

A gravitációs és földmágneses kutatások története Magyarországon¹

SZABÓ ZOLTÁN²

Magyarországon az első mágneses deklinációadatunk a XV. századból származik, első mágneses térképünk pedig 1850,0 időpontra vonatkozik. A gravitációs kutatások kezdete a XIX. század 80-as éveire tehető. Az első gravitációs mérés dátuma: 1883. A gravitációs méréseket ebben az időben a földalak vizsgálata inspirálta. EÖTVÖS Lorándot ugyancsak ez a téma vonzotta. A nehézségi erőter potenciálfelületének vizsgálatához megfelelő műszerre volt szüksége. Kísérletei a Coulomb-féle ingával vezettek az Eötvös-inga feltalálásához. Terepi felmérésekről 1901-től beszélhetünk, ekkor kezdődtek a rendszeres torziósinga- és földmágneses mérések. A geodéziai célokat fokozatosan felülmutta a földtani célú kutatás. Az 1930-as évek végén megjelentek a graviméterek, amelyek igazán csak az 1950-es években kezdtek kiszorítani az Eötvös-ingát a földtani kutatásból. 1949–50-ben létesült az első, a mai szemmel is korszerűnek tekintendő országos földmágneses alaphálózat, 1950–55 között pedig a gravitációs. Ettől kezdve az ország mielőbbi teljes felmérésére törekedtek. 1970-re már az egész ország területére elkészült egy 1:50 000 méretarányú gravitációs és földmágneses térképsorozat. A kellő mérési pontosság és a részletes területi felmérés lehetővé tette másodlagos feldolgozási eljárások kifejlesztését és alkalmazását. 1968-ban megkezdődött a gravitációs adatok digitális rögzítése. A gravitációs és földmágneses adatok egységes számítógépes tárolását az ELGI oldotta meg. A gravitációs és földmágneses adatbank jelenleg közel 386 000 gravitációs és 107 000 földi mágneses mérési pont adatát, valamint több mint 1 millió légi mágneses adatot tartalmaz. Az 1970-es évek elején megjelent nagy teljesítményű számítógépek nagymértékben megkönnyítették a hatószámításokat és a térképszerkesztést.

Z. SZABÓ: History of gravity and magnetic surveys in Hungary

In Hungary, the first magnetic declination data dates back to the 15th century, while the first geomagnetic map refers to the time epoch of 1850.0. The beginnings of research in gravity go back to the 80ies of the 19th century. The first gravity measurement in 1883 was inspired by the ambition of determining the shape of the Earth. Lorand Eötvös was also attracted by the topic. To enable the study of the equipotential surface of the gravity field he needed an instrument of high sensitivity. His experiments with the Coulomb balance led to the invention of the torsion balance, later named after him. Routine surveys with the torsion balance and with magnetic variometers started in 1901, while the aim of geodesy was gradually replaced by that of geology. Towards the end of the 1930ies, gravimeters appeared on the market and replaced torsion balance in geological exploration — in Hungary in the 1950ies. The first geomagnetic base network, regarded adequate even today, was established in 1949–50, and that of gravity in 1950–55. From that date the aim was to have a complete regional survey from the whole country. By 1970, two map series of 1:50,000 scale were completed for magnetic and gravity data. The accuracy of measurements and the detailed local surveys made the use of secondary data processing methods possible. In 1968, the building of a digitised databank for the gravity data has been commenced. A unified system of storing gravity and magnetic data was elaborated by ELGI. Its databank comprises at present about 386,000 gravity, 107,000 geomagnetic and more than 1 million aeromagnetic data, enabling map construction and solution of gravity as well as magnetic inverse problems efficiently. Lately, construction of digital maps started from these databanks.

A kezdetek

A földmágneses tér legkorábban felismert jellemzője, hogy az iránytű által kijelölt észak különbözik a Föld forgástengelye által kijelölt csillagászati északról. A jelenség különösen a tengeri navigációban okozott problémát. A XV. században a hordozható napórák készítői már ismerték a jelenséget, és óráikon bejelölték a két északi irány közötti helyi eltérés szögét, a mágneses deklinációt. Mátyás király 1467 körül udvarába hívta Hans DORN szász domonkosrendi műszerkészítőt, akinek itt készített műszereiről BARTHA Lajos meghatározta az 1470–85 közötti időszakra a deklináció értékét. Szerinte ennek értéke +14° volt, azaz keletre mutatott. Egy évszázaddal később a kitérés 0-ra csökkent. A török időkben pedig

csak kevés adat maradt fenn, azok is inkább Erdélyből származnak.

A felszabadító háborúk során, az 1690-es években, Luigi Ferdinando MARSIGLI olasz hadmérnök végzett térképészeti célból elhajlásméréseket a Dunával, illetve a Tiszával párhuzamos hosszúsági körök mentén Buda, Baja, Eszék közelében, illetve Eger, Szolnok, Szeged és Titel mellett. Mérései szerint ezeken a szelvényeken 9,5°, ill. 11° nyugati irányú volt az elhajlás. Ezeket az adatokat Edmund HALLEY is felhasználta 1702-ben kiadott izogontérképének szerkesztésekor.

A XVIII. század első felében MIKOVINY Sámuel végzett elhajlásméréseket térképező munkája során. Ezek a mérések már átvezetnek a jezsuiták nagyszombati egyetemén kb. 1760-tól végzett alkalmi megfigyelésekig, amelyek utóbb Budán folytatódtak.

A kezdeti gravitációs méréseket és vizsgálatokat geodéziai megfontolások vezérelték. Mivel a Föld alakját, a geoidot mint a nehézségi erőter nivófelületét definiálták, a gravitációs kutatásoknak nagy szerepük lett a Föld alakjának pontos meghatá-

¹ Beérkezett: 2003. december 11-én

² Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17–23.

rozásában. Az erre vonatkozó vizsgálatok kiindulópontja STOKES 1849-ben publikált egyenlete, amely összefüggést állapít meg a gravitációs anomáliák és a geoid undulációi között. Geoid unduláción a geoidnak a Föld alakját közelítőleg leíró forgási ellipszoidtól (referencia ellipszoidtól) való eltérését értjük. Ahhoz, hogy STOKES képletét kellő pontossággal lehessen alkalmazni, a Föld teljes felületének gravitációs anomáliáit ismernünk kell.

Hogy a nehézségi erő meghatározásának kérdése mennyire időszerű volt a XIX. század második felében, arra bizonyíték, hogy a Királyi Magyar Természettudományi Társulat 1878. május 15-én tartott XII. választmányi ülésén, melyen az illetékes szakbizottságok jelentései alapján megtárgyalták a soros pályázatok kérdését, tárgyalták EÖTVÖS gravitációs mérésekre vonatkozó javaslatát is, és megállapították, hogy: „*hazánkban a gravitációra nézve még egyetlen adatunk sincs, úgy hogy az oktatásnál is mindig külföldi mérésekre kell hivatkoznunk. Ezért az ajánlattevő báró Eötvös Loránd egyetemi tanár úr felkérendő volna, fordítsa figyelmét egyelőre csak Budapesten, majd az Alföldön és a Szepesi Kárpátokban a nehézségi gyorsulás megállapítására.*” A téma megvalósítására 800 forintot ajánlott a bizottság. A választmány a szakbizottsági ajánlást jóváhagyta és a 800 forintnyi díj odaítélése mellett megbízta EÖTVÖST a szükséges vizsgálatok elvégzésével. 1879-ben 400 forintot előlegként ki is utaltak, de ezt további 100 forinttal megtoldva, 1880-ban EÖTVÖS megfelelő, mérésre alkalmas műszerek és helyiségek hiányára hivatkozva visszafizette.

A kérdés ezzel nem került le végképpen a napirendről, mert SCHENZL Guidó, a Központi Meteorológiai és Földdelejjességi Intézet igazgatója légnyomásméréseinek kiértékelésénél hiányolni volt kénytelen a nehézségi erő (g) budapesti értékét. Ezért a Vallás- és Közoktatási Minisztériumhoz fordult, kérve, hogy biztosítsa az anyagi feltételeket a Magyarországon végzendő nehézségi mérések számára alkalmas műszer megvásárlásához. A Tudományegyetem pártoló szakvéleménye nyomán a minisztérium engedélyezte egy reverziós inga beszerzését a hamburgi Repsold und Söhne cégtől. A műszer beszerzését GRUBER Lajos, a Meteorológiai Intézet obszervátora, majd 1886-tól igazgatója, intézte. A műszer 1885-ben érkezett meg és GRUBER a budai Várhegy északi oldalán, a Bécsi kapu közelében, a Meteorológiai Intézet akkori területén, egy fa észlelőbódében végzett méréseket. Az észlelési körülmények messze nem feleltek meg egy precíziós méréshez szükséges kívánalmaknak. A mérések végleges kiértékelésére csak GRUBER betegsége és korai halála után került sor. Az inga hosszát Sèvres-ben, a Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Intézetben határozták meg.

A sèvres-i adatok alapján a nehézségi erő értékére a

$$\varphi = 47^{\circ}30'12''$$

$$\lambda = 19^{\circ}1'55''$$

$$m = 152 \text{ m}$$

koordinátákkal meghatározott ponton

$$g = 9,80,827 \text{ cm/s}^2$$

értéket kaptak.

A fenti előzményekkel párhuzamosan a bécsi Katonai Földrajzi Intézet munkatársa, a prágai születésű R. STERNECK (1839–1910) is foglalkozott gravitációs mérésekkel. 1883 júniusában az Európai Fokmérés keretében Brassóban végzett csillagászati méréseket, és az általa tervezett relatív ingával három ponton meghatározta a nehézségi gyorsulás értékét is. Mérési eredményei nem bizonyultak megbízható-

nak, mivel a magasabb tengerszint feletti állomásokon nagyobb gravitációs értékeket mért, mint a legalacsonyabb állomáson, holott ennek éppen fordítottja volt várható. 1884 májusában a Celldömölk melletti Ság hegyen öt állomáson mért, itt is ellentmondó adatokat kapott, a hegy peremén ugyanis nagyobb értékeket észlelt, mint a kúp közepén. Többek között ez a jelenség is inspirálta EÖTVÖST 1891-ben, mikor első terepi méréseinek színhelyéül a Ság hegyet választotta.

STERNECK az Internationale Erdmessung 1886. évi berlini konferenciájának javaslatára 1887-től kezdődően regionális szelvények mentén végezte méréseit a Monarchia egész területén. 1896-ig 508 állomáson határozta meg a nehézségi erő értékét, a bécsi Katonai Földrajzi Intézet pincéjében létesített gravitációs fólappontra vonatkoztatva (az ún. bécsi gravitációs rendszer, melynek kiinduló értéke $980,876 \text{ cm/s}^2$). Az 508 állomásból 198 esett a történelmi Magyarország területére.

1901 folyamán STERNECK, a Magyar Földrajzi Társaság balatoni bizottságának felkérésére, id. dr. LÓCZY Lajos irányításával, 8–10 km állomásközzel 42 állomást telepített a Balaton térségében (ezekből 6 állomás korábbi mérés ismétlése). EÖTVÖS felkérésére a budapesti Tudományegyetem Fizikai Intézetének alagsorában is meghatározta a g értékét, melyre $980,860 \text{ cm/s}^2$ értéket kapott.

Időközben EÖTVÖST sem hagyta nyugodni a Természettudományi Társulat pályázatának kudarca, figyelme egyre inkább a gravitáció és a Föld alakjának vizsgálata felé fordult. A Coulomb-ingával végzett kísérletei során támadt az az egyszerű, de zseniális ötlete, hogy mi történik a torziós ingával, ha azt egyszerűen magára hagyjuk és nem helyezünk el a közelében kiterítő tömegeket. Felírta az inga egyenletét, melyből kiderült, hogy ha az ingarúd két végén levő tömeg egyikét egy lelógó szál segítségével alsóbb szintre helyezi, akkor a nehézségi erőter horizontális irányító képességén kívül az erőter vízszintes gradiensét is meg tudja mérni. Ötletét megvalósítva 1890–91-ben megépítette a később róla elnevezett Eötvös-ingát, melyet *horizontális variométernek* nevezett el¹.

Műszeréről EÖTVÖS maga a következőket mondta: „*Egyszerű egyenes vessző az az eszköz, melyet én használtam... A Coulomb-féle mérleg különös alakban, annyi az egész. Egyszerű, mint Hamlet fuvolója, csak játszani kell tudni rajta...*”

Az első terepi mérésre 1891 augusztusában került sor a Ság hegyen. A hely kiválasztását két dolog motiválta: az egyik, hogy az akkor még szabályos csonkakúp alakú hegy gravitációs hatása aránylag könnyen számítható, így alkalmas volt a mérési eredmények ellenőrzésére. A másik, hogy a Sterneck-féle mérések a hegytető mintegy 150 m távolságra levő két pontja között 33 mGal^2 különbséget mutattak ki, ami irreálisan nagy, kb. 2200 eötvösnyi gradiensnek felel meg. A mérések, amelyeket KÖVESLIGETHY Radó, TANGL Károly és BODOLA Lajos — később neves egyetemi tanárok — közreműködésével végzett, STERNECK eredményeit megcáfolták és a Ság hegyen mindent „rendben” találtak.

EÖTVÖS a sikeres Ság hegyi mérés után élete végéig műszere további tökéletesítésén dolgozott. Így született meg 1898-ban az *egyszerű nehézségi variométer*, mely a későbbiekben a *balatoni inga* nevet kapta, mert ezzel végezték EÖTVÖS és munkatársai az első nagyobb területre kiterjedő felmérést 1901 és 1903 telén a Balaton jegén. Ez az eszköz a

¹ Az Eötvös-inga történetét ld. Magyar Geofizika **40**, 1, 26–38

² $1 \text{ mGal} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ cm/s}^2$.

könnyebb terepi alkalmazhatóság érdekében az ingával egybeépített optikai leolvasó berendezéssel készült. A műszert EÖTVÖS 1900-ban a Párizsi Világkiállításon mutatta be, ahol aranyérmét nyert. EÖTVÖS figyelme hamarosan mérési eredményeinek földtani vonatkozásai felé fordult. Hogy mennyire fontos volt számára méréseinek földtani értelmezése, azt a Magyar Tudományos Akadémia 1901. évi közgyűlésén mondott elnöki beszédének az alábbi, költői szépségű részlete bizonyítja legszebben: „Itt, lábaink alatt terjed el, hegyek koszorújával övezve az Alföld rónasága. A nehézség azt lesimítván, kedve szerint formálta felületét. Vajjon milyen alakot adott neki? Micsoda hegyeket temetett el és mélységeket töltött ki lazább anyaggal, amíg létrejött ez az aranykalászkodó termő, magyar nemzetet éltető róna? Amíg rajta járok, amíg kenyérért eszem, erre szeretnék még megfelelni.”

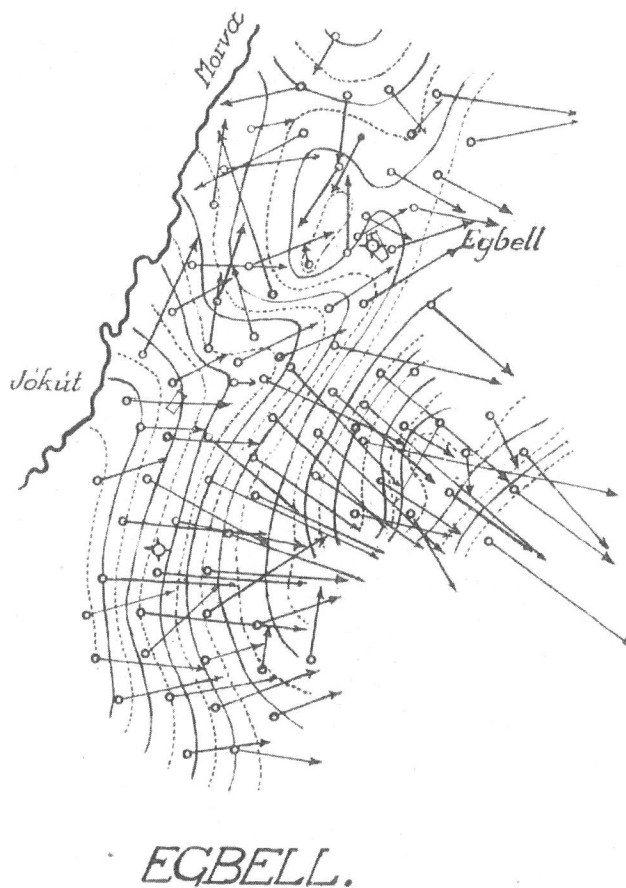
Kevésbé ismert tény, hogy EÖTVÖS — korát messze megelőzve — 1901-ben megépítette az első gravimétert is. Bifiláris elven működő műszere — valószínűleg nagyfokú hőérzékenysége miatt — nem váltotta be a hozzá fűzött reményeket, ezért félretette, továbbfejlesztésével nem foglalkozott, eredményeit nem publikálta.

PEKÁR Dezső és munkatársai a rendszeres terepi méréseket 1902-ben a Fruška Gora hegységtől északra levő területeken kezdték el, majd Arad környékén folytatták. E mérések eredményeként született a Fruška Gorára az első mágneses, Arad környékére pedig az első gravitációsható-számítás.

Az Eötvös-inga alkalmazásának kiemelkedő állomása az Egbell (Gbely, Szlovákia) környéki kőolajkutatás. Az egbelli mező előtörténetéhez tartozik az Amerikát megjárt MEDLEN János földműves esete. Történt pedig, hogy János gazda Amerikában megtakarított pénzén földet vásárolt Egbell környékén. Szántáskor furcsa szagra figyelt fel. Amerikában hallott sikertörténetek nyomán megállapította, hogy földgáz szivárog a talajból. Feltételezésének kísérleti ellenőrzése sikerrel járt, a szivárgó gáz lángra lobbant. Praktikus elme lévén, a gázt téglából épített csatornán bevezette a házába és azzal fűtött és főzött. Az esetnek híre ment a környéken, a hatóság fülébe is eljutott az ingyen fűtőanyag története. Rögvest jelentették a dolgot a fellebbvalóknak, mígnem eljutott a hír a pénzügyminisztériumba is. A továbbiakban már szakmai útra terelődött a dolog: BÖCKH Hugó, LÁZÁR Vazul és PAPP Simon kivonult földtani térképezésre, amelynek eredményeként Egbell környékén egy antiklinális alakja körvonalazódott. A tetején létesített fúrás 1913 végén, meglepően kis mélységben, 70–160 m között földgázt, 160–250 m között kőolajat talált. A későbbi termelő fúrások alapján az antiklinális meglehetősen pontosan körvonalazható volt. BÖCKH javaslatára — aki már korábban figyelemmel kísérte a terepi torziósingaméréseket — EÖTVÖS és munkatársai 1916-ban felmérték a területet. A mérési eredményeket PEKÁR az alábbiakban foglalta össze: „Egbell környékén, ahol olajok után kutattak, méréseinkkel teljesen olyan alakulatot állapítottunk meg, mint amelyet a geológusok is meghatároztak.” BÖCKH véleménye pedig a következő volt: „...de, ha nem is volna meg a geológiai felvétel, az izogammák mégis biztos támpontot nyújtanának arra nézve, hogy hol telepítsünk kutató fúrást.” E mérés bebizonyította az Eötvös-inga alkalmazhatóságát a szénhidrogén-kutatásban és ezzel megteremtette a kőolajkutató geofizika alapjait (1. ábra).

Az első magyarországi szénhidrogén-mező — a budafapusztai — megtalálása is Eötvös-inga-mérésekhez kapcsolódott. A területen már 1919-ben végzett PÁVAI VAJNA Ferenc

szénhidrogén-kutatási céllal földtani térképezést, amelynek alapján BÖCKH tűzte ki 1920-ban az első fúrást. Az 1737 m mély fúrás azonban jelentéktelen olajszagú gáznyomon kívül semmi érdemlegeset nem talált. 1934-ben az EUROGASCO³ (a MAORT⁴ és a MOL Rt. jogelődje) Eötvös-inga-méréseinek néhány hónap alatt sikerült körvonalazniuk a később kőolaj-tárolónak bizonyult budafapusztai maximumot, melynek tengelye mintegy 1500 m-rel északabbra van a BÖCK által kitűzött, meddőnek bizonyult fúrástól. Bár a terület gravitációs felmérése legfeljebb áttekintő jellegű volt, ennek ellenére a maximum tengelyébe telepített Budafapuszta-2 fúrás 1937. november 21-én kőolajat talált. Ez a dátum jelzi a magyar kőolajipar születésnapját. Érdekességként megemlíjtjük, hogy PÁVAI VAJNA szerint a fúrást eredetileg északabbra tűzték ki, de az angol fúrómester nem volt hajlandó a fúróberendezést a dombra felvinni. Lám-lám, ilyen „fontos” momentumokon múlhat egy kőolajmező felfedezése!



1. ábra. Az egbelli olajmező gradienstérképe (PEKÁR Dezső nyomán)

Fig. 1. Gradient map of the Egbell oil field (after D. PEKÁR)

A két világháború között kb. 125 db különböző típusú inga készült Magyarországon, ezeket a világ 30 országában alkalmazták. Az 1930-as évek végére azonban a kisméretű, könnyen kezelhető, sokkal termelékenyebb graviméterek kisebb

³ European Gas and Electric Co.

⁴ Magyar–Amerikai Olajipari Rt.

pontosságuk és kevésbé „intelligens” voltak ellenére világszerte háttérbe szorították az Eötvös-ingát.

A II. világháborút követő években a graviméterek pontossága és gyártási technológiája gyors ütemben fejlődött. Megjelentek a ma is korszerűnek számító első Worden és LaCoste–Romberg típusok. A hidegháborúnak „köszönhetően” azonban a modern gravimétereket stratégiai jelentőségűnek minősítették, így a vasfüggönytől keletre eső országok nem juthattak hozzá a korszerű műszerekhez. A Szovjetunióban folyt ugyan gravimétergyártás, de minősége meg sem közelítette a nyugati gyártmányú graviméterekét. Nagyrészt ennek volt köszönhető, hogy 1952-ben — elsősorban lengyel igényre — felmerült egy korszerű torziós inga kifejlesztésének ötlete. A feladatot RYBÁR István és BANAI Gyula kapta. RYBÁRnak ekkor már több évtizedes műszerszerkesztői tapasztalata volt, BANAI pedig közel két évtizedes terepi mérési gyakorlattal rendelkezett. A műszer prototípusa az ELGI finommechanikai műhelyében készült HERBÁLY Imre szerkesztői közreműködésével. Az inga 1954 végére készült el, ezért kapta az E-54 típusmegjelölést. A típusból 1956–60 között 109 db készült, 2 kivétellel valamennyit exportáltak. Az ingát az 1957-es brüsszeli világkiállításon aranyéremmel tüntették ki. 1959-től a gyártással párhuzamosan kísérletek folytak

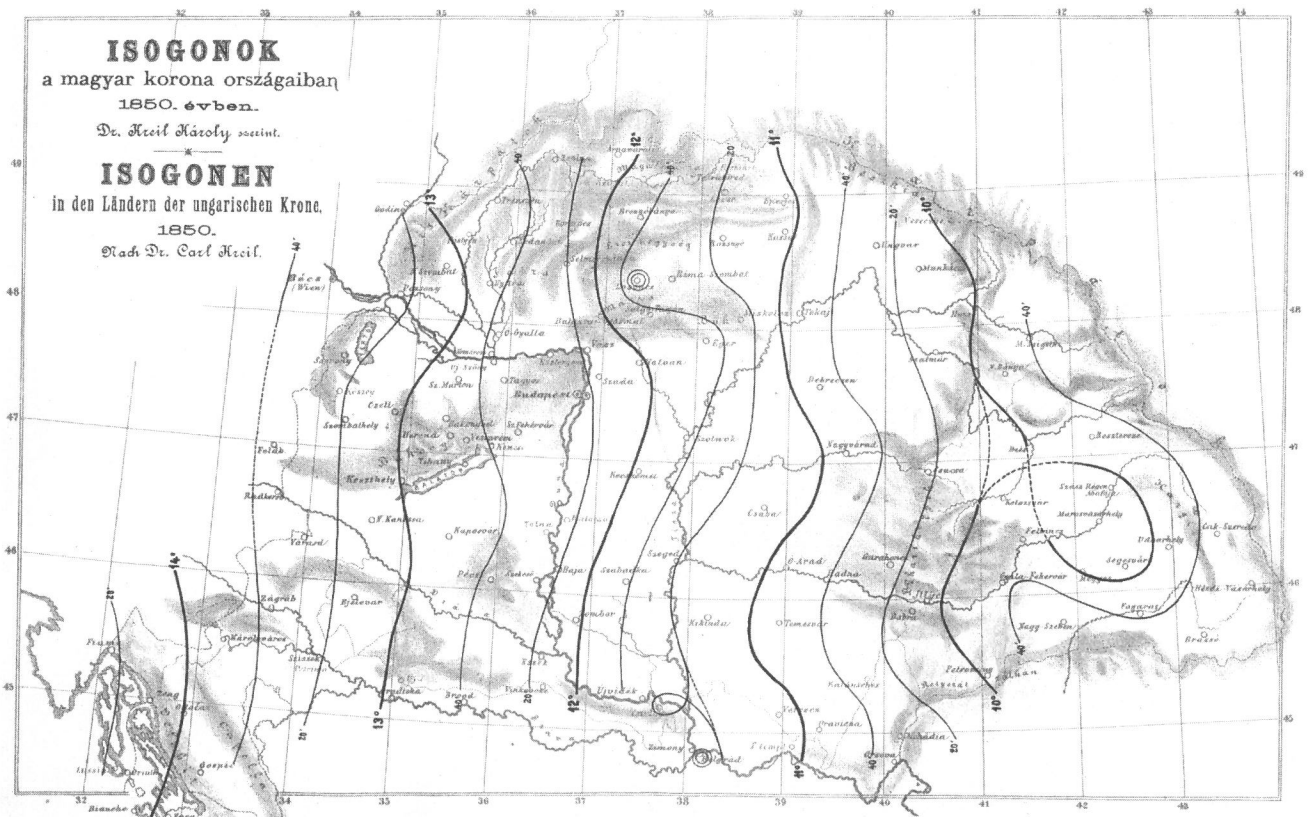
az észlelési idő csökkentésére. A kísérletek 1960-ban sikerre vezettek és megszületett az E-60 típusjelű, 20 perces csillapodási idejű inga. Ebből a típusból 1961–65 között 73 db készült, melyből 70 db került exportra.

Magyarországon az Eötvös-inga az 1960-as évek közepéig volt használatban, a több mint 65 évet átfogó mérési időszakban az ELGI, a MAORT és az OKGT összesen mintegy 60 000 állomáson végzett torziósinga-mérést. Ebben a számban a trianoni határon túli területekre eső kb. 5000 állomás is bennfoglaltatik.

Alaphálózatok

Földmágneses alaphálózat-mérések

Magyarország területén országos jellegű mágneses alaphálózat-mérést először K. KREIL végzett 1847 és 1857 között. Tíz év alatt 52 ponton határozta meg a mágneses elemek értékét és a mérési adatokat 1850,0 epochára redukálta (2. ábra). Nem sokkal a mérés befejezése után, 1864-ben kezdődött és 1879-ig tartott SCHENZLnek az 1875,0 időpontra átszámított, 111 állomást felölelő második, majd KURLÄNDER Ignácnak 1890–94 között végzett 38 pontos, 1890,0-ra átszámított harmadik mérése.



2. ábra. Carl KREIL 1850,0 epochára vonatkozó deklináció-térképe

Fig. 2. Declination chart of the normal geomagnetic field in degrees for the epoch 1850.0 (after C. KREIL)

A XX. század első két évtizedében egy másik típusú földmágneses mérési rendszer is kialakult hazánkban. Gravitációs méréseivel párhuzamosan EÖTVÖS mágneses méréseket is végzett és munkatársaival (STEINER Lajos, FEKETE Jenő, POGÁNY Béla és FRÖHLICH Pál) a három mágneses elem abszolút értékét 1600, relatív értékét pedig 3500

ponton határozta meg. Terepi abszolút méréseinek pontossága megközelítette az obszervatóriumokban végzett mérések minőségét, a horizontális intenzitást ± 5 nT, a deklinációt $\pm 1'$, míg az inklinációt $\pm 0,1'$ középphibával határozták meg. Mérései alapján 1906,5 epochára meghatározta a földmágneses elemek normálképletét. A részletessége alap-

ján abban az időben páratlan mérőszorozat a földtani szerkezetkutató mérések őskének tekinthető. Talán nem érdektelen megemlíteni, hogy Amerikában 1914-ig mindössze 1000 tengeri és 2500 szárazföldi ponton végeztek földmágneses méréseket.

A Kurländer-féle mérés után az egész országra kiterjedő mágneses alaphálózat-mérést hosszú ideig nem végeztek. 1934–36 között HOFHAUSER Jenő a Honvéd Térképészeti Intézet megbízásából határozta meg a deklináció értékét az ország 26 pontján. A mérési adatokból a térképészet céljaira meghatározta a deklináció normális változását az ország területén.

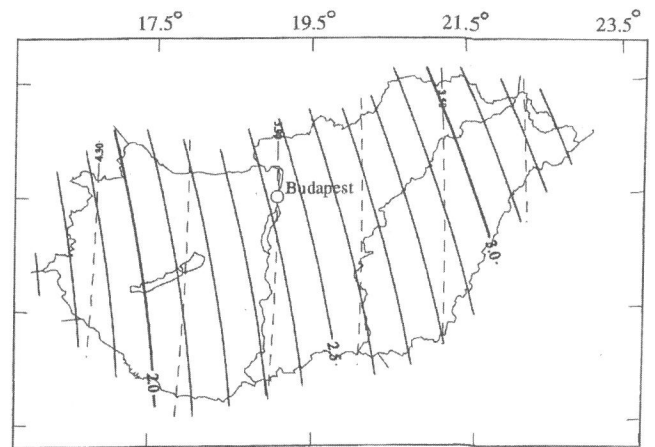
A Kreil-féle mérés centenáriuma alkalmából a Meteorológiai Intézet, a Geofizikai Intézettel karöltve, 1949–50-ben már valóban az egész ország területét egyenletesen lefedő alaphálózat-mérést végzett. A mérés folyamán BARTA György és munkatársai 290 ponton határozták meg a mágneses komponensek abszolút értékét. Az új mágneses térkép a régitől a mágneses évszázados változás miatt lényegesen eltért, a deklináció pl. 1890 és 1950 között 8° -ot, az inklináció 1° -ot, a horizontális intenzitás pedig 350 nT-t változott.

A nemzetközi nyugodt nap éve keretében szervezett mágneses világfelmérés részeként 1964–65-ben ACZÉL Etelka és STOMFAI Róbert 300 állomásra kiterjedő újabb alaphálózat-mérést végzett. A hagyományos QHM és BMZ műszerek mellett a SZEMERÉDY Pál által 1960-ra kifejlesztett protonmagnetométer terepi változatával is végeztek kísérleti jellegű méréseket. Annak érdekében, hogy a földmágneses alaphálózat-mérések hosszú ideig megismételhetők legyenek, az állomásokat az országos földmérési alaphálózat háromszögelési pontjai mellé telepítették. A normálteret a földrajzi koordináták másodfokú függvényével írták le. A mérési adatokat az 1965,0 epochára redukálták. E mérések alapján nemcsak a mágneses tér új képét ismertük meg, hanem az 1890–1950-es, mérés nélküli nagy időköz interpolációs kitöltése is biztonságosabbá vált.

A továbbiakban két egymástól független tényező: a földmágneses tér szekuláris változásának pontosabb megismerése és nyomon követése iránti igény, valamint a város- és iparfejlesztés következtében egyre nagyobb területeken fellépő mágneses zavarok felhívták a figyelmet arra, hogy

az alaphálózat-méréseket célszerű 15 évente megismételni. Így került sor 1979–82-ben a LOMNICZI Tibor és TÓTH Péter nevével fémjelzett mérésekre. 299 ponton határozták meg a mágneses tér deklinációjának, horizontális intenzitásának és teljes térerősségének értékét. Ez utóbbi észleléshez már protonprecessziós magnetométert használtak. A mérési adatokat 1980,0 epochára redukálták. A mágneses tér különböző komponenseinek normális térbeli eloszlását leíró másodfokú polinomokat a legkisebb négyzetek módszerével határozták meg.

Az utolsó alaphálózat-mérésre 1994–95-ben került sor KOVÁCS Péter és KÖRMENDI Alpár közreműködésével. E legutóbbi hálózat csak 195 pontot tartalmaz, egyrészt az észlelésekből kihagyták az előző mérések alapján anomálisnak bizonyult állomásokat, másrészt sok régi alapponthelyzetében a legutóbbi mérések óta előálló ipari zajok lehetetlenné tették a mágneses komponensek zavarmentes és kellő pontosságú meghatározását. Méréseiket 1995,0 epochára vonatkoztatták. A mérési adatok kiegyenlítése során a leggyakoribb érték módszerét alkalmazták (3. ábra).



3. ábra. KOVÁCS P. és KÖRMENDI 1995,0 epochára vonatkozó deklináció-térképe

Fig. 3. Declination chart of the normal geomagnetic field in degrees for the epoch 1995.0 (after P. KOVÁCS and KÖRMENDI)

1	2	3	4	5
1847–57 (1850,0)	K. KREIL, J. LIZNAR	52	<i>D, H, I</i>	Mágneses teodolit, földinduktor
1864–79 (1875,0)	SCHENZL Guidó	117	<i>D, H, I</i>	Mágneses teodolit, földinduktor
1890–94 (1890,0)	KURLÄNDER Ignác	38	<i>D, H, I</i>	Mágneses teodolit, földinduktor
1902–17 (1903,0; 1906,0)	EÖTVÖS Loránd	1600	<i>D, H, I</i>	Mágneses teodolit, földinduktor
1934–36 (1936,0)	HOFHAUSER Jenő	26	<i>D</i>	Mágneses teodolit
1949–50 (1950,0)	BARTA György	290	<i>D, I, H</i>	Mágneses teodolit, földinduktor, QHM, BMZ
1964–65 (1965,0)	ACZÉL Etelka, STOMFAI Róbert	300	<i>D, H, Z</i>	QHM, BMZ
1979–82 (1980,0)	LOMNICZI Tibor, TÓTH Péter	299	<i>D, H, T</i>	QHM, protonmagnetométer
1994–95 (1995,0)	KOVÁCS Péter, KÖRMENDI Alpár	184	<i>D, I, T</i>	DI fluxgate-, protonmagnetométer

1. táblázat. A földmágneses alaphálózatok összefoglaló táblázata. 1–a mérés időtartama és vonatkozási éve; 2–a mérések és a feldolgozás irányítói; 3–a mérési pontok száma; 4–a mért földmágneses komponensek; 5–az alkalmazott műszerek

Table 1. The table of geomagnetic base networks. 1–time interval of measurements and reference epoch; 2–supervisors of measurements and data processing; 3–number of stations; 4–components of the geomagnetic field; 5–instruments

Gravitációs alaphálózatok

A XIX. század második felében világszerte fokozottan jelentkezett a gravitációs adatok iránti igény, de a g abszolút értékének meghatározása csak igen nehézkesen és pontatlanul volt lehetséges. A nehézségi erő két pont közötti különbségét viszont aránylag egyszerűen, relatív ingákkal meg tudták határozni. A mérések számának gyarapodásával egyre fontosabbá vált egy közös alappont kiválasztása, hogy a különböző területeken végzett méréseket ehhez az alapponthoz viszonyíthassák. Így került sor 1891-ben az International Association of Geodesy állandó bizottságának firenzei ülésére, amelyen felvetődött az a javaslat, hogy Sèvres-ben a Bureau International des Poids et Mesures területén létesítsenek egy nemzetközi gravitációs alapállomást. A javaslatot elfogadták, az anyagi eszközök is rendelkezésre álltak, de ma már nehezen tisztázható körülmények miatt a mérésekből semmi sem lett. A későbbiekben, 1898 és 1904 között azután KÜHNEN és FURTWÄGLER Potsdamban mérte meg a nehézségi erő abszolút értékét, amely a következő:

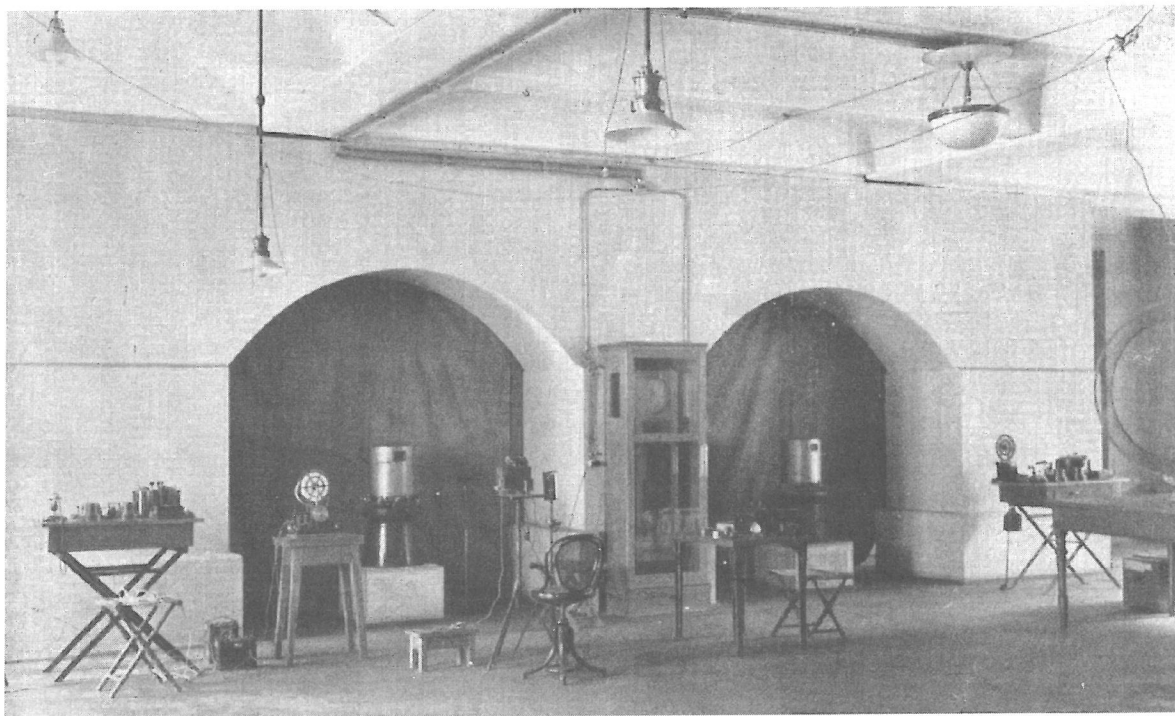
$$g_P = 981,274 \pm 0,03 \text{ cm/s}^2.$$

Eredményüket 1906-ban publikálták és ettől az időtől kezdve ezt az értéket tekintették a nemzetközi alaphálózat kiindulópontjának.

Magyarországon 1907-ben vetődött fel a különböző területeken végzett mérések egységes szintre hozásának szükségessége. EÖTVÖS kezdeményezésére és a frissen elnyert állami támogatás terhére, a Műegyetem Geodéziai tanszékén BODOLA professzor adjunktusa, majd későbbi utóda, OLTAY Károly kapott megbízást relatív inga beszerzésére és a mérési módszer tanulmányozására. OLTAY 1908-ban, majd 1913-ban és 1915-ben SZECSÓDY Miklós közreműködésével végzett összekötő méréseket a potsdami geodéziai intézet gravitációs alappontja és a budapesti Műegyetem ingatermében létesített gravitációs főalappont között (4. ábra). A budapesti alappontra

$$g_{Bp} = 980,852 \pm 0,003 \text{ cm/s}^2$$

értéket kaptak. Az összekötő mérésekkel párhuzamosan, 1908 és 1933 között OLTAY és munkatársai egy 110 állomásból álló, nem egyenletes eloszlású alaphálózatot létesítettek. A mérési pontokat, néhány kivételtől eltekintve, épületek pincéiben helyezték el. A mérések középhibájaként $\pm 1,5$ mGal-t adtak meg. A 110 állomásból 35 a jelenlegi országhatárokon kívül esik. A mérések során 33 Sterneck-féle állomáson is végeztek méréseket, amelyek lehetővé tették a Sterneck-féle hálózat megbízhatóságának ellenőrzését. Az összehasonlító mérések alapján a Sterneck-féle mérések megbízhatóságára ± 22 mGal értéket kaptak.



4. ábra. A Műegyetem ingaterme. Az Oltay-féle gravitációs főalappont a baloldali boltív alatt helyezkedik el

Fig. 4. Location of the fundamental gravity base point in the basement of the Budapest Technical University

Az EUROGASCO 1933-ban kezdte meg torzióingaméréseit a Kisalföldön. A mérési pontok száma az elkövetkező években rohamosan növekedett. A különálló területrészek egységes gravitációs szintjének biztosítása érdekében FACSINAY László 1939-ben és 1941-ben 141 pontból álló gravitációs alaphálózatot létesített a Dunántúlon. Az alaphálózat pontjai közé 48 Oltay-féle relatív inga-állomást is felvett. Méréseit Boucher-graviméterrel végezte, méréseinek négyzetes középhibájára $\pm 0,15$ mGal-t kapott, mely

érték pontosan egy nagyságrenddel kisebb, mint az Oltay-féle hálózati mérések hibája. A közös mérési pontokon végzett összehasonlító mérések egyébként megerősítették az OLTAY által megadott pontossági értéket.

A szaporodó területi mérések, valamint egy országos Bouguer-anomália-térkép szerkesztése iránti szándék miatt a 40-es évek végén égető szükségességgel merült fel egy országos gravitációs alaphálózat létesítésének igénye. A nemzeti gravitációs alaphálózatok témája egyébként az

IUGG 1948. évi oslói közgyűlésén is felmerült és a konferencia ajánlását elfogadva az MTA Geodéziai és Geofizikai Főbizottságának elnöke, TÁRCZY-HORNOCH Antal is támogatta egy modern gravitációs alaphálózat létrehozását. Így tehát a nemzetközi ajánlás és a hazai gyakorlat igénye szerencsésen találkozott. A műszeres háttér is biztosítva volt, mert az 1949-ben, még a MAORT révén beszerzett 2 db Heiland graviméter (mérési pontossága $\pm 0,02-0,03$ mGal) lehetővé tette egy minden követelménynek megfelelő gravitációs alaphálózat létesítését. Az alaphálózat 16 db I. rendű és 493 db II. rendű alappontból állt. Az alaphálózatot 1950–55 között mérték, és a Műegyetem Geodéziai Intézetének ingatermében levő (azóta elpusztult) gravitációs főalapponton keresztül kötötték be az ún. potsdami rendszerbe. Az ingaterem déli pillérét, mint már említettük, 1908-ban és 1915-ben OLTAY mérte össze közvetlenül Potsdammal. A hálózat később az MGH-50 elnevezést kapta.

Az 1950-es évek elején C. MORELLI olasz geodéta kiegyenlítette az európai gravitációs alappontok hálózatát. A kiegyenlítés eredményeképpen a budapesti főalappontra az Oltay-féle értéknél 1 mGal-lal magasabb,

$$g_{BP} = 980,853 \text{ cm/s}^2$$

értéket kapott. Ezt az adatot fogadták el a hazai gravitációs alaphálózat kiindulási értékül. A magyar alaphálózat mind részletességében, mind pontosságában a maga idejében, az eötvösi hagyományoknak megfelelően, páratlan volt a világon. A hálózat kiegyenlítés utáni középhibája $\pm 0,029$ mGal. A munka tervezésében, szervezésében RENNER János, OSZLACZKY Szilárd, FACSINAY László és SZILÁRD József, mérésében KOMÁROMY István, PÉTER Gyula, REMÉNYI György, SZABÓ Gábor és KISS Lajos vett részt.

A 60-as években szerte a világon napirendre került a szabadesés elvén alapuló ún. abszolút graviméterek kifejlesztése. Az első példányok méretüknél fogva helyhez kötöttek voltak, de hamarosan megjelentek a hordozható változatok is. Az abszolút graviméterekkel végzett mérések során hamarosan bebizonyosodott az a már korábban is gyanított tény, hogy a potsdami érték mintegy 14 mGallal nagyobb a valós értéknél. Ezért a nyugati országokban 1971-ben a Potsdami Gravitációs Rendszer kezdőpontjának értékét 14 mGallal csökkentették, és az újabb méréseket már ebbe a javított rendszerbe illesztették. 10 abszolút állomás értékének bevonásával a korábbi nemzetközi hálózatot újból kiegyenlítették. Ennek neve International Gravity Standardization Net (IGSN-71) lett.

Az interkontinentális rakéták megjelenésével hirtelen megnőtt a gravitációs adatok katonai jelentősége és az adatok iránti igény. Ezért 1963-ban elrendelték a gravitációs adatok szigorúan titkos minősítését. Következésképpen a világ gravitációs szempontból is kettészakadt. A szocialista országok 1968–69-ben nemzetközi együttműködésben létrehozták a területükre vonatkozó Egységes Gravimetriai Hálózatot (MEGP), amelynek mérésében szovjet, lengyel, német relatív-vinga-csoportokat, valamint GAG-2, Askania, Sharpe és Worden gravimétereket alkalmaztak. Minden részt vevő országban 1–3 pont g értékét határozták meg. Magyarországon a műegyetemi gravitációs főalappont elpusztulása miatt, szükségmegoldásként, az ingaméréseket a Nemzeti Múzeum egyik pinchelyiségében végezték, melyet azután összemérték a Budapest-Ferihegy I. rendű

ponttal. Az új hálózatot 1971-ben a potsdami rendszer látszólagos megtartásával, de szintjének 14 mGalos csökkentésével illesztették a nyugatihoz. Az új nemzetközi hálózathoz való csatlakozás érdekében Magyarországon 1971-ben egy újabb, 19 pontból álló I. rendű gravimetriai alaphálózatot létesítettünk. Időközben, nemzetközi tapasztalatok alapján az a nézet alakult ki, hogy a nagy pontosságot kívánó gravitációs mérésekbe célszerű párhuzamosan, több gravimétert bevonni, ezért az alaphálózatot 3 db Sharpe CG-2 típusú graviméterrel mérték. A tervezési és szervezési feladatokat POLLHAMMER Manóné irányította, az észleléseket REMÉNYI György végezte.

Az 1970-es évek második felére a szovjetek által kifejlesztett abszolút graviméter már megbízhatóan működött, úgyhogy a SZOGSZ⁵ keretében, CSAPÓ Géza közreműködésével, megkezdődhetett az abszolút gravimetriai pontok telepítése. Magyarországon az első abszolút mérésre 1978-ban a siklósi vár volt börtönhelyiségében elhelyezett alapponton került sor.

Részben a műegyetemi gravitációs főalappont pusztulása, részben az abszolút mérések megjelenése szükségessé tette egy új magyarországi gravitációs főalappont létesítését. Hosszas töprengés és keresgélés után az új főalappont helyéül a Mátyás-hegyi barlangnak egy, a II. világháború során részben mesterségesen kiépített mellékágát választottuk. A később Geodinamikai Állomás néven ismertté vált föld alatti laboratórium kiépítése 1978-ban fejeződött be. A padlózatotól izolált főalapponton 1980-ban szovjet szakértők végezték az első mérést, melyet azóta többször megismételtek különböző gyártmányú abszolút graviméterekkel. A Mátyás-hegyi főalappont abszolút nehézségi gyorsulás értéke a legutolsó, 2000. évi meghatározás szerint

$$g_M = 980,824275 \text{ cm/s}^2.$$

Az 1970-es évek végére kiderült, hogy az MGH-50 II. rendű gravitációs alappontok zöme különböző okok miatt (tagosítás, útkorrekciók stb.) elpusztult, vagy mérésre alkalmatlanná vált, ezért szükségessé vált egy új alaphálózat létrehozása. Levonva a tanulságokat, hogy az alappontokat nem célszerű utak mellé telepíteni, az új hálózat pontjait templomok, kastélyok, középületek, iskolák közelébe telepítették, ahol hosszú távú fennmaradásuknak nagyobb a valószínűsége. A hálózati mérésekre 1980–89 között került sor. A méréseket 2 db Sharpe CG-2 és 1 db LaCoste-Romberg graviméterrel végezték. Az 1971. évi I. rendű és az újonnan létesített II. rendű alaphálózatot CSAPÓ és SÁRHIDAI Attila dolgozta fel 1990-ben. Az új, MGH-80 elnevezésű alaphálózat kiegyenlítés utáni középhibája: $\pm 16 \mu\text{Gal}$, a pontok száma 389. A hálózat vonatkozási szintje és méretaránya már nem potsdami, hanem abszolút, mert a kiegyenlítésben az 1978–85 között létesített 5 abszolút állomás (Budapest, Szerencs, Siklós, Gyula, Kőszeg) adatait is felhasználták.

Az MGH-50 még megmaradt és az MGH-80 hálózat pontjainak összemérése alapján egy kétváltozós másodfokú függvény segítségével sikerült leírni a két hálózat közötti eltérést, amely 0,55–0,81 mGal között változik. A két hálózat különbsége a Dél-Dunántúlon a legkisebb, ÉK felé haladva fokozatosan növekszik. Az eltérés két komponensre bontható: egy kb. 0,5 mGalos szinteltolásra és egy

⁵ Szocialista Országok Geodéziai Szolgálat

DNy–ÉK irányú, közel lineáris regionális torzulásra, melynek értéke kisebb, mint $0,5 \mu\text{Gal}/\text{km}$. Figyelembe véve, hogy az MGH-50 hálózatot egy graviméterrel mérték, és jobb híján a gyár által meghatározott műszerszorzót alkalmazták, megállapíthatjuk, hogy az 50-es években elődeink valóban világszínvonalú gravitációs alaphálózatot hoztak létre.

A rendszerváltozás után megnyílt a lehetőség nyugati kapcsolatok kiépítésére is, így azután különböző együttműködési megállapodások keretében amerikai, olasz, osztrák és német szakértők bevonásával mára sikerült abszolút alappontjaink számát 16-ra növelni (5. ábra). Ezzel tulajdonképpen az abszolút állomások átvették a régi I. rendű alaphálózat szerepét. Az abszolút állomásokat bizonyos időközökben újramérik, egyrészt a különböző típusú műszerek összemérése, másrészt a gravitációs tér nem árapály okozta esetleges változásának detektálása céljából. Az abszolút graviméterek $5\text{--}6 \mu\text{Gal}$ körüli mérési pontossága már abba a tartományba esik, melyben a külső zavaró tényezők (pl. légnyomás-, talajnedvesség-, talajvízszint-változás stb.), valamint a vertikális gradiens tényleges értékének hatása sem elhanyagolható. A legújabb vizsgálatok ezen tényezők gravitációs hatásának tanulmányozása céljából folynak. Magyarországon az elmúlt 25 év alatt nem sikerült belső földtani folyamatokra utaló gravitációs változásokat észlelni.

Európa nyugati felében 1994-ben elkészült az Egységes Európai Gravimetriai hálózat (UEGN-94), amelyhez később Magyarország is csatlakozott. A rendszerváltás bekövetkeztével a gravitációs adatok titkossága is megszűnt, így lehetővé vált gravitációs alaphálózatunk összekapcsolása a szomszédos Ausztrián keresztül az európai gravitációs alaphálózattal. Az e célból végzett osztrák és korábbi szlovák határ menti összekötő mérések, valamint néhány határon túli abszolút állomás értékének bevonásával újra kiegyenlítették a gravitációs alaphálózat 490 pontját (MGH-2000), melynek szintjét és méretarányát 20 abszolút állomás biztosítja. A hálózat kiegyenlítés utáni középhibája: $\pm 14 \mu\text{Gal}$. Az MGH-2000 ponthálózatából egyenletes eloszlású ritkább hálózatot alakítottunk ki, majd a szomszédos pontokat egymással és az abszolút pontokkal összemértük. Ez a ritkított ponthálózat az UEGN-2000 magyarországi szakasza.

1	2	3	4
1908–33	Oltay	110	$\pm 1,5$
1939–41	Facsinay	141	$\pm 0,15$
1950–55	MGH-50	509	$\pm 0,029$
1971, ill. 1980–89	MGH-80	389	$\pm 0,016$
1992–99	MGH-2000	490	$\pm 0,014$

2. táblázat. A gravitációs alaphálózatok összefoglaló táblázata. 1–a mérés időtartama; 2–az alaphálózat elnevezése; 3– az alappontok száma; 4–a hálózat négyzetes középhibája

Table 2. Table of gravity base networks. 1–time interval of measurements; 2–name of the network; 3–number of stations; 4–rms error of the network

Graviméter hitelesítő alapvonal

A graviméterek mérési pontosságának növekedésével

egyre fontosabbá vált a műszerek hitelesítésének egységesítése. A graviméterek hitelesítését a különböző gyártó cégek vagy két ismert gravitációs értékű pont közötti észleléssel (melyek értékét előzőleg relativíngamérésekkel határozták meg), vagy a gravitáció magasságfüggésére alapozva, magas épületekben több szinten történő méréssel végzik. Míg a műszerek szórása meghaladta a néhány tized mGal-t, addig ezek a módszerek a gyakorlati mérések során nem okoztak különösebb gondot. A század mGal pontosságú, és főleg a nagy távolságban elhelyezkedő alapállomások közötti méréseknél azonban a kalibrációs bizonytalanságok már komoly zavaró tényezőt jelentettek. A különböző típusú graviméterek skálaszorzóinak összhangba hozása céljából hitelesítő alapvonalakra volt szükség. Magyarországon az első gravitációs hitelesítő alapvonalat FACSINAY létesítette Boucher graviméterrel, a Hármashatár-hegyen. Az alapvonal mérési tartománya 39 mGal volt. Az 50-es évek elején a Heiland graviméterekkel mértek egy újabb hitelesítő alapvonalat a Petneházi-rét és a János-hegy csúcsa között. Etalonnak az MGH-50 alaphálózat mérésénél használt Heiland graviméterrel meghatározott Δg érték számított. Az alapvonal méréstartománya 54 mGal volt.

Hamarosan kiderült azonban, hogy egyes műszerek skálaszorzója változik a földrajzi szélesség függvényében, ezért olyan hitelesítő alapvonal vált szükségessé, mely lehetőleg átfogja az ország teljes nehézségi gyorsulás tartományát. Ezért került sor 1969-ben nemzetközi mérések keretében, a Balassagyarmat–Budapest–Szeged hitelesítő alapvonal létesítésére. Hamarosan kiderült azonban, hogy az alapvonal Budapest–Szeged szakasza a megnövekedett járműforgalom okozta zavaró hatások miatt alkalmatlanná vált. 1985-ben, ugyancsak nemzetközi mérések keretében, az alapvonal déli szakaszát Budapest–Pécs vonalra helyeztük át. Azóta ez a hitelesítő alapvonal szolgál a graviméterek kalibrálására. Az alapvonal pontjai között ma már 5 abszolút állomás található és a vonal 210 mGal mérestartománya majdnem átfogja hazánk teljes 250 mGal-os Δg intervallumát.

Országos áttekintő térképezés

Országos áttekintő mérések

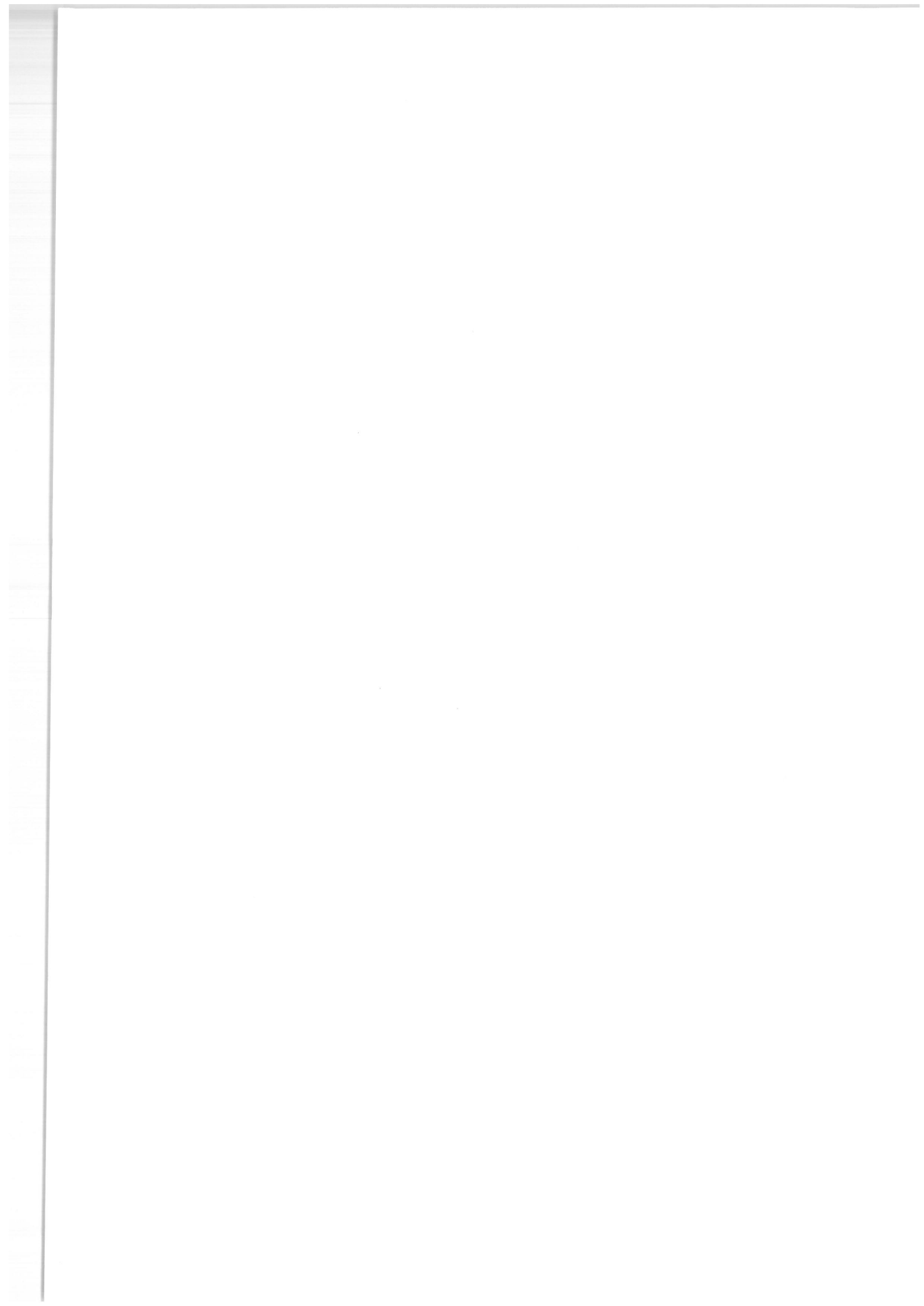
A geofizikai mérések iránt 1950 körül megnyilvánuló fokozott érdeklődés hatására megkezdődött az ország áttekintő földmágneses felmérése. A mérések előzményéhez tartozik, hogy az EUROGASCO, ill. a MAORT keretében SCHEFFER Viktor 1934–43 között átnézetes ΔZ -méréseket végzett a Dunántúlon, elsősorban a Kisalföldön és a Zalai-medencében, tehát a kőolajkutatás szempontjából akkor perspektivikusnak tekintett területeken. Az ország más területein pedig az ELGI végzett különböző célzatú földmágneses méréseket. Az egyes részterületek azonban általában nem kapcsolódtak egymáshoz.

A HAÁZ István Béla irányításával 1951-ben elkezdődött országos felmérés során a mérési pontokat hálózatosan, általában 1,5 km állomásközzel telepítették. Nagy anomáliák előfordulási helyein az állomástávolságot 1,0 km-re, illetve helyenként 500 m-re sűrítették. A felmérés a földmágneses tér vertikális komponensének, azaz a ΔZ -anomáliáknak a meghatározására korlátozódott, mivel a mágneses hatók helyzetét, kiterjedését és vonulataik irányát



5. ábra. JILAG típusú abszolút graviméter a madocsai alapponton

Fig. 5. JILAG type absolute gravimeter



a ΔZ -anomáliák önmagukban is jól szemléltetik. A méréseket Schmidt rendszerű magnetométerekkel végezték, melyek mérési pontossága néhány nT.

Vulkáni hegységeink területén a várhatóan nagy amplitúdókra és az igen változatos anomálieeloszlásra való tekintettel eredetileg 500 m-es állomásközzel tervezték a méréseket: Az ilyen részletességű felmérés nagy időigénye azonban nagymértékben hátráltatta volna az országos térkép megszületését, ezért végül ezeken a területeken is 1,5 km-es állomásközt alkalmaztak. A terepi mérésekben részt vettek: DÉR Miklós, ZSILLE Antal, HOFFER Egon.

A terepi mérésekkel párhuzamosan folyt az adatfeldolgozás KOMÁROMY vezetésével. Vonatkozási időpontnak az 1950,0 epochát választották. Az áttekintő mérések alapján 1966-ban készült el Magyarország földmágneses ΔZ -anomália térképe 1:500 000 méretarányban, amelyet a következő évben a Geofizikai Közlemények mellékleteként publikáltak. A térkép földtani értelmezésével POSGAY foglalkozott. Hatószámításokat végzett az ország minden jelentősebb mágneses anomáliáján, melynek hatója a felszín alatt keresendő. Vizsgálatainak eredményét 1:500 000 méretarányú térképen foglalta össze. A térképen feltüntette a hatók helyét, mélységét, hozzávetőleges kiterjedését, dőlését és szuszceptibilitását. Egyéb földtani-geofizikai ismeretek alapján a hatók korát és közettani összetételét is megpróbálta meghatározni. Az egész ország területére kiterjedő regionális értelmezés a szélsőértékekhez és az inflexiós pontokhoz húzott érintőkön alapuló hatószámítás bizonytalanságai ellenére jelentősen hozzájárult a nagyszerkezeti viszonyok megismeréséhez.

Az országos áttekintő graviméteres mérések kezdete 1950-re — a Heiland graviméterek megjelenésére — tehető. Az ezt követő mérések megbízhatósága ugyanis a mai napig elegendő a földtani értelmezéshez szükséges pontossági kritériumoknak. A regionális gravitációs felmérés során az állomásokat túlnyomórészt utak mentén 500 m-es állomástávolsággal helyezték el (6. ábra). A mérési rendszerben változást csak a Sharpe graviméterek magyarországi megjelenése okozott, mikortól kezdve a kedvezőtlen útviszonyokkal rendelkező területek felmérése is lehetővé vált.

Az áttekintő gravitációs felmérés sokkal tovább tartott, mint a földmágneses, befejezését 1979-re tesszük, igaz ugyan, hogy a gravitációs mérési pontok száma ekkor már meghaladta a 120 000-et, szemben a földmágneses felmérés 46 000 körüli állomászámával.

Az országos áttekintő mérésekkel párhuzamosan és azt követően mindkét módszernél a részletező mérések kerültek előtérbe. A felmérések méretarányát és hálózatos, vagy szelvény menti mivoltát mindig a kutatási célkitűzés szabta meg. Az OKGT GKV az 500 m-es szabályos négyzethálóban végzett méréseket preferálta. 1975-től kezdve graviméteres méréseikkel párhuzamosan protonmagnetométeres méréseket is végeztek. Az ELGI-ben inkább a kvázihálózatos mérési rendszert alkalmazták.

Az 1950-es évek közepéig a gravitáció játszott a vezető szerepet a szénhidrogén-kutatásban, azt követően pedig elsősorban a szeizmikus mérések tervezésére alkalmazták. A szeizmikus technika fejlődésével és a kapacitás bővülésével a 80-as évek közepétől a gravitációs módszer fokozatosan teret veszített a szénhidrogén-kutatás irányításában. Ez a folyamat a 90-es években a 3-D szeizmika megjelenésével vált különösen érzékelhetővé.



6. ábra. Észlelés a Mátrában Heiland graviméterrel. Az erdei kisvasút segítségével megpróbáltunk elszakadni az úthálózattól

Fig. 6. Working with the Heiland gravimeter in the Mátra mountains

Országos áttekintő térképek

A magyarországi gravitációs anomáliákról az 1940-es évek végéig nem volt áttekintő térkép. Ennek egyik oka, hogy a geofizikai kutatás a 30-as évek elejétől kezdve nélkülözötte az egységes irányítást. A Dunántúlon a MAORT végzett gravitációs méréseket, az Alföldön az ELGI és a MANÁT⁶. 1949-ben FACSINAY a Dunántúltra, SZILÁRD J. pedig az ELGI és a MANÁT mérései alapján az Alföldre szerkesztette meg a Bouguer-anomáliákat. Egységes gravitációs alaphálózat hiányában azonban igen nagy nehézséget okozott a különböző években, különböző műszerekkel végrehajtott, sok esetben egymáshoz nem csatlakozó mérések egységes szerkezetbe foglalása. A kéziratos térkép, amely még sok fehér foltot tartalmazott, 1950 decemberére készült el. A két térkép összedolgozása az ELGI-ben szovjet szakértőként tevékenykedő L. V. PETROV nevéhez fűződik, akinek feladata a magyarországi geofizikai kutatások helyzetének felmérése és a további kutatások irányvonalának meghatározása volt. Ezért ez a térkép Petrov-féle térképként vált ismertté a szakmai közéletben.

1953-ban, a már elkészült I. rendű alaphálózatra és egyes részleteiben már lemért II. rendű alaphálózatra alapozva, az időközben végzett újabb Eötvös-inga- és graviméteres mérések adataival kiegészítve, FACSINAY és SZILÁRD J. elkészítette a Petrov-féle térkép fejlettebb változatát. Az új térképen, ha töredékesen is, de nagy vonalakban már felismerhetővé váltak az ország nagyszerkezeti irányait tükröző fő anomáliavonulatok. Ebben az időben — SZILÁRD J. feljegyzései szerint — közel 100 000 állomás gravitációs adata állt rendelkezésükre.

1959-re már oly nagyszámú mérési anyag gyűlt össze, hogy megkezdődhetett egy országos térképsorozat szerkesztése. A sorozat 1:50 000 méretarányú Gauss-Krüger vetületű térképlapokon készült. A térképek szerkesztésénél mind az Eötvös-inga-, mind a graviméteres mérések adatait figyelembe vették. Az Eötvös-inga-mérések feldolgozásánál a gradiensekből számított Δg -értékeket a gravitációs alaphálózati pontok Bouguer-anomália-értékeihez mint kényszerértékekhez kiegyenlítették. A térképek szerkeszté-

⁶ Magyar-Német Ásványolajipari Társaság

sénél a Bouguer- és topografikus korrekcióhoz $\sigma=2,0 \text{ g/cm}^3$ sűrűségértéket használtak.

Országhatárokon átnyúló, a szomszédos országokhoz csatlakozó térképsorozat kiadásának gondolata már 1957-ben felvetődött egy varsói KGST-tanácskozáson. Ezt követően a KGST Földtani Állandó Bizottsága 1963-tól munkáuléseken tárgyalta a földmágneses és gravitációs térképek szerkesztésének és egységesítésének alapelveit és módszereit. A tagállamok megállapodása szerint mindkét térképsorozatot Gauss-Krüger szelvényezésű, 1:200 000 méretarányú térképlapokon tervezték megjelentetni. E programhoz illeszkedve, a már folyamatban lévő, 1:50 000 méretarányú gravitációs és földmágneses térképekre alapozva, kezdődött meg az 1:200 000 méretarányú térképsorozat nyomdai kiadása 1964-ben.

1970-re valamennyi 50 000-es térképlap elkészült, a 200 000-es térképlapok kiadása viszont a Dunától keletre eső terület és a győri, valamint a komáromi lap megjelenése után félbeszakadt. Ebben finánciális okok mellett az is közrejátszott, hogy a gravitációs térképek 1963-ban elrendelt szigorúan titkos minősítése nagyon megnehezítette azok használatát. A kezelésükkel járó szigorú adminisztráció is sokakat elriasztott a térképek beszerzésétől. A fentiekkel párhuzamosan, az országos földmágneses felmérésre alapozva, folyt a földmágneses ΔZ -térképek szerkesztése és kiadása, a mérési adatokat az 1950,0 epochára vonatkoztatva. A térképszerkesztési munkálatokat KOMÁROMY irányította.

1963-ban az OKGT GKÜ, kutatásainak komplexitása érdekében, létrehozta saját gravitációs részlegét FACSNAY vezetésével. Kezdetben, graviméter hiányában, Eötvös-inga-méréseket végeztek, majd 1967-től áttértek a graviméteres mérésre. A szűrési technika elterjedésével, 1969-től kezdve, az ELGI 1:50 000 méretarányú Bouguer-anomáliatérkép-sorozatára alapozva, megkezdtek nagyobb területrészekre kiterjedő szűrt gravitációs anomáliatérképek készítését. A feldolgozáshoz szükséges bemenő adatokat a térképek 1 km rácsávolságú négyzetháló pontjain kiolvasva digitalizálták. Az így kapott adatrendszer, ahol saját mérési adatokkal rendelkeztek, kiegészítették. Az 1:50 000 méretarányban megszerkesztett, majd 1:200 000 méretarányra kicsinyített szűrt térképeken sok pozitív anomália rajzolódott ki. Az ígéretesnek látszó területek részletes felmérése, majd szeizmikus megkutatása számos szerkezeti indikáció felfedezésére vezetett, közülük néhány köolaj-, ill. földgáztárolónak bizonyult.

A részterületeken nyert tapasztalatok alapján 1978-ban erős felülvágást biztosító sávszűréssel országos szűrt gravitációs térképet szerkesztettek, 1:200 000, ill. 1:500 000 méretarányban. Az erős felülvágásnak köszönhetően a digitalizálás során fellépő hibák és a kutatás számára érdektelen, felszínközeli hatóktól származó hatások jelentősen csillapodtak. A nagy sikerű országos térkép komoly segítséget jelentett a különböző nagyszerkezeti egységek elkülönítésében.

Az 1968-ban az ELGI-ben PINTÉR Anna és POLLHAMMERNÉ kidolgozta a graviméteres mérési adatok lyukkártyás tárolásának rendszerét és megkezdtek az adatok számítógépre vitelét. A nagy mennyiségű adat lyukasztása során számtalan hibalehetőség merült fel, a hibák kiszűrésére TRENKA Sándorné dolgozott ki ötletes megoldást. Mire 1979-ben befejeződött az ország át-

nézetes gravitációs felmérése (átlagosan $1,2 \text{ pont/km}^2$ állomássűrűséggel), valamennyi addigi mérés (120 000 állomás) bekerült az adatbankba. A lyukkártyás adattárolással párhuzamosan megkezdődött a térképrajzoló programok kifejlesztése. Első lépésként ZILÁHI-SEBESS László kidolgozta a szabálytalanul elhelyezkedő állomások adatainak négyzethálóra történő interpolációjára szolgáló programot. A program mérete azonban az akkor rendelkezésre álló MINSZK-2 számítógép memóriájához képest igen nagyknak bizonyult.

Az 1970-es évek első felében az OKGT GKV-nál MAKÁRY Elemér és KÉSMÁRKY István a TNR szeizmikus szelvényrajzoló plotterre írt egy izovonalas térképrajzoló programcsomagot, melyet KLOSKA Károly illesztett a gravitációs feldolgozó programokhoz. Ettől kezdve a gravitációs munkatérképek plotteren készültek, de a végső megjelenítés és feliratozás továbbra is kézzel történt. Az ELGI-ben az 1980-as évek elején készült el SÁRHIDAI MINSZK-32-re írt térképszerkesztő programja, mely lehetővé tette hogy a digitálisan tárolt gravitációs és földmágneses adatokból 1984-ben egy újabb, 1:100 000 méretarányú, de már EOVSZELVÉNYEZÉSŰ térképsorozat készüljön. SZABÓ Zoltán és SÁRHIDAI a Bouguer-anomáliák számításához $\sigma=2,4 \text{ g/cm}^3$ átlagsűrűséget használt. Elkészítették mindkét térképsorozat szűrt változatát is, valamint a gravitációs térképek 1:500 000 méretarányú változatát. A szűrt gravitációs térkép a Geofizikai Közlemények mellékleteként meg is jelent.

A számítógépes lehetőségek összehasonlíthatatlanul könnyebbé tették újabb, tetszés szerinti térkép-variációk elkészítését. Az adatbank folyamatos feltöltése az ELGI részletmérési, valamint a GKV méréseinek adataival tovább folytatódott. Napjainkban az Országos Gravitációs Adatbank 386 000 graviméteres és 22 000 Eötvös-inga állomás adatát tartalmazza. A Földmágneses Adatbank 107 000 földi és több mint 1 000 000 $200 \times 200 \text{ m}$ -es négyzethálóra interpolált légi mágneses adatot tartalmaz.

Az országos térképsorozatok legújabb változata a digitális térkép. A teljessé vált gravitációs és földmágneses adatbázisra alapozva folyamatban van Magyarország digitális gravitációs és földmágneses térképsorozatának 1:100 000 méretarányú EOVSZELVÉNYEZÉSŰ térképlapok szerinti elkészítése, KISS János irányításával.

Nemzetközi együttműködés

Mérések

1965–69 között szovjet szakemberek a Mecseki Ércbánya Vállalat részére végeztek légi geofizikai méréseket. A légi mágneses méréseket az ELGI-ben dolgozták fel KOMÁROMY és HOFFER irányításával. A mérések célja egyrészt az átnézetes földmágneses térkép 1,5 km-es állomástávolságánál részletesebb adatgyűjtés a hatószámítások pontosságának fokozására, másrészt a hegységek területén a topográfia okozta tértorzulások kiküszöbölése. Míg a gravitációs méréseknél a topográfia hatását könnyen számításba tudjuk venni, a földmágneses méréseknél, olyan vulkáni hegységek területén, ahol a mágneses hatók a felszínen vannak, a topográfia torzító hatása nyomon követhetetlen. A Börzsönyben, például — az elvárásoknak megfelelően — a légi mágneses mérések lényegesen jobb eredmé-

nyeket szolgáltatottak, mint a földi mérések, miáltal a kaldera meglehetősen biztonsággal körvonalazhatóvá vált.

A mérésekhez AMF-21 típusú szovjet gyártmányú ferroszondás magnetométert, majd 1968-tól SZEMERÉDY protonprecessziós magnetométerét is alkalmazták. A ferroszondás mérések négyzetes középhibájára ± 13 nT adódott. A repülési szelvények bekötési hibája, a vizuális navigációnak köszönhetően, meglehetősen nagy, ± 120 m volt. A méréseket hegyvidéken általában 250 m, síkvidéken 500 m szelvényközzel végezték, a repülési magasság 50 m volt. A teljes felmért terület 43 500 km². A Börzsönyben, a Mátrában, a Jászság és a Nyírség területén összesen 9030 km²-en hatószámítási céllal több szinten is repültek: a Börzsönyben és a Mátrában 50, 1000 és 2000 m-en, míg az Alföldön 50, 550 és 1050 m magasságban. A légi mágneses adatok jelenleg 200 m-es négyzethálózatra interpolálva találhatók meg a földmágneses adatbankban.

Mai szemmel nézve meglehetősen negatívan ítélnék meg a légi mágneses program hatószámításra vonatkozó részét. Navigációs berendezés hiányában a mérni kívánt mágneses hatások indikációit csak arra lehetett fölhasználni, hogy segítségükkel helyükre csúsztassák a bizonytalan helyzetű repülési szelvényeket. Ezek után minden hatószámítási próbálkozás eleve kudarcra volt ítélve. Nem gondoltak a harmonikus függvényeknek arra a tulajdonságára, hogy már az alacsonyabb szinten mért földmágneses télerősségértékek is meghatározzák a magasabb szelvények télerősségértékeit. Ezért a három egymás fölötti szinten végzett mérések — a felfelé folytatás számítási módszerének ellenőrzésén kívül — nem szolgáltatottak többlet információt.

Térképek

A Magyar és a Szlovák Tudományos Akadémia Földtudományi Osztálya 1989-ben vetette fel a határ menti földtani-geofizikai térképek összedolgozásának igényét. Miután a különböző földtani szerkezetek, nem törődve az országhatárokkal, átnyúlnak azokon, a földtani-geofizikai térképeknek is folyamatosan illeszkedniük kell egymáshoz. A gyakorlatban azonban komoly illesztési problémák merültek fel a határok mentén. Részben ez a jelenség, részben pedig a bős-nagymarosi vízi erőmű körüli vita készítette arra az illetékes szerveket, hogy kezdeményezzék a határ menti területek térképeinek összedolgozását. A program, amely a DANREG elnevezést kapta, 1990-ben indult és még abban az évben csatlakozott hozzá Ausztria is. A részt vevő felek megállapodtak abban, hogy a térképeket $\varphi = 47^\circ 20' - 48^\circ 20'$ szélességi és $\lambda = 16^\circ 15' - 17^\circ 30'$ hosszúsági koordinátákkal meghatározott területre készítik el. Időközben a gravitációs adatok titkosságát feloldották, ezáltal lehetővé vált közös Bouguer-anomália-térkép megszerkesztése is. A rendelkezésre álló adatok kölcsönös felmérése után az együttműködő felek megállapodtak a készítendő térképek méretarányában (1:200 000) és paramétereiben. A Bouguer-anomália-térkép esetében ezek a következők voltak: abszolút gravitációs rendszer, gravitációs vonatkozási szint: WGS-80, topográfiai magasság: Adriai szint, sűrűség: 2,67 g/cm³, az izogammák értékköze 1 mGal.

Tekintettel arra, hogy a három szomszédos ország gravitációs alaphálózatának szintje közötti különbség nem haladta meg a 0,04 mGalt, az egyes országok által megadott g

értékeket minden további nélkül fel lehetett használni a térkép megszerkesztéséhez. Az elkészült térkép becslült pontossága: $\pm 0,8-1,0$ mGal. A földtani értelmezés megkönnyítése érdekében elkészítették az egységes Bouguer-anomália-térkép három szűrt változatát is, és pedig egy regionális térképet a hozzá tartozó maradék-anomália térképpel, valamint egy derivált jellegű változatot. Tekintettel arra, hogy a terület egyes részein a fiatal üledékek vastagsága eléri a 7–8000 m-t, a mélyszerkezeti viszonyok kiemelése érdekében KOVÁCSVÖLGYI Sándor kiszámította az üledékhatással korrigált anomáliákat is.

Az egységes földmágneses térkép megszerkesztésénél a legnagyobb problémát az okozta, hogy a részt vevő országok területén más és más jellegű mágneses adatok álltak rendelkezésre. Magyarországon ΔZ -mérések voltak, míg Ausztria és Szlovákia különböző magasságban mért légi mágneses adatokkal rendelkezett. Első lépésként a különböző adatszereket kellett egységesíteni, ami természetesen csak közelítőleg volt megoldható. Az adatok átszámítása a Bécsi Egyetem Geofizikai Tanszékén történt. Az átszámításhoz szükséges inklinációadatokat ACZÉL és STOMFAI 1965-re vonatkozó képletéből számították. A különböző országok mágneses alaphálózatának méréseit a környező országok obszervatóriumi idősorából meghatározott függvény segítségével 1980,0 epochára számították át, majd meghatározták a földmágneses teret legjobban megközelítő másodfokú függvény együtthatóit. Hogy az országhatárokon fellépő torzulásokat elkerüljék, a Bécsi Egyetem Geofizikai Tanszékén előállított közös adatrendszer az ELGI-ben javították az egységes és a nemzeti normáltak különbségével. A térkép megszerkesztése a közös DANREG topográfiai alapon az ELGI-ben történt. A DANREG program a határokon átnyúló regionális együttműködés szép és követendő példája.

1991-ben a Leeds-i egyetem professzora, D. FAIRHEAD kezdeményezésére, és hat nyugati olajtársaság támogatásával létrejött egy hároméves projekt: *West-East Europe Gravity Project (WEEGP)*. A projekt célja az egész kontinenst lefedő egységes, 1:2 000 000 és 1:5 000 000 méretarányú, Bouguer-anomáliatérkép-sorozat elkészítése. A szervezési és kivitelezési munkát a Leeds-i egyetem keretein belül működő Geophysical Exploration Technology (GETECH) nevű divízió vállalta FAIRHEAD vezetésével. Tekintettel arra, hogy egyrészt a munka indulásakor legtöbb közép- és kelet-európai országban még nem oldották fel a gravitációs adatok titkosságát, másrészt hogy a nagyobb üledékes medencék, valamint a jelentős nagyszerkezeti irányok hatása azért tükröződjön a térképen, a térkép szerkesztői és a részt vevő országok delegáltjai 8×8 km négyzethálózaton alapuló térkép megszerkesztését tűzték ki célul. A térkép paramétereit: abszolút gravitációs rendszer, gravitációs vonatkozási szint: WGS-84, sűrűség: 2,67 g/cm³. Az ELGI 1992-ben csatlakozott a projekthez a megadott paraméterekkel meghatározott, 4×4-es km négyzethálózatra interpolált Bouguer-anomália- és topográfiai magasság adatokkal. Ennek fejében 1995-ben megkaptuk a 10 évre bizalmasnak minősített, egységesített térképet a Kárpátokat magába foglaló, $\varphi = 42^\circ - 52^\circ$ szélességi és $\lambda = 10^\circ - 30^\circ$ hosszúsági koordinátákkal meghatározott területre 1:1 000 000 méretarányban, valamint a teljes térkép 1:9 000 000 méretarányú változatát.

Módszertan

Sűrűségproblémák

A gravitációs kutatás egyik alapvető problémája a Bouguer-anomáliák számításához szükséges átlagsűrűség meghatározása. Az Eötvös-inga-méréseknél a sűrűség-probléma csak a topografikus korrekció meghatározásánál játszik szerepet. EÖTVÖS és munkatársai a mérési pontokon vett talajminták sűrűségét egy külön erre a célra kifejlesztett terepi mérleg segítségével határozták meg. A graviméterek megjelenésével viszont szükségessé vált a felszín és a vonatkozási felület — általában a tengerszint — közötti közettömegek átlagsűrűségének ismerete is. Ezt már nem lehet a felszíni talajmintákra korlátozni, sőt laboratóriumi eszközökkel nincs is mód ennek meghatározására. Ezért a kutatók már igen korán megpróbálkoztak olyan eljárások kidolgozásával, melyek magukból a graviméteres mérésekből teszik lehetővé az átlagsűrűség meghatározását. Elsőként 1939-ben NETTLETON foglalkozott a problémával. Eljárásának lényege a topográfia és az anomáliamenet korrelációjának minimalizálása. Hazánkban EGYED László dolgozott ki átlagsűrűség meghatározására szolgáló módszert. Abból a feltételezésből indult ki, hogy helyes átlagsűrűség alkalmazásakor három, egy egyenesbe eső állomás esetén a Bouguer-anomália lineárisan változik. A lineáristól való eltérést a helytelenül megválasztott korrekciós sűrűség okozza. Ebből és a hozzá tartozó magasságkülönbségből meghatározható a helyes átlagsűrűségtől való eltérés. STEINER Ferenc egy hasonló elven működő, területi kiértékelésre alkalmas eljárást fejlesztett ki. A későbbiekben PINTÉR A. és SZABÓ G. végeztek kiterjedt sűrűség-vizsgálatot az ország különböző hegyvidékein. Számításaikat szintén gravimétermérések adataira alapozták.

Mindezek ellenére a sűrűség-probléma csak nem akart nyugvóponttra jutni, elsősorban helyi értelmezési problémák miatt, mint pl. a Szolnok környéki komplex geofizikai kutatási terület zagyvaréki medencéjében, ahol a szeizmikus refrakciós és geoelektromos mérésekkel meghatározott mélymedence felett gravitációs maximum jelentkezett. Az ellentmondás feloldására KILÉNYI Éva 1966-ban feldolgozta a tágabb területre eső 77 mélyfúrás összesen 1185 magmintáján az OKGT kőzetfizikai laboratóriumában meghatározott térfogatsúly- és porozitás-adatokat. Megállapította, hogy a részmedencék sűrűség–mélység függvényei általában egyenessel közelíthetők, de az egyenesek gradiensei a medencealjzat mélységével fordítva arányosak, azaz minél sekélyebb a medence, annál meredekebben nő a sűrűség. Ebből arra a következtetésre jutott, hogy a sűrűségben elsősorban nem a terhelésnek (mélységnek), hanem a kornak, ill. a konszolidációnak van meghatározó szerepe. Továbbá a zagyvaréki medencérsz sűrűségadatai a többitől eltérően nem egyenlíthetők ki egy egyenessel, és a kezdeti meredekebb dőlésű szakasz végpontjában a pannóniaiak minősített üledékek elérik az aljzati sűrűségértéket.

Ezek az eredmények rávilágítottak a laboratóriumi kőzetfizikai paraméter-meghatározások fontosságára, ezért nagyszabású mérési programot indítottak a Tihanyi Observatóriumban. Ennek keretében több mint 12 000 kő-

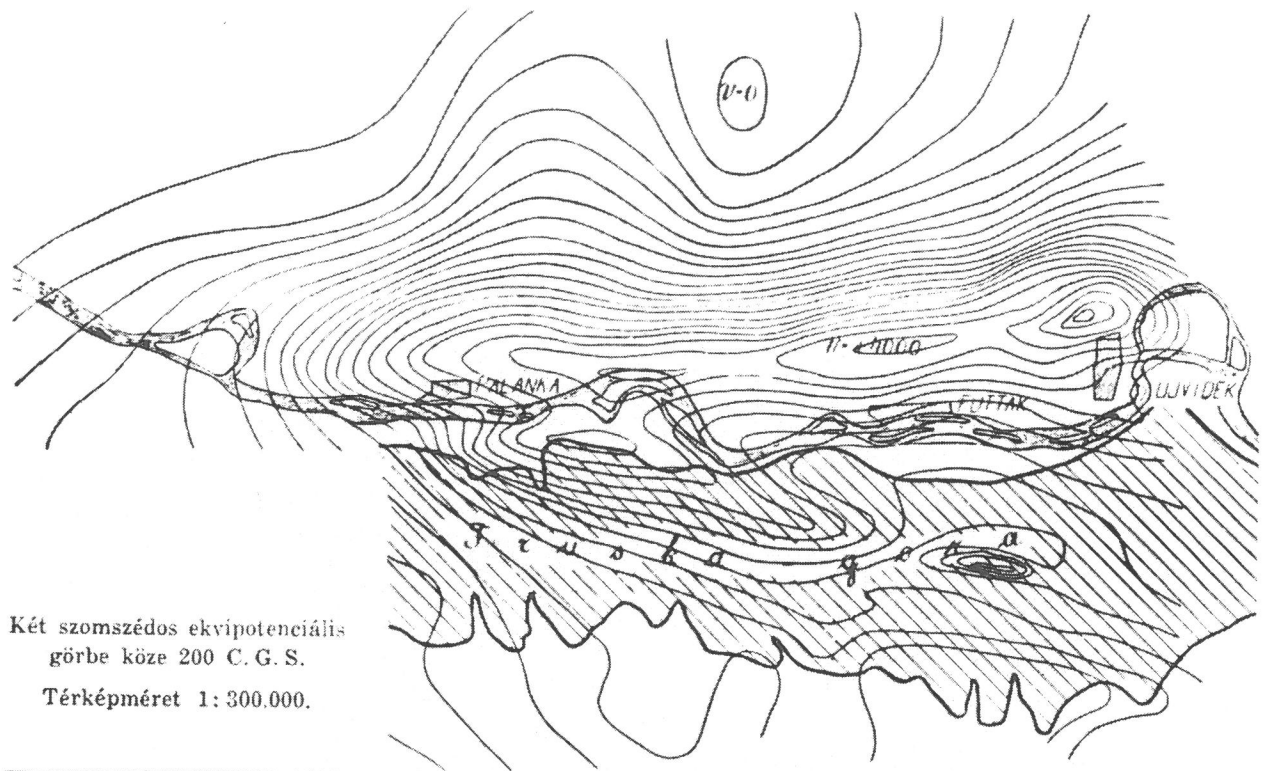
zetminta sűrűség-meghatározására került sor. A program 1970-ben megszakadt anélkül, hogy elkészült volna a mérési anyag statisztikai feldolgozása. Erre csak 1994-ben került sor, amikor SZABÓ Z. és PÁNCICS Zoltán a laboratóriumi mérések statisztikai feldolgozásával párhuzamosan 69 mélyfúrás 145 000 fm-t kitevő, gamma-gamma mérésekből származó sűrűség-szelvényét is feldolgozták. Így 1995-re jó áttekintő képet kaptunk a hazánkban található kőzetek sűrűségviszonyairól.

Egy változó topográfiájú és változó kőzetfelépítésű terület térképezése során mindig gondot okoz a Bouguer-korrekcióhoz szükséges átlagsűrűség megválasztása. Különösen így van ez országos térkép szerkesztése esetén. Az átlagsűrűség megválasztása tekintetében kétféle megoldás kínálkozik: 1) egységes átlagsűrűség alkalmazása és a torzító hatás figyelembe vétele az értelmezésnél; 2) változó átlagsűrűség alkalmazása. A hazai térképszerkesztésnél az első változatot alkalmazták az 1:50 000-es térképsorozat kézi, és 1984-ben az 1:100 000-es térképsorozat számítógépes megszerkesztésénél. Az első esetben átlagsűrűségnek $\sigma = 2,0 \text{ g/cm}^3$ értéket választottak, mondván egyrészt, hogy az ország 70%-a fiatal üledékekkel fedett sík terület, ahol ez az érték jól közelíti a valóságot, másrészt szénhidrogén-kutatás céljából ez a terület perspektivikus, a hegyvidékeken jelentkező torzulás jelentősége alárendelt, mert ott a földtani szerkezet a felszínen tanulmányozható. A második esetben $\sigma = 2,4 \text{ g/cm}^3$ sűrűségértéket alkalmaztak, mondván, a vulkanikus felépítésű hegyvidékeken ez jó közelítő érték, míg az Alföldön — a sík topográfiájának köszönhetően — nem okoz számottevő torzulást, a gránit, ill. mészkő felépítésű területeken fellépő torzulás pedig jóval kisebb, mint $\sigma = 2,0 \text{ g/cm}^3$ alkalmazása esetén. Mindkét érvelésnek van létjogosultsága, ezért is készült a két térképsorozat különböző sűrűséggel.

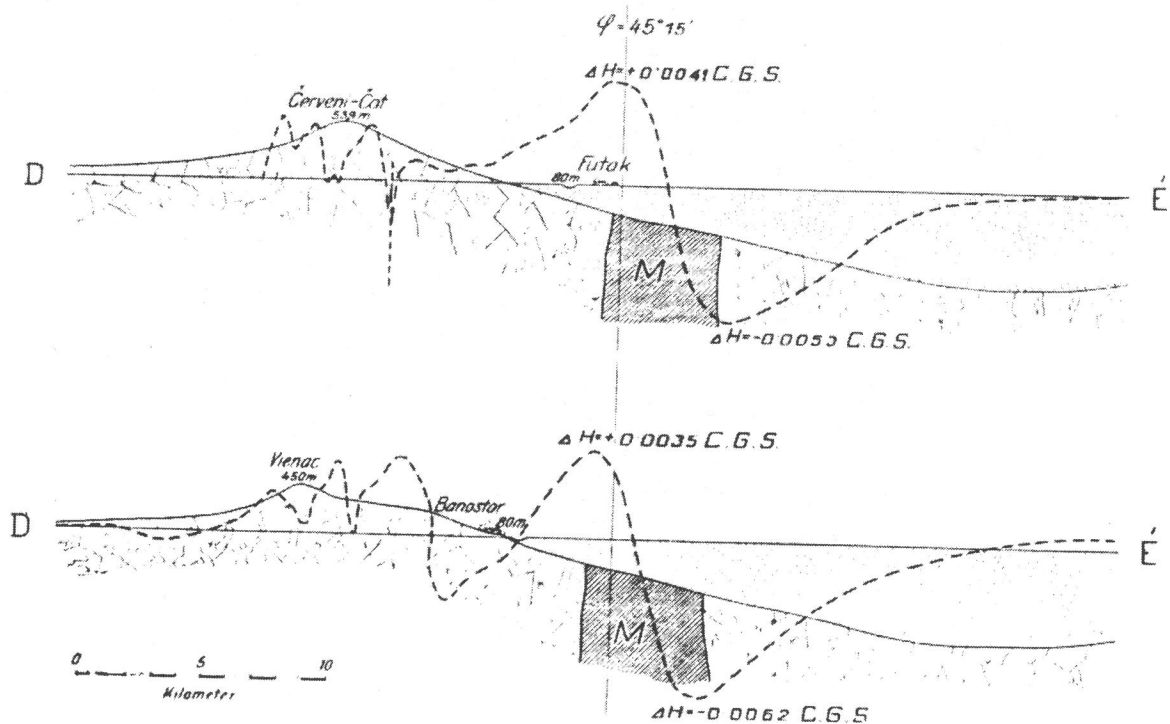
Az 1990-es években SZABÓ Z. és PÁNCICS tettek kísérletet egy változó sűrűséggel számított országos térkép megszerkesztésére. Eljárásuk lényege, hogy a síkságra érvényes $\sigma = 2,0 \text{ g/cm}^3$ és a hegységekre érvényes $\sigma = 2,67 \text{ g/cm}^3$ közti átmenetet egy magasságtól függő korrekciós tényezővel oldották meg, ezáltal elkerülve a sávok sűrűségváltozásnál óhatatlanul fellépő torzulásokat.

Hatósámítások

A gravitációs és földmágneses anomáliák hatóinak meghatározása a terepi mérések kezdetétől foglalkoztatta a kutatókat. Az első szelvény menti kétdimenziós hatósámítás EÖTVÖS és munkatársai nevéhez fűződik. Az 1902 és 1904 közötti Fruška Gora környéki földmágneses mérések anomáliájának hatóját próbálták meghatározni. A földmágneses anomália-térkép a hegység K–Ny csapásirányával párhuzamos, 4700 nT értékű maximumot mutat, melynek gerincvonala a Dunától kb. 5 km-rel É-ra húzódik. EÖTVÖS az anomália hatójaként először vasércre gondolt, majd kiderült, hogy a hegység tetején kibúvásként jelentkező szerpentin szuszceptibilitása oly nagy, hogy az anomáliát egy mélybeli szerpentin test is előidézheti (7. ábra).



Mágneses anomáliák ekvipotenciális görbéi Fruška-Gora vidékén.

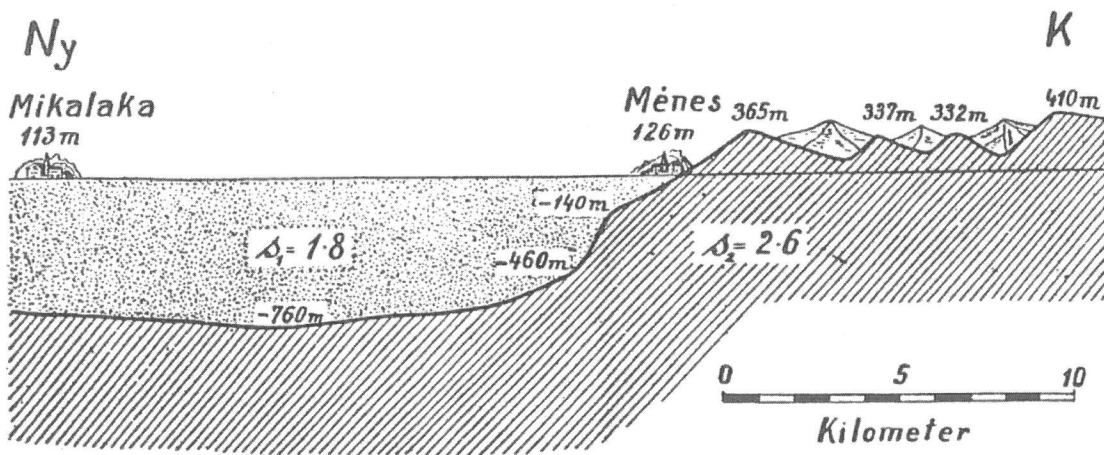
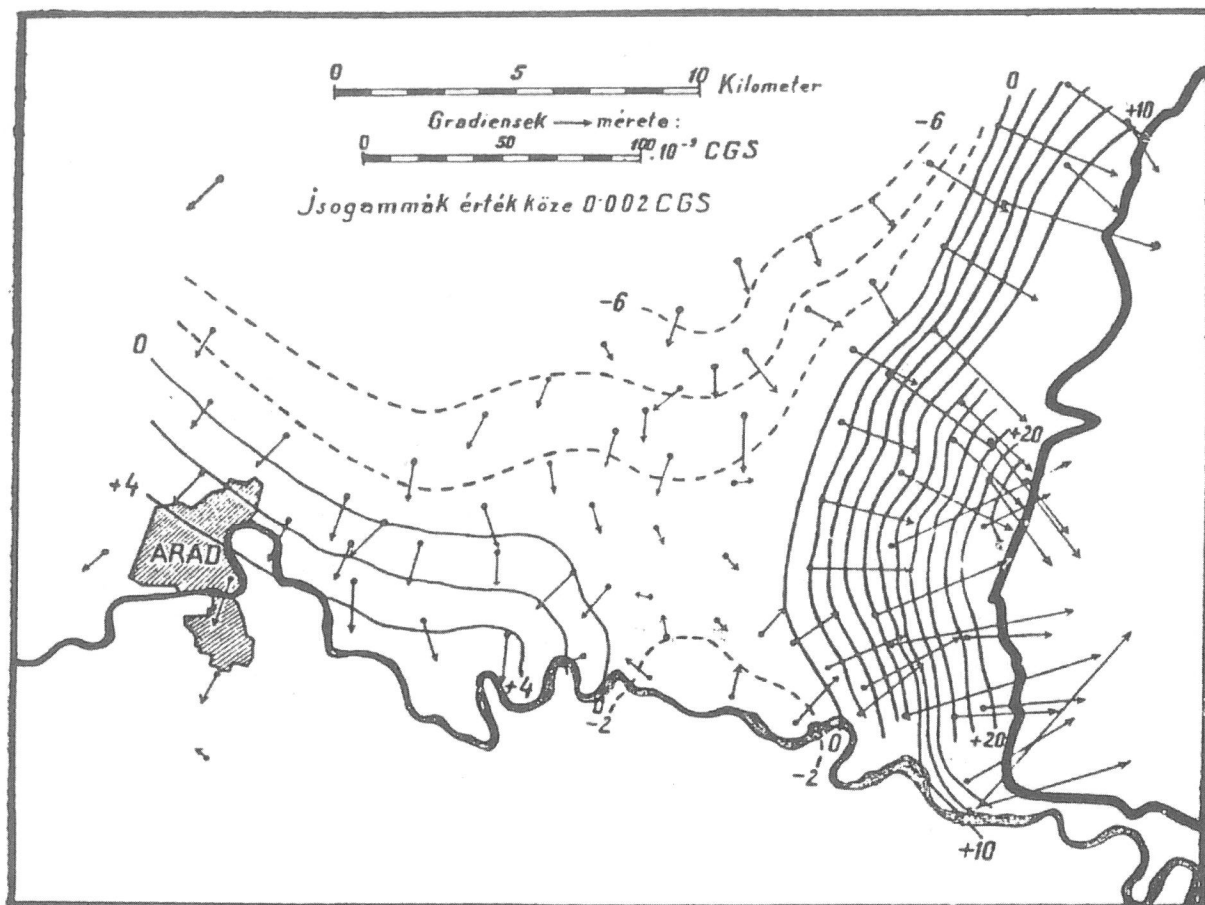


7. ábra. Az első földmágneses hatószámítás eredménye a Fruška Gorát harántoló szelvények mentén (EÖTVÖS nyomán)

Fig. 7. Geomagnetic anomalies and their interpretation in the Fruška Gora Mts. (after EÖTVÖS)

Az első, általunk ismert gravitációshatószámítás az 1906–1907 folyamán Arad környékén végzett Eötvös-ingamérések feldolgozása során készült (8. ábra). A várostól K-re kibúvásként jelentkező alaphegység mélybeli lefutását próbálták meghatározni. A későbbiekben elsősorban FEKETE volt az, aki nagy hangsúlyt helyezett a hatószámításokra. A hazai gyakorlatban az 1920-as és 30-as években a szelvény menti hatószámítást rutinszerűen alkalmazták.

Az 1950-es években jelentős előrelépést jelentett, amikor HAAZ I. kidolgozott egy, függőleges és ferde hasábok gravitációs és mágneses hatásának számítására szolgáló egyenletet. Az eljárás alkalmazásának sikere nagymértékben függ az anomália szélsőérték-helyeinek pontos meghatározásától. Mágneses hatószámítás esetén a ΔZ és ΔH görbére egyaránt szükség volt.



8. ábra. Az első gravitációsható-számítás eredménye Arad környékén (EÖTVÖS nyomán)

Fig. 8. Gradients and isogams in the Arad region with interpretation (after EÖTVÖS)

Egy tetszőleges alakú háromdimenziós alakzat gravitációs hatásának kiszámítása nehézkes feladat. Ezért ZILAHÍ-SEBESS megvizsgálta, hogy milyen elemi alakzatokra célszerű a hatót felbontani. Számítástechnikai szempontból a gömb gravitációs hatása határozható meg legkönnyebben, de gömbökkel nem lehet kitölteni a teret. Ezért arra a következtetésre jutott, hogy legelőnyösebb a derékszögű hasábokra való bontás. Ezekből mint „téglákból” bármely tetszőleges alakzat felépíthető. ZILAHÍ-SEBESS volt az első, aki elkészítette a háromdimenziós tömeg gravitációs hatásának számítógépes programját.

A 70-es évek közepén MESKÓ Attila, a geológiai-geofizikai modellek gravitációs-mágneses hatásának számítását tekintve direkt feladatnak, a hatószámítást inverz feladatként fogalmazta meg. De míg az előbbi egyértelmű, az utóbbi megoldása az esetek többségében nem egyértelmű feladat. A változók számának korlátozásával, néhány paraméter rögzítésével azonban egyértelművé tehető. Olyan iterációs algoritmus alkalmazását javasolta, amely a direkt feladat egzakt megoldására épül. Az elvi levezetések helyességét háromdimenziós gravitációs inverz feladatok megoldásával bizonyította.

A 70-es évek végén PINTÉR A. és STOMFAI, a szűrt anomáliák értelmezési lehetőségeire keresve megoldást, kidolgozott egy háromdimenziós hatószámítási eljárást, amelynek segítségével elvileg tetszés szerinti bonyolultságú földtani modell gravitációs hatása kiszámítható. A módszer lényege, hogy a felvett hatómodellt merőleges függőleges síkokkal folszeletelik négyzet alapú hasábok sokaságára, az egyes hasábok hatását kiszámítják, majd összegzik. E hatás kiszámítása egy négyzetháló sarokpontjaira igen számításigényes, de lehet a következő egyszerűsítést alkalmazni: a hasábok anyagát gondolatban összesűrítjük a hasáb függőleges középvonalába és ennek az „anyagfonalnak” a hatását számoljuk. Így elfogadható pontosságú közelítést nyerünk ezerszer kevesebb számolással. A szakzsargon pálcikázó módszernek nevezi ezt a korlátozás nélkül alkalmazható eljárást. Ezt a módszert alkalmazta SCHÖNVISZKY László és STOMFAI a topografikus korrekció számítógépes megvalósítására is.

A mágneses anomáliák értelmezésének egy másik lehetséges irányvonala azok pólusra redukálása. Indukált mágnesezettséget feltételezve ugyanis a földmágneses anomáliák szélsőérték helyei a hatóhoz képest eltolódva jelentkeznek. E hatás kiküszöbölésére szolgál a mágneses anomáliák északi mágneses pólusra redukálása. Az eljárást együtthatóit a Poisson-féle összefüggésen alapuló optimalizálással KIS Károly határozta meg.

A mágnesesható-számítás újszerű megközelítését tette lehetővé az 1986. évi nyírségi szeizmikus kutatás, amely minden előzőnél jobb minőségű szelvényeket eredményezett. Ezek a szelvényeken elválaszthatók a tufák a szubvulkáni testektől, ezáltal megnyitva az utat újszerű gravitációs- és mágnesesmodell-számításokhoz. Első lépésként az anomáliatérképeket szűrési kísérletnek vetették alá az egyes hatók szétválasztása érdekében. Az így nyert anomáliatérképek lényegesen jobban korreláltak a szeizmikus szelvényekben meghatározott vulkáni testekkel, de hatószámításra a szűrt anomáliaértékek alkalmatlanok. A szeizmikával meghatározott ható alakzatokból és mélységekből kiindulva, változónak tekintve a sűrűségkülönbségeket, ill. a szuszceptibilitás-értékeket, számolták ki a változatos alakú, pozitív és negatív mágnesezettségű hatók gravitációs és mágneses hatását. A legjobban illeszkedő modell szolgáltatva paraméterek reálisnak tűntek és alátámasztották az eredeti feltevést, hogy a hatók rétegvulkáni központok.

Anomália-térképek másodlagos feldolgoása

Az egbelli kőolajmezőn 1916-ban végzett Eötvös-ingamérések már azt az érdekes jelenséget mutatták, hogy a tárolórétegek felboltozódása egy, a triász aljzat emelkedését jelző, regionálisan növekvő gravitációs tér másodlagos (maradék) maximumával esik egybe, de ebben az időben még nem tesznek említést a jelenségről. Az első utalást a regionális és maradék anomáliák grafikus úton történő szétválasztására az 1927–28-ban, magyar gravitációs szakemberek által a franciaországi Limagne-ban végzett Eötvös-ingamérések feldolgozása során találunk.

A kőolajkutatás kezdeti időszakában a kiterjedt nagy pozitív anomáliákat tartották fúrásos kutatásra érdemesnek. A dunántúli nagy anomáliák fúrásos megkutatása után, 1947–48-ban meglehetősen pesszimista kép alakult ki a további

kutatásokat illetően. Hamarosan kiderült azonban, hogy a másodlagos anomáliák is jelölhetnek kőolajtároló szerkezeteket, ezek felismerése azonban részletes gravitációs felmérést igényel.

A regionális és maradék anomáliák szétválasztását kezdetben grafikus úton próbálták megoldani. Az 1930-as évek vége felé az eljárást mintegy automatizálták: pontról pontra haladva bizonyos sugarú kör, vagy körök mentén területi átlagokat számoltak, ezt tekintették regionális hatásnak, a pont értéke és a területi átlag különbségét pedig maradék anomáliának. Könnyen belátható, hogy az átlagolásba bevont terület nagysága nagymértékben befolyásolta az eredményeket. A későbbiekben, az 1950-es évek elején, számos bonyolultabb matematikai eljárást javasoltak a kétféle hatás szétválasztására. Ezek voltak az ún. magasabb derivált módszerek (ELKINS, PETERS, BARANOV, ROSENBAACH stb.), és ide számíthatjuk az analitikus lefelé folytatás módszerét is. E módszereket hazánkban 1953-ban kezdték alkalmazni, bevezetésük első sorban FACSINAY nevéhez fűződik. Leginkább az Elkins-féle második derivált módszer terjedt el a hazai gyakorlatban. Az eljárást kiolvasási raszterek segítségével lehetett automatikussá tenni, de az alapvető probléma, a számításba bevont terület sugarának megválasztása, megmaradt. Miközben a raszterek használata valóban felgyorsította a munkát, egyúttal sematikussá tette a módszerek alkalmazását.

PINTÉR A. és SZABÓ Z. összehasonlította a magasabb deriváltak különböző számítási módszereit a területi átlag módszerrel és azt találták, hogy az eredmény gyakorlatilag azonos. Valamennyi módszernél problémát jelentett, hogy az egyenetlen állomáseloszlás miatt az átalakított térképen sok esetben fiktív anomáliák és fiktív szerkezeti irányok jelentek meg.

A számítógépek elterjedése a probléma újfajta, a szűrőlémeleten alapuló megközelítését tette lehetővé. Az elektromos szűrőkhöz hasonló eljárás a gravitációs térképek átalakítására is lehet alkalmazni, amelynél a nagyfrekvenciáknak a mérési zaj, a közepes frekvenciáknak a kutatóméllységtartomány anomáliái, míg a kisfrekvenciáknak a regionális anomáliák felelnek meg. Természetesen a frekvenciatartományok a kutatóméllységeknek megfelelően változhatnak. Az elektromos szűréshez képest lényeges különbség, hogy térképek átalakításánál kétdimenziós szűrést kell alkalmazni. A numerikus szűrésre a számítástechnikában jól kidolgozott módszerek álltak rendelkezésre, ezeket kellett alkalmazni a gravitációs térképekre. A hazai gyakorlatban MESKÓ dolgozott ki egy szűrőparaméter-sorozatot a különböző eredetű gravitációs anomáliák szétválasztására. Azóta ez a megoldás egyeduralmukodóvá vált. A szűrési eljárás gyakorlati alkalmazhatóságának egyik meggyőző példája az Algyó környéki szénhidrogén-mező felfedezése. A kutatófúrások telepítésénél első sorban a gravitációs térképekre kellett alapozni, tekintettel arra, hogy a város közelsége miatt — a vibroszeiz technika hiányában — szeizmikus méréseket nem tudtak bevetni.

A másodlagos feldolgozásnak, illetve a szűrés alkalmazásának alapvető feltétele az eredeti térkép megbízhatóságának növelése. Egy térkép megbízhatóságát kétféle módon lehet növelni: 1) A mérési pontosság növelésével, erre vonatkozóan mondhatjuk, hogy 1950, a Heiland gravi-

méterek megjelenése óta ez a probléma megoldást nyert. 2) Az állomáseloszlás egyenletessé tételével. E téren az 1960-as évek közepén hozott fordulatot a könnyen hordozható Sharpe, majd Worden, ill. LCR graviméterek megjelenése. A Heiland gravimétereket, mint már említettük, méretüknél és súlyuknál fogva csak gépkocsival lehetett szállítani, így csak utak mentén lehetett velük mérni. Az általános gyakorlat szerint a méréseket 500 m-es távolságközzel végezték, de megfelelő úthálózat hiányában sok esetben néhányszor 10 km²-es területekre nem került mérési pont. Ilyen egyenlőtlen állomáseloszlás mellett a térkép megbízhatósága távolról sem volt egységes, következésképpen másodlagos feldolgozás esetén fennállt a veszélye fiktív anomáliák kialakulásának. A mintavételezés problémakörével elsősorban MESKÓ, KOVÁCS F. és STEINER F. foglalkozott.

MESKÓ és munkatársai részletesen vizsgálták, hogyan befolyásolja az állomáseloszlás az eredményül kapott szűrt térképeket. Szerintük a rendezetlen pontokban végzett mérések szabályos hálózatra történő interpolációja, melynek számítógépes programját KIS K. készítette el, szükségképpen információvesztéssel jár. Hasonlóképpen, ha a megrajzolt Bouguer-anomália-térképet digitalizáljuk, akkor a térképszerkesztő geofizikus szubjektív döntései lehetnek hibák forrásai. Vizsgálataik eredményeként arra a következtetésre jutottak, „*hogy a négyzethálózatban, 500 m-es állomástávolsággal végzett mérés többletköltségeit a nyert földtani többletinformáció sokszorosan visszatéríti*”.

Az ELGI-ben, ezzel szemben, szabálytalan eloszlású, út menti mérések esetére — elismerve fenti megállapítások helyességét — az a vélemény és gyakorlat alakult ki, hogy a szabályos négyzethálózatban végzett mérések többletköltsége nem áll arányban az így nyerhető többlet információval. Tapasztalatuk szerint elegendő kvázihálózatosan felmérni a területet, majd négyzethálózatra interpolálni, mert az így bekövetkező „információvesztés” tulajdonképpen a mérési hibák kiszűrését jelenti, amit szabályos négyzethálós mérés esetén rendszerint egy felülvágó szűrő alkalmazásával oldanak meg. A térképszerkesztő geofizikus szubjektuma sem feltétlenül káros, a tapasztalat ugyanis azt mutatja, hogy a térképrajzoló programok automatikus mivoltuknál fogva olyan anomáliákat is létre tudnak hozni, melyeknek fizikai valóságtartalma vajmi kevés, vagy egyenesen félrevezető.

MESKÓ tevékenységével a másodlagos feldolgozás ügye nyugvópontra jutott, nem oldotta meg azonban a származtatott térképek értelmezési problémáit. Az értelmező geofizikus szempontjából ugyanis nem mindegy, hogy egy szűrt térkép maradékanomália-térképnek tekinthető-e, vagy pedig derivált jellegű. A maradék anomália maximuma vagy minimuma ugyanis a ható felett jelentkezik, míg derivált jelleg esetén a térképen jellemzően maximum-minimum párok jelennek meg, melyeknek 0-átmenete a ható peremét jelöli ki. A probléma minden vonatkozására kiterjedő vizsgálatokat PINTÉR A. és STOMFAI végzett. Modellvizsgálatok alapján arra a következtetésre jutottak, hogy a szűrt térkép maradék, vagy derivált jellegének eldöntésére legjobb módszer az anomálieeloszlás vizsgálata. Meredek eloszlási görbe esetén a térkép derivált jellegű, ellapuló görbe viszont maradék jellegre utal.

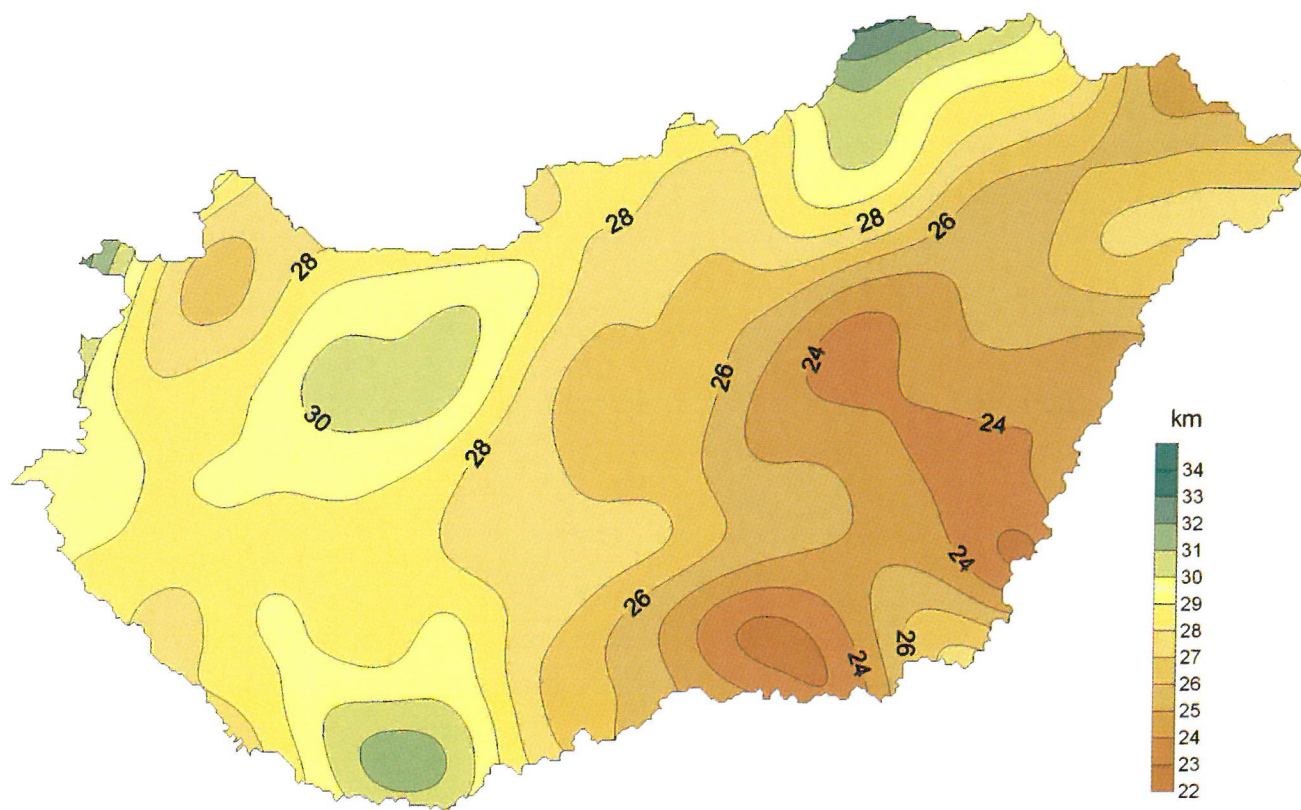
A medencealjzat mélységének térképezése

Fiatal medencékben jelentős sűrűségkontraszt általában az üledékes összlet–medencealjzat határon lép fel, továbbá hazai tapasztalatok szerint az üledékekben hirtelen horizontális sűrűségváltozás nem ismert. Ennek alapján az ELGI gravitációs szakembereinek körében megfogalmazódott az az ötlet, hogy komplex kutatások keretében megkíséreljék egyes medencék aljzatának gravitációs adatokon alapuló térképezését. Az első próbálkozás a Cserehát kutatásának keretében történt, ahol a fúrási és szeizmikus adatokra mint kényszerértékekre alapozva megszerkesztették a Cserehát gravitációs mélységtérképét.

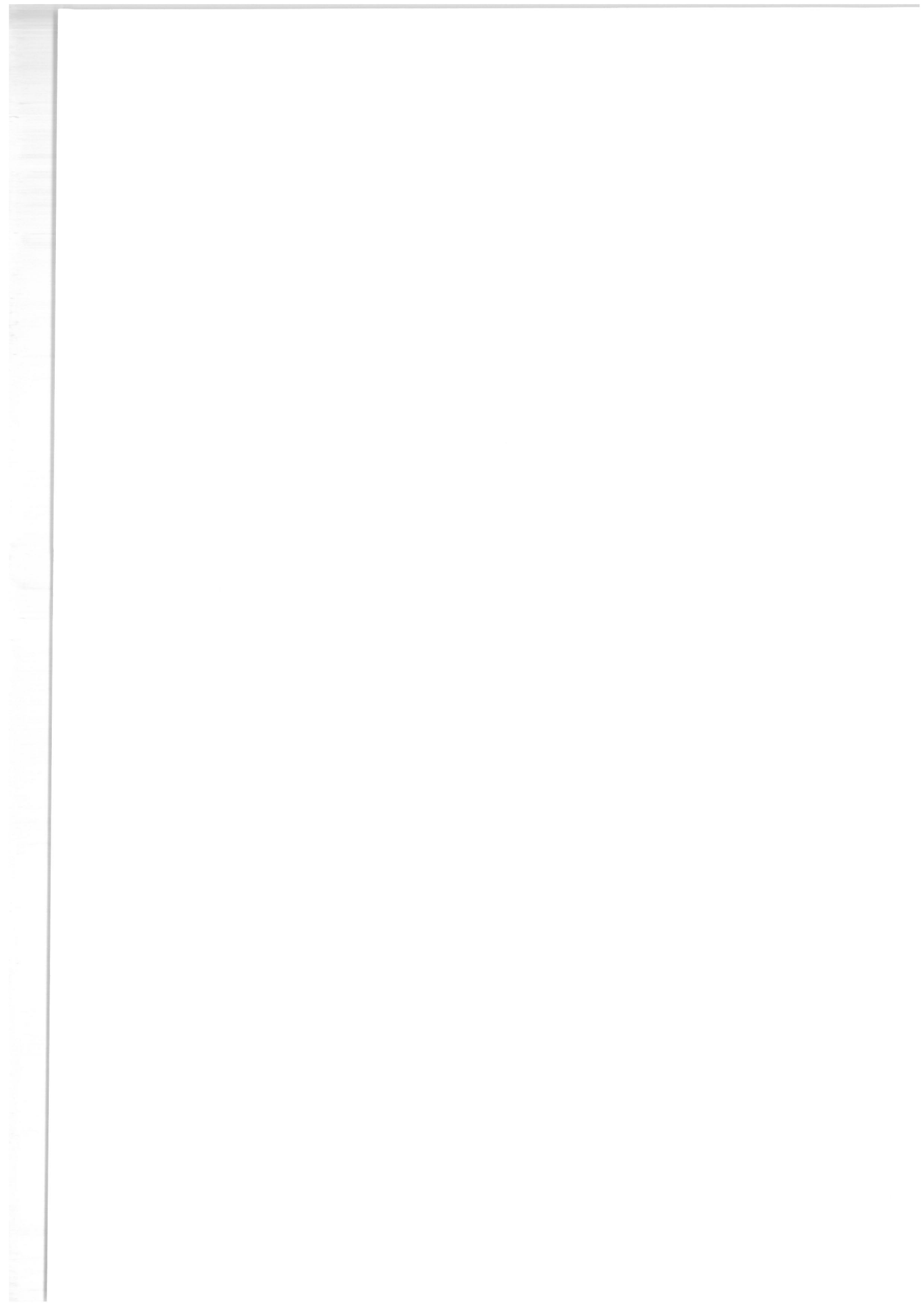
A későbbiekben, elsősorban a Dunántúli-középhegységben folyó bauxit- és kőszénkutatások keretében, azokon a területeken, ahol a medencealjzat mélysége általában nem haladta meg a néhány száz métert, PINTÉR A. és STOMFAI kidolgozott egy számítógépre alkalmazható, komplex mélységszámítási eljárást, az ún. optimalizációs módszert. Az eljárás lényege, hogy a Bouguer-anomáliák átlag körüli változásainak és a szűrt anomáliáknak célszerűen súlyozott kombinációja alapján határozták meg a medencealjzat lefutását. A súlyozás mikéntjét fúrásokkal feltárt területen, vagy szeizmikus szelvények menti vizsgálatokkal határozták meg. A kezdetben kísérleti jelleggel kidolgozott módszer olyan sikeresen bizonyult, hogy a későbbiekben a kutatás rutinfeladatává vált.

1983–84-ben, a MÁFI térképkiadási tervéhez kapcsolódóan, az ELGI és a GKV szakembereiből alakult geológus–geofizikus csoport nekiállt, hogy geofizikai adatok alapján megszerkessze az egész ország területére a neogén medence aljzatának mélységtérképét. A térkép szerkesztésében az ország különböző geofizikai módszerekkel való felmértésére döntötte el, hogy az egyes részterületeken melyik módszer adatai domináltak. Mivel egyedül a gravitációs adatok fedik le többé-kevésbé egységesen az egész ország területét, mindazokon a területeken, ahol más mélységmeghatározó módszer (szeizmika, VESZ) nem állt rendelkezésükre, gravitációs adatokból kellett megszerkeszteni az aljzat mélységtérképét. Első lépésként mélyfúrási adatok felhasználásával több területre meghatározták a $\Delta g-h$ összefüggéseket (ahol h –aljzattmélység). A második fázisban a fúrásokból kapott aljzattmélység-adatokat kényszernek véve, az adott területre érvényes $\Delta g-h$ összefüggés alapján meghatározták a medencealjzat domborzatát. A nagy érdeklődésre való tekintettel a mélységtérképet 1:1 000 000 méretarányban önállóan is publikálták a Geofizikai Közlemények mellékleteként.

1985-ben az ELGI és az Geofizika n.p. Bratislava Branch közvetlen együttműködésének keretében megkezdődött a Szlovákia területére már kidolgozott medencealjzat-mélységtérkép és a magyarországi mélységtérkép összedolgozása, mint a teljes Kárpát-medencére tervezett aljzattérkép első lépése. Ehhez a munkához még ugyanabban az évben az osztrák–magyar tudományos együttműködés keretében csatlakoztak a bécsi Bundesanstalt für Meteorologie und Geodynamik és az ÖMV szakemberei. Ennek eredményeképp 1990-re elkészült a három ország területére kiterjedően a preausztriai medencealjzat mélységtérképe, 1:500 000 méretarányban. Sajnos további



9. ábra. Gravitációs adatokból meghatározott Moho-térkép. A szintvonalak értékköze 1 km
 Fig. 9. Moho contour map of Hungary based on gravity data. Contour interval 1 km



együtműködést nem sikerült megvalósítani, annak ellenére, hogy a szlovéniai, a horvátországi, sőt a kárpátukrajnai földtani szervezetekben is találtunk olyan munkatársakat, akik lelkesen csatlakoztak volna a programhoz, de a történelem közbeszólt és a térkép továbbfejlesztéséből nem lett semmi.

Szerkezetkutatás

A Bouguer-anomália-térképek másodlagos feldolgozása tárgykörébe sorolhatjuk azokat a törekvéseket, amelyek a Bouguer-anomáliák olyan átalakítását tűzik ki célul, hogy a tektonikai irányok szembetűnőbbek legyenek. Kis K. és MESKÓ a Bouguer-anomáliák kétdimenziós autokorrelációs függvényét használta fel az irányok kiemelésére. 80×80 km-es, egymást részben átfedő blokkokra osztva a térképet, FFT módszerrel számították ezek kétdimenziós autokorrelációs függvényeit, amelyekből pedig irányítottági diagramokat számítottak. Az így meghatározott irányokat, a korreláció nagyságával súlyozva, hasonlították össze az ország fő tektonikai vonalaival.

SZABÓ Z. és PÁNCICS ugyanezt a célt más oldalról közelítette abból a megfontolásból, hogy a tektonikai vonalak okozta hirtelen horizontális sűrűségváltozást legjobban a horizontális gradiens mutatja ki. Első lépésként a Bouguer-anomália-térképet 1 km-es négyzethálóra interpolálták, majd minden pontra kiszámították a horizontális gradienst. Ebből az adattömegből egy erre a célra készített számítógépes programmal kiválasztották a lokális gradiens maximumokat. A program paraméterei rugalmasan változtathatók a tanulmányozott környezet sugara és a maximum és az átlag különbsége megválasztásával. Mivel a gradiens merőleges a csapásirányra, egy másik programmal előállították a „gravitációs lineamenseket”, amelyek a tektonikát tükrözik. A módszer, szemben az előzővel, nem képez területi átlagot, tetszőlegesen finomítható és a gyakorlatban igen jól felhasználható pl. a földrengés kockázat becslése terén.

Kéregkutatás

RENNER és STEGENA Lajos 1964-ben megvizsgálta az MGH-50 hálózat adatainak, valamint KÖRÖSSY László 1963-ban készített medencealjzat-térképének felhasználásával azt, hogy azok alapján milyen információk nyerhetők a köpeny domborzatáról. Ahhoz, hogy a gravitációs térképből kiküszöböljék a fiatal, laza üledékek hatását, az ország területét 14 tájegységre bontva vizsgálták a Bouguer-anomália medencealjzat-mélység összefüggését. Feltételezték, hogy az üledék sűrűsége a mélységgel a jól ismert Athy-féle exponenciális függvény szerint változik, az üledékösszetétel Bouguer-lemezzel közelítve kiszámították a medenceüledékek gravitációs hatását és ezzel javították a Bouguer-anomália értékeket. A sűrűségfüggvény menetét tájegységenként határozták meg úgy, hogy különböző exponenciális együtthatók feltételezésével

kiszámították az üledékes rétegek hatását. A hatást a medence mélység függvényében ábrázolták és azt a sűrűségfüggvényt fogadták el érvényesnek, melynek alkalmazása esetén a javított Bouguer-anomáliák nem mutattak mélységfüggést.

Az üledékhatással korrigált gravitációs térkép megrajzolás után megállapították, hogy ha a medencealjzat felépítését közelítőleg egységesnek tekintjük, akkor a térkép a mélyszerkezet regionális hatását tükrözi. „A kéreg nyilván ott vékonyodik ki jobban, ahol ez a regionális hatás nagyobb, mert ott a köpeny sűrűbb kőzetei közelebb vannak a tengerszínhez” — állapították meg. Érdekes, hogy az akkor még ismeretlen mélységű Békési-medence és a Makói-árok alatt a kéreg kivékonyodására utaló jelek mutatkoztak, de erre a szerzők nem hívták fel a figyelmet.

A gravitációs térképek átalakítására kifejlesztett szűrők alkalmazásával lehetőség nyílt arra, hogy a földkéreg vastagsági viszonyaira információt szerezzünk. Ha regionális szűrő segítségével eltávolítjuk, ill. csökkentjük a felső, jelentősen változó sűrűségű zónák hatását, a megmaradt regionális anomália elsősorban a kéreg vastagságviszonyait fogja tükrözni. Az ELTE Geofizikai Tanszékén MESKÓ foglalkozott a problémakörrel, vizsgálatai során 20, 45, 60 km hullámhosszúságú felülvágó szűrők alkalmazásával távolította el a kéregkutatás szempontjából érdektelen anomáliákat.

A kéreg vastagságviszonyainak vizsgálatára más módon is eljuthatunk, mégpedig úgy, hogy az üledékek által okozott „torzító” hatást a Bouguer-anomália-térképből kiküszöböljük. Az 1990-es évek közepén a teljessé váló gravitációsadat-bank, a Pannon-medencére vonatkozó sűrűségvizsgálatok eredményei és a medencealjzat-térkép birtokában megkísérelhettük a fiatal medenceüledékek viszonylag kis sűrűsége miatt fellépő tömeghiány gravitációs hatásának kiszámítását és korrekcióba vételét. A korrigált térkép már csak a medencealjzatot alkotó kőzetek sűrűségkülönbségének és a kéreg vastagságváltozásainak hatását tükrözi. A korrigált térkép anomáliáinak a kéregkutató szeizmikus szelvények mélységadataival való korrelációja révén gravitációs adatokból megszerkeszthetővé vált a Mohorovičić-felület mélységtérképe. A számítások során feltételeztük, hogy a medencealjzat esetleges sűrűséganomáliái a kéreg méreteihez képest lokális kiterjedésűek és a korrelációnál zajként jelentkeznek (9. ábra).

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani mindazoknak, akik támogattak ebben a szerteágazó, nehezen összefoglalható munkában. Elsősorban ACZÉL Etelka, CSAPÓ Géza, PINTÉR Anna és STOMFAI Róbert nevét kell említenem, akik lelkiismeretes munkával átbogarászták az egész kéziratot és kiegészítéseikkel, javításaikkal, kritikai megjegyzéseikkel segítettek munkámat.

Időrendi áttekintés

Több mint 100 év telt el az első terepi mérések óta, így nyilvánvalóan nem áll módunkban, hogy évről évre haladva felsoroljuk az egyes mérési területeket. Az alábbiakban kísérletet teszünk arra, hogy időrendben összefoglaljuk a mindkét módszerben bekövetkezett jelentősebb eseményeket, fordulópontokat, kimagasló eredményeket, remélve, hogy ezen keresztül szemléltetni tudjuk a módszerek fejlődését.

1470–85	Az első magyarországi deklinációadat
1847–57	A Kreil–Liznar-féle országos jellegű mágneses alaphálózat mérései (1850,0 epochára vonatkoztatva)
1864–79	A Schenzl-féle mágneses alaphálózat mérései (1875,0 epochára vonatkoztatva)
1883	Az első gravitációs mérés Magyarországon. STERNECK Brassó környékén 3 állomáson végzett relatívinga-méréseket
1885	GRUBER gravitációs abszolút mérése a budai Várhegyen
1890–94	A Kurländer-féle mágneses alaphálózat mérése (1890,0 epochára vonatkoztatva)
1891	Mérésre kész az első Eötvös-inga. A Ság hegyi mérés
1901	Az első terepi felmérés a Balaton jegén
1901	EÖTVÖS bifiláris gravimétert szerkeszt
1902–04	Eötvös-féle gravitációs és mágneses mérések a Fruška Gora környékén. Az első mágnesesható-számítás
1903–07	Gravitációs és mágneses mérések Arad környékén. Az első gravitációsható-számítás
1908	OLTAY és SZECSÖDY relatívinga-méréssel meghatározza a budapesti gravitációs főalappont értékét a Potsdami rendszerben
1912	Pénzügyminiszteri felkérés a Maros völgyében végzendő nyersanyagkutatói célú torziósinga-mérésekre
1916	Az első szénhidrogén-kutató Eötvös-inga-mérés Egbell környékén
1928	Az első grafikus úton előállított regionális- és maradékanomália-szelvény
1933	Az EUROGASCO megkezdi a dunántúli szénhidrogén-kutató Eötvös-inga-méréseket
1934–36	Hofhauser-féle mágneses alaphálózat-mérés
1936	Schmidt-mérleg beszerzése
1937	Az ELGI beszerzi az első (Haalck típusú) gravimétert
1939–41	FACSINAY Boucher-graviméterrel 141 pontból álló alaphálózatot létesít a Dunántúlon
1941–44	A MANÁT megbízásából a SEISMOS graviméteres méréseket végez az Alföldön, Thyssen graviméterekkel
1948	A MAORT államosítása
1949	A MAORT geofizikai részlege átkerül az ELGI-be
1949	2 db, gépkocsival szállítható Heiland graviméter beszerzése, mérési pontosságuk 0,02–0,03 mGal, amely a mai napig megfelel a terepi mérések követelményeinek
1949–50	BARTA György által irányított mágneses alaphálózat-mérés
1950–55	Az első országos gravitációs alaphálózat létesítése (MGH-50)
1951–61	Országos áttekintő földmágneses mérések
1953	A másodlagos feldolgozási eljárások meghonosítása
1959–70	1:50 000 méretarányú országos áttekintő Bouguer-anomália- és földmágneses ΔZ -térképsorozat szerkesztése
1962	Az első hordozható (Sharpe gyártmányú) graviméter beszerzése révén a mérés már elszakadhat az utaktól...
1963	Megalakul az OKGT SZKÜ Gravitációs Osztálya
1963	A gravitációs adatok titkosításának elrendelése
1964–65	Aczél–Stomfai-féle mágneses alaphálózat-mérés

1964–70	Az 1:200 000 méretarányú Bouguer- és földmágneses ΔZ -térképsorozat nyomdai kiadása
1965	Az első gravitációs adatokból szerkesztett medencealjzat-térkép (Cserehát)
1965–69	Légi mágneses mérések
1966	Kétdimenziós szűrés alkalmazása gravitációs adatokra
1967	Az utolsó terepi Eötvös-inga-mérés
1968	Gravitációs adatok lyukkártyás tárolásának beindítása
1968–69	Közös gravimetriai alaphálózat és nemzeti hitelesítő alapvonalak létesítése a volt szocialista országok területén
1971	Új I. rendű gravitációs alaphálózat mérése
1973	A Krakkó–Pécs szekuláris gravitációs alapvonal lemérése cseh–lengyel–német–magyar kooperációban, 12 graviméterrel
1974	A számítógépes térképrajzolás beindítása a OKGT GKÜ-ben
1975	Korszerű protonprecessziós magnetométer (Geometrix G–816 hordozható és G–826 bázisállomás) megjelenése
1978	Az első gravitációs abszolút mérés Siklóson Elkészült az első országos szűrt gravitációs térkép a GKÜ-ben
1979	Befejeződött az ország átnézetes gravitációs felmérése és az adatok lyukkártyára rögzítése. Az adatbank megalapozása
1979–82	Lomniczi–Tóth-féle mágneses alaphálózat-mérés
1984	1:100 000 méretarányú Bouguer-anomália- és ΔZ -térképsorozat megszerkesztése EOY térképlapokon
1984	A medencealjzat mélységtérképének megszerkesztése gravitációs adatok felhasználásával, és kiadása 1.000 000 méretarányban
1988	Scintrex MP–3 programozható, adattárolós magnetométer beszerzése
1989	1:500 000 méretarányú szűrt gravitációs térkép kiadása
1990–97	Magyar–osztrák–szlovák együttműködésben Bouguer-anomália- és földmágneses ΔT -térkép megszerkesztése és kiadása 1:200 000 méretarányban a közös Duna-szakasz mentén (DANREG program)
1991–94	Részvétel az európai Bouguer-anomália-térkép szerkesztésében (WEEGP)
1992–93	Graviméteres összekötő mérések Ausztria és Magyarország alaphálózatai között
1993–2000	Az MGH-2000 új gravimetriai alaphálózat létrehozása
1994–95	Kovács–Körmendi-féle mágneses alaphálózat-mérés
1997–	Megkezdődik a digitális földmágneses és gravitációs térképsorozat szerkesztése