövőbeni perspektívát adnak technológiának.

Véleményünk szerint a teljes geodéziai hálózat jövőbeni gerincét az aktív GNSS hálózaton túl 100–200 állandósított pontból álló integrált hálózat kell, hogy alkossa. A hálózati pontoknak integrálniuk kell a szintezési, GNSS, gravimetriai és PS-InSAR technológiákat. Az új integrált hálózat a geodézia vonatkozásában kiegészíthetné a jelenlegi gravimetriai hálózatot. A pontjel kialakítását, a hálózat megvalósíthatóságát, nagyságát, a helyszínek kiválasztási kritériumait alapos és széleskörű szakmai egyeztetés kell, hogy megelőzze. Gazdaságossági okokból célszerű lenne a pontépítést és mérést összekötni a folyamatban lévő EOMA újraméréssel. Így 2009-től, de a dunántúli hálózatrészekben mindenképpen megkezdődhetne az integrált hálózat építése és mérése.

Az integrált hálózat és a fizikai pontjelek (esetleg pontcsoport) tervezéséhez ki kell jelölni valamennyi érintett intézmény bevonásával egy kutatócsoportot. Ebben szerepet kaphatnának akár a meteorológusok is, hiszen a tudományos jelentőség mellett fontos a biztonságos pontelhelyezés (pl. meteorológiai állomások). A FÖMI-ben elkezdődött a PS-InSAR igényeit is figyelembe vevő pontjel tervezése, a KGO-ban 2008-ban felállítanak egy vagy több prototípust. A pontjel kialakításánál figyelembe kívánjuk venni valamennyi méréstípus igény- és feltételrendszerét.

Modernisation of the Hungarian Levelling Network

Mihály, Sz. – Kenyeres, A. – Papp, G. – Busics, Gy. – Csapó, G. – Tóth, Gy.

Summary

The Scientific Committee on Geodesy of the Hungarian Academy of Sciences has established an ad hoc committee to overview the current status of the Unified National Height System (EOMA) and to formulate recommendations on the short and long term development of the height refe-

rence network in Hungary. The discussion paper prepared by the ad hoc committee and discussed by the Scientific Committee on Geodesy is presented in this paper. The discussed main issues are the following:

- The re-measurement of the 1st order levelling network will be completed by 2012. New features are the exclusive use of digital levelling equipments, the more extensive use of the gravimetric data and the adjustment both on the level of normal heights and geopotential numbers. The committee has formulated recommendations to update the actual levelling regulations to accommodate all technical developments.

The long term modernisation of the levelling network in the light of the satellite techniques cannot be avoided. The GPS-heighting technology has already successfully implemented in the 3rd order EOMA network and parallel to the advancement of the 1st order re-measurement the establishment of the EOMA_3D GPS/levelling network is also on the way. The most important element of the long term EOMA modernisation is the development of the Hungarian Integrated Geodetic Network, where combined monuments, accommodating GNSS, gravimetry, levelling and PS-InSAR techniques will be installed to serve as the backbone and primary monumented bearer of the Hungarian geodetic reference.

IRODALOM

- [1] *Ádám, J. – Németh, Zs. – Tokos, T.* (1999): Az EOMA I. rendű hálózatának csatlakozása az egységes európai szintezési hálózathoz. *Geodézia és Kartográfia*, 51/2, pp. 16–23.
- [2] *Ádám, J. – Tokos, T. – Tóth, Gy.* (2002): Magassági mérőszámok és azok kapcsolata Magyarországon. *Geodézia és Kartográfia*, 54/1, pp. 5–10.
- [3] *Feldmann-Westendorff, U. – Liebsch, G. – Sacher, M. – Ihde, J.* (2006): Modernization of the German Height Reference Frame. Poster előadás a „GRF2006 (Geodetic Reference Frames) Symposium”-on, október 2–6, 2006, München.
- [4] *Ferretti, C. Prati, and F. Rocca* (2001): Permanent scatterers in SAR Interferometry. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 39(1), 8–20.
- [5] *Grenerczy, G., Oberle, Z., Virág, G., Frey, S.*: Complex subsidence monitoring using PS-InSAR, GPS and land based geodetic methods, *Studia geophysica & geodaetica*, under preparation.
- [6] *Gyenes, R. – Kulcsár, A.* (2006): Digitális szintezőműszerrel végzett mérések feldolgozása. *Geodézia és Kartográfia*, 12006/1, pp. 17–22.
- [7] Műszaki leírás az EOMA I. rendű hálózatáról. BGTV, 1982, FÖMI Központi Adattár.
- [8] *Papp, G. – Szeghy, E. – Benedek, J.* (2007): The determination of potential difference by the joint application of measured and synthetic gravity data: a case study in Hungary. *Journal of Geodesy (bírálat alatt)*
- [9] *Rüeger, J. M. – Brunner, F. K.* (2000): On System Calibration and Type Testing of Digital Levels. *Zeitschrift für Vermessungswesen (zfv)*, 125(4):120–130.
- [10] *Sacher, M. – Belyashki, T. – Liebsch, G. – Ihde, J.* (2004): Status of the UELN/EVRS data base and results of the last UELN adjustment. Az EUREF 2004 évi szimpóziómán elhangzott előadás. *Mitteilungen des BKG, EUREF Publ.* 14, pp. 172–179.
- [11] *Takalo, M. – Rouhiainen, P. – Lehmuskoski, P. – Saarinen, V.* (2001): On Calibration of Zeiss DINI12. *Proceedings of the FIG Int. Conference on „New Technology for a New Century”*, Seoul, Korea 6–11 May 2001,
- [12] *Virág, G. – Borza, T. – Németh, Zs.* (2001): Hagyományos és digitális kompenzátoros szintezőműszerek mérési eredményeinek összehasonlító vizsgálata. FÖMI Kutatási jelentés, 2001.
- [13] *Virág, G.* (2002): A hazai szintezések komparálási problémáiról, *Geomatika Közlemények V.* pp. 319–326, 2002.
- [14] *Völgyesi, L. – Csapó, G. – Szabó, Z. – Tóth, Gy.* (2007): A nehézségi erőter időbeli változása a talajvízszint ingadozásának hatására. *Geomatikai Közlemények, X.* 159–166.
- [15] *Woschitz, H. – Brunner, F.* (2002): System Calibration of Digital Levels – Experimental Results of Systematic Effects. Reprint of paper published in: *INGEO2002, 2nd Conference of Engineering Surveying*. Kopacik, A and Kyrinovic, P (eds), Bratislava, November 2002: pp 165–172.

*