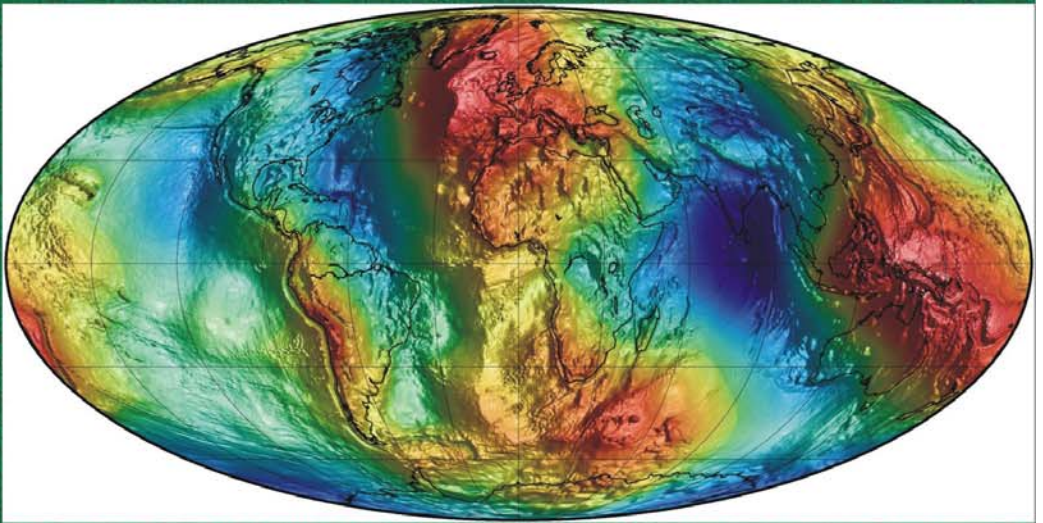


Biró Péter Ádám József
Völgyesi Lajos Tóth Gyula

A FELSŐGEODÉZIA ELMÉLETE ÉS GYAKORLATA

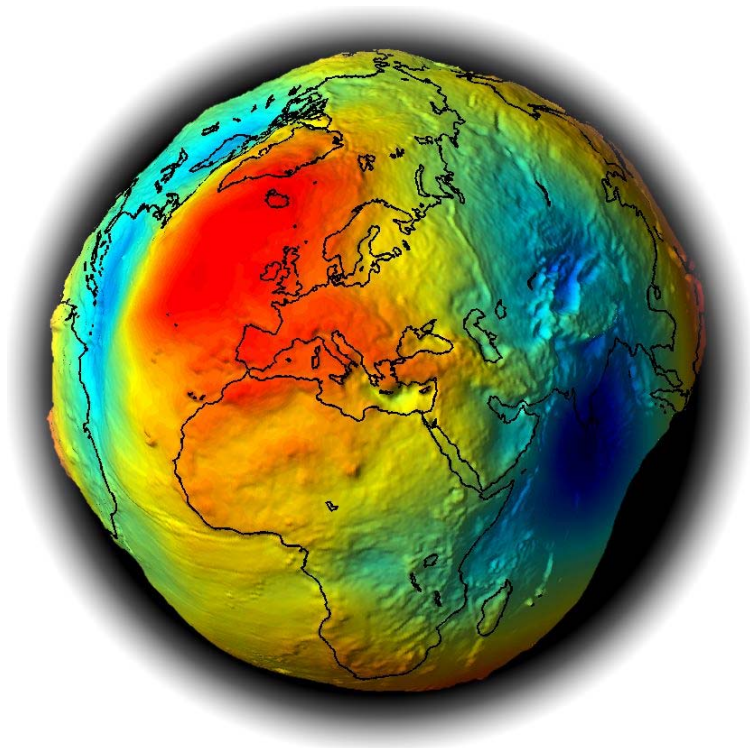


Biró Péter, Ádám József, Völgyesi Lajos, Tóth Gyula

A FELSŐGEODÉZIA
ELMÉLETE ÉS GYAKORLATA

Biró Péter, Ádám József,
Völgyesi Lajos, Tóth Gyula

A FELSŐGEODÉZIA ELMÉLETE ÉS GYAKORLATA



Budapest, 2013

Egyetemi tankönyv és kézikönyv



A kiadvány a Magyar Tudományos Akadémia
és a BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszéke támogatásával készült



Szerkesztés, grafika
Völgyesi Lajos

© *Biró Péter, Ádám József, Völgyesi Lajos, Tóth Gyula*

Minden jog fenntartva, beleértve a sokszorosítás, a fordítás jogát,
az egyes részeket és az ábrákat illetően is.

ISBN: 978-963-257-248-2
Megjelent 1000 példányban

Kiadja: HM Zrínyi Térképészeti és Kommunikációs Szolgáltató Nonprofit Kft.
Felelős kiadó: dr. Bozsonyi Károly ügyvezető
Nyomdai kivitelezés: HM Zrínyi Térképészeti és Kommunikációs Szolgáltató Nonprofit Kft.
Felelős vezető: Németh László ágazati igazgató

TARTALOM

ELŐSZÓ	7
1. ALAPFOGALMAK	11
1.1. A felsőgeodézia feladata	11
1.2. A felsőgeodézia szervezetei	15
1.2.1. Nemzetközi szervezetek	15
1.2.2. A magyarországi nemzeti szervezetek	25
1.2.3. Szakirodalom	35
1.3. Vonatkoztatási rendszerek	37
1.3.1. Földi vonatkoztatási rendszerek	38
1.3.2. Helymeghatározó adatok a földi vonatkoztatási rendszerekben	47
1.3.2.1. Geocentrikus helyvektorok	48
1.3.2.2. Ellipszoidi felületi koordináták	49
1.3.2.3. A szintfelületi földrajzi koordináták	54
1.3.2.4. A gömbi koordináták	56
1.3.3. Az égi vonatkoztatási rendszer	58
1.3.4. Égitestek helymeghatározó adatai	62
1.3.5. Az égi és a földi vonatkoztatási rendszer kapcsolata	66
1.4. Az időrendszerek	70
1.4.1. A Föld forgásán alapuló időrendszerek	70
1.4.2. Az efemerisz idő és a dinamikai idő	78
1.4.3. Az atomidő	79
1.4.4. Az év	81
2. A FELSŐGEODÉZIA MÉRÉSI MŰVELETEI ÉS EREDMÉNYEIK	83
2.1. A felsőrendű vízszintes és magassági szögmérés	83
2.2. A szabatos távolságmérés	84
2.3. A nehézségi erőter mérése	86
2.4. A szabatos szintezés	87
2.5. A kozmikus geodéziai mérések	88
2.5.1. A földrajzi helymeghatározás mérések	88
2.5.2. Mesterséges holdas módszerek	102
2.5.2.1. Irányvektorok meghatározása	103
2.5.2.2. Távolságok meghatározása	106
2.5.2.3. Távolságkülönbségek meghatározása	110
2.5.2.4. Szatellita altimetria	114
2.5.2.5. Távolságok és távolságváltozások meghatározása (műholdról-műholdra követés)	116

2.5.2.6.	További mérési módszerek és technikák	118
2.5.3.	Egyéb geodéziai módszerek	119
2.5.3.1.	Interferométeres mérések	119
2.5.3.2.	Lézeres távolság- és VLBI-mérések a Holdra	122
3.	A FÖLDI NEHÉZSÉGI ERŐTÉR	125
3.1.	A nehézségi erőter potenciálja	125
3.1.1.	A potenciál fogalma	125
3.1.2.	A tömegvonzás potenciálja	129
3.1.3.	A forgásból származó erőter potenciálja	132
3.1.4.	A földi nehézségi erőter potenciálja	133
3.2.	A nehézségi erőter geometriája	136
3.2.1.	A szintfelületek és az erővonalak	136
3.2.2.	A szintfelületek és a függővonalak görbülete	138
3.2.3.	Az erőter elemi változása	139
3.2.4.	A szintfelületek analitikus meghatározása	141
3.3.	A potenciálfüggvény gömbfüggvény-sorba fejtése	143
3.3.1.	A felületi és a térbeli gömbfüggvények	143
3.3.2.	A tömegvonzás potenciáljának gömbfüggvény-sora	150
4.	GEODÉZIAI VONATKOZTATÁSI RENDSZEREK GYAKORLATI MEGHATÁROZÁSA	159
4.1.	A geodéziai földmodell és a geodéziai vonatkoztatási rendszer	159
4.2.	Az ellipszoidméretek meghatározása geometriai módszerekkel	162
4.2.1.	A fokmérés és alkalmazásának eredményei	162
4.2.1.1.	A fokmérés elve	162
4.2.1.2.	Nevezetes fokmérések	166
4.2.1.3.	A fokmérések eredményei	167
4.2.2.	A függővonal-elhajlás fogalma és alapösszefüggései	168
4.2.3.	A felületek módszere és alkalmazásának eredményei	171
4.2.3.1.	A Helmert (Hayford)-féle (transzlatív) függővonal-elhajlás kiegyenlítés	171
4.2.3.2.	A Vening Meinesz-féle (projektív) függővonal-elhajlás kiegyenlítés	176
4.2.3.3.	A felületek módszerének eredményei	177
4.2.4.	Az ellipszoid-méretek meghatározása a szatellitageodézia geometriai módszerével	179
4.3.	A geodéziai földmodell meghatározásának hagyományos fizikai geodéziai útja	180
4.3.1.	A potenciálfüggvény sorbafejtése véges tagszámig, a szintszferoidok	181
4.3.1.1.	A szintszferoidok alapösszefüggései	181
4.3.1.2.	A szintszferoidok egyes további összefüggései	185

4.3.2. A geodéziai földmodell meghatározása a színtzferoidok elméletével	188
4.4. A geodéziai vonatkoztatási rendszerek meghatározása szintellipszoiddal	191
4.4.1. A megoldás alapelve	191
4.4.2. Gyakorlati megoldások	194
4.4.3. A közepes földi ellipszoid	200
5. A VONATKOZTATÁSI ELLIPSZOID ELHELYEZÉSE, ÁTSZÁMÍTÁS VONATKOZTATÁSI RENDSZEREK KÖZÖTT	201
5.1. A feladat leírása	201
5.2. A vonatkoztatási ellipszoid elhelyezésének gyakorlati megoldásai	203
5.2.1. Az önkényes elhelyezés	203
5.2.2. A simuló (relatív) elhelyezés	205
5.2.3. A geocentrikus elhelyezés	209
5.3. Átszámítás különböző vonatkoztatási rendszerek között	211
5.3.1. A dátummódosítás hatásainak kiszámítása	212
5.3.1.1. A koordináta-rendszer kezdőpontjának eltolódása	213
5.3.1.2. Az ellipszoidi földrajzi koordináták átszámítása	214
5.3.1.3. A függővonal-elhajlások és a geoidundulációk átszámítása	215
5.3.2. A hétparaméteres megoldás	215
5.4. A Magyarországon alkalmazott geodéziai dátumok és kapcsolataik	218
5.4.1. Vonatkoztatási ellipszoidok	218
5.4.2. Háromszögelési alaphálózataink hagyományos (geometriai) elhelyezései	221
5.4.3. Alaphálózataink elhelyezése mesterséges holdak észlelésével	223
5.4.4. Nemzeti vonatkoztatási rendszereink kapcsolatai	225
6. A GEOID ÉS A KÜLSŐ NEHÉZSÉGI ERŐTÉR MEGHATÁROZÁSA	233
6.1. A geoid meghatározásának geometriai (csillagászati-geodéziai) módszere	234
6.1.1. A csillagászati szintezés elve	234
6.1.2. A csillagászati szintezés gyakorlati végrehajtása	236
6.2. A geoid meghatározása gravimetriai módszerekkel	239
6.2.1. A potenciálzavar és a Bruns-féle összefüggés	240
6.2.2. A potenciálmélet peremérték-feladatai	242
6.2.3. A peremfeltétel felállítása a geoidra	243
6.2.4. A nehézségi rendellenességek	245
6.2.5. A peremérték-feladat megoldása a potenciálfüggvény gömbfüggvény-sorával	249
6.2.6. Megoldás a Stokes-féle sorral	250
6.2.7. A Vening Meinesz-féle összefüggés	255
6.2.8. Geoidundulációk és függővonal-elhajlások gyakorlati számítása	258
6.2.9. Megoldás gyors Fourier-transzformációval (FFT)	262
6.2.10. A gravimetriai szintezés	272

6.2.11. A függővonal-elhajlások sűrítése	273
6.2.11.1. A gravimetriai sűrítési módszer	273
6.2.11.2. Sűrítés a domborzat alapján	276
6.2.11.3. A függővonal-elhajlások izosztatikus számítása	280
6.2.11.4. Sűrítés gradiométeres mérések alapján	284
6.3. A geoid meghatározása szatellitageodéziai módszerekkel	291
6.3.1. A szatellitageodézia geometriai alkalmazása	291
6.3.2. Dinamikai szatellitageodéziai módszerek alkalmazása	292
6.3.3. Szatellita gradiometria	296
6.3.4. Szatellita altimetria	300
6.4. Kombinált megoldások	302
6.4.1. Csillagászati-gravimetriai szintezés	303
6.4.2. A kollokáció alkalmazása a geoid meghatározására	305
6.4.2.1. A kovariancia függvény	306
6.4.2.2. Nehézségi rendellenességek legkisebb négyzetek szerinti optimális becslése (predikciója)	307
6.4.2.3. A kovariancia terjedés	311
6.4.2.4. Alkalmazás geoidszámításra	311
6.4.2.5. Lépésenkénti kollokáció	313
6.4.2.6. Gyors kollokáció rács adatokra	313
6.4.3. A szatellitageodéziai és a földi gravimetriai módszerek együttes alkalmazása	315
6.4.4. Geopotenciál modellek	317
6.4.4.1. Geopotenciál megoldások	319
6.4.4.2. Az EGM2008 megoldás bemutatása	324
6.4.4.3. Az ICGEM szolgálat	329
6.5. Magyarországi geoidmeghatározások	330
6.5.1. Korábbi geoidmeghatározások	330
6.5.1.1. A geoidfelület meghatározása csillagászati-geodéziai módszerekkel	332
6.5.1.2. A geoidfelület meghatározása csillagászati-gravimetriai módszerrel	336
6.5.1.3. A geoidfelület meghatározása gravimetriai módszerrel	338
6.5.1.4. A FAGRG80 és a HGEO99B geoidfelület összehasonlítása	339
6.5.1.5. Geoidfelület meghatározása a szatellitageodézia geometriai módszerével	341
6.5.1.6. Geoidfelület az EGG97 jelű európai geoidkép meghatározása alapján	343
6.5.2. Újabb geoidmeghatározások	345
7. A FIZIKAI FÖLDFELSZÍN MEGHATÁROZÁSA	355
7.1. A háromdimenziós pontmeghatározás	355
7.2. A hagyományos alappont-meghatározás	356

7.3. A geoid feletti magasság meghatározása	357
7.3.1. A geometriai szintezés	358
7.3.2. Magassági mérőszámok	359
7.3.2.1. A geopotenciális érték	359
7.3.2.2. Az ortométeres magasság	360
7.3.2.3. A dinamikai magasság	362
7.3.3. A trigonometriai magasságmérés	362
7.3.4. Magasságmeghatározás mesterséges hold észleléssel	366
7.4. A peremérték-feladat megoldása a fizikai földfelszínre	367
7.4.1. A normálmagasság	370
7.4.2. A magassági rendellenesség	372
7.4.3. A Mologyenszkij-féle földfelszíni függővonal-elhajlás	377
7.5. Kombinált megoldás a helyzet és a nehézségi erőter együttes meghatározására (integrált geodézia)	379
8. MAGYARORSZÁGI FELSŐGEODÉZIAI ALAPPONTHÁLÓZATOK ÉS VONATKOZTATÁSI RENDSZEREIK	383
8.1. A geodéziai alapponthálózatok kialakításának elvei és fejlődése	384
8.2. Vízszintes (háromszögelési) alapponthálózatok, geodéziai dátumaik és vetületi síkkordináta-rendszereik	386
8.3. Magassági (szintezési) alapponthálózatok és alapszintfelületeik	393
8.4. Nehézségi alapponthálózatok és vonatkoztatási rendszerük	399
8.5. Háromdimenziós alapponthálózatok és vonatkoztatási rendszereik	404
8.6. Integrált geodéziai alapponthálózat létesítése	412
9. A NÉGYDIMENZIÓS GEODÉZIA (GEODINAMIKA)	415
9.1. A Föld belső felépítése	417
9.2. Geotektonika, jelenkori felszínmozgások	420
9.3. A nehézségi erőter időbeli változásai	426
9.3.1. Az árapály	427
9.3.1.1. Merev földtömeg árapálya	429
9.3.1.2. Folyadékszerű földtömeg árapálya	432
9.3.1.3. A rugalmas földtömeg árapálya	433
9.3.1.4. Az állandó árapály és hatása a geodéziában	437
9.3.2. Nem árapály jellegű változások	439
9.3.2.1. A Föld forgásával kapcsolatos változások	439
9.3.2.2. Sűrűségváltozás és a tömegátrendeződések hatása	442
9.3.2.3. Egyéb hatások	445
9.4. A tengerszintváltozások	446
9.5. Az időbeni változások hatása a helymeghatározó adatokra	450
9.5.1. A természetes koordináták és változásaik	450

9.5.2. A természetes koordináták és az erőter időbeli változásának kapcsolata	452
9.5.2.1. A magasság és a nehézségi térerősség időben változó erőterben	452
9.5.2.2. A természetes koordináták változása és a valódi felszínmozgások	461
9.5.3. A szatellitagedézia eredményeinek bevonása	467
9.5.4. Modellszámítások	473
9.5.5. Geodinamikai következtetések	478
FELHASZNÁLT ÉS AJÁNLOTT IRODALOM	483
NÉV- ÉS TÁRGYMUTATÓ	501

Előszó

A Felsőgeodézia előző magyar nyelvű átfogó tankönyvének közel 50 évvel ezelőtti megjelenése óta a mérés- és számítástechnikai eszköztár rohamos fejlődése (a mester-séges holdas, a hosszú alapvonalú interferométeres (VLBI), a graviméteres és a gradiométeres mérések stb. széleskörű elterjedése) magával hozta mind a fogalomkör, mind az elmélet, mind a gyakorlat jelentős átalakulását. Ezt és a felsőoktatás rendszerének megváltozását követte az egyetemi képzés tantárgyainak, tananyagának is a fejlődést követő átrendezése, de hiányzik ennek *tankönyvi* megjelenítése. Ezzel együtt hiányzik a geodéziatudomány ezen részének összefoglaló olyan *kézikönyve*, amire támaszkodva az egyetemi tanulmányokat korábban végzett gyakorlati szakemberek, tudományos kutatók, a PhD tudományos fokozat megszerzésére készülők, valamint a felsőgeodéziai ismeretek iránt érdeklődő más képzettségű szakemberek a témakör korszerű ismeretanyagát el tudják sajátítani. A mű célja ezeknek a hiányoknak a megszüntetése.

Ennek érdekében komplex földtudományi szemléletben bemutatjuk a *geodézia tudományos alapjait*, ezen belül is a *Föld, mint égitest* egésze méretének, alakjának, térbeli elhelyezkedésének, külső nehézségi erőterének és mindezek időbeli változásának meghatározásával foglalkozó *felsőgeodézia* mai, korszerű elméletét és gyakorlati módszereit. Mindezek alapozzák meg az egész földfelszint beborító világhálózatok, az interkontinentális, kontinentális és nemzeti geodéziai alappont-hálózatok létesítésének, a közöttük lévő kapcsolatok meghatározásának eljárásait. Rájuk épülnek a földfelszín egyes részleteit meghatározó további geodéziai munkálatok (amelyekkel jelen mű keretében már nem foglalkozunk).

A mű, rendszerezett, módszeres felépítésben, a történelmi fejlődést követve, végigvezeti az olvasót mindezen feladatok megoldásához szükséges elméleti és gyakorlati ismeretekre. Igyekeztünk a korábbi (klasszikus) elméleti ismereteknek olyan gyűjteményét nyújtani, amiben a fiatal kutató-utánpótlás magyar nyelven megtalálja a fontosabb részleteket is. A hagyományos *geometriai* módszerek háttérbe szorulásának megfelelően nagyobb terjedelemben foglalkozunk a felsőgeodézia *fizikai* módszerei (gravimetria, gradiometria, műholdas technikák, stb.) elméleti megalapozásával és gyakorlati eredményeivel. Súlyt helyeztünk arra, hogy a módszerek tárgyalása mellett, a velük elért korábbi és legújabb számszerű eredményeket, így, ahol csak lehetett, a vonatkozó magyarországi eredményeket is bemutassuk, közreadjuk. Közöttük, élve a mai lehetőségekkel, könyvben először jelentetünk meg felsőgeodéziai munkálatainkra vonatkozó olyan nemzetközi és hazai adatokat, amelyek a korábbi korlátozások miatt nem voltak nyilvánosak. (Ezzel kapcsolatban megjegyezzük, hogy a többes szám első személyi igealakokat kétféle értelemben is használjuk: egyrészt arra, amit mi magyarországi geodéták elértünk; másrészt pedig olyan helyeken, ahol a szerzők az eredmények elérésében maguk is tevőlegesen részt vettek, illetve közreműködtek.)

Jelen műben különös figyelmet szentelünk annak, hogy a Föld nem egyszer és mindenkorra kialakult „merev test”, hanem rugalmas és maradandó változásoknak kitett tömeg, amelynek geometriai és fizikai jellemzői időben *folyamatosan változnak*. Külön részt fordítottunk ezen folyamatok és geodéziai hatásaik részletes bemutatására. A szoros értelemben vett tudományos-technikai ismeretek mellett fontosnak tartottuk, hogy áttekintést adjunk az olvasónak a felsőgeodézia hazai és nemzetközi szervezeteiről, működésükről, a gyakorlati munkákhoz alapvető adatokat nyújtó szolgálataikról és elérhetőségükről, valamint a felsőgeodézia alapvető, átfogó hazai és nemzetközi szakirodalmi műveiről.

A munka sikere érdekében a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (Műegyetem) volt *Felsőgeodézia*, ma *Általános- és Felsőgeodézia Tanszékének* ezt a tudományterületet művelő korábbi és jelenlegi négy vezető oktatója együttesen vállalkoztunk e mű megírására, és adjuk át elméleti tudásunk, gyakorlati tapasztalataink, hazai és nemzetközi kapcsolatrendszerünk eredményeinek legjavát. A közös munka során egymástól is nagyon sokat tanultunk.

Munkánkkal követni szeretnénk „nagyevű elődeink” *Hazay István, Homoródi Lajos, Rédey István* és mások példáját, gyümölcsöztetni kívánjuk a velük töltött évek, évtizedek során tőlük tanultakat. Ezzel is emléket állítva a felsőgeodézia terén kifejtett kiemelkedő és meghatározó munkásságuknak.

Példájukat követve, törekedtünk mondandónkat pontos fogalomalkotásokkal, a szakember által jól érthető, lehetőleg olvasmányos módon, – a Magyar Tudományos Akadémia egyik legfontosabb céljának is megfelelően – szép magyar nyelven leírni. E téren határozott célunk a *magyar szaknyelv ápolása*, az újabb idegen-nyelvű szakkifejezések, elnevezések még hiányzó anyanyelvi megfelelőjének megtalálása és következetes használata. (Az egyértelműség kedvéért, ahol célszerű, zárójelben megadtuk az eredeti nyelvű kifejezést és az ezt rövidítő betűszót is.) (Szaknyelvi törekvésünket, sajnós, nem minden témakörben sikerült megvalósítani.)

Tankönyvként a mű a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) Építőmérnöki Karán különböző szinten és irányokban folyó földmérő- és térinformatikai mérnök képzésben résztvevő hallgatók tanulmányait segíti. Jelenleg a BME Építőmérnöki Karán tanuló Geoinformatika-építőmérnöki alapszak (BSc), Földmérő- és térinformatikai mérnöki mesterszak (MSc), valamint a Vásárhelyi Pál Építőmérnöki és Földtudományi Doktoriskola (PhD) hallgatóinak képzését szolgálja. Komplex, szintetizáló tankönyvként hallgatóink a Felsőgeodézia, a Globális helymeghatározás, a Geodéziai alaphálózatok, a Geofizika, a Fizikai geodézia és gravimetria, a Kozmikus geodézia, a Geodéziai hálózatok és vetületek, a Dinamikai szatellitageodézia, a GNSS elmélete és gyakorlata, stb. tantárgy anyagának elsajátításához használhatják. Segíteni fogja más felsőoktatási intézmények, így a Nyugat-magyarországi Egyetem (NyME) Geoinformatikai Karának földmérő és térinformatikai, az ELTE Informatikai Karának térképész és geoinformatikus, továbbá a tudományegyetemek természettudományi karainak földrajz és földtudomány területein a különböző szintű képzések (BSc, MSc, PhD) keretében folyó oktatását. A Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar, a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, a NymE

Erdőmérnöki Kar és a Szent István Egyetem Ybl Miklós Építéstudományi Kar társtan-
székeinek oktatói is hasznosan tudják oktatómunkájukban felhasználni.

A jelen művet *kézíróként* a földmérés, a térképészet és a térinformatika területein a
gyakorlatban dolgozó szakemberek és tudományos kutatók használatára ajánljuk.

Köszönetünket fejezzük ki mindazoknak, akik e mű megjelenését lehetővé tették, il-
letve segítették. Köszönet a *Magyar Tudományos Akadémiának* és a *BME Általános-
és Felsőgeodézia Tanszékének* a kiadás költségeinek fedezéséért és a *HM Zrínyi Tér-
képészeti és Kommunikációs Szolgáltató Nonprofit Kft.*-nek a magas színvonalú
nyomdatechnikai kiállításért valamint a kiadói feladatok ellátásáért. Köszönet illeti *dr.
Völgyesi Lajos* szerzőtársunkat a kiváló technikai szerkesztésért, beleértve az ábra-
anyag szemléletes és tetszetős elkészítését is. Megköszönjük a *Tanszék valamennyi
munkatársának* a nekünk nyújtott segítséget, és végül, de nem utolsó sorban *család-
tagjaink* türelmét és közvetett segítségét, amivel lehetővé tették, hogy időnk és erőnk
nagy részét, hosszú időn át erre a munkára fordítsuk.

Budapest, 2013. januárjában

A Szerzők:



Dr. Biró Péter
Professzor Emeritusz
az MTA rendes tagja



Dr. Ádám József
egyetemi tanár
az MTA rendes tagja



Dr. Völgyesi Lajos
egyetemi tanár
az MTA doktora



Dr. Tóth Gyula
egyetemi docens
a műszaki tudomány
kandidátusa



Magyarországi felsőgeodéziai alapponthálózatok és vonatkoztatási rendszereik

Ebben a részben rövid történeti áttekintést kívánunk nyújtani geodéziai alaphálózataink fejlődéséről az utóbbi két évszázadban, elsősorban a felsőgeodézia eddigiekben megismert elméleti alapjainak hazai gyakorlati alkalmazása szempontjából. Itt nem tárgyaljuk részleteiben az egyes geodéziai alaphálózatok létesítésének *eljárásait és módszereit*. Ezek megtalálhatók szakterületünk fontos kézi-, szak- és tankönyveiben (*Bendefy 1958, Hazay 1956, 1957, 1960, Hazay és Szalontai 1973, Homoródi 1966 és 1980, Földváryné 1989*). A geodéziai alaphálózatok témakörében a Geodézia és Kartográfia szaklapunk elmúlt 60 évében igen nagyszámú közlemény és tanulmány jelent meg, valamint számos tájékoztató anyag található szemlecekkel, könyv- és folyóiratismertetéseként. Számos részlet ismerhető meg belőlük. Összességében véve ezek elég jól tükrözik a geodéziai alapponthálózatok és vonatkoztatási rendszereik témakörében bekövetkezett igen imponáló és komoly fejlődést, lényeges változást. Erre az időszakra esik az Egységes Országos Vízszintes (háromszögelési) Alapponthálózatunk (EOVA) teljes körű létrehozása a IV. rendűig bezárólag (1948-1992), két országos szintezési alaphálózatunk létesítése és elkezdődött az Egységes Országos Magassági (szintezési) Alapponthálózatunk (EOMA) I. rendű vonalainak újramérése, továbbá valamennyi országos nehézségi (gravimetriai) és szatellitageodéziai alaphálózatunk létesítése. Róluk a továbbiakban fogunk áttekintő képet adni.

A geodéziai alapponthálózatok létesítésére vonatkozó egységes szabályozásokat, a megfelelő ajánlásokat és előírásokat a Nemzetközi Geodéziai Szövetség (International Association of Geodesy = IAG) közgyűlésein és tudományos konferenciáin dolgozzák ki, illetve korábban az elődszervezetei (Közép-Európai Fokmérés, Európai Fokmérés, Nemzetközi Földmérési Szövetség) írták elő az együttműködésben résztvevő tagállamok számára [1.2.1.]. Jelenleg az IAG EUREF (European Reference Frame) albizottsága (*Ádám 2005*) foglalkozik az egységes európai geodéziai alapok tudományos megalapozottságú létrehozásának elvi irányításával és koordinálásával, szoros együttműködésben az európai térképészeti szolgálatok vezetőinek bizottsága (EuroGeographics, korábbi nevén CERCO) felsőgeodéziai munkacsoportjával. Az általuk kidolgozott ajánlások, előírások és szabályozások meghatározó keretet jelentenek napjainkban a hazai hálózatfejlesztéseink számára is.

A II. világháborút követő időszakban kialakult sajátos körülményeinknek megfelelően hazánk szempontjából kötelezően meghatározó regionális együttműködést jelentett a

SZOGSZ (Szocialista Országok Geodéziai Szolgálata) intézménye. A SZOGSZ keretében hozott rendszeres megállapodások következményeként fejlesztették alapponthálózatainkat (vízszintes, magassági, nehézségi (gravimetriai) és szatellitageodéziait egyaránt), amelyeknek egységbefoglalásával hozták létre az európai ún. szocialista országok területén a megfelelő egységes regionális geodéziai alapponthálózatokat. (Ez a kötöttség egyes esetekben lehetetlenné tette a geodéziai szempontból alapvető adatok közzétételét a vonatkozó adatkezelési (TÜK) szabályok kötelező alkalmazása miatt. Ez elsősorban az EOVA térbeli elhelyezésére vonatkozó adatokra, nehézségi erőterünk jellemzőire, átszámítási (transzformációs) paraméterekre, geoidtérképekre, stb. vonatkozott.) Ma már nemzetközi összehasonlítások és vizsgálatok mutatják, hogy ezek a hálózatok és részeiként geodéziai alapponthálózataink (EOVA, EOMA, MGH) kiváló minőségűek (Ádám és társai, 2000a).

A geodéziai alaphálózataink létesítésekor alkalmazott eljárásokat és módszereket tartalmazza az állami földmérés intézményei által kiadott különböző végrehajtási utasítások, szabályzatok. A hálózatok létesítésére vonatkozóan ezek alapvető dokumentumok. Megjegyezzük, hogy a vízszintes, a magassági és a háromdimenziós geodéziai alaphálózatainkra vonatkozó adatok (mérési eredmények, koordináták, magassági értékek, stb.) a Földmérési és Távérzékelési Intézet (FÖMI) adattárában, a nehézségi alapponthálózatok megfelelő adatai pedig az ELGI-ben (illetve 2012-től a Magyar Földtani és Geofizikai Intézetben (MFGI)) érhetők el.

8.1. A geodéziai alapponthálózatok kialakításának elvei és fejlődése

A geodézia feladatait a Föld fizikai felszínén maradandóan megjelölt (állandósított) pontok bizonyos sűrűségű és eloszlású hálózatainak, az ún. geodéziai alapponthálózatoknak a segítségével oldjuk meg, amelyekben a pontok (ún. alappontok) térbeli helyzetét és nehézségi adatait geodéziai és nehézségi mérések [2.] segítségével határozzuk meg, valamely alkalmasan és célszerűen kiválasztott vonatkoztatási rendszerben [1.1.], [1.3.1.].

A geodéziatudomány és gyakorlata jelenlegi szintjén, a geodézia feladatainak teljes körű megoldása céljából négyféle alapponthálózattal kell foglalkoznunk: nevezetesen a felsőrendű háromszögelések, a felsőrendű szintezések, a nehézségi mérések, valamint a természetes és mesterséges égitestekre vonatkozó kozmikus geodéziai (elsősorban a GNSS-) mérések eredményeire támaszkodókkal [2.].

A geodéziai alapponthálózatok létesítésének célja az, hogy a részletes felmérés adatainak szerves összefüggése céljából, szabatosan összeilleszkedő, szilárd keretet nyújtson, amelyek lehetővé teszik egyrészt a széttagoltan felmért területek egységes ábrázolását, másrészt pedig a térképen (irodában) végzett tervezésnek az átvitelét a terep megfelelő helyére. Másképpen úgy is fogalmazhatunk, hogy a geodéziai alaphálóza-

tok azért szükségesek, hogy a földfelszint elméleti vagy gyakorlati szempontból jellemző további pontok meghatározását már az alaphálózatot alkotó ponthalmaz pontjaihoz viszonyítva végezzük el, amivel azt biztosítjuk, hogy a térben és időben elkülönített részletes felmérések szakadás vagy átfedés nélkül illeszkedjenek egymáshoz, és a lehető legnagyobb mértékben egységes képet adjanak a földfelszínről.

A geodéziai alapponthálózatokat mindig a rendelkezésre álló legkorszerűbb mérési és számítási eljárásokkal fejlesztik ki. A geodéziai alaphálózataink az ország infrastruktúrájának fontos, és nélkülözhetetlen részét képezik, amelyekre a földmérési és térképészeti feladatokon túl újabban a térinformatikai adatbázisok, geoinformációs rendszerek és a kataszteri nyilvántartások, valamint építéstervezési és kivitelezési folyamatok is alapvetően támaszkodnak.

A geodéziai alapponthálózatokat több egymást követő lépésben hozzák létre, melyek időrendi sorrend szerint több rendre tagolódnak. Számuk a hálózat típusától függően különböző. Így pld. kifejlesztésük sorrendjében első-, másod-, harmad-, negyed- és ötödrendű háromszögelési hálózatot különböztetünk meg, amelyekből az első harmat összefoglaló néven felsőrendű, az utóbbi kettőt pedig alsórendű hálózatnak nevezzük. A szintezési hálózatok szintén a kifejlesztésük sorrendjében első-, másod-, és harmadrendű magassági hálózatokra tagolódnak. A gravimetriai hálózatok korábban csak első- és másodrendű hálózatokra tagolódtak, a jelenlegi országos gravimetriai hálózatunkat már abszolút (nulladrendű), első- és másodrendű tagolásban fejlesztették ki (Csapó 2000). Az országos GPS hálózatainkra az előzőektől eltérő tagolás-elnevezés alkalmazása indokolt (Borza és Busics 2005).

Az alapponthálózatok létesítése bizonyos rendűségig minden országban központi állami feladat, amelyet egységes terv szerint, célszerű időbeosztással végeznek el az ország területén. A geodéziai alaphálózatok megléte és folyamatos karbantartása éppen úgy alapvető nemzetgazdasági szükséglet, mint a közlekedési vagy hírközlési hálózaté. Magyarországon a vízszintes alaphálózat a negyedrendű alappontokig bezáróan, a magassági és a gravimetriai alaphálózat pedig a harmadrendű alappontokig bezáróan készül egységes országos terv szerint. Ezért őket országos alaphálózatoknak is nevezik.

Az egymásba hierarchikusan illeszkedő alapponthálózatok sorában különleges szerep jut az elsőrendű hálózatnak. Az I. rendű geodéziai (vízszintes, magassági, gravimetriai és 3D) alaphálózatok létesítésének célja és feladatai többek között az, hogy egységes keretet biztosítsanak a részletes felmérések számára (az I. rendű hálózatok alapot nyújtanak a felmérések további módozataira) és képviseljék az országot a nemzetközi együttműködésekben (regionális, kontinentális, sőt az egész Földre kiterjedő egységes geodéziai alapponthálózatok alapját képezik). Az I. rendű hálózatoknak alkalmasnak kell lenni az ismételt mérések végzésére, egyrészt a földfelszíni mozgásvizsgálatokhoz szükséges megfelelő alap szolgáltatása, másrészt a korábbi hálózatoknak tudományos megalapozottságú pontossági vizsgálata céljából. Alapul szolgálnak továbbá a Föld matematikai (elméleti) alakjának (a geoidnak) a meghatározásához, és ismételt komplex geodéziai GPS, nehézségi (gravimetriai), szintezési, stb. mérések végzésével hozzá kell járulniuk az ún. „integrált pontok” hálózatának kialakításához az európai geokinematikai (cm-es pontosságú) magassági hálózat létrehozása céljából.

8.2. Vízzintes (háromszögelési) alapponthálózatok, geodéziai dátumaik és vetületi síkkoordináta-rendszereik

Az országos háromszögelési hálózatok létesítésének Magyarországon alig több mint 200 éves múltja van. Ez idő alatt *négy országos háromszögelési hálózatot* létesítettek. A korszerű műholdas (GNSS-) technika megjelenése és egyre kiterjedtebb, széleskörű alkalmazása miatt újabbra minden bizonnyal már nem lesz szükség. Az országos felsőrendű háromszögelési (vízzintes) alapponthálózataink főbb jellemzőit a *8.1. táblázatban* mutatjuk be. Átfogó bemutatásukkal *Regőczi* (1951, 1958 és 1961), *Homoródi* (1952a, 1953 és 1957a), *Joó* (1974, 1986a és 1986b), *Bod* (1982), *Hodobay-Böröcz* (2001) és *Lukács* (2003) tanulmánya foglalkozik. A szaklapunk elmúlt 60 évére a jelenlegi egységes országos vízzintes alapponthálózat (EOVA) létesítése esik. Az EOVA létesítésével összefüggésben nagyszámú cikk jelent meg az előbbieken említetteken kívül is. Így mindenképpen meg kell említenünk *Homoródi* (1951, 1952b, 1953b és 1955) tanulmányait. A negyedrendű háromszögelés témakörében időrendi sorrendben említjük meg *Homoródi* (1957b), *Balázs* (1967), *Biró* (1978), *Bölcsvölgyi* (1988, 2003a, 2003b és 2003c), valamint *Borza* és társai (1991) közleményét.

8.1. táblázat. Magyarország felsőrendű háromszögelési alapponthálózatainak főbb jellemzői

A hálózat megnevezése	Nemzetközi kapcsolódásai	Alkalmazott geodéziai dátum	Alkalmazott vetületi síkkoordináta-rendszer jelölése
a) II. katonai felmérés (1807-1869)	Habsburg-Birodalom	D1810	VTN
b) 1853. évi felsőrendű hálózat (1853-1857)		OZ1845	
1860. évi felsőrendű hálózat (1860-1913)	Osztrák-Magyar Monarchia, „Európai főkmérés”, ED50	B1860	SZT; BÖV (1930)
1925. évi felsőrendű hálózat (1925-1944)		B1892 (MGI),	GAK
		B1944 (DHG)	GAK
		B1908	HÉR, HKR, HDR
	ED50	ED50	UTM
	–	–	–
Egységes Országos Vízzintes Alapponthálózat (EOVA, 1948-1972)	EAGH 1958,	S42/58	GAK
	EAGH 1983,	FAGH (1972)	
a) I. rendű láncolat (1948-1952)	ED87	S42/83, ED87,	EOV
b) Felületi Asztrogeodéziai Hálózat (FAGH)		HD72	

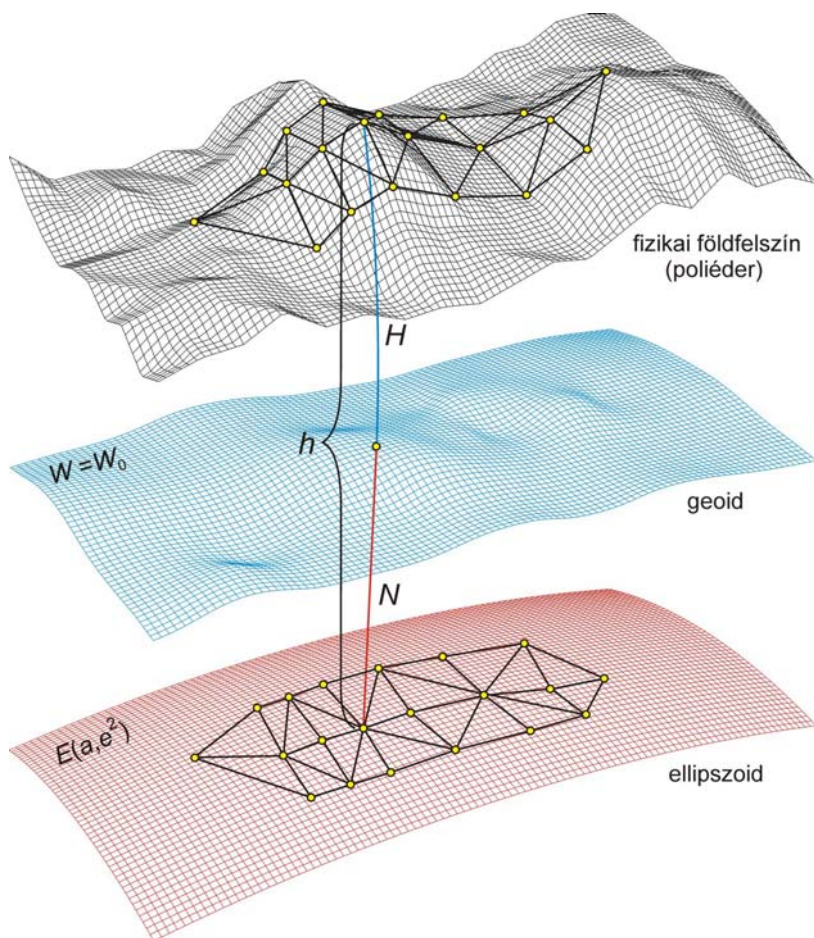
A vízzintes I. rendű alapponthálózat pontjai meghatározásának hagyományos módszere a *háromszögelés* volt. Valamely pontalmaz pontjai egymáshoz viszonyított helyzetének háromszögeléssel végzett meghatározásához az volt szükséges, hogy az alappontoknak egymáshoz csatlakozó háromszögekből álló hálózatot (térbeli polié-

dert) kellett alkotniuk és ismerni kellett a háromszögek szögeit és oldalainak hosszát, valamint a hálózat helyzetét és az égtájakhoz viszonyított tájékozását az alapfelületen (a vonatkoztatási, vagy referenciaellipszoidon). Ennek megfelelően az elsőrendű vízszintes alapponthálózat létesítésekor háromféle mérést kellett végezni: *a)* vízszintes szögmérést (iránymérést) a hálózat *alakjának*, *b)* hosszmerést (ún. alapvonalmerést) a hálózat *méretének* és *c)* csillagászati-geodéziai mérést a háromszögelési hálózat *helyének* és *tájékozásának* meghatározása érdekében.

Háromszögelési hálózataink a Föld fizikai felszínén készültek, hiszen itt vannak a pontokat jelölő kövek, amelyeken a méréseket végezték. Így valamely háromszögelési hálózat a valóságban váltakozó nagyságú és alakú háromszögekből mint oldallapokból felépített szabálytalan poliéder. Ez így számításra, a csúcspontok helyzetének meghatározására közvetlenül alkalmatlan volt. Ezen úgy segítettek, hogy a tengerszint felett különböző *H* magasságban fekvő pontokat rávetítették az elméleti földfelszínre, a *geoidra*. Annak érdekében, hogy a valóságos hálózat kevésbé torzult képét állítsák elő, a XX. század első harmadától kezdődően vetítívonalként a függővonalat – a Föld nehézségi erőterének az erővonalát – használták [3.2.1.]. Ezen a felületen ilyen módon létrehozott háromszöghálózat a geoid szabálytalanságai miatt még mindig alkalmatlan volt a koordináta-számításra, ezért a geoidot *forgási ellipszoiddal* helyettesítették, mert ez a szabályos felület közelíti meg legjobban a geoidot. Így a fizikai földfelszínen képződött eredeti poliéder helyett az ellipszoid felületére vetített pontokból kialakított *ellipszoidi háromszögekből* álló hálózathoz jutottak (*Homoródi* 1953b és *Rummel* 1993) (8.1. ábra). Az ellipszoidon így előállított háromszöghálózat egy pontjának, továbbá egy kezdőoldala hosszának és azimutjának (az égtájakhoz viszonyított irányszögének) valamint természetesen a hálózat belső szögeinek ismerete volt szükséges ahhoz, hogy a hálózat összes további I. rendű pontjának helyzetét az ellipszoidon kiszámítsák.

A vízszintes alapponthálózatok és a segítségükkel történő geodéziai ábrázolás (a térképezés és az ennek alapját szolgáló koordináta-számítások) alapfelületül rendszerint forgási ellipszoid szolgál. A forgási ellipszoid kiválasztásakor mindig arra törekedtek, hogy ez mind alakjánál, mind méreteinél fogva minél jobban illeszkedjék a földfelülethez, pontosabban ennek első legjobb megközelítőjéhez, a geoidhoz [4.]. Ezért a szóba jöhető forgási ellipszoidok közül mindig a legkorszerűbbet választották geodéziai alapfelületül. A legkedvezőbb ellipszoid alak- és méretmeghatározóit csillagászati és geodéziai mérések alapján az elmúlt két évszázad folyamán számosan levették, és így számos – egymástól méretben és alakban eltérő – ellipszoidot alkalmaznak a Föld különböző országaiban. A történelmi fejlődés folyamán a geodéziai műszerek, valamint a mérési és számítási eljárások finomodása folytán a Földet helyettesítő ellipszoidra egyre megbízhatóbb adatokat szereztek és szereznek napjainkban is. Magyarországon eddig bevezetett alapfelületek geometriai jellemzőit, továbbá az alkalmazott geodéziai dátumok jelölését az 5.2. táblázatban tüntettük fel. *Joó* (1972a és b) közli továbbá a kettős vetítés alkalmazásához a GRS67 (IUGG1967) vonatkozási ellipszoidhoz [4.4.2.] bevezetett új magyarországi *Gauss*-gömb sugarának meghatározásával kapcsolatos eredményeket. Magyarországon két ellipszoidhoz határoztak meg simuló gömböt, elsősorban vetülettani alkalmazás céljából. A *Bessel*-féle ellipszoid-

hoz simuló (régí magyarországi) *Gauss*-gömb sugara: $R = 6\,378\,512.97\text{m}$, az IUGG1967 (GRS67)-ellipszoidhoz simuló (új magyarországi) *Gauss*-gömb sugara: $R = 6\,379\,743.00\text{ m}$. A kettő különbsége $\Delta R = R(\text{új}) - R(\text{régí}) = 1230.03\text{ m}$.



8.1. ábra. A fizikai földfelszínen lévő eredeti poliéder és az ellipszoid felületén levő pontokból kialakított ellipszoidi háromszögekből álló hálózat kapcsolata.

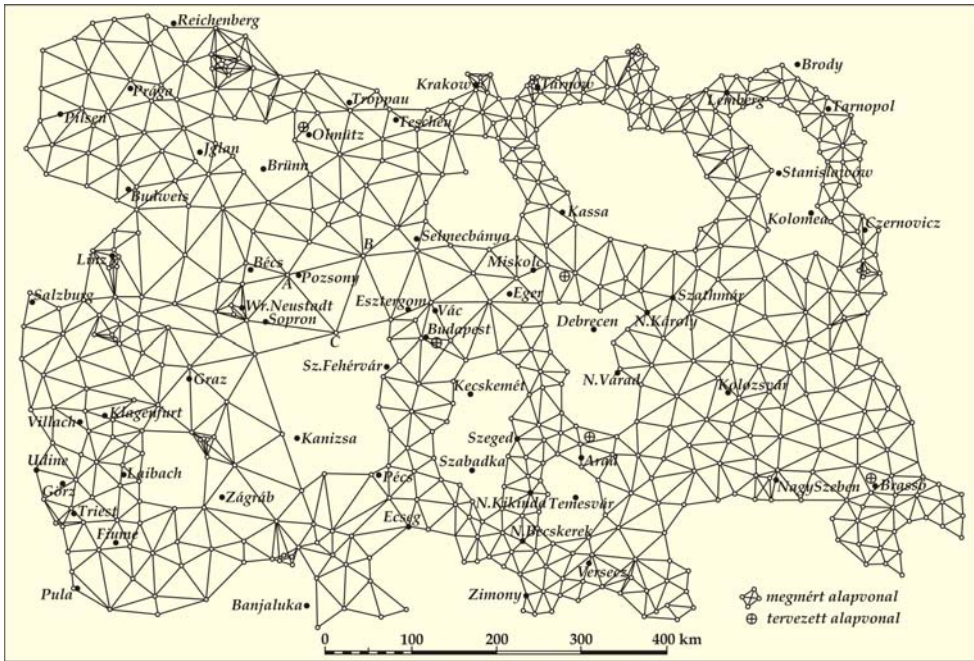
Magyarországon összefüggő nagyobb háromszögelés *legelőször* 1807-ben indult meg a katonai térképezés céljára. Ez a munkálat többször is megakadt, majd a régi munkák hibáit felismerve a hálózat létesítését többször is újrakezdték. A munkálatot 1848-tól a bécsi volt Katonai Földrajzi Intézet (MGI) végezte. A részletes kataszteri felmérés céljából a régi mérésekre támaszkodva kezdték el 1853-ban a felsőrendű hálózat kifejlesztését. Az IAG elődszervezetei által is támasztott fokozódó pontossági igények kielégítése és a két világháború pusztításai miatt további három országos háromszögelési hálózatot fejlesztettek ki (8.1. táblázat), melyek az 1807-ben kezdett országos kiterjedésű háromszögeléssel mind a mai napig összekapcsolódnak. A legutóbbi hálóz-

tunk (Egységes Országos Vízsíntes Alapponthálózat, EOVA) kifejlesztése a negyedrendű pontsűrítéssel bezárólag 1992 szeptemberében fejeződött be. Ezzel az ország teljes területén elkészült a több mint 52000 háromszögelési pontot tartalmazó (az első- a harmad- és a negyedrendű hálózati pontokat együttesen magában foglaló) vízszintes alapponthálózat. (Az EOVA kialakításáról a későbbiekben még lesz szó.)

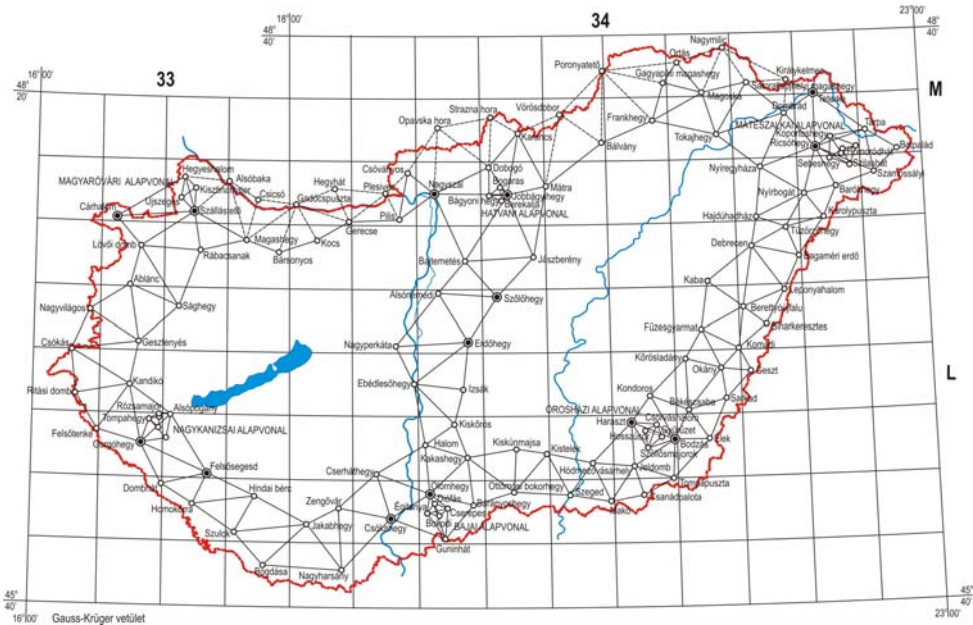
A második katonai felmérés céljára 1807-1869 között létesített háromszögelési hálózat helyszíni és számítási munkáival foglalkozó utasításokat (többek között a geodéziai dátum [5.] felvételét is) 1810-ben és 1845-ben adták ki Bécsben. Ezek közül a második foglalkozik az alkalmazandó vetülettel. Ennek értelmében az ellipszoidról a síkra a *Cassini*-vetülettel tértek át, amely valójában vetületnélküli rendszert (VTN) jelent, mivel az ellipszoidi hosszakat és szögeket síkadatoknak tekintették. A második katonai felmérés térképei az egész monarchia területén ebben a vetületben készültek, és ezt a vetületet alkalmazták az 1853. évi háromszögelés munkálatainál is. Az 1845-ben bevezetett vonatkozási ellipszoid nagytengelye az *Oriani* által 1807-ben közzétett ellipszoidé, lapultsága pedig az 1812-ben megjelentetett *Zách*-féle ellipszoidé, ezért használjuk a geodéziai dátum megnevezésére az OZ1845 jelölést [5.4.1.], [5.4.2.]. (Az 1810-es utasításban a számítás alapfelületül a *Delambre* által 1802-ben meghatározott ellipszoid adatait használták, de részleteket nem találtunk elhelyezésére vonatkozóan és tudomásunk szerint vetületet sem vezettek be hozzá). A Walbeck-ellipszoid volt az alapfelület az 1859-1860-ban a Gellérthegy kezdőpont ellipszoidi földrajzi koordinátáinak levezetésénél, amelyeket *Bessel*-ellipszoidi koordinátákként fogadtak el (B1860). A *Bessel*-féle ellipszoidot több geodéziai dátum (B1860, B1892(MGI), B1908 és B1944(DHG)) létesítésekor használták a második (1860. évi) felsőrendű háromszögelési alapponthálózatunk (8.2. ábra, *Cséti* 1894) számítási munkálataival összefüggésben [5.4.2.].

A B1892 (MGI) geodéziai dátumot a bécsi volt Katonai Földrajzi Intézet (MGI) vezette be az osztrák hálózatrész alapul vételével. Ausztriában használták az elmúlt évszázad folyamán, amelyhez a *Gauss-Krüger*-féle (GAK) vetületet vezették be, a térképezés céljából. A B1944 (DHG) geodéziai dátumot a második világháború német katonai térképészetének számára vezették be, melyhez az 1860. évi felsőrendű háromszögelési hálózat magyarországi részhálózatát vették alapul. A dátum megnevezése a német katonai térképek koordináta-rendszerének elnevezésére (DHG: Deutsche Heeres Gitter, német katonai hálózat) utal (*Timár* és társai 2004). A második világháború után az európai kontinens nagyobbik felén egységes háromszögelési hálózatot hoztak létre, melyhez az 1860. évi felsőrendű háromszögelési alaphálózatunkból láncolatokat vettek át (a szóban lévő hálózat eredményeit, a koordinátákat az *Ergebnisse* 1901) műben tették közzé, melyben ezek ma is elérhetőek). Az európai hálózat és az ehhez felvett geodéziai dátum elnevezése ED50 (European Datum 1950). Alapfelülete a *Hayford*-ellipszoid, amelyet a potsdami *Helmert*-torony háromszögelési pontban helyeztek el.

A II. világháborút követően Magyarország korszerű geodéziai alapjainak létrehozása során két lépésben új I. rendű háromszögelési hálózatot létesítettek. Elsőként egy láncolat-vázat hoztak létre 1948-1952 között (8.3. ábra), majd a második ütemben a dunántúli és a tiszamenti kitöltő hálózatrész mérésére került sor. Ezekből együttesen az ún. *felületi asztrogeodéziai hálózatot* (FAGH) alakították ki (8.4. ábra).

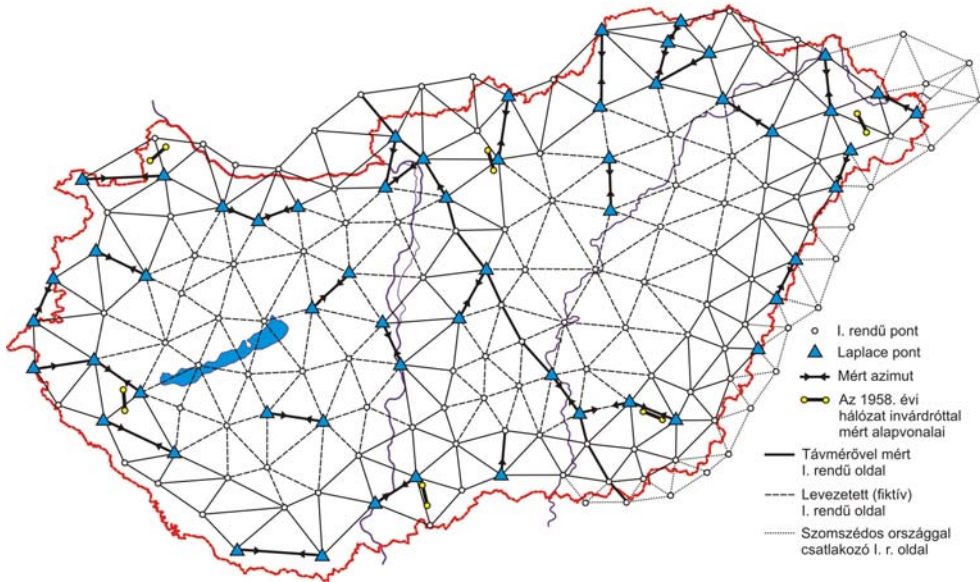


8.2. ábra. Az 1860-as felsőrendű háromszögelési alphálózatunk.



8.3. ábra. Az I. rendű háromszögelési hálózat láncolat váza 1948 – 1952 között.

Az I. rendű háromszögelési hálózatunk pontjainak koordinátáit több helyi geodéziai vonatkozási rendszerben is meghatározták. Az egyes geodéziai dátumokat egyrészt a hálózati méréseknek önálló nemzeti kiegyenlítése keretében vették fel, másrészt nemzetközi együttműködések során kialakított egységes háromszögelési hálózatok vonatkozási rendszereiként megadták számunkra. Ez utóbbival összefüggésben kell megemlíteni, hogy az európai szocialista országok 1952-ben határozták el, hogy területükön egységes asztrogeodéziai hálózatot (EAGH) hoznak létre. Az EAGH első kiegyenlítését 1958-ban végezték el, amelynek magyarországi részeként a 8.3. ábrán látható láncolatvázat fogadták el. Az EAGH58 hálózat geodéziai dátumát a Pulkovó pontban 1942-ben elhelyezett *Kraszovszkij*-ellipszoid határozza meg. Az eredményül kapott koordináták vonatkozási rendszerét S42/58 jelöléssel látjuk el [5.4.2.].



8.4. ábra. A felületi asztrogeodéziai hálózatot (FAGH).

A felületi csillagászati-geodéziai hálózatunk méréseinek *önálló nemzeti kiegyenlítését* 1972-ben végezték el a *Kraszovszkij*-ellipszoidon, amelyet Szőlőhegy pontban helyeztek el úgy, hogy a pont S42/58 rendszerbeli koordinátáit rögzítették. A hálózat pontjai koordinátáinak vonatkozási rendszerét FAGH rövidítéssel jelöljük. Célszerűségi okok miatt a hálózatunkhoz 1972-ben új geodéziai dátumot vezettek be, mely az Egységes Országos Térképrendszer (EOTR) alapjául szolgál még ma is. Ezt a geodéziai dátumot HD72-vel jelöljük [5.4.2.]. Ennek alapfelülete a GRS67 geodéziai vonatkoztatási rendszer [4.4.2.] IUGG1967-nek jelölt forgási ellipszoidja, melyet Szőlőhegy pontban úgy helyeztek el, hogy az ellipszoidfelületet a geoid magyarországi felületdarabjához simuló helyzetbe hozták [5.2.2.].

A teljes felületi csillagászati-geodéziai hálózatunkat az 1980-as évek elején bevonták az EAGH 1983. évi újabb kiegyenlítésébe. Ennek vonatkozási rendszerét S42/83-mal jelöljük [5.4.2.]. Végül az 1989. évi változásokat követően hálózatunkat bevonták a nyugat-európai országok ED87 jelű [5.4.2.] egységes háromszögelési hálózatába is. A

külföldön végzett számítási munkálatok eredményeként nyert ED87 rendszerbeli koordinátákat megkaptuk. Az ED87 alapfelülete a München pontban felvett *Hayford*-féle ellipszoid. A leírtak alapján tehát háromszögelési alaphálózatunk mindkét létező európai regionális hálózat (S42/58, illetve S42/83 és ED87) részévé vált (természetesen valamelyest különböző koordinátákkal) (*Ádám* 2000b). A regionális alaphálózatok és magyarországi részhálózatuk főbb jellemzőit a 8.2. táblázat tartalmazza.

8.2. táblázat. Az EOVA I. rendű hálózata és regionális háromszögelési hálózatok főbb jellemzői (*a* = magyarországi hálózat, *b* = teljes hálózat)

Adattípus	ED50		ED87(új)		S42/58		S42/83	
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Az álláspontok száma	?	?	155	8095	112	?	139	11726
Irányértékek száma	?	?	758	30128	490	?	770	75419
Szögek száma	?	?	0	0	0	?	11	7701
Irányérték-csoportok száma	?	?	139	6505	?	?	?	?
Távolságok száma	?	?	49	22387	6	?	23	659
Azimutok száma	?	?	40	618	17	?	42	420
Doppler-pontok száma	0	0	18	144	0	0	0	0
GPS-állomások száma	0	0	10	26	0	0	0	0
GPS távolságok száma	0	0	0	9	0	0	0	0

A társadalmi fejlődés és a gazdasági együttműködés (pl. a légitököledés kifejlődése, a Föld alakjának vizsgálata, stb.) tette szükségessé az országos geodéziai hálózatoknak kontinentális egységbe foglalását. Ezt elősegítette az IUGG-nek 1924-ben hozott döntése, mely szerint a Hayford-féle ellipszoidot nemzetközi ellipszoidnak minősítette, és ajánlotta, hogy a Föld országai lehetőleg ezt az ellipszoidot használják abból a célból, hogy az egyes országok hálózatai minél egységesebb hálózattá legyenek összekapcsolhatók. A II. világháborút követően a nyugat-európai országok ezt az ellipszoidot, a volt szocialista országok pedig az ettől is korszerűbb *Kraszovszkij*-féle ellipszoidot választották közös alapfelületül. Az 1950-es évek folyamán nálunk is arról volt szó, hogy a háromszögelési alaphálózatunk alapfelületéül a *Hayford*-féle ellipszoidot vezetik be és hozzá a Gauss-Krüger vetületet alkalmazzák a vetületi síkkordináta-rendszer bevezetése céljából; erről született is döntés, de a körülmények sajátos alakulása miatt ettől eltértek (*Homoródi* 1959, *Vincze* 1959, *Regőczy* 1961, *Joó* 1970 és 1986b). Napjainkban a Föld valamennyi országában a GPS-technika alkalmazása és a geoidmeghatározás céljából a csak alakban parányit különböző két ellipszoidot, a GRS80 és a WGS84 jelű ellipszoidot használjuk [4.4.2.], [5.4.1.].

Mivel az alsóbbrendű háromszögelési pontok elsősorban már csak a fizikai (topográfiai) földfelszín jellemző pontjainak helymeghatározásához, a helyi részletek beméréséhez szükségesek és a valóságos fizikai (topográfiai) földfelszín [1.1.] ábrázolását szolgálják (térképeken, azaz síklapokon), ezért az alsóbbrendű pontok koordinátáinak ki-számításához az ország területéhez lehetőség szerint jól illeszkedő síkvetületi rendszert (esetleg rendszereket) vezettek be. Ehhez az elsőrendű pontok ellipszoidi koordi-

nátait a választott vetületi rendszer egyenletei alapján a vetületi síkra számították át és a további koordináta-számításokat már ezen a vetületi síkon végezték el. Magyarországon az elmúlt több mint másfél évszázad folyamán számos vetületi rendszert vezettek be, melyeket a 8.1. táblázatban tüntettünk fel. Jelölésük a következő: VTN (vetületnélküli rendszer), SZT (sztereografikus vetület), HÉR (hengervetületi északi rendszer), HKR (hengervetületi középső rendszer), HDR (hengervetületi déli rendszer), GAK (Gauss-Krüger-féle vetület), UTM (Universal Transverse Mercator) és EOVS (Egységes Országos Vetület). A szóban lévő vetületi rendszerek jellemzői szak- és tankönyvekben találhatók meg (pl. Hazay 1954, Hazay és Szalontai 1973, Varga 2003, 2005 és 2009).

Az elmúlt mintegy 200 év során Magyarországon a történelmi helyzet sajátos alakulása következtében négy alkalommal kellett országos háromszögelési hálózatot létesíteni. A vízszintes helymeghatározás céljából a geodéziai alapponthálózatainkhoz a múltban számos vonatkozási rendszert (ún. geodéziai dátumot [5.]) és ezek mindegyikéhez az alsóbbrendű pontok koordinátáinak kiszámításához az ország területéhez lehetőleg jól illeszkedő síkvetületi rendszert (illetve rendszereket) vezettek be, melyeket napjainkban is használnak. Így pl. a katonai felmérések munkálataihoz alkalmazott VTN-rendszerben készített topográfiai térképek ma is jól hasznosíthatók különböző térségek terület- és településfejlődésének, valamint községek és városok településszerkezetének nyomon követésére az adott térség illetve település rendelkezésre álló valamennyi térképének összehasonlítása alapján (térképi ábrázolás időbeli változásain). Emiatt is fontos feladatunk továbbra is a magyarországi térképrenszerek felsőgeodéziai alapjainak áttekintése és vizsgálata. Ezért a szaklapunkban a jövőben is várható e tárgykörben cikkek megjelentetése.

8.3. Magassági (szintezési) alapponthálózatok és alapszintfelületeik

Az országos szintezési hálózatok létesítésének Magyarországon közel 150 éves múltja van. Történelmünk sajátos alakulása következtében eddig négy országos szintezést végeztek, és lényegében jelenleg folyamatban van az ötödik országos szintezési alapponthálózat mérése (az előző elsőrendű hálózat legnagyobb részének újramérésével, de az Egységes Országos Magassági Alaphálózat (EOMA) elsőrendű hálózatához viszonyítva új vonalak lemérését is tervbe vették). Átfogó bemutatásukkal foglalkozik Regőczy (1949), Joó és társai (1969), Joó (1977), Hodobay-Böröcz (2001), valamint Mihály és társai (2008). Az országos szintezési hálózatok főbb jellemzőit a 8.3. táblázatban foglaltuk össze.

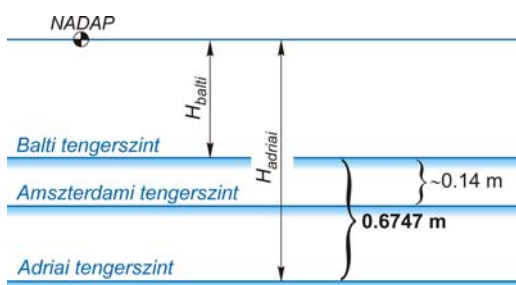
Az elsőrendű magassági alapponthálózat kevésbé összetett, mint a vízszintes alapponthálózat. Létesítésének módszere még ma is csaknem kizárólag a szabatos szintezés [2.4.]. A történelmi fejlődést tekintve korábban a vízszintes alapponthálózat pontjai alkották egyidejűen a magassági alapponthálózat pontjait is (pl. az 1853. évi elsőrendű háromszögelési hálózat). Azonban a műszaki gyakorlat követelményei és a

szükséges nagy pontossági igények (az Európai Fokmérés vonatkozó előírásainak) kielégítése miatt a XIX. század második felétől a vízszintes alapponthálózattól független magassági alapponthálózatot tűztek ki, melynek pontjaiban nagy gonddal végzett felsőrendű szintezéssel meghatározták az alapul választott szintfelülettől mért távolságot [7.3.]. Mivel magasságon a gyakorlati életben tengerszint feletti magasságot értünk, az elsőrendű magassági alapponthálózatoknak valahol a tengerszinthez kell kapcsolódnia. Ez a kapcsolat adja meg a magasságok alapszintjét.

8.3. táblázat. Magyarország magassági alapponthálózatainak jellemzői

A hálózat megnevezése	Nemzetközi kapcsolódásai	Alkalmazott magassági alapszint	Alkalmazott magassági mérőszám
1873. évi (első) országos szintezési hálózat (1873-1913)	Osztrák-Magyar Monarchia	adriai (trieszti) alapszint	(normál) ortométeres magasság
1921. évi (második) országos szintezési hálózat (1921-1944) (Gárdonyi-féle hálózat)	–	nadapi alapszint ($H = 173,8385\text{m}$)	(normál) ortométeres magasság, dinamikai mag.
1950. évi (harmadik) országos szintezési hálózat (1948-1964) (Bendefy-féle hálózat)	UPLN57/58 (CRCM, KBR)	nadapi alapszint, balti alapszint (Kronstadt)	ortométeres magasság, normálmagasság
Kéregmozgási vizsgálati szintezési hálózat = Egységes Országos Magassági Alapponthálózat (EOMA) (1973-1978)	UPLN82 UELN95 EUVN97 (CRCM, KBR)	balti alapszint (EOMA), amszterdami alapszint	normálmagasság, geopotenciális érték
EOMA I. rendű hálózatának újramérése (2006-2012)	UELN	balti alapszint (EOMA), EVRS2007-alapszint	geopotenciális érték, normálmagasság

Mivel a különböző tengerek közép szintje között magasságkülönbségek vannak és Magyarország magassági alapponthálózatai ma már három tengerszinthez is kapcsolódnak, így az ugyanazon pontra vonatkozó magassági adatok között eltérések vannak (Joó 1977, Ádám és társai 1999) (8.5. ábra).



8.5. ábra.
Magyarország magassági alapszintjei.

Magyarországon eddig négy alkalommal fejlesztettek ki országos felsőrendű szintezési hálózatot (8.3. táblázat), amelyek közül az elsőt a bécsi volt Katonai Földrajzi Intézet (MGI) hajtotta végre (8.6. ábra).

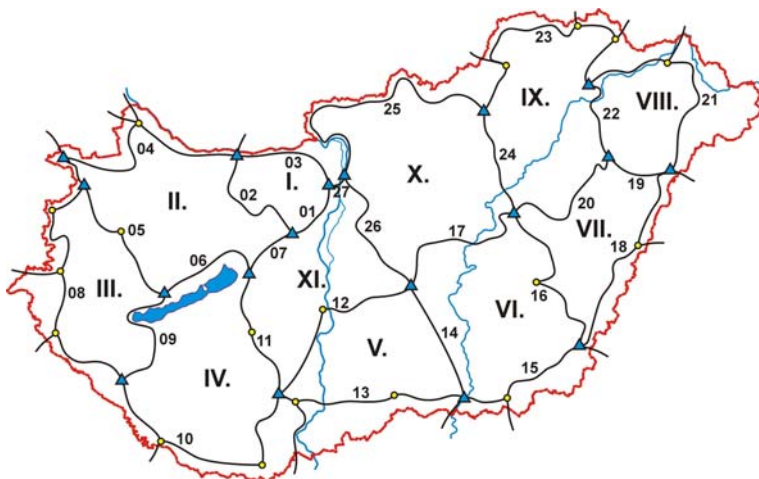


8.6. ábra. A bécsi Katonai Földrajzi Intézet szintezési hálózata az 1913. évi állapot szerint.

Az első országos szintezési hálózat alapszintfelületétől az Adriai-tenger középszintjének a trieszti Molo Sartorio mareográf állomás mércéjén 1875. évben meghatározott évi középértékkel jellemzett ponton áthaladó szintfelületet választották. E hálózatlétesítés keretében határozták meg Nadap főalappontunk magasságát is. Az 1878-ban épített Nadap főalappont (őspont, amelyet ma gyakran Nadap I.-nek nevezünk) magassága ebben a rendszerben 173.8385 m, ami később az ún. nadapi alapszint kezdőértékét adta (Bendefy 1951).

A fokozódó pontossági követelmények kielégítése és a világháborús események pusztításai miatt további három országos szintezési alapponthálózat vált szükségessé. A legutóbbi hálózatunk (*Egységes Országos Magassági Alapponthálózat*, EOMA, 8.7. ábra) újramérése is már folyamatban van. Az első országos (osztrák-magyar) szintezési hálózat részletes leírásával Regőczy (1949) foglalkozik. A két világháború közötti, második országos szintezési hálózat (Gárdonyi-féle) pontossága kiemelkedő. Az I. rendű szintezési vonalakat közlekedési útvonalak mellett vezették. A nyers mérési adatok ortométeres javítását normál nehézségi térerősség-adatokkal [4.4.2.] végezték el [7.3.2.2.]. Az I. rendű alapponthálózat kiegyenlítésére a háború miatt csak 1948-49-ben kerülhetett sor, amelynek eredményét Bendefy (1952b) mutatja be. Mivel a háborús események során a Gárdonyi-féle hálózat alappontjainak jelentős része elpusztult, ezért a II. világháború után hamarosan hozzáfogtak a harmadik országos (Bendefy-

féle) *szintezési hálózat* létrehozásához (Bendefy 1952a). A hálózat főbb jellemzőit Joó és társai (1968, 1969), és Joó (2006) mutatja be. A felsőrendű hálózat teljes hossza – beleértve az I., II. és III. rendű vonalakat, a mellék és kiegészítő hálózatot is – kb. 30 ezer km volt, több, mint 21 ezer alapponttal. 1951-ben megépítették a Nadap II. új főalappontot, mivel a Nadap I. őspont gránit alapkőzetbe csiszolt, közel sík lapfelülete nem tette lehetővé a szabatos pontraállást.



8.7. ábra. Az EOMA I. rendű alapponthálózatának belső zárt poligonjai.

A harmadik országos szintezési alapponthálózat Rajka-Kápolnásnyék-Szob-Záhony-Elek csomópontjaira (8.8. ábra) vonatkozó adatok alapulvételével vett részt Magyarország az európai szocialista országok szintezési hálózatainak 1957-58. évi együttes kiegyenlítésében.



8.8. ábra.

A harmadik országos szintezési alaphálózat csatlakozó vonalai az UPLN57/58 hálózathoz.

A SZOGSZ-együttműködés keretében egységbefoglalt regionális magassági hálózat jelölése az angol nyelvű szakirodalomban UPLN (United Precise Levelling Network elnevezés kezdőbetűiből). A II. világháború után a balti alapszinthez csatlakozásunk lényegében a SZOGSZ-keretében [8.] együttműködő országok szintezési hálózatainak 1957-58. évi közös kiegyenlítésén (UPLN57/58) alapult (8.9. ábra). Ennek alapján a nadapi alapszint 0.6747 m-rel mélyebben fekszik, mint a balti alapszint (8.5. ábra). Az ábrán a Nadap I. főalappont magassága: 173.8385 m (adriai), illetve 173.1638 m (balti).



8.9. ábra. A SZOGSZ-keretében együttműködő országok szintezési hálózatai.

A megnövekedett gazdasági és tudományos igények új szintezési hálózat létrehozását tették szükségessé az 1960-as évek végén. A hálózat kialakításának célja egyrészt a mozgástendenciák részletesebb megismerését szolgáló függőleges földkéregmozgás vizsgálatok végzése, másrészt a gazdaság különböző területei számára az I. rendű alapponthálózatra alapozva új II.- és III. rendű hálózat létesítése. A SZOGSZ-együttműködés keretében a földkéregmozgás vizsgálatára nagy megbízhatóságú, ún. kéregmozgás vizsgálati szintezési hálózatot létesítettek, amelyet az 1970-es évek végén született döntés értelmében az EOMA I. rendű hálózataként fogadtak el. Az EOMA I. rendű alapponthálózata belső zárt poligonjainak száma 11, amelyeket 27 vonal alkot (8.7. ábra). Ezekon kívül a csatlakozásokhoz a szomszédos országokkal még 22 ún. nemzetközi csatlakozó vonalat létesítettek, amelyekkel további (a szom-

szédos országokkal közös) 22 poligon alakítható ki. Így valamennyi vonalat figyelembe véve, a hálózat teljes hossza 3934 km. A kéregmozgási hálózat észlelését 1973-78 között végezték. A szintezési szakaszok magasságkülönbségét hőmérsékleti javítással, normáljavítással [7.4.1.] és árapály javítással [9.3.1.] látták el. A normáljavításokhoz a szintezési munkákkal párhuzamosan nehézségi (g) méréseket is végeztek: síkvidéken átlagosan 8-10 km, dombvidéken 2-3 km, hegyvidéken pedig 0.3-0.5 km sűrűségben. Graviméteres mérési pont volt minden szintezési főalappont és minden ún. KKP (Közbenső Kéregmozgási Pont) is. Az EOMA hálózat kiegyenlítésekor az 1957-58. évi kiegyenlítésben résztvevő csomópontok magasságát megkötötték, így most már az EOMA magassági rendszerről kell beszélni, melynek maximális eltérése az UPLN57/58-as balti rendszertől kb. 10 cm. A hálózat hagyományos kezdőpontja Nadap II. főalappont, amelynek magassága: 176.2338 m (balti, EOMA).

Az EOMA I. rendű hálózatának adatai részt vettek az UPLN 1982. évi közös kiegyenlítésében (UPLN82), majd 1994-ben geopotenciális mérőszámokban [7.3.2.1.] kifejezett adatok átadásával csatlakoztunk az ún. *egységes európai szintezési hálózathoz* (United European Levelling Network = UELN). Ezzel Magyarország a kelet-közép-európai országok közül elsőként csatlakozott az UELN-hez. Az UELN magassági kiindulópontja Amszterdam (amszterdami alapszint). Adatainkat az UELN 1995. évi közös kiegyenlítésébe (UELN95) vonták be (*Ádám és társai*, 1999). Ezzel lehetővé vált csatlakozásunk az amszterdami alapszinthez (8.5. ábra), és kedvező lehetőség kínálkozik összehasonlításra a szomszédos országokban alkalmazott magassági alapszintekkel. A közös kiegyenlítésből nyert eredmények alapján hazánk (EOMA I. rendű) szintezési hálózata minőségileg a legjobb (az 1 km-es szintezési hosszra vonatkozó egység súlyú mérés középhibája hazánk hálózata esetén a legkisebb, amelynek értéke 0.50 kGal mm) (*Ádám és társai* 1999 és 2000a).

Az egyes országos szintezési hálózatok alappontjai magassági értékének megadására különböző magassági mérőszámokat alkalmaztak [7.3.2.]. A különböző metrikus magassági mérőszámok elméleti alapjaival több tanulmány is foglalkozik. Az ortométeres magasság és a szükséges javítások meghatározását *Müller* (1956) és *Csatkai* (1957, 1958a,b, 1959) cikkei mutatják be. A normálmagasság fogalmának elméleti alapjait és a normálmagasság gyakorlati számítására vonatkozó alapösszefüggéseket *Biró* (1962, 1963, 1965a) tanulmányai adják meg. *Ádám és társai* (2002) tanulmány keretében meghatározták ezek eltéréseinek számértékét Magyarország területén és átfogóan elemezték az eltérések mértékét a GPS-technikával történő, szélső pontosságú magasságmeghatározás szempontjából.

Az elmúlt évszázad első felében jutottak a szakemberek arra a felismerésre, hogy néhány évtized elteltével újra megmért szabatos szintezési alapponthálózatok mérési eredményeiben mutatkozó eltérések oka nagyrészt a földkéreg mozgásában keresendő. A szabatos ismételt szintezésekkel természetesen csak a hálózati pontokban a *felszínen tapasztalható mozgás* értékének függőleges összetevőjét lehet meghatározni. Az ismételt szintezések eredményeire vonatkozó kiértékelő eljárásoknak az idők folyamán számos változata alakult ki. A vonatkozó elméleti kutatások eredményeit közli *Bendefy* (1966a, 1968), *Hazay* (1967, 1977) és *Miskolczi* (1967, 1968, 1970, 1974).

Az UPLN57/58-as egységes szintezési hálózat elkészülte után 1960-as években az egykori Szovjetunió javaslatára az IAG keretében létrehozták a Recens Kéregmozgások Bizottságát (Commission on Recent Crustal Movements = CRCM) a földkéreg jelenkori mozgásainak vizsgálata céljából. A CRCM által kezdeményezett programokhoz hazánk is csatlakozott a harmadik és a negyedik országos szintezés megfelelő adatainak átadásával. Az 1970-es évek elején magyar kezdeményezésre külön is vizsgálták a Kárpát-Balkán Régió (KBR) térségét a recens függőleges kéregmozgások szempontjából. A KBR-vizsgálatok irányításában és kivitelezésében Magyarország jelentős szerepet játszott. Ebben és a hazai vonatkozó vizsgálatokban vezető szerepet játszott *Joó István*. A függőleges földkéregmozgás vizsgálatának nemzetközi és hazai helyzetét és vonatkozásait szaklapunkban először *Joó* és társai (1968) cikke és *Joó* (1968) szemlecióje tekinti át. Az ismételt szintezések adatai alapján végzett földfelszíni mozgásvizsgálatok gyakorlati eredményeit a Geodézia és Kartográfia szaklapunk 40 éve folyamatosan közli, a vonatkozó eredmények bemutatásával igen nagyszámú cikk foglalkozik. Ezek közül csak például sorolunk fel néhányat: *Joó* és társai (1969, 1974), *Joó* (1971a, 1973, 1978, 1996a, 1996b, 1998, 2003 és 2004), *Füry* és *Joó* (1972).

Korábban említettük, hogy tervbe vették az ötödik országos szintezési alpponthálózat létrehozását az EOMA elsőrendű hálózatának újramérése alapján (8.3. táblázat). Pénzügyi források szűkössége miatt eddig (2012) csak a VIII., IX. és a X. poligon (8.7. ábra) újramérését végezték el (*Busics* 2010 és 2012, *Virág* 2011). A terepi munkálatokat 2006-ban kezdték el a vonalak helyszínelésével és az elpusztult pontok pótlásával. A felsőrendű szintezési és nehézségi méréseket 2007–2009 között végezték. A VIII.–X. poligont határoló elsőrendű vonalakon kívül a IX. és a X. számú poligonban másodrendű vonalak is lemérték. Ezek a másodrendű vonalak mindkét poligon belsejében az Északi-középhegység déli pereme mentén található és az egyébként nagy területet lefedő IX. és X. számú poligont bontják két-két részre (egy-egy hegyvidéki jellegű részre és egy-egy síkvidéki jellegű déli részre). A lemért hálózatrész mérési eredményeit kiegyenlítették, amelynek során értékes tapasztalatokat szereztek (9.7. ábra) (*Busics* 2010, 2012, *Virág* 2011) [9.2.].

8.4. Nehézségi alpponthálózatok és vonatkoztatási rendszerük

A nehézségi térerősségnek (a szabadesés gyorsulásának) ismerete a geodézia több feladata megoldásának is alapját képezi. Ezért egy-egy ország területét is tekintve a földfelszín igen nagyszámú pontjában kell ismernünk a nehézségi térerősség értékét. Azonban a különböző gyakorlati célú értékek csak akkor felelnek meg geodéziai célra, ha egységes rendszert képeznek. Mivel ezeket a méréseket, döntő többségükben, nehézségi különbségeket, relatív értékeket adó graviméterekkel végzik [2.3.], az egységesség csak úgy biztosítható, ha a különböző helyen és időben végzett mérési ered-

ményeket nagyon gondos mérésekkel meghatározott nehézségi, ún. gravimetriai alapponthálózat pontjaira vonatkoztatják. Az alapponthálózat rendeltetése az, hogy egységes nehézségi alapszintet biztosítson geodéziai és geofizikai mérésekhez. Magyarországon az elmúlt 60 év során a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (ELGI) az egész ország területére kiterjedően három gravimetriai alapponthálózatot (MGH-50, MGH-80 és MGH-2000) létesített (8.4. táblázat).

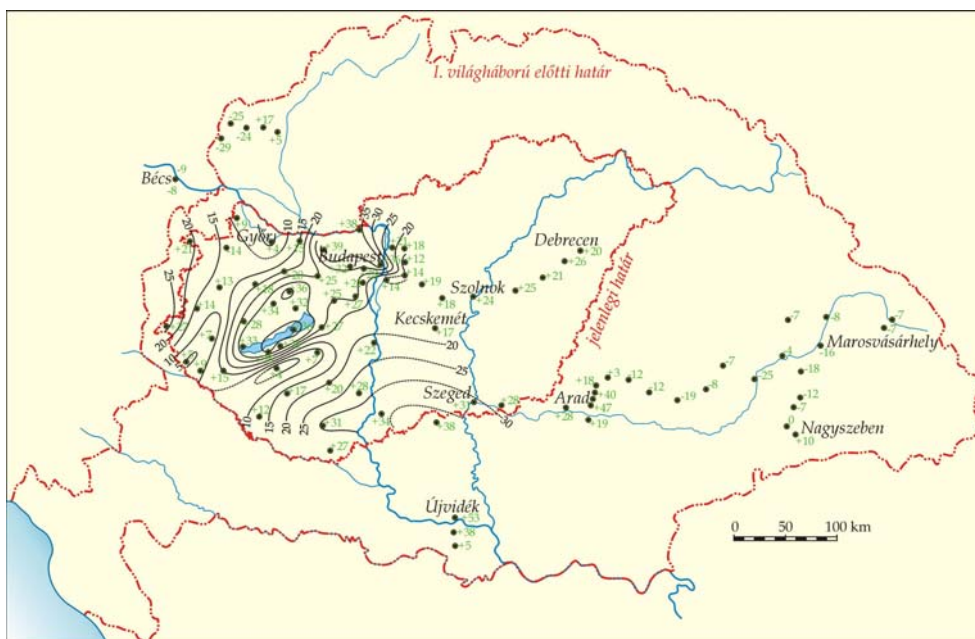
8.4. táblázat. Magyarország gravimetriai alapponthálózatainak főbb jellemzői

A hálózat megnevezése	Nemzetközi kapcsolódásai	Alkalmazott nehézségi vonatkoztatási rendszer	Gyakorlati alkalmazás
MGH-50 (1950-1955)	OSU89	Potsdami rendszer	gravimetriai térképezés
MGH-80 (1971 és 1980-1989)	EGH	IGSN 71	EOMA gravimetriai méréseihez
MGH-2000 (1990-2000)	UEGN-94, UEGN-02,	Abszolút rendszer	Földtud. alkalmazások, nemzetközi programok, EOMA újraméréséhez gravimetriai mérések

Hazánk területén a XIX. század utolsó évtizedeiben kezdődtek meg a nehézségi mérések, amelyek *Sterneck Róbert* és *Eötvös Loránd* nevéhez fűződnek. *Sterneck* relatív ingával végzett az egész monarchiára kiterjedő méréseket, amelyeket többnyire az első (1873. évi) országos szintezési hálózat alappontjain mért abból a célból, hogy az ortométeres javítás képletébe [7.3.2.2.] a nehézségi térerősség értékét a valóságot legjobban megközelítően tudják megállapítani. *Sterneck* a maga által szerkesztett relatív ingájával összesen 544 pontban végzett észlelést, amelyből mintegy 200 állomás Magyarország területére esett. Valamennyi ponton végzett mérést a bécsi Katonai Földrajzi Intézet pincéjébe telepített gravitációs főalappont nehézségi értékére (a bécsi gravimetriai rendszerre) vonatkoztatott. *Sterneck* szerepét és tevékenységét *Bendefy* (1961) és *Szilárd* (1980) mutatja be, de röviden említi még *Szabó* és társai (1989), valamint *Csapó* és *Földváry* (2006) és *Völgyesi* (2012) cikke is.

Eötvös Loránd torziós ingája (az Eötvös-inga) [2.3.] feltűnően nagy pontosságával igen komoly lépést jelentett a nehézségi kutatások elterjedésében. Eötvös 1901-ben kezdte meg balatoni méréseit, amelyek az ország nehézségi felmérésének kezdetét jelentették. A főleg földtani (nyersanyag-kutatási) célú nehézségi gradiens mérések nagymértékben segítették a nehézségi erőter magyarországi szerkezetének megismerését. Eötvös haláláig (1919) mintegy 1400 állomáson végeztek méréseket a róla elnevezett ingával, összességében pedig mintegy 60000 állomás mérésére került sor hazánkban (*Völgyesi* 2012). Ezek részben nehézségi különbségek meghatározására (is) felhasználhatók (*Völgyesi* és mások 2005d). Eötvös Loránd tevékenységét és munkásságának jelentőségét a geodéziában *Renner* (1949), *Homoródi* (1969) és *Biró* (1969) méltatja. Az Eötvös-inga mérések geodéziai alkalmazásával és a hazánkban a múlt század első kétharmadában (1967-ig) végzett mérések geodéziai célú hasznosításával foglalkozik *Völgyesi* (2001a és 2012b), *Völgyesi* és *Tóth* (2002), *Völgyesi* és társai (2005b és 2006) cikke.

Magyarországon az országos nehézségi (gravitációs) alaphálózat létrehozása *Oltay Károly* munkásságával kezdődött. *Oltay* a potsdami Geodéziai Intézetben meghatározott nehézségi értékből relatív ingaméréssel 1908-1915 között többször is levezette a BME-n létesített főalappont nehézségi értékét, amely a hazai mérések kiinduló értéke lett. Ezzel párhuzamosan 1908-1933 között *Oltay* 113 pontból álló alapponthálózatot is létesített munkatársaival (8.10. ábra). *Oltay Károly* vonatkozó tevékenységét *Horváth* (2001) méltatja. Később *Facsinay László* 1939-1941 között létesített a Dunántúlra kiterjedő 168 alappontból álló graviméteres alaphálózatot a korábbi Eötvös-inga mérések hasznosítása céljából (*Szabó és társai*, 1989; *Csapó és Földváry*, 2006).



8.10. ábra. Az *Oltay*-féle nehézségi alaphálózat pontjai.

Az 1940-es évek elejétől kezdve az alaphálózati munkákhoz már zömében gravimétereket [2.3.] alkalmaztak, mert nagyobb pontosságot biztosítottak, mint a relatív ingák. A graviméteres mérések számának növekedésével a 40-es évek végén világszerte előtérbe került az országos gravimetriai alaphálózatok létesítésének kérdése, melyet az IUGG/IAG 1948-ban Oslóban tartott konferenciáján (*Homoródi* 1949) elfogadott ajánlás is szorgalmazott. Hazánk a nehézségi erőtérről kapcsolatos kutatások terén elért jelentős szerepének megfelelően elsők között létesített az ország teljes területére kiterjedő, korszerű nehézségi alapponthálózatot. Az ELGI által 1950-1955 között létrehozott (*Magyar Gravimetriai Hálózat 1950 = MGH-50*) két részből állt: a 16 pontból álló elsődrendű részt 1951-ben létesítették és mérték le, melyet 1950-55 között 493 pontból álló másodrendű hálózattal sűrítettek. A méréseket *Heiland*-féle graviméterrel végezték. A későbbi hálózatokkal az összehasonlíthatóság biztosítására 16 különlegesen kiképzett pontjellel állandósított pontot is telepítettek (ezek az ún. "aka-

démiai pontok"), amelyeket gondosan összemértek a közelükben található elsőrendű ponttal és magasságát is nagy pontossággal meghatározták. A két hálózatrészt külön-külön egyenlítették ki úgy, hogy a másodrendű hálózat kiegyenlítésében az elsőrendű hálózat kiegyenlítéséből nyert nehézségi értékeket rögzítették (ezek javítást nem kaptak). Az így létrejött és 509 alappontot tartalmazó hálózatot az ún. potsdami rendszerbe kapcsolták be. Ehhez felhasználták az *Oltay Károly* által a BME főalappontra levetett nehézségi értéket.

Időközben az *Oltay* által létesített főalappont megközelítése körülményessé vált, ezért az MGH-50 főalappontjának a Ferihegy I.-rendű pontot választották. Ez a hálózat jó alapul szolgált a múlt század közepén indult gravimetriai térképezés munkálataihoz és lehetővé tette a növekvő számú graviméteres mérési eredmény kezelhetőségét egységes rendszerben. Bár az MGH-50 hálózatot az 1950-es évek első felében létesítették, erről először röviden *Renner* (1963) tájékoztatott, majd később *Csapó* (1980), valamint *Szabó* és társai (1989) adnak részletesebb leírást. Az MGH-50 hálózat 509 alappontjára meghatározott nehézségi értéket adatbázisba rendezés után *Ádám* (1993b) közreműködésével használták fel először globális geopotenciál modellek (OSU89) gömbfüggvény-együtthatóinak meghatározására az Ohioi Állami Egyetemen (Ohio State University = OSU [6.4.4.1.]).

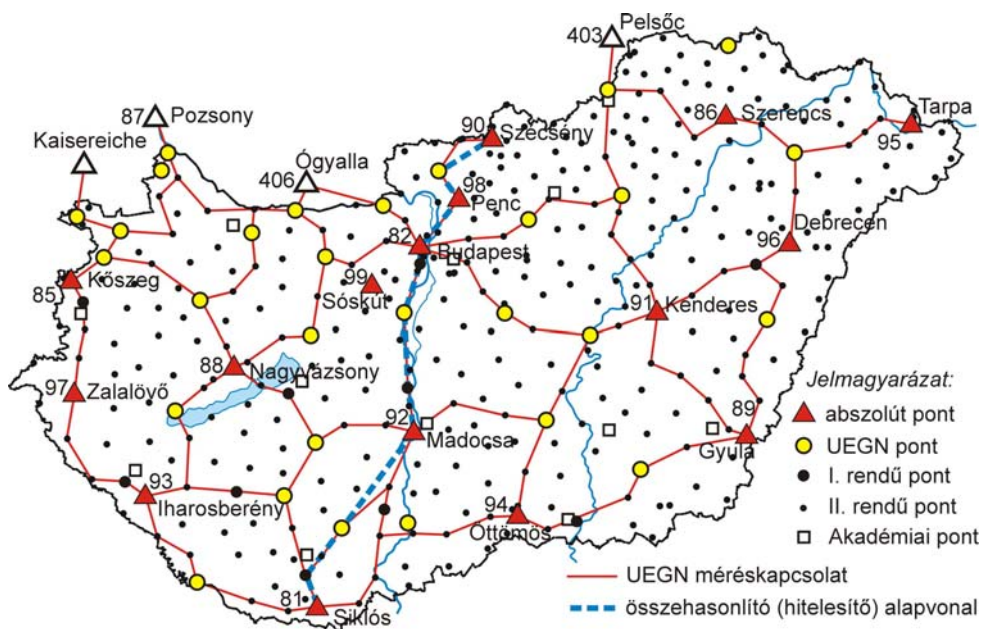
Az MGH-50 másodrendű alappontjaiban bekövetkezett pusztulás, az időközben létrejött kiváló nemzetközi kapcsolatok és a nagyobb pontosság elérését biztosító Sharpe (Kanada), Worden (USA) és La Coste Romberg (USA) típusú graviméterek beszerzése indokoltta és lehetségessé tették 19 pontból álló új elsőrendű alapponthálózat létesítését 1971-ben (*Szabó* és társai 1989, *Csapó* és *Sárhidai* 1990a). Erre alapozva és a kéregmozgási (EOMA I. rendű) szintezési hálózat graviméteres méréseivel párhuzamosan és ehhez kapcsolódóan hozták létre 1980-88 között az új országos nehézségi (gravimetriai) alapponthálózat (MGH-80) másodrendű részét, amely 389 pontból állt.

Közben Magyarországon 1978 és 1986 között 5 alapponton abszolút módszerrel végeztek nehézségi méréseket [2.3.]. Az 5 állomáson végzett abszolút méréssel csatlakozott hazánk az európai szocialista országok területére kialakított *Egységes Gravimetriai Hálózathoz* (EGH).

Az MGH-80 hálózat kiegyenlítését kötött hálózatként végezték úgy, hogy az 5 abszolút állomás mért nehézségi térerősség értékét rögzítették. Ezeket az ún. IGSN-71 (International Gravity Standardization Net 1971) elnevezésű nehézségi alaprendszerre vonatkoztatták. Az MGH-50 hálózat kiegyenlítési eljárásától eltérően az MGH-80 első- és másodrendű hálózatát együtt egyenlítették ki a legkisebb négyzetek módszerének ún. "dán iterációs" eljárásával (*Csapó* és *Sárhidai* 1990b). Az MGH-80 hálózat nehézségi főalappontja Budapesten a Mátyás-hegyi barlangban kialakított abszolút pont. Egyébként ez a pont jelenleg is Magyarország nehézségi főalappontja.

Az MGH-50 és az MGH-80 hálózat pontjaira vonatkozó mérésekből egyrészt átszámító összefüggést határoztak meg a két hálózat között (*Csapó* és *Sárhidai* 1990b), másrészt kimutatták, hogy a potsdami és az ún. "abszolút" (IGSN-71) nehézségi vonatkoztatási rendszer közötti eltérés hazánk területén -13.96 mGal értéket tesz ki (*Szabó* és társai 1989, *Csapó* 1981).

A jelenlegi MGH-2000 hálózat (8.11. ábra) mintegy 470 alappontból áll (Csapó 1995 és 2000), ezek közül 15 pont abszolút nehézségi értékét különböző gyártmányú (AXIS, JILAG, GABL) abszolút műszerekkel határozták meg. A 15 abszolút állomás alkotja az ún. nulladrendű hálózatrészt. Az MGH-2000 hálózat többi pontját (a nulladrendű hálózatot sűrítő I.- és II.-rendű hálózatrészt alappontjait) Sharpe, Worden és La Coste Romberg (LCR) relatív graviméterekkel mérték le. Ez a hálózat foglalja keretbe a több mint 300000 részletpontot, amelyek alapján a különböző nehézségi rendellenességi-térképek (Faye-, Bouguer-anomália térkép) készülnek. Az MGH-2000 nehézségi alapponthálózatot az Országos Mérésügyi Hivatal 1998-ban országos etalonná nyilvánította (Csapó 2004). Az MGH-2000 kiegyenlítését 2005-ben hajtották végre az MGH-80 hálózat ismertetésénél leírt módon. A hálózat vonatkoztatási rendszere az abszolút rendszer, amely abszolút módszerrel meghatározott nehézségi térerősség értékeken keresztül valósul meg. A korábbi hálózatok (MGH-50, MGH-80) és az új alapponthálózat közötti kapcsolatot átszámítási (ún. transzformációs) függvény teremti meg. A pontokról digitális pontkatalógus áll rendelkezésre az ELGI-ben (2012-től az ELGI a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet (MFGI) része lett), amelyben a hálózati pontok minden fontos adata megtalálható. A katalógust kezelő program keresést, csoportosítást, stb. is lehetővé tesz.



8.11. ábra. Az MGH-2000 nehézségi alapponthálózat.

Mivel térségünkben az egyes országok gravimetriai rendszerei közötti különbségek eléggé nagyok, így szükségessé vált és jelenleg folyamatban van a gravimetriai alaphálózatok egységbe foglalása. Az *egységes európai gravimetriai hálózat* (UEGN ≡ Unified European Gravimetric Network) kiépítése alapvető fontosságú az egységes

geoidfelület meghatározása és az egységes magassági rendszer létrehozása céljából Európában. Magyarország először 1993-ban az ország nyugati részén található 5 ponttal csatlakozott az UEGN 1994. évi hálózatához (UEGN-94), majd 1999-ben az MGH-2000 létesítésekor 46 pontból álló kerethálózatot alakítottak ki (*Csapó* 2000), melynek pontjai alkotják az UEGN-2002 (UEGN-02) magyarországi részhálózatát (*Csapó és Földváry* 2006). Ez a 15 abszolút állomásból, 9 első- és 22 másodrendű alappontból áll. Az egységes európai nehézségi alapszint létrehozását szolgálta az UNIGRACE (Unification of Gravity Systems in Central Europe) projekt keretében Közép-Európa 12 országában összesen 17 állomáson (Magyarországon Pecen a FÖMI/KGO-ban) végzett abszolút nehézségi mérések is a legújabb mérési módszer alapján. Ezeket az állomásokat természetesen az egyes országok gravimetriai hálózataival is összekapcsolták, amelynek eredményeként egységes nehézségi rendszert létesítettek Közép-Európában, vagy másképpen fogalmazva meghatározták az egyes országok nehézségi rendszere közötti különbségeket (*Ádám és társai* 2000a).

8.5. Háromdimenziós alapponthálózatok és vonatkoztatási rendszereik

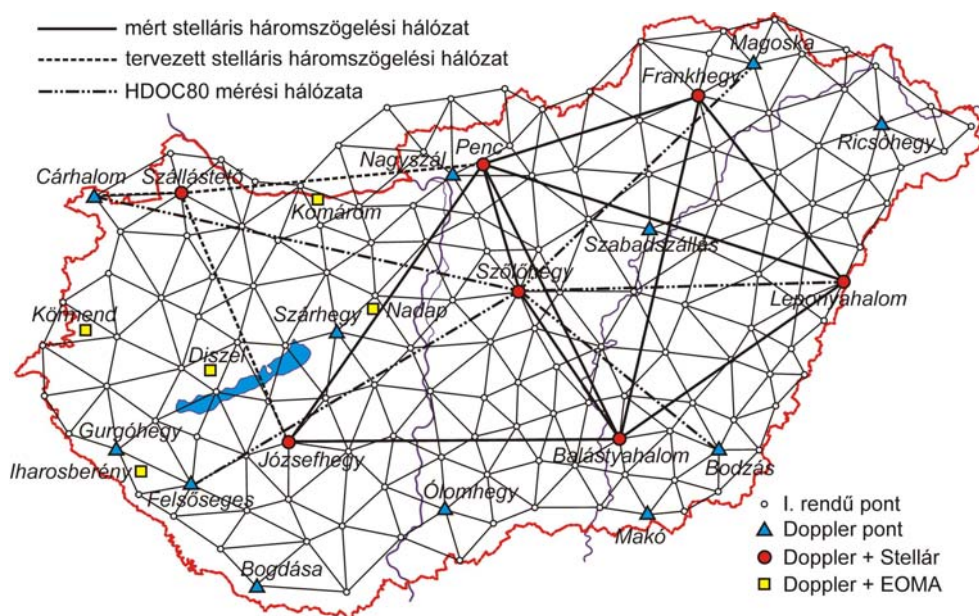
A háromdimenziós (3D) kozmikus geodéziai alaphálózatok létrehozásának lehetőségét a mesterséges holdak megjelenése nyitotta meg. Az első műholdat alig több mint fél évszázaddal ezelőtt (1957. október 4-én) bocsátották fel, a mesterséges holdak geodéziai hasznosításával kapcsolatos cikk szaklapunkban már 1961-ben megjelent (*Homoródi* 1961c). A mesterséges holdak alkalmazásával hazai geodéziai gyakorlatban, ennek jelentőségével a hálózatfejlesztés szempontjából és az elért eredményekkel foglalkozik *Joó* (1967, 1976, 1982 és 1984) és *Mihály* (1977) cikke. Fontos lépés volt a FÖMI KGO létrehozása (*Joó* 1976). A kozmikus geodéziai hálózatok hazai létesítésének alig több mint három évtizedes múltja van. Ezen a területen ez idő alatt elért fejlődés igen figyelemre méltó. A kozmikus geodézia alaphálózatainak főbb jellemzőit a 8.5. táblázatban foglaltuk össze.

8.5. táblázat. Magyarország 3D (kozmosz geodéziai) alapponthálózatainak főbb jellemzői

A hálózat megnevezése	Nemzetközi kapcsolódásai	Alkalmazott vonatkoztatási rendszer	Gyakorlati alkalmazás
Stelláris háromszögelés (1978-1988)	Geocentrikus	CIO-BIH jelű koordinátarendszer	EOVA ellenőrzése
Műholdas doppler hálózatok (1978-1987)	WGS72	WGS72	EOVA ellenőrzése, GPS bevezetése
Országos GPS Hálózat (OGPSH) (1991-1997)	EUREF, WGS84	ETRS89/ETRF89, WGS84	geodézia, földmérés, térinformatika
Aktív GNSS hálózat (GNSSnet.hu) (2000-2008)	EUREF, EPN	ETRS89/ETRF2000, WGS84	geodézia, földmérés, térinformatika, navigáció

Az EOVA [8.2.] (és később az EOMA [8.3.]) korszerűsítése és továbbfejlesztése céljából stelláris háromszögelési hálózatot és műholdas Doppler-méréseket [2.5.2.3.], [5.4.3.] végeztünk az említett alapponthálózatok kiválasztott pontjain az 1980-as évek folyamán. A szóban forgó mérések geodéziai célú hasznosításának elsődleges célja az, hogy az EOVA helyi elhelyezéssel alapfelületének (koordináta-rendszerének) a Föld tömegközéppontjához és forgástengelyéhez viszonyított térbeli elhelyezkedését [5.1.] számszerűen megállapítsuk. További cél az alapponthálózat méretarányának ellenőrzése valamint finomítása, továbbá a lehetőségekhez képest a hálózatunk esetleges belső szerkezeti torzulásainak feltárása.

A magyarországi *stelláris háromszögelési alapponthálózat* létesítésének alapelve Väisälä finn csillagász nevéhez fűződik. A módszert először Finnországban alkalmazták. A finn stelláris háromszögelés módszerét először Joó (1971b) ismertette röviden. A módszer magyarországi kísérleti mérésére 1978-ban került sor, amelynek feldolgozási eredményeit Czobor és Németh (1980) közölte. Az eljárás magyarországi hasznosítása céljára a FÖMI KGO-ban kidolgozott hálózat 7 pontból áll (8.12. ábra), amelyek közül 6 pont az EOVA elsőrendű alappontja, a hetedik a FÖMI KGO (Penc) területén található.



8.12. ábra. A magyarországi stelláris háromszögelési alapponthálózat és a Doppler-pontok.

A hálózat 12 hűrt tartalmaz, amelyből 1982-1986 között 10-et mértünk le és dolgoztak fel. A hálózat 1982. és 1983. évi méréseiről Vass és Nagy (1984) ad ismertetést. Az összesen lemért 10 húr feldolgozási eredményeinek pontossági vizsgálatát Nagy (1990) tette közzé. A végső tapasztalat az volt, hogy a módszer a magyarországi légköri viszonyok között nem nyújtotta a finnországi kedvező tapasztalatok alapján remélt megbízhatóságot. Az iránymeghatározás elért középhibája $\pm 0.23'' \pm 0.44''$ (Czobor

1993). Ezért a módszer további alkalmazására nem került sor. A stelláris háromszögelés végeredményének hazai hasznosításával, nevezetesen az EOVA elsőrendű alapponthálózata tájékoztatójának ellenőrzésével *Ádám* (1992a) foglalkozott.

A mesterséges holdakra vonatkozó *Doppler-mérések* (frekvenciaeltolódási mérések) hazai bevezetésére vonatkozó vizsgálatokkal először a BME-n tudományos diákköri (TDK) tevékenység keretében foglalkoztak. Már kezdetben a módszer geodéziai alkalmazását tűzték ki célul (*Drahos* és társai, 1968), majd állomáskoordináták meghatározására alkalmas eljárást is kidolgoztak (*Ádám* és *Tarcsai* 1972 és 1974).

Az 1970-es évek második felében, külföldön, az akkori pontossági szintnek megfelelő, geodéziai célú, terepi mérésekre alkalmas, hordozható vevőberendezéseket fejlesztettek ki, melyekből hazánk is beszerzett egy-egy vevőtípust (CMA és JMR). Ezekről tanulmányt, illetve ismertetőt közölt *Ádám* és *Fejes* (1975), valamint *Forrai* (1979). Az első geodéziai pontosságú műholdas Doppler-méréseket a FÖMI KGO-ban (Pencen) végezték. Az eredményekről *Ádám* és *Czobor* (1977) tanulmány keretében számolt be.

A műholdas Doppler-technika hazai alkalmazásai során három alkalommal végeztünk hálózati mérési kampányt. Először 1980-ban az EOVA 6 elsőrendű alappontján két vevőberendezés (CMA-751 és JMR-1) alkalmazásával, ún. transzlokációs üzemmódban (8.12. ábra). A mérési sorozat elnevezésére a HDOC80 (Hungarian Doppler Observation Campaign 1980) rövid alakot használjuk. A HDOC80 méréseit két egymástól független programrendszerrel dolgozták fel: *Czobor* (1982) a kanadai fejlesztésű GEODOP programmal és *Mihály* (1982) a saját fejlesztésű SADOSA elnevezésű programjával. A nyert eredmények alapján vízszintes alapponthálózatunk vonatkoztatási rendszerének térbeli elhelyezkedését, tájékoztatóját és méretarányát vizsgálta *Ádám* (1982). A második országos mérési kampányt 1982-ben (HDOC82) négy darab Doppler-vevőberendezéssel ún. multilokációs (kettőnél több Doppler-vevőnek ugyanazon mesterséges holdra vonatkozó mérésein alapuló) eljárással hajtottuk végre az EOVA 14 pontján. A hálózati mérési terv kidolgozását és a mérések végrehajtását *Ádám* és *Höröcsöki* (1983) mutatja be. A HDOC80 hálózat 6 pontja közül 5 a HDOC82 hálózatnak is pontja. A HDOC82 méréseinek kiértékelését ismételtelen a rendelkezésre álló két szoftverrel dolgozták fel. A SADOSA programmal nyert eredményeket *Mihály* (1984) ismerteti. A HDOC82 doppleres hálózat 14 pontjára (a GEODOP és a SADOSA programmal) nyert állomáskoordináták alapul vételével az EOVA I. rendű alapponthálózatának geocentrikus elhelyezését, tájékoztatóját és méretarány-eltérését vizsgálta *Ádám* (1984b). A harmadik országos mérési kampányt 1985-ben (HDOC85) szerveztük meg három vevőberendezéssel 12 ponton. A HDOC85 mérési terve (*Ádám* 1987a) a 7 darab stelláris háromszögelési pont és a Dunántúlon az EOMA 5 db kiválasztott főalappontjának (és nehézségi alappontjának) műholdas Doppler-mérését tartalmazta. A mérési terv kidolgozásakor alapvetően már az integrált geodézia szempontjait vetjük figyelembe [7.5.].

A műholdas Doppler-mérésekből nyert geocentrikus állomáskoordináták alapulvételével geodéziai alapjaink továbbfejlesztésében nyert vizsgálati eredményeket *Ádám* (1987a, 1987b, 1992a és 1992b) mutatja be. A FÖMI KGO-ban (Pencen) végzett folyamatos Doppler-mérésekből nyert állomáskoordináták idősor analízisével *Ádám*

(1984a) foglalkozott, a doppleres helymeghatározás koordináta-rendszereiről (WGS72, NSWC-9Z2) *Czobor* (1984) készített tanulmányt. A három doppleres műhold-megfigyelési kampány (HDOC80, HDOC82 és HDOC85) méréseiből nyert álláspont-koordináták egy-egy hálózatot képeznek, amelyek közös pontokon keresztül egymáshoz kapcsolódnak, ezért célszerű lett volna elvégezni együttes kiegyenlítésüket. Erre eddig még nem került sor. Ennek ellenére megállapítható, hogy a műholdas Doppler-technika alkalmazása geodéziai szempontból új eredményeket adott és hozzájárult a GPS-technika hazai bevezetésének eredményes megalapozásához (mérési- és adatfeldolgozási módszertan, geocentrikus állomáskoordináták szolgáltatása, stb.).

A műholdas Doppler-technika alkalmazását követően az 1980-as évek második felében folyamatosan a *globális helymeghatározási rendszer* (Global Positioning System, GPS) [2.5.2.2.] megismerésére, megismertetésére és mielőbbi bevezetésére törekedtek (*Varga és Forrai* 1982, *Borza* 1986 és 1989, *Mihály* 1988). Az első GPS hálózati méréseket Magyarországon a FÖMI KGO-ban (Pencen) 1989-ben hajtották végre 2 db GPS-vevőberendezéssel, amelyekről *Borza* és társai (1989) számolnak be. A szerzett tapasztalatok és beszerzések után már a következő évben megjelentek a GPS-vevők a hazai geodéziai gyakorlatban (*Borza*, 1990a és b) és a geodinamikai célú mozgásvizsgálatokban is (*Faludi* és társai, 1990; *Bányai* és társai, 1991). A GPS-technikát elsőként a negyedrendű pontsűrítésben használták (*Borza* és társai 1991, *Borza* 1991 és 1992) eredményesen és sikeresen olyannyira, hogy a negyedrendű háromszögelés gyors befejezése a GPS-technika hatékony alkalmazásának köszönhető.

Mivel az 1980-as évek második felében a GPS-technika alkalmazásának elvén alapuló geodéziai hálózatok iránti igény folyamatosan növekedett, ezért 1987-88 folyamán elhatározták a közös európai háromdimenziós geodéziai hálózat (elnevezésére is használatos az EUREF betűszó) és az európai földi vonatkoztatási rendszer (ETRS89, European Terrestrial Reference System 1989 [1.3.1.]) létrehozását, majd később fokozatos továbbfejlesztésüket. Az EUREF hálózat létrehozásának célja lényegében kettős: *a)* alkalmas vonatkoztatási rendszer (ETRS89) megvalósítása geodéziai és geodinamikai alkalmazásokhoz Európában és *b)* átszámítási (transzformációs) paraméterek meghatározása az EUREF és az egyes országok geodéziai hálózatai között.

1991 végén hazánk állami alpmunkák keretében, megfelelő előkészületek után 5 ponton végzett egy hetes GPS mérési sorozattal kapcsolódott az (European Reference Frame, EUREF) hálózathoz, majd folytatólagosan a rákövetkező héten újabb 19 pont bevonásával 24 pontból álló GPS alapponthálózatot mértünk le (*Borza és Busics* 1992) (8.13. ábra). Ez a hálózat alkotja a későbbi *Országos GPS Hálózat* (OGPSH) kerethálózatát.

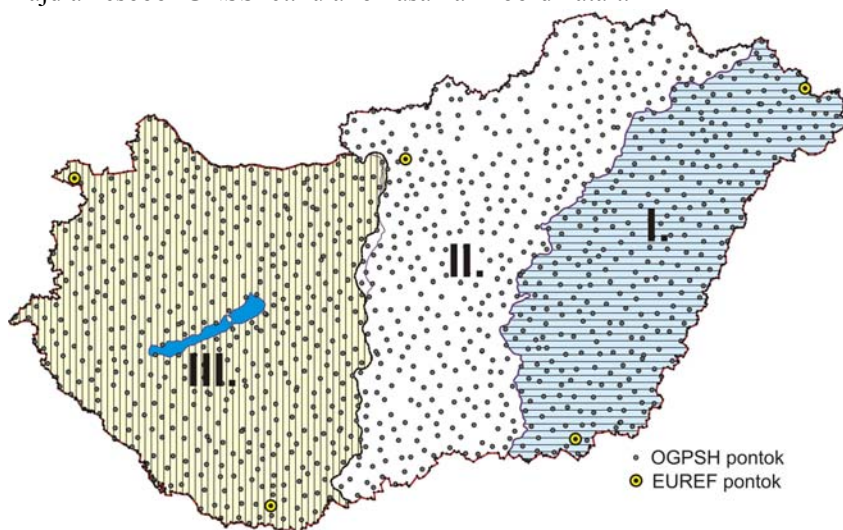
A 24 pontból *Gazsó* és társai (1992) 13-at úgy választottak ki, hogy alkalmasak legyenek mozgásvizsgálati célból ismételt GPS- (továbbá nehézségi) mérések céljára is. A *Mozgásvizsgálati GPS Hálózat* (MGPSH) pontjain 1991 óta kétvétenként ismételt GPS-méréseket végeznek geodinamikai (földfelszíni) mozgásvizsgálatok és a GPS-technikával nyert állomáskoordináták összhangjának ellenőrzése céljából. Az MGPSH 10. ismételt újramérését 2011-ben végezték. A magyarországi GPS mozgásvizsgálatok elmúlt 16 évében nyert eredményeket *Grenerczy és Fejes* (2007) mutatja be.



8.13. ábra. Az OGPSH kerethálózata.

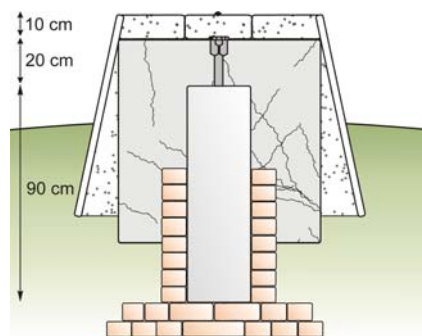
Az 1990-es évek elején élénk szakmai vita bontakozott ki a GPS-technika alaphálózati alkalmazását illetően, amelynek eredményeként az MTA Geodéziai Tudományos Bizottságának (GTB) állásfoglalása keretében egyetértés alakult ki az OGPSH létrehozására (Mihály 1993). A kapcsolódó kérdésfelvetést, az alapul szolgáló tanulmányokat és szakértői véleményeket, továbbá az MTA GTB állásfoglalását a Geodézia és Kartográfia szakfolyóirat 1993/3. száma tette közzé. A GPS-technika széleskörű hazai alkalmazása céljából felsőrendű geodéziai alapponthálózataink (EOVA, EOMA) továbbfejlesztéseként országos GPS hálózat (OGPSH) létrehozására tett javaslatot a FÖMI 1992-ben. Ehhez az alapot Czobor (1993): "Az Állami Geodéziai Alapok továbbfejlesztési lehetőségei" és Borza (1993): "Alaphálózati kérdések a GPS-korszakban" c. tanulmánya szolgáltatta. Az említett két tanulmányt felhasználva Detrekői (1993), Joó (1993) és Soha (1993) kapott felkérést egy-egy szakértői tanulmány készítésére "A magyar geodéziai felsőrendű alaphálózat jövőbeli fejlesztésének és fenntartásának kérdései, különös tekintettel a GPS-módszer térhódítására" címmel. Az MTA GTB 1993 elején tartott ülésén a szóban lévő tanulmányokat alapul véve megvitatta a kérdéskört és ezek alapján alakította ki állásfoglalását. Lényegében ennek értelmében létesítették az OGPSH-t (8.14. ábra), amely felsőrendű és sűrítő hálózatból állt. Mint említettük, a 24 alappontból álló kerethálózatot (a felsőrendű hálózatot) tulajdonképpen már 1991-ben létrehozták (8.13. ábra). Ez szolgál alapul a sűrítőhálózatnak, és tudományos vizsgálatok (geodinamikai mozgásvizsgálatok, stb.) céljára. A sűrítőhálózatot 1995-97 folyamán hozták létre további 1129 alappont lemérésével, amely elsősorban gyakorlati igényeket szolgál. Az 1153 pontból álló OGPSH átlagos pontsűrűsége 10 km. Ez a ponttávolság felel meg a leghatékonyabb GPS mérési módszerek alkalmazásához, a geoid interpolálhatóságához, valamint a helyi átszámítások (transzformációk) elvégzéséhez. Az MTA GTB állásfoglalásával összhangban az OGPSH alappontjait úgy választották ki, hogy ezek legnagyobb részben az EOVA alappontjaival (és számos EOMA alapponttal is) azonosak (Borza és társai 1998). A GPS-mérések céljára átalakított III. rendű háromszögelési pontok állandósítása a 8.15.

ábrán látható. Az OGPSH létesítését, a mérések elvégzését és kiértékelésének eredményét Borza (1998) tanulmánya mutatja be. Az OGPSH vonatkoztatási rendszere ETRS89, amelynek ETRF89 jelű megvalósulását jelentő koordináta-rendszerében (kerethálózatában) az 1991.8 epochára vonatkozóan határozták meg az OGPSH alappontjainak, majd a későbbi GNSSnet.hu állomásainak koordinátáit.



8.14. ábra. OGPSH pontok és a meghatározásuk fázisai.

Az OGPSH kerethálózatának néhány alappontját is felhasználva 1992-ben katonai geodéziai feladatoknak megoldására GPS-technikával 44 pontból álló *Katonai GPS Hálózatot* (KGPSH) létesítettek, amelynek vonatkoztatási rendszere a WGS84 (Tóth és Sipos 1994). A GPS-technikát az ELGI is alkalmazta már az 1990-es évek elejétől geofizikai mérések helymeghatározásai (a légi járművek navigációja, magasságmeghatározás, stb.) során (Sárhidai 1994).



8.15. ábra.

GPS-mérések céljára átalakított III. rendű háromszögelési pont állandósítása.

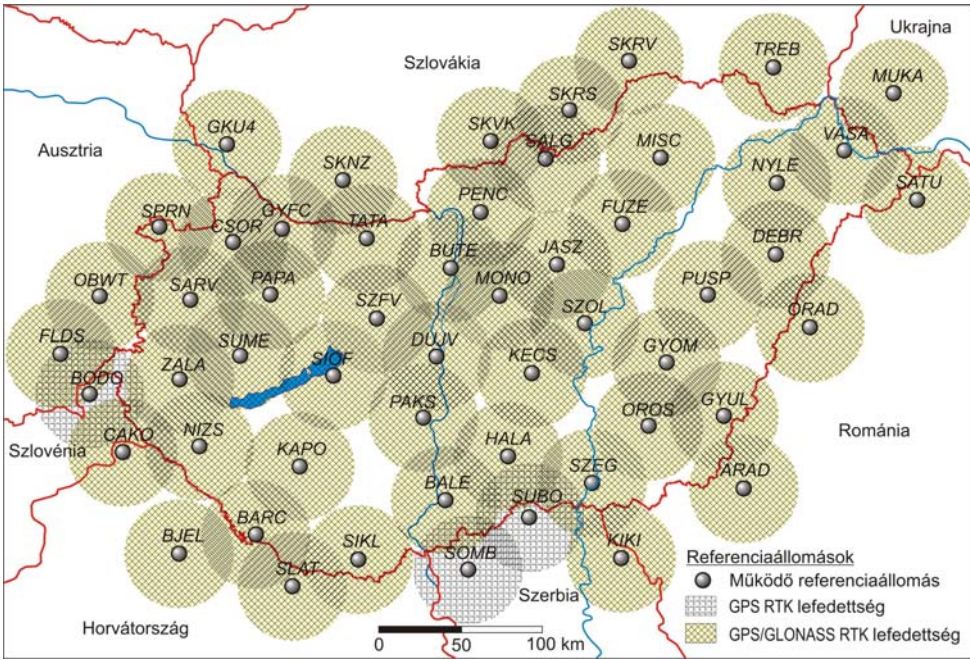
Az OGPSH létesítése során az 1990-es évek közepén a GPS-technika egyik legintenzívebb fejlesztési irányzata nemzetközi szinten a folyamatosan üzemelő (permanens) GPS-állomásokból felépülő ún. *aktív GPS hálózat* kiépítése volt, amely nálunk is kez-

dett időszerűvé válni (Borza 1994). Ilyen hálózat fontos szerepet játszik a földtudományi kutatásokban (folyamatos mozgásvizsgálatok végzése, GPS-meteorológia, stb.), és alapvető fontosságú az ún. differenciális GPS (DGPS)-technológia (Borza és Kenyeres 1996, Ádám és társai 2004) kiszolgálásában. Magyarországon az első permanens állomást a FÖMI KGO-ban helyezték üzembe 1996-ban, és ezzel összefüggésben a DGPS-technika hazai alkalmazási lehetőségeiről Borza és Kenyeres (1996) készített tanulmányt. A DGPS-technika mérési alapelvét mutatja be Tarján és Hargitai (1996).

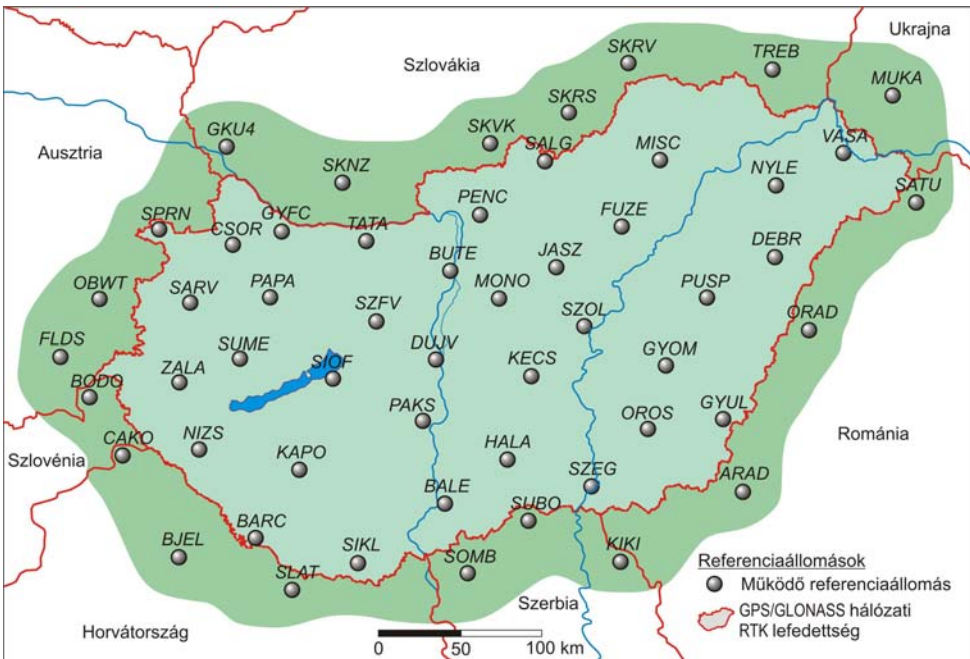
Az állami földmérés 35 állomásból álló *aktív GPS-hálózatát* (www.GNSSnet.hu) 2000-2008 között építették ki (újabb nevén aktív GNSS hálózat). Segítségével az ország egész területéről elérhető valamelyik folyamatosan üzemelő (permanens) állomás 55 km-en belül. Egy-egy szűkebb terület hatékonyabb kiszolgálása céljából, néhány intézmény saját tulajdonában lévő állomással járult hozzá a hazai GNSS infrastruktúrához: pl. BUTE (BME) (Ádám és társai, 2001). Az aktív GNSS-hálózat kiépítésének menetét, szolgáltatásait és alkalmazási lehetőségeit Borza (2000 és 2004), Borza és Busics (2005), Borza és Fejes (2006), Borza és Frey (2003), Borza és társai (2007a), Busics és Horváth (2006) és Fejes (2003) tanulmánya mutatja be.

Valamennyi folyamatosan üzemelő (permanens) GPS viszonyító- (ún. referencia-) állomás 30-35 km-es körzetében a világhálón elérhető RTK (valós idejű kinematikus helymeghatározási technológia) javítások vételével lehetőség van cm-es pontosságú valós idejű helymeghatározások végzésére. A Budapest környéki GNSS infrastruktúra országos kiterjesztését jelenti az EUPOS hazai megvalósítása. Az EUPOS kezdeményezésben 17, főleg közép- és kelet-európai ország vett részt, ennek köszönhetően a határok mentén egymás állomásainak használatára is lehet tervezni. A viszonyító- (referencia-) állomásokon folyamatosan végzett GPS-mérések adatai a földhivatali TAKARNET hálózaton keresztül jutnak el a penci *GNSS Szolgáltató Központba* (GSZK). Utólagos felhasználáshoz az egyes referencia-állomások ún. RINEX formátumú méréseit a www.GNSSnet.hu honlapról lehet letölteni visszamenőleg egy hónapra. Az egyfrekvenciás GPS-vevők megsegítésére, virtuális-állomásokra (VRS: Virtual Reference Station, virtuális referencia-állomás) generált fiktív mérések szolgáltatását is végzik (Busics és Horváth 2006). Valós időben ún. NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) technológia alkalmazásával juthatunk méter alatti pontosságú DGPS-javításokhoz (korrekciókhoz) az ország egész területén, illetve geodéziai pontosságú RTK-javításokhoz (korrekciókhoz) a viszonyító-állomások körzetében, ettől távolodva csökkenő pontossággal. Néhány fejlett szoftver alkalmas arra, hogy adott terület valamennyi viszonyító-állomását együtt kezelve homogén pontosságú javításokat (korrekciókat) szolgáltatson (ilyenek a Geo++GNSMART, a Trimble VRS és a Leica SpiderNET nevű szoftverek).

Az előzőekben leírtak alapján a FÖMI KGO-ban működő GNSS Szolgáltató Központ által előállított dm pontosságú DGNSS-javítások (korrekciók), valamint a cm pontos RTK és hálózati RTK-javítások (korrekciók) felhasználásával az ország egész területén lehet valós idejű műholdas helymeghatározást végezni. (A vonatkozó szolgáltatásokról egyébként részletesebb tájékozódást a www.gnssnet.hu honlapon találhatunk. Innen vettük át a vonatkozó 8.16. és 8.17. ábrát is, amely a 2012. január 23-i helyzetet mutatja be.)



8.16. ábra. RTK hagyományos lefedettség.



8.17. ábra. RTK hálózati lefedettség.

A határmenti térségekben a szomszédos országokkal közösen végzett GPS-mérési sorozatok (kampányok) eredményeinek feldolgozása alkalmával több cm-es ellentmondásokat jeleztek, amelyek az állomáskoordinátákban rejlő szabályos hibára utaltak. Ezért a FÖMI KGO szakemberei a főhatóság támogatásával az EUREF hálózathoz és vonatkoztatási rendszeréhez újbóli csatlakozó méréseket szerveztek meg: 2002-ben 9 ponton és 2007-ben az OGPSH kerethálózatának 23 alappontján. Ez utóbbi mérési sorozat eredményeinek feldolgozása alapján Borza és társai (2007b) kissé megváltoztatták az OGPSH és a GNSSnet.hu állomások koordinátáit. Másképpen fogalmazva a hazai GPS-mérések alapjául szolgáló geodéziai hálózatok (OGPSH, GNSSnet.hu) vonatkoztatási koordináta-rendszerét kis mértékben módosították, áttérve az ETRS89 vonatkoztatási rendszer ETRF2000 jelű megvalósulását jelentő koordináta-rendszerre, a 2007.4 epochára vonatkoztatva. Az új vonatkoztatási koordináta-rendszer használata 2007. október 25-én lépett életbe. A néhány cm-es változást jelentő rendszerpontosítás természetszerűleg érinti az átszámítási együtthatók (transzformációs paraméterek) számértékeit, amelyeket a geodéziai gyakorlatban alkalmazni kell a GPS hálózataink vonatkoztatási rendszere és a HD72 (EOV) között (Borza és társai, 2007b).

A GPS-mérésekből az ETRS89 vonatkoztatási rendszerben meghatározott X, Y, Z térbeli derékszögű koordinátákból a GRS80 (illetve WGS84) forgási ellipszoid geometriai adatainak felhasználásával számítunk kvázi-geocentrikus [1.3.1.] φ ellipszoidi földrajzi szélesség, λ hosszúság és h ellipszoid feletti magasság értéket (6.66. ábra).

8.6. Integrált geodéziai alapponthálózat létesítése

A korszerű GNSS technológia általánossá válása, továbbá a hagyományos geodéziai alapponthálózataink (EOVA [8.2.], EOMA [8.3.]) jelen helyzetének felmérése és jövőbeli fenntartásuk szempontjainak mérlegelése arra vezetett, hogy Magyarországon is átgondolják a földmérési és térképezési munka teljes folyamatát. Így az új évezred első évtizedében egyre inkább erősödött az igény hazánkban is az integrált geodéziai hálózat (az ún. integrált pontok hálózatának) létesítésére, melyet a GNSS technológia magasabb szintű, nagyobb pontosságú alkalmazása igényel (Mihály és társai 2008, Borza 2009a, 2009b és Busics 2009). Elősegítették ezt a geodéziai hálózatok integrációjára irányuló, nemzetközi szinten is megvalósuló törekvések, egyrészt a kozmikus geodéziai mérési technikák vonatkozásában, másrészt a magassági hálózatok korszerűsítése tekintetében (Ihde és társai 2000 és 2003, Ádám 2006). A témakör nagyobb lendületet hazánkban is az EOMA újramérésével összefüggő szakmai-tudományos párbeszéd kapcsán kapott (Mihály és társai 2008). Az integrált pontok hálózatának kialakítására vonatkozó elképzelést (konceptiót) kidolgozták (Kenyeres és társai 2011), a vonatkozó hálózat létesítését az Országgyűlés által 2012-ben elfogadott földmérési és térképészeti törvény is előírja (Földmérési és térképészeti törvény 2012).

Az elkülönülten létesített vízszintes (EOVA), magassági (EOMA), nehézségi (MGH) és GNSS hálózatok egységesítésével ún. Integrált Geodéziai Alapponthálózatot

(INGA) hoznak létre és fognak a jövőben fenntartani. Ezzel a korszerű felhasználói igényeket is kielégítő megoldást fognak biztosítani.

Az integrált hálózat célja a geodéziai vonatkoztatási koordináta-rendszerek és alapfelületek egységes keretbe foglalása, a korszerű mérési és pontossági követelményeknek megfelelés biztosítása, tudományos vizsgálatok végzése és a hálózatok fenntartásának egyszerűsítése minél hosszabb időtartamra. Az integrált hálózat pontjai lehetővé teszik valamennyi geodéziai mérési módszer alkalmazását, különös tekintettel a GNSS alapú magasságmeghatározásra. Az integrált hálózatnak része lesz a gravimetriai geoid legújabb megoldása és ennek alapul vételével az INGA-pontok által meghatározott ún. *GNSS-gravimetriai geoidfelület*, amely a GNSS-mérések segítségével a magasságmeghatározások vonatkozási felületét képezi.

Mivel az INGA az aktív GNSS-hálózat mellett az ország geodéziai vonatkoztatási koordináta-rendszereinek elsődleges megvalósítója lesz, ezért a hálózat pontjainak kiválasztására, állandósítására és fenntartására kiemelt figyelmet fordítanak. Az alapponthálózatot olyan sűrűségben alakítják ki és fogják fenntartani, hogy az optimálisan biztosítsa valamennyi vonatkoztatási rendszert megvalósító keretponthálózathoz (EOVA, EOMA, MGH, OGPSH és GNSSnet.hu) a hozzáférést. Ez a pontsűrűség a tervek szerint legalább 100 km²/pont.

A hálózat pontjait elsősorban az EOMA I-III. rendű, megfelelő módon állandósított pontjaiból fogják kiválasztani. Amennyiben a szükséges pontsűrűség eléréséhez nem találnak a feltételeknek megfelelő magassági alappontot, akkor új pontot fognak állandósítani. A kiválasztott és újonnan létesített INGA-pontok alkalmasak lesznek

- a) vízszintes és magassági értelmű mérések,
- b) nehézségi mérések és
- c) szabatos GNSS-mérések

központos végrehajtására. Az INGA-pontokat fotogrammetriai illesztőpontként is alkalmazni fogják, továbbá a magasságváltozások nyomon követése céljából a szintézisi főalappontjainkhoz kapcsolódó INGA-pontokat úgy helyezik el és alakítják ki, hogy azokon műholdradar-interferometriai [2.5.2.6.] (pl. PSInSAR: Permanent Scatters in Synthetic Aperture Radar Interferometry, állandó szórópontú apertúraszintézises műholdradar-interferometria) (*Grenerczy és társai 2008*) mérésekre alkalmas reflektáló pontokat lehessen elhelyezni. Különböző információs-technológiai megoldások alkalmazhatóságát is figyelembe fogják venni.

Az INGA létrehozását a hazai téradat infrastruktúra jövőbeli alapjának, valamint a földügyi és térinformatikai szakigazgatás és a FÖMI egyik kiemelten fontos fejlesztési feladatának tekinthetjük.

Végül megjegyezzük, hogy a múlt század utolsó negyedében is mutatkozott erős irányzat az integrált geodézia megvalósítására (pl. *Proceedings 1988*). Hazai vonatkozásban a FÖMI KGO-ban ilyen irányú kutatásokat is végeztek (*Czobor 1987*), továbbá a műholdas Doppler-hálózatok (pl. HDOC85) létesítésekor az irányzatot érvényesítettük is (*Ádám 1987a*).