

X. P. Х А А З:

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОПЫТЫ С ГРАВИМЕТРОМ НЭРГАРДА

№ Т. Н. К. 1427.

В начале 1952-го года автор статьи в лаборатории и в поле выполнил опытные измерения для проверки действия гравиметра. Наблюдения выполнялись в различных условиях с термостатом и без термостата. Результаты наблюдений без термостата оказались неудовлетворительными из-за температурных влияний, поэтому дальнейшие измерения выполнялись с термостатом. Азимутальный и магнитный эффекты не наблюдались. Смещение нуля в лаборатории было положительное: около 20°C —1-2 мгл. и около 40°C —4-5 мгл. Результаты полевых измерений до сотых мгл. совпадали с результатами измерений гравиметра Хейланда. При опытных измерениях средняя погрешность отдельных измерений, была 0.11 мгл. и средняя погрешность средней величины была 0,05 мгл.

MRS. H. H A A Z:

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS WITH THE NÖRGAARD GRAVIMETER

TNK 1427.

The experiments were made at the beginning of 1952 in laboratory as well as in the field. The temperature correction given for the instrument seemed not to be satisfactory, thus further measurements were made constantly with thermostat. Azimuth or magnetic effect were not to be detected. In the laboratory the diurnal drift was positive, and of 1—2 mgals at about 20°C , and 4—5 mgals at about 40°C . In the field the drift was mostly positive too, but sometimes, very rarely, negative. The results of field measurements differ only with a few hundredth mgal from those got by the Heiland gravimeter. The mean error of an observations was 0,11 mgal, that of the mean values 0,05.

**KÍSÉRLETI VIZSGÁLATOK A TNK 1427 GY. SZ. NÖRGAARD-
GRAVIMÉTERREL**

HAÁZRNÉ RÓZSÁS HAJNAL

I. Bevezetés

A Geofizikai Intézet ez év elején egy új Nörngaard-féle gravimétert szerzett be. Az új műszer 1952. január végén érkezett meg. Az első próba-észlelést 1952. január 31-én hajtottuk végre.

A műszerrel 1952. február 1-től április közepéig kísérleti méréseket végeztem. A kísérleti mérések célja egyrészt az észlelések begyakorlása, másrészt a műszer viselkedésének közvetlen tapasztalatok útján való megismerése volt. Ezeknek a méréseknek a végrehajtása különösen azért volt szükséges, mert a Geofizikai Intézetnek eddig még kvarcszálás gravimétere nem volt és éppen ezért számolhattunk azzal, hogy ennek a műszernek eltérő sajátságai miatt adódó problémákra a Geofizikai Intézetben levő graviméterek nyújtotta tapasztalatok (1, 2, 3, 4, 5) nem mindig adnak feleletet. A kísérleti méréseket egyrészt laboratóriumban, másrészt terepen végeztük el. A laboratóriumi kísérleteket olyan körülmények figyelembevételével hajtottuk végre, amilyenek a terepmunka folyamán előállhatnak.

A laboratóriumi méréseket a Geofizikai Intézet Vorosilov-úti székházának a földszinten levő 5. sz. szobájában hajtottuk végre. Olyan helyiség

egyáltalában nem állott rendelkezésünkre, amelyikben a zavartalan észlelést biztosíthattuk volna. A helyiség fűtése sem volt megfelelő módon szabályozható. Igen sokszor, hogy elegendő hosszú és lehetőleg zavartalan észleléssorozat álljon rendelkezésünkre, az észlelések elnyúltak a késő éjtszakába.

A terepméréseket olyan helyeken végeztük, ahol a nyert eredmények az Intézet többi graviméterével nyert eredményekkel összehasonlíthatók voltak.

Mielőtt a kísérleti mérések eredményeiről beszámolnék, röviden ismertetem a műszer működésének elvét az *AB Elektrisk Malmetning (The Electrical Prospecting Company)* tájékoztatói (6, 7, 8) alapján. Ennek az ismerete igen fontos a műszer viselkedésének megértése és a műszer kezelése szempontjából.

II. A műszer működésének ismertetése

Kvarckereten vízszintesen kifeszített kvarcszál lengő kvarcrudat tart, a kvarckeretből pedig egy rögzített kvarcrúd nyúlik ki. Mindkét rúdon egy-egy tükör van, amelyek egy fémszál képét verik vissza egy autokollimációs távcsőbe. Beszabályozáskor a kvarcszálát úgy csavarják meg, hogy ha a nehézségi gyorsulás g_0 és a hőmérséklet T_0 , akkor a lengő rúd vízszintesen álljon. Ekkor a fémszálnak a két tükörről visszavert képei egybe esnek, azaz ko incidálnak. g_0 -nál kisebb g -értékű helyen ko incidencia egyáltalában nem következik be. Ha a műszerrel olyan helyre megyünk, ahol a g értéke g_0 -nál nagyobb, akkor a lengő kvarcrúd lebillen. Ekkor a kvarckeretet a hozzá erősített rúddal együtt a lengő rúd után döntjük. Természetesen ezáltal a lengő rúd is tovább mozog, de minthogy ezáltal a nehézségi erő karja, tehát a forgató nyomatéka is csökken, a lengő rúd lassabban mozog lefelé, mint a rögzített rúd. Ezért a fix rúd utóléri a lengő rudat, vagyis a ko incidencia-helyzet ismét bekövetkezik. Ha most a keretet visszafelé döntjük, akkor a kerethez rögzített rúd először elhagyja a lengő rudat, mert a lengő rúdra ható nehézségi erő karja és ezzel együtt a forgató nyomatéka is folyton növekszik. Legnagyobb az erő karja akkor, ha a lengő rúd vízszintes. További felfelé döntésre az erő karja, tehát a forgató nyomatéka is csökken, a lengő rúd gyorsabban halad felfelé és végül utóléri a rögzített rudat. Ezek szerint a ko incidencia két helyzetben következik be; amekkora szöggel van az egyik a vízszintes alatt, ugyanakkora szöggel van a másik a vízszintes felett. Nyilvánvaló, hogy minden ko incidencia-helyzetben a kvarcszál megcsavarodásának szöge, tehát torziójának forgató nyomatéka és a nehézségi erőnek ezzel egyensúlyt tartó forgató nyomatéka is ugyanakkora. Ha a lengő rúd tömege μ , hossza l , akkor a vízszintes rúdra ható nehézségi erő forgató nyomatéka $\frac{1}{2} \mu \cdot g_0 \cdot l$, az α szöggel lefelé, vagy felfelé döntött lengő rúdra ható nehézségi erő forgató nyomatéka pedig $\frac{1}{2} \mu \cdot g \cdot l \cdot \cos \alpha$. Egyensúly esetén a nehézség forgató nyomatéka egyenlő a torziósszál forgató nyomatékával. A torziósszál forgató nyomatéka mindegyik ko incidencia-helyzetben ugyanakkora, tehát a nehézség forgató nyomatéka is mindegyik ko incidencia-helyzetben ugyanakkora:

$$\frac{1}{2} \mu \cdot g_0 \cdot l = \frac{1}{2} \mu \cdot g \cdot l \cdot \cos \alpha,$$

azaz

$$g = \frac{g_0}{\cos \alpha}.$$

A mérés tehát úgy történhetnék, hogy a kvarc keret döntésszögének cosinusát mérnénk. A műszer szerkezetét azonban úgy oldották meg, hogy mikrométer-csavarokkal a döntés szögének tangensével összefüggő távolság mérhető mm-ekben. Ezért eredményünkben a szög cosinusát a szög tangensével kell kifejeznünk:

$$g = g_0 \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} \approx g_0 \left(1 + \frac{1}{2} \operatorname{tg}^2 \alpha \right)$$

Tehát a g_0 -ra vonatkozó relatív nehézségérték

$$g_r = g - g_0 = \frac{g_0}{2} \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha.$$

A $\operatorname{tg} \alpha$ értéke a műszer vázlatos rajzán (1. ábrán) feltüntetett jelölések szerint a következőképen fejezhető ki:

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} (\overline{\alpha + \beta} - \beta) = \frac{\operatorname{tg} (\alpha + \beta) - \operatorname{tg} \beta}{1 + \operatorname{tg} (\alpha + \beta) \cdot \operatorname{tg} \beta} = \frac{\frac{m+k}{L} - \frac{k}{L}}{1 + \frac{m+k}{L} \cdot \frac{k}{L}}$$

L^3 -nel bővítve és utána $L^2 + k^2$ -tel egyszerűsítve:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{mL^2}{L(L^2 + k^2) + mkL} = \frac{m \frac{L^2}{L^2 + k^2}}{L + m \frac{kL}{L^2 + k^2}}$$

Legyen $\frac{L^2}{L^2 + k^2} = \cos^2 \beta = A$, és $\frac{kL}{L^2 + k^2} = \sin \beta \cdot \cos \beta = B$, akkor

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{m \cdot \cos^2 \beta}{L + m \sin \beta \cdot \cos \beta} = \frac{mA}{L + mB}$$

Tehát

$$g_r = \frac{1}{2} g_0 \left(\frac{mA}{L + mB} \right)^2$$

Ebben az összefüggésben $m^2 B^2$ elhanyagolható L^2 mellett, ezért írhatjuk, hogy

$$g_r = \frac{1}{2} g_0 \frac{A^2}{L^2} m^2 \left(1 - 2m \frac{B}{L} \right)$$

Mint ahogy a $\frac{2B}{L} = D$ érték 0,0005 rendű, tehát majdnem minden gyakorlati szempontból még ez is elhanyagolható, és így a következő egyszerű kifejezést kapjuk:

$$g_r = \frac{1}{2} g_0 \frac{A^2}{L^2} m^2$$

$\frac{1}{2} g_0 \frac{A^2}{L^2}$ -et jelöljük C -vel, akkor

$$g_r = C \cdot m^2$$

Az m értékét két mikrométercsavarral határozzuk meg, melyek vízszintes helyzetűek és a kvarcrendszert tartalmazó hengerhez erősített függőleges cső szemközti oldalaira támaszkodnak. A leolvasott érték a mikrométercsavar nullhibájával javítandó.

A műszer lengőszerkezete folyadékkal megtöltött légmentesen zárt fémdobozba van helyezve. A folyadék egyrészt a lengőrendszer csillapítására, másrészt a hőmérsékleti hatás kompenzálására szolgál. A lengőrendszer mindig dezarretált állapotban van, csupán a döntő berendezés rögzíthető. A folyadék összetétele olyan, hogy a hőmérséklet növekedésével a sűrűsége úgy csökken, hogy a lengő rúdra ható felhajtó erő csökkenése éppen kiegyenlíti a torziós szál nyomatékának növekedését. Ez azonban csak egy bizonyos T_0 «működési hőmérséklet» környezetében következik be. Más hőmérsékleten hőmérsékleti javítást kell alkalmazni, melyet egy harmadfokú függvény fejez ki. Ez azonban a T_0 -nál kisebb és nagyobb hőmérsékletekre egy-egy másodfokú függvényre bontható.

A Geofizikai Intézet TNK 1427 gy. sz. műszerének fontosabb adatai a műszer bizonyítványa szerint a következők:

$$C = 6,8331$$

$$D = 0,000\ 59$$

A mikrométercsavar nullhibájának javítása:

$$S = -0,878$$

A hőmérsékleti hatás miatt szükséges javítások:

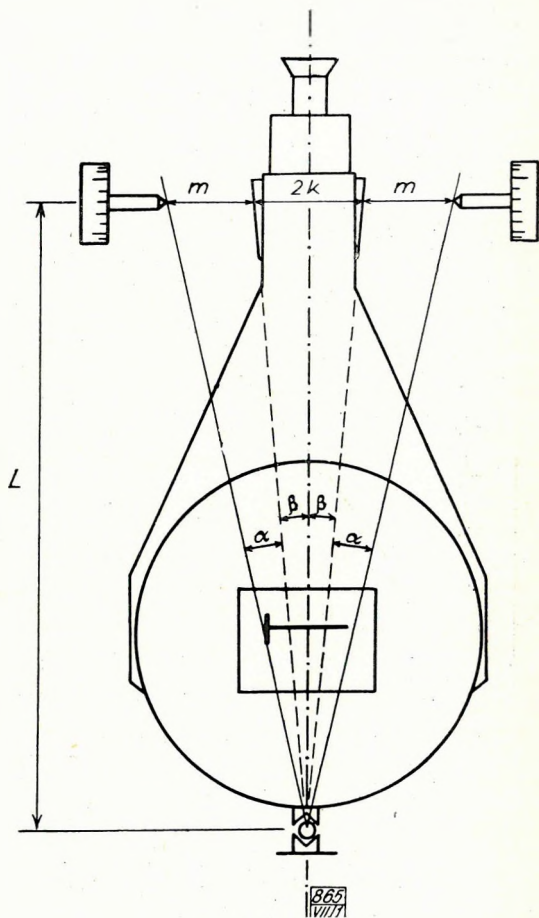
$$\Delta g_T = -0,025 (T_0 - T_2)^2, \quad \text{ha } T_2 < T_0;$$

$$\Delta g_T = -0,035 (T_2 - T_0)^2, \quad \text{ha } T_2 > T_0;$$

A működési hőmérséklet:

$$T_0 = 25,8^\circ\text{C}$$

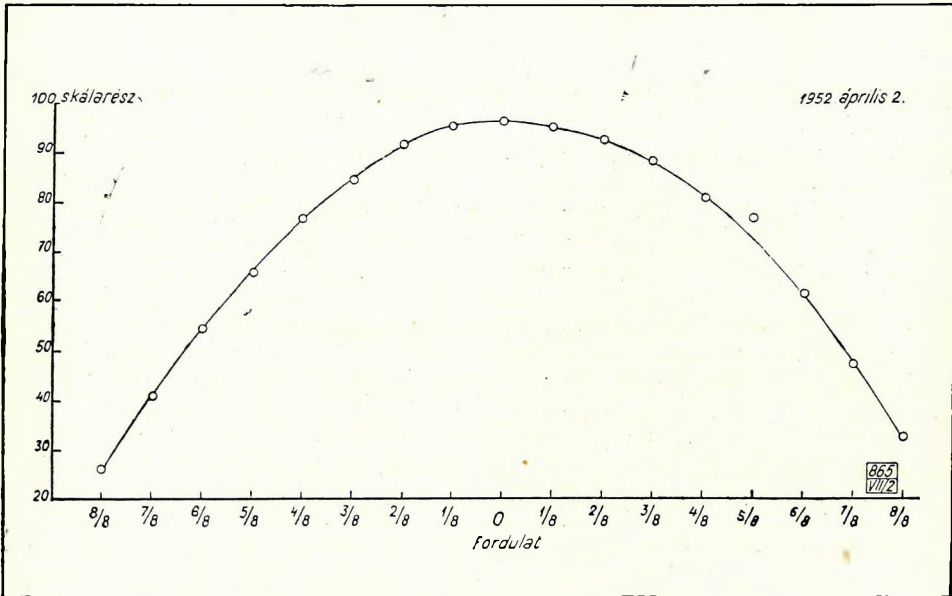
A műszert 46° szélességre, illetve $g_0 = 980\ 720$ mgalra szabályozták be.



1. ábra

III. Libellavizsgálatok

Helyes eredmények elérése szempontjából igen fontos a műszer pontos szintezése. Erre a célra szolgáló libellák a műszer tetején levő üvegablak alatt vannak elhelyezve. Sajnos a kvarcszállal párhuzamos libella nem a legmegnyugtatóbb módon volt elhelyezve. Ugyanis a hőmérők eltakarták a libella felét és ennek következtében a libellában levő buboréknak csak az egyik vége volt látható. A műszer szintezésénél különösen erre a libellára kell nagy gondot fordítanunk, mert igen kis elmozdulása is az észlelési értékben jelentős eltéréseket hoz létre. Ha a kvarcszál nem vízszintes, akkor a nehézségi erő forgató



2. ábra

nyomatéka kisebb, tehát a nyert leolvasások a helyes értéknél kisebbek. Egyhelyben észlelve akkor kapjuk a legnagyobb leolvasási értéket, amikor a kvarcszál teljesen vízszintes. Ebből következik, hogy ennek a libellának a helyes beállítása úgy állapítható meg, hogy a műszer döntésével kikeressük azt a helyzetet, amelyben a leolvasás értéke a legnagyobb.

Ezt az ellenőrzést a következőképpen hajtottam végre: A műszer tájékoztatója szerint 8) a műszert a kvarcszállal párhuzamos irányban álló két talpcsavar egyidejű ellenkező irányú és egyenlő nagyságú forgatásával döntöttem. A döntés egyes helyzeteiben leolvasásokat végeztem. A döntés mértékét a talpcsavarok teljes körülforgatásának törtrészeiben fejeztem ki. Ezekkel az adatokkal mint abszcisszákkal, a leolvasásokkal mint ordinátákkal megszerkesztettem a döntési kísérlet görbéjét. Az elméletnek megfelelően görbe ívet kaptam (2. ábra). Ennek maximuma a talpcsavarok olyan állásának felelt meg, amelyben a libella buborékja éppen középen állott. Ennek a libellának az ellenőrzését a laboratóriumban több ízben és a terepen is végrehajtottam. Minden esetben ugyanerre az eredményre jutottam. Tehát a kvarc-

szállal párhuzamos libella középhelyzete a gyári beszabályozás óta nem mozgott el.

A kvarcszál irányára merőleges libella szolgál annak a síknak a kijelölésére, amelytől a felső és alsó koincidencia hajlásszögét mérjük. Ha ez a sík nem vízszintes, akkor a két koincidencia szöge különböző, tehát a jobb- és a baloldali mikrométercsavarokon különböző leolvasásokat kapunk. A helyes érték a két leolvasás számtani középértéke abban az esetben, ha ez a libella csakugyan merőleges a kvarcszál irányára. Mivel a libella helyzete a merőlegestől eltérhet, továbbá ha a kétoldali leolvasások nagyon különbözőek, akkor a középértékük képzése nem kényelmes, ezért ennek a libellának a beszabályozásával is foglalkoznunk kell. Ki kell keresnünk ennek a libellának azt a helyzetét, amelyben a két leolvasás különbsége megközelíti az ideális esetben elérhető nullát.

Erre vonatkozó kísérleteim azt mutatják, hogy abban az esetben is, amikor a műszer egyhelyben áll — anélkül, hogy ez a libella elrázódhatna — a hőmérséklet megváltozása folytán a két mikrométercsavar dobján leolvasott értékek különbsége megnő. E jelenség valószínű oka az, hogy a fix tükör helyzete a műszerház szimmetriasisíkjához képest a hőmérséklettel megváltozik. Éppen ezért, amikor a műszer hőmérséklete megváltozik, a kvarcszál irányára merőleges libella helyes beállítását újból meg kell határozni és a libellát ennek megfelelően beszabályozni.

IV. Hőmérsékleti vizsgálatok

A műszer hőmérsékleti vizsgálata II. hó 1-től II. hó 11-ig termosztát nélküli észlelésekkel kezdődött meg. A műszer belső hőmérséklete 12°C és 23°C között ingadozott a szoba hőmérsékletének megfelelően. A külső hőmérséklet változásait a műszer belseje csak órákkal később vette át. Ebből látszik, hogy a műszer belsejének hőszigetelése elég jó. Az észlelési adatok feldolgozását a műszer bizonyítványában 8) megadott hőmérsékleti korrekciós képletekkel hajtottuk végre. Már ekkor azt tapasztaltam, hogy a javított értékek még mindig mutatnak hőmérsékleti menetet.

II. hó 12-től kezdve az észleléseket termosztáttal végeztük. A termosztátot vezérlő kontakt hőmérő két fokozatra állítható:

$$T_{31} = 21,7^{\circ}\text{C} \quad \text{és} \quad T_{32} = 42,5^{\circ}\text{C}.$$

Mindkét fokozaton végeztünk észleléseket. A műszert többször felmelegítettük az első fokozatról a másodikra, majd ismét lehűtöttük a másodikról az elsőre. A kísérletek azt mutatták, hogy egy-egy felmelegítés, ill. lehűtés alkalmával legalább 24 órának kell eltelnie, hogy a műszer az új hőmérsékletet felvegye. Egy-egy felmelegítés, illetve lehűtés után a műszer a termosztát ugyanazon a fokozatán más-más állandó hőmérsékletet mutatott. Pl. a műszert febr. 12-én felfűtöttük az 1-es fokozatra. Febr. 13-án az 1-es fokozaton a műszer belső hőmérséklete $22,25^{\circ}\text{C}$ volt. Febr. 14-én felfűtöttük a 2-es fokozatra. Febr. 18-án lehűtöttük az 1-es fokozatra. Febr. 19-én az 1-es fokozaton a műszer belső hőmérséklete $21,3^{\circ}\text{C}$ volt. Ugyanezt tapasztaltuk, amikor különböző alkalmakkor a műszert a 2-es fokozatra fűtöttük fel.

A műszer hőmérséklete a termosztáttal való fűtés közben is ingadozik. A mérések tapasztalatai szerint az ingadozás nagysága a külső és a műszer belső hőmérséklete közötti különbségtől függ. Az ingadozás annál nagyobb, minél nagyobb ez a különbség. A termosztát működése akkor optimális, ha

a külső hőmérséklet legfeljebb 5°C -szal alacsonyabb a műszer belső hőmérsékleténél. Ez a differencia 10° -nál semmi esetre se legyen nagyobb.

A műszer tájékoztatója 8) szerint termosztátos észlelések esetén is hőmérsékleti korrekciót kellene alkalmazni. Néhány esetben ezt kiszámítottam, de az eredmények így sem voltak kielégítőek. Ha relatív méréseket végzünk, a hőmérsékleti korrekció alkalmazására nincs szükség, mert a hőmérsékleti korrekció állandó része a g_r különbségekből úgyis kiesik, kisebb hőmérsékletváltozások hatását pedig a műszer járásába foglalhatjuk bele.

A műszerünkben lévő termosztátot vezérlő hőmérő kicserélhető. Rendelkezésünkre áll olyan tartalék hőmérő is, amely 12 és 32°C -ra állítható. Sajnos e hőmérők egyike sem alkalmas arra, hogy egy teljes mérési időnyt kiszolgáljon. Jobb lenne olyan vezérlő hőmérő, amelyik csere nélkül csupán átkapcsolással állítható be 22° -ról 32 vagy 33° -ra. Természetesen ez sem felel meg tökéletesen a mi éghajlati viszonyainknak, de a mérések tapasztalatai azt mutatták, hogy ennél magasabb hőmérsékleten nem ajánlatos méréseket végezni. A termosztát vezérlő hőmérőjének cseréje csak a műszer kibontásával hajtható végre. Hogy ezt elkerüljük, a melegebb idő beálltával $21,7^{\circ}$ -ról a 42° -os fokozatra állítottuk műszerünket. A tapasztalat azt mutatta, hogy a 42° -os hőmérsékleten a műszer járása nagyobb és jobban megéri a külső hőmérséklet ingadozásait. Azért, mert ez a hőmérséklet messze volt egyrészt a T_0 működési hőmérséklettől, másrészt a napi átlagos hőmérséklettől is.

Vizsgálatot végeztem arra vonatkozóan is, hogy a termosztát ki- és bekapcsolódása befolyásolja-e az észlelt értékeket. Ugyanis amikor a műszer eléri a termosztát hőmérsékletét, a fűtési periódus igen rövid ideig tart (kb. 1 perc), amelyet hosszabb szünet vált fel, attól függően, hogy mennyi a különbség a külső és belső hőmérséklet között. Terepen a ki- és bekapcsolódás váltakozása általában szaporább. A ki- és bekapcsolódás hatása az észlelésekre nem vehető észre.

Már ismételten említettem, hogy a műszer bizonyítványában 8) megadott hőmérsékleti korrekciós képletek alkalmazásával nyert eredmények nem kielégítőek. Azt találtam, hogy a megadott hőmérsékleti korrekció alkalmazásával nyert értékek $25,8^{\circ}\text{C}$ alatt a hőmérséklettel párhuzamos, $25,8^{\circ}\text{C}$ felett pedig azzal ellentétes menetet mutattak. Ezért a hőmérsékleti korrekcióknak a műszer bizonyítványában 8) megadott képleteit vizsgálat tárgyává tettem. Termosztát nélkül végzett észlelésekből és a termosztátos felmelegítés és lehűtés folyamán végzett észlelésekből megszerkesztettem a hőmérsékleti hatás görbéit. Abszcisszájának a hőmérsékleteket, ordinátának az észlelt értékeket felrakva két parabola-ágot kaptam. A két parabola-ág közös csúcának abszcisszája 28°C -nak adódott. Tehát a T_0 működési hőmérsékletet a bizonyítványban 8) megadott érték helyett 28°C -nak találtam. Az észlelt értékeknek és az új T_0 -tól számított hőmérsékletkülönbségek négyzeteinek hányadosából számítottam ki a hőmérsékleti korrekció együtthatóit. Ezeknek az együtthatóknak több észlelési adatból kiszámított számtani középértéke kielégítően megegyezett a műszer bizonyítványában megadott együtthatókkal.

A Nörgaard-graviméter hőmérsékleti viselkedésére vonatkozóan külföldi szakemberek is hasonló tapasztalatokra jutottak. Pl. a svéd BROR WIDELAND azt írja 9), hogy a működési hőmérséklet nem állandó és ezért legalább a mérési időny elején és végén is újból meg kell határozni. A hőmérsékleti javítás képlete is csupán a működési hőmérséklettől számított

hőmérsékletkülönbség bizonyos értékéig alkalmazható. A finn TAUNO HONKASALO a Finn Geodéziai Intézetben végzett hasonló vizsgálatokat. 10).

A megállapított új hőmérsékleti korrekció alkalmazásával néhány napi észlelést újból átszámítottam és azt tapasztaltam, hogy az eredményeket jobban elsimitja, mint az eredeti hőmérsékleti korrekció. Az eredmények azonban azt is mutatják, hogy 38° C-on felüli hőmérsékletek és hirtelen hőmérsékletváltozások hatásának javítására nem alkalmas ez sem. Éppen ezért a termosztát 42°-os fokozatának alkalmazása nem előnyös, továbbá igen nagy gondot kell arra fordítanunk, hogy műszerünket hirtelen bekövetkező hőmérsékleti hatásoktól megóvjuk.

V. Különböző azimutokban végzett észlelések; a mágneses hatás vizsgálata

Ismeretes, hogy vannak olyan graviméterek, amelyek *különböző azimutokba forgatva* más és más értéket adnak. Ennek okát leginkább a földi mágneses tér hatásával szokás magyarázni. A legtöbb graviméter leírásában ezt a hatást megemlítik ugyan, de általában elhanyagolhatónak vélik. Sokszor ennek ellenére ezek a hatások mégis számottevők és ilyen esetben alkalmazandó korrekciók nagyságát tapasztalati úton a műszer forgatásával állapítják meg. A Nörngaard-gravimétert ismertető leírásokban 6, 7, 8) ilyen hatásokról egyáltalán nincs szó. Valószínűleg azért, mert a műszer szerkezeténél fogva ilyen hatás nem is várható. Kísérleti úton is erre az eredményre jutottam. Több ízben a laboratóriumban és a terepen is több észlelési sorozatot hajtottam végre a műszer különböző azimutokba való beállításával. Eltérések nem mindig adódtak. Egyes észlelési sorozatokban adódtak ugyan igen kis különbségek, de ezek oly rendszertelenek voltak, hogy ezekből sem azimuthatásra, sem mágneses hatásra következtetni nem lehet. A rendszertelenség valószínű oka az, hogy a műszer nem forgatható, ezért mindig újabb felállítással kellett újabb azimutállásba helyezni. Az észlelt kis eltérések csupán az újabb felállítással és az újraszintezéssel együttjáró változásnak és a hőmérséklet hatásának tekinthetők.

A *mágneses hatás* megvizsgálására a Dan la Cour-féle BMZ műszer főmágnesével is végeztem kísérletet. Ez a főmágnes néhány centiméter távolságban a földi mágneses térrel egyenlő nagyságrendű hatást idéz elő. Ezt a mágneszt a graviméter körül kb. 5—10 cm távolságban vertikális és horizontális helyzetben mozgatva, a két szál koincidencia-helyzetében semmi-féle elmozdulást nem tapasztaltam.

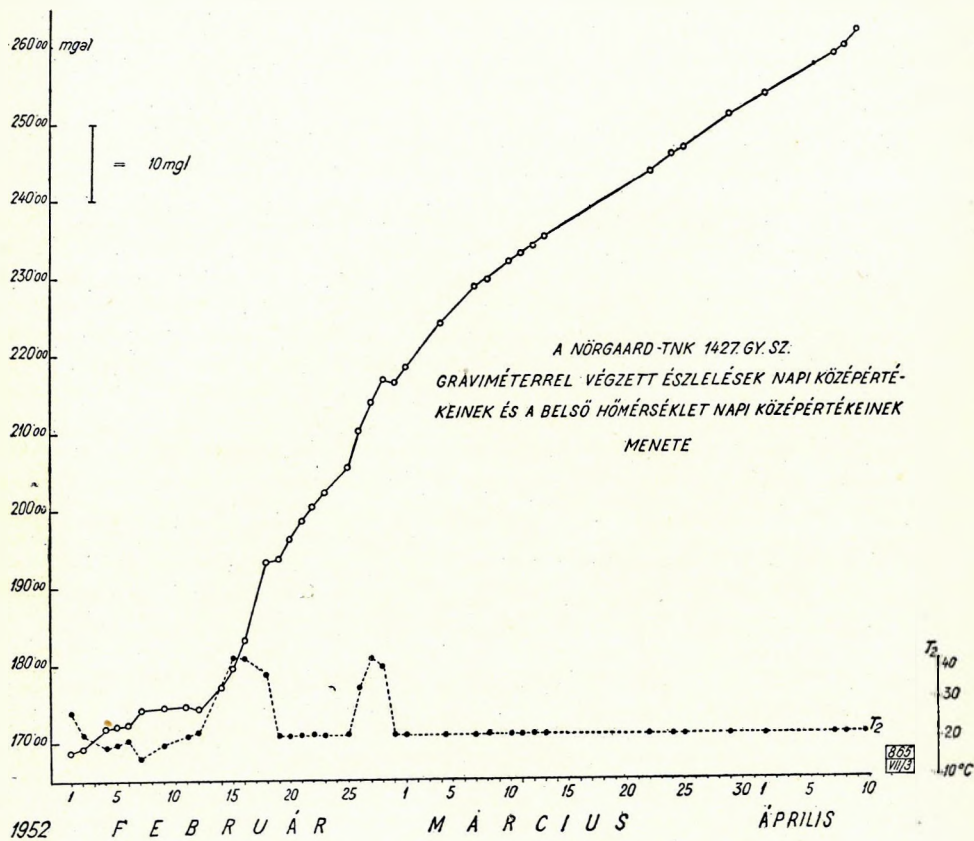
VI. A műszerjárás vizsgálatai

Ugyanazzal a műszerrel ugyanazon a helyen különböző időben észlelt értékek eltérnek egymástól. Ezt az eltérést az idő függvényében kifejezve a műszer járásának nevezzük. A műszerjárás szabályos menetét a műszer állapotában végbemenő fizikai változások okozzák (pl. a rügő megnyúlása, a kvarcszál torziós nyomatékának megváltozása). A műszerre ható hirtelen behatások (pl. hőmérsékletváltozás, ütődés, rázódás stb.) következtében a járás egyenetlenné és szabálytalanná válik.

A Nörngaard-graviméterrel végzett kísérleti mérések során a műszer járását laboratóriumban is és a terepen is tanulmányoztam.

A *laboratóriumi észlelések* folyamán azt tapasztaltam, hogy a műszer egyhelyben állva napról-napra nagyobb leolvasási értéket ad. A kísérleti

méréseket — mint már említettem — termosztát nélküli észlelésekkel kezdtem meg. Ekkor még nem látszott semmi rendszeresség a műszer járásában. Azonban amikor a műszert termosztáttal fűtöttük, akkor a műszer járása megváltozott. A tapasztalat azt mutatta, hogy amikor a műszer belső hőmérséklete állandóvá vált, akkor a leolvasási értékek növekedése napról napra kb. egyenlő nagyságú lett. Ezt az egyenletes napi műszerjárást a



3. ábra

termosztát átkapcsolása erősen megzavarta. Amikor a műszer felvette az új hőmérsékletet, a napi járás ismét egyenletessé vált. Mivel a napi észlelési eredmények csipkézettek voltak, ezért ezek közvetlenül a napi járás tanulmányozására nem voltak alkalmasak. Hogy a napi járásról megfelelő áttekintő képet nyerhessünk, azért egy olyan grafikont szerkesztettem, amelyen az észlelési napokat időrendben mint abszcisszákat, a napi észlelések számtani középértékét mint ordinátákat tüntettem fel. Továbbá feltüntettem a műszer belső hőmérsékletének a napi középértékét is. (3. ábra). A nyert grafikonból is kitűnik, hogy a napi műszerjárást a hőmérséklet igen erősen befolyásolja. A műszer járása a termosztát alacsonyabb hőmérsékletén (21° C körül) kb. 1—1,2 mgal naponként. A magasabb (42° C körüli) hőmérséklet a műszer járását úgylátszik erősen megzavarja és amikor ez a

hőmérséklet egyenletessé válik, akkor is a műszer járása igen nagy és helyenként még a napi 5 mgal is eléri. Ha ezt az ábrát megnézzük, igen feltűnő, hogy a görbe február 12-ig igen lapos. Ezután ugrik csak fel és úgy látszik, mintha a február 14-én történt felfűtése a műszernek a termosztát második fokozatára, a műszert igen nagy mértékben és maradandóan megzavarná. Az így megnövekedett műszerjárás még napokkal később az alacsonyabb hőmérsékleten is több, mint 2 mgal. Az újbóli felfűtés miatt újból megnő a műszerjárás. Lehűtéskor a műszerjárás lecsökken, de csak a lehűtés napján. Ez is azt mutatja, hogy a műszert nem ajánlatos a 42°-os termosztát hőmérsékletére felfűteni. Már a kísérletek során is sűrűn hangoztattam, az előző fejezetben is megjegyeztem, hogy a 22—42°-os kontakt hőmérő helyett a termosztátot 22—33°-os kontakt hőmérővel kellene kicserélni.

Terepen végzett méréseknél az eszközjárás görbéit az ismétlésekből szokás megszerkeszteni. Szabályos járás esetén az egyes mérési pontokon nyert járásvonalak egymással párhuzamos egyenesek, vagy pedig irányváltozásuk fokozatos menetet ad. Terepméréseinkben általában olyan járásvonalakat kaptunk, amelyek a laboratóriumban észlelt napi járásnak megfelelő menetet mutattak. Tehát a terepen tapasztalt járás is általában pozitív volt, átlagosan 0,05 mgal óránként. Előfordult ennél nagyobb, sőt negatív irányú eszközjárás is. Ezeket a szabálytalanságokat bizonyára a műszer nagyobb rázkódásai vagy pedig hirtelen hőmérsékletváltozások okozhatták. A műszer tájékoztatója 8) is felhívja a figyelmet arra, hogy az eszközt ne tegyük ki nagyobb rázkódásoknak, mert ezek a rázkódások a kvarcszál rugalmas tulajdonságaiban és ennek következtében az eredményekben is szabálytalanságokat eredményezhetnek.

Az egyirányú műszerjárás idővel a leolvasások oly nagymértékű megnövekedésére vezet, hogy a készülék újra beszabályozása válhat szükségessé. Ezért a műszert úgy szerkesztették meg, hogy a kvarcszál torziója szabályozható. 8).

VII. A műszer érzékenysége

A műszer működési elvének ismertetésében láttuk, hogy a relatív nehézségi érték kiszámítása a következő formula szerint történik:

$$g_r = C \cdot m^2.$$

m a mikrométerleolvasásoknak mm-re átszámított és a mikrométercsavar nullhibájával javított értékét jelenti. A mikrométercsavar teljes körülfordulása fél mm-nek, a csavarfej 1 beosztása 0,005 mm-nek felel meg. Ha az egész mm leolvasást m_0 -lal, a csavarfejen történő leolvasást M -mel, a nullhiba javítást S -sel jelöljük, akkor

$$m = (m_0 + 0,005 M) - S$$

A műszer érzékenységét, vagyis a M leolvasás egységnyi változásához tartozó értékváltozást úgy kapjuk meg, hogy g_r -et M szerint differenciáljuk 8):

$$E = \frac{dg_r}{dM} = 2 \cdot 0,005 \cdot C \cdot m = 0,01 \cdot C \cdot m \text{ mgal/osztás.}$$

Tehát a műszer érzékenysége a leolvasás nagyságától függ. Nagy leolvasások esetén a műszer érzéketlenebb.

Mint már említettem, műszerünk állandó pozitív járása miatt a le-

olvasások annyira megnövekednek és ezáltal az érzékenysége annyira megváltozik, hogy emiatt a kvarcszál torziójának megváltoztatásával át kell szabályozni. A műszer érzékenységének a megváltozása az egyhelyben történő növekedő leolvasások miatt igen jelentős. A Geofizikai Intézet 5. sz. helyiségében észlelt növekedő leolvasások következtében a műszer érzékenységének a megváltozása a következő volt: február elején a leolvasások kb. 5,5 körüliek voltak. C értékét 7 egésznek véve, ekkor 1 skálarésznek megfelelt kb. 0,4 mgal. Április végén a leolvasások megnövekedtek 7,5 körülire. Ekkor tehát a műszer érzékenysége kb. 0,5 mgal körülire változott meg.

Van azonban a műszer nagy járásának következtében az érzékenységnek egy másik változása is. Az észlelt értékek egyenletes növekedését a kvarcrendszer paramétereinek egyirányú megváltozása okozza. Ha a kvarcszál torziós nyomatéka fokozatosan csökken, akkor nyilván fokozatosan csökken az a nehézségi erő is, amely a lengő kvarcrudat T_0 hőmérsékleten vízszintes koincidencia helyzetben tartja. De ha ez a g_0 megkisebbedik, akkor a műszernek ezzel arányos C szorzója is ennek arányában megkisebbedik. Tehát ha továbbra is ez eredeti C -vel szorzunk, akkor helytelen eredményeket kapunk. Ha pl. a leolvasások ugyanazon a helyen 5,0-ről 15,0 mm-re változnak meg, ami a kezdeti állapothoz képest bekövetkezett kb. 1 400 mgal összes járásnak felel meg, akkor 50 mgal-os relatív g különbség esetén az eredeti C -vel kiszámított eredmény hibája már + 0,07 mgal tesz ki. A g_0 értékének a megváltozása akkor jelentős, amikor a műszer át szabályozzuk. A műszer tájékoztatója a műszer szorzó-állandójának a műszerjárás miatt bekövetkező megváltozásáról sehol sem tesz említést.

Graviméterek érzékenységének ellenőrzése elég nehéz feladatot jelent. Általában úgy szokás ezt végrehajtani, hogy két terepponton többszöri méréssel meghatározzák a nehézségi különbséget és az idő folyamán ellenőrzik, hogy a műszer ugyanezeket a különbségeket adja-e. A műszer érzékenysége a műszer döntésével, továbbá erre a célra alkalmas toronyban különböző magasságokban végzett mérésekből is megvizsgálható. 4)

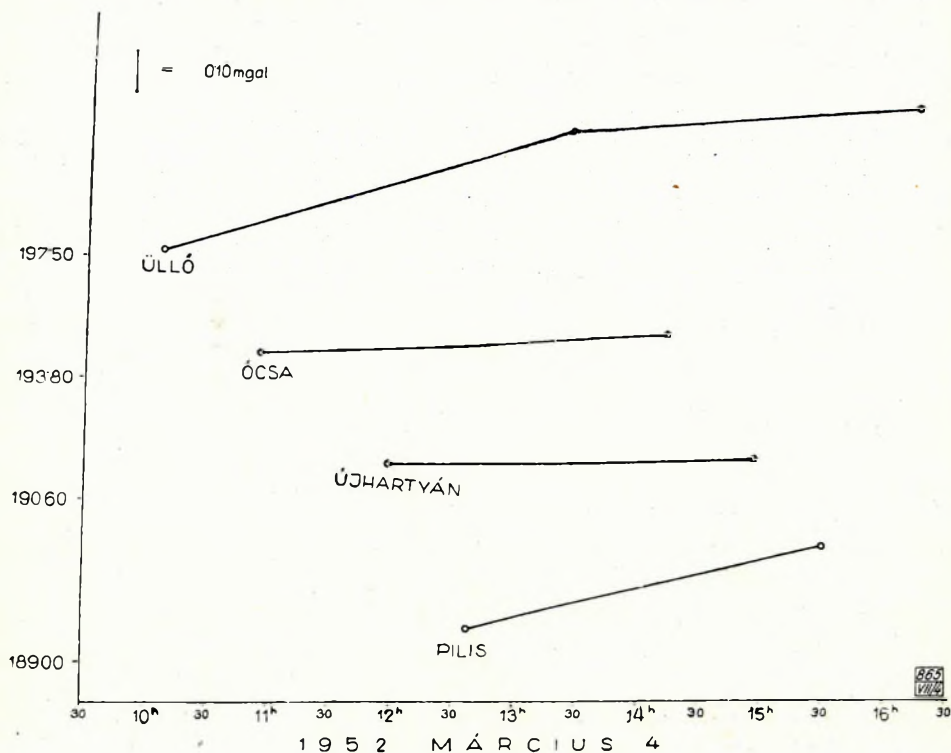
A Nörngaard-graviméter érzékenysége sokkal egyszerűbb módon is ellenőrizhető. A gyári besabályozást elegendő pontosságúnak tekintve egy bizonyos helyen mérést végzünk, amikor a műszer járása még 0-nak vehető. Ezután az ellenőrzést úgy hajtjuk végre, hogy időnként erre a helyre visszatérünk. Az észlelt értékek megváltozásából a g_0 megváltozása, tehát a műszer érzékenységének megváltozása is kiszámítható. Ha ilyen észlelés nem áll rendelkezésünkre, akkor úgy kell eljárunk, hogy legalább egy alkalommal olyan helyen végzünk mérést, ahol a g abszolút értéke ismeretes.

VIII. Összehasonlító mérések a terepen

Terepméréseket olyan helyeken végeztünk, ahol a Geofizikai Intézet Heiland-féle gravimétereivel már voltak észlelések.

Az első összehasonlító mérést 1952 március 4-én végeztük. A mérés a II. sz. Heiland-graviméterrel mért másodrendű országos graviméteres alaphálózat *üllői, ócsai, újhartyáni és pilisi* pontjain történt. Kiindulás előtt és visszaérkezés után az Intézet 5. sz. helyiségében is végeztünk észleléseket. A méréseket az előző felsorolás sorrendjében végeztük, ugyanebben a sorrendben megismételtük és végül az üllői ponton zártuk. A graviméter a mérés tartama alatt a termosztát első fokozatán (21,7° C-on) állandóan fűtve volt. A műszer belső hőmérséklete 21,5 és 21,3° C között, külső hőmérséklete

13 és 17° C között ingadozott. Hőmérsékleti javítást nem alkalmaztunk; a hőmérsékleti hatást a műszer járásában vettük figyelembe. A műszer járása 8 óra alatt 1 mgal-t tett ki (4. ábra). A kapott nehézségkülönbségek közép-



4. ábra

értékei a Heiland II. műszerrel nyert eredményekkel összehasonlítva a következők:

Állomás	g különbség mgalban		Eltérés absz. értékben Δ mgal
	Nörngaard	Heiland II.	
Üllő → Ócsa	-3,87	-3,90	0,03
Ócsa → Újhartyán	-3,23	-3,24	0,01
Újhartyán → Pilis	-1,51	-1,53	0,02
Pilis → Üllő	+8,65	+8,67	0,02

A következő mérést 1952 március 11-én hajtottuk végre a másodrendű alaphálózat cinkotai, gödöllői, isaszegi és péceli pontjain a felsorolás sorrendjében. A mérést most is ugyanebben a sorrendben megismételtük és a cinkotai bázison zártuk. A műszer e mérés folyamán is a termosztát első fokozatára

volt bekapcsolva. A műszer belső hőmérséklete állandóan $21,4^{\circ}\text{C}$ volt, külső hőmérséklete 17 és 13°C között ingadozott. A műszer járása szabálytalan, nemcsak pozitív, hanem negatív is volt (5. ábra), úgyhogy a mérés előtt és után az Intézetben végzett észlelés 9 óra eltelte után csak $0,3$ mgal eltérést mutatott. Ennek ellenére az észlelt nehézségkülönbségek középértéke most is jól megegyezik a Heiland II. műszerrel mért különbségekkel. Kivétel az Isaszeg és Pécel között mért különbség, amely $0,28$ mgallal kisebb, mint a Heiland-műszerrel mért érték. Érdekes, hogy a negatív járás éppen a péceli ponton mutatkozott.

Ezt a mérést 1952 március 25-én újból végrehajtottuk. Ebben a mérésben a műszer járása sokkal egyenletesebbnek mutatkozott, mint az elsőben (6. ábra). Az eredmények a következők:

Állomás	g különbség mgalban		Eltérés abszolút értékben Δ mgal
	Nörgaard	Heiland II.	
1952. március 11.			
Cinkota \rightarrow Gödöllő	— 10,16	— 10,15	0,01
Gödöllő \rightarrow Isaszeg	— 0,16	— 0,14	0,02
Isaszeg \rightarrow Pécel	— 7,58	— 7,86	0,28
1952. március 25.			
Cinkota \rightarrow Gödöllő	— 10,30	— 10,15	0,15
Gödöllő \rightarrow Isaszeg	— 0,08	— 0,14	0,06
Isaszeg \rightarrow Pécel	— 7,76	— 7,86	0,10

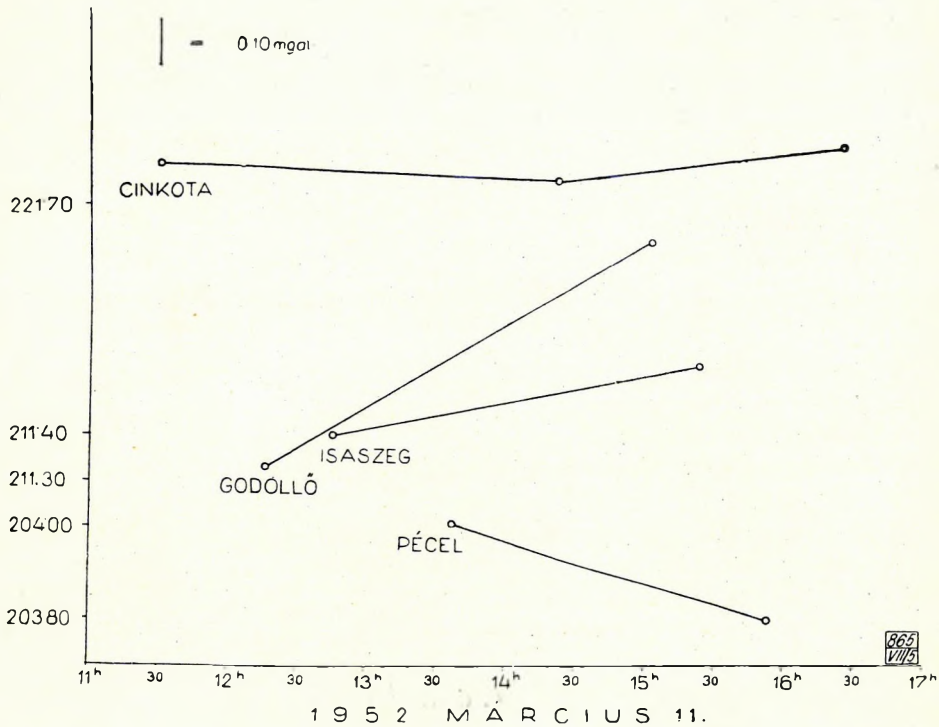
1952 március 12-én a Jánoshegyen létesített két összehasonlító alapállomáson és a Petneházi-réten levő másodrendű alapponton végeztünk méréseket. A méréseket a Petneházi-réten kezdtük és a jánoshegyi alsó és felső ponton folytattuk, ugyanebben a sorrendben megismételtük és végül a Petneházi-réten zártuk. A műszer járását a 7. ábra tünteti fel. Ezek a pontok április 1-én egyszeresen, április 7-én kétszeresen a mérést ismét végrehajtottuk. E mérési eredmények középértékei összehasonlítva az I. és II. sz. Heiland-műszerek eredményeinek középértékeivel a következők:

Állomás	g különbség mgalban		
	Nörgaard	Heiland I.	Heiland II.
Petneházi r. \rightarrow Jánoshegy alsó	—25,98	—25,96	—25,84
Jánoshegy alsó \rightarrow Jánoshegy felső	—28,21	—28,19	—27,885

Érdekes, hogy ezeken a pontokon a Heiland I. és a Nörgaard-műszer eredményei sokkal jobban megegyeznek, mint a két Heiland-műszer eredményei egymás között.

Zsámbék környékén március 13-án és április 8-án végeztünk méréseket. Az állomások köves úton egymástól kb. 2 km távolságban voltak elhelyezve.

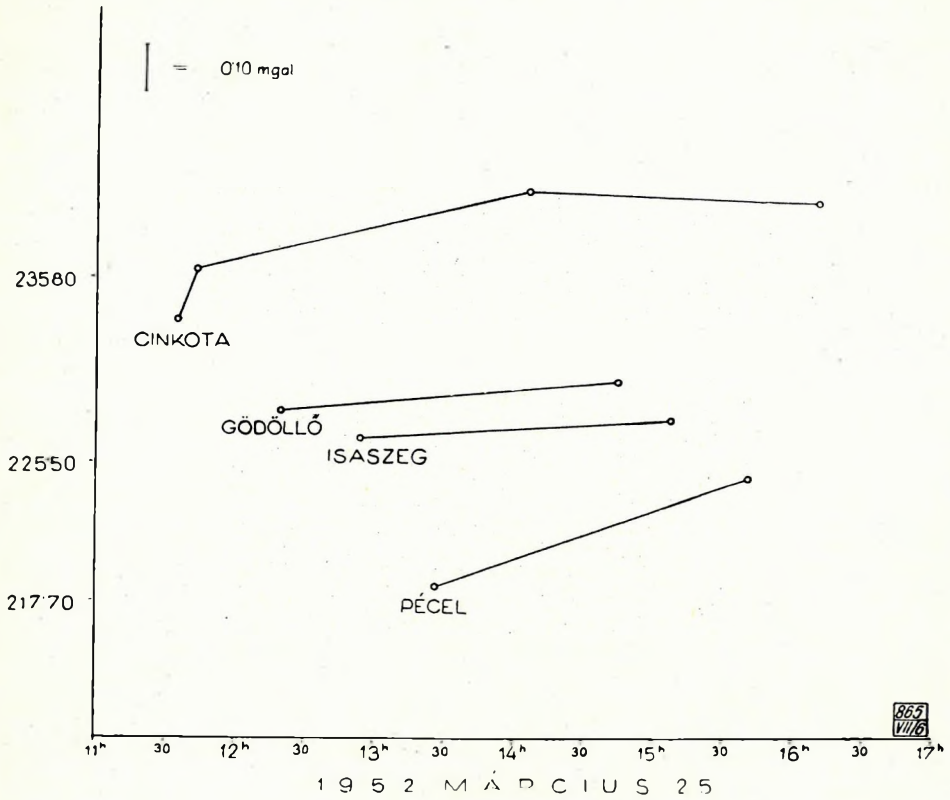
Egy-egy mérési láncolat 5 állomásból állt. Ezután visszatértünk a bázisra. Ezeken az állomásokon is mindkét Heiland-graviméterrel végrehajtották a méréseket és így alkalmunk nyílt a Nörgaard-graviméter *teljesítőképességét*



5. ábra

a Heiland-graviméterekével összehasonlítani. A tapasztalat azt mutatta, hogy a mérés a Heiland-műszerekkel sokkal gyorsabb, mert az észlelés egyszerűbb és egy-egy állomáson a szükséges leolvasások száma is kevesebb. Ezekkel a műszerekkel az észlelések a gépkocsiban történnek. A Nörgaard-gravimétert jelenleg méréskor a gépkocsiból ki kell venni. Ennek azonkívül, hogy a mérés lassú, más hátrányai is vannak. A gépkocsiban a műszer más hőmérsékleten van, mint szabadban és ennek következtében hirtelen hőmérsékletváltozásoknak van kitéve. Ha olyan gépkocsiban szállítjuk, amelyik nyitott, akkor pedig műszerünket egyrészt légáramlásoknak, másrészt pedig közvetlen sugárzásoknak tesszük ki. Mivel az észlelés a szabadban történik, a műszer ki van téve az időjárás viszontagságainak. Annak ellenére, hogy a műszer a talajrezgésekre nem nagyon érzékeny, széles időben a mozgó tükörről visszavert kép nagyon rezeg és ennek következtében vagy egyáltalán nem, vagy pedig igen lassan és nem megnyugató módon végezhetjük az észlelést.

Kísérlet történt arra vonatkozóan is, hogy *egyszeri mérés* elegendő pontosságot biztosít-e. Az eredmény azt mutatja, hogy *legalább kétszeri mérés* szükséges ahhoz, hogy tized milligalnál pontosabb eredményeket kapjunk.



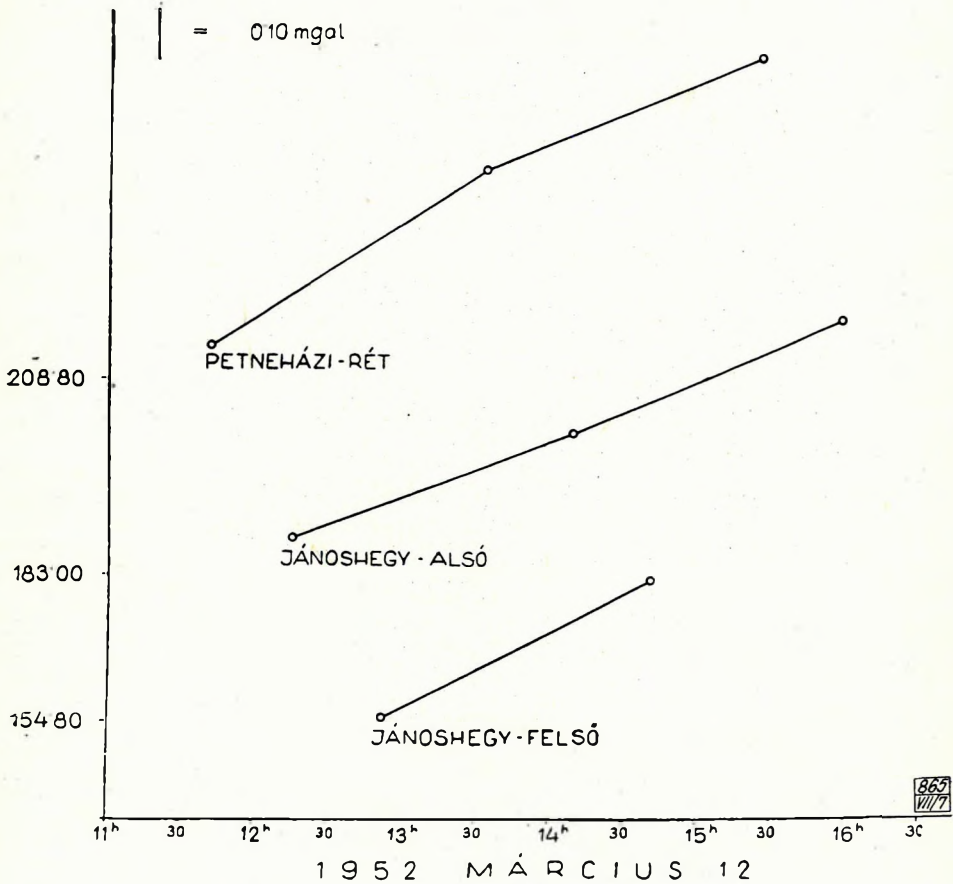
6. ábra

A következő eredmények mindhárom graviméterrel végzett kétszeri mérések középértékei:

Állomás	g különbség mgalban		
	Nörgaard	Helland I.	Heiland II.
II. r. bázis	0	0	0
1.	+ 4,34	+ 4,14	+ 4,13
2.	+ 14,00	+ 14,08	+ 13,89
3.	+ 13,10	+ 13,14	+ 13,01
4.	+ 8,19	+ 8,24	+ 8,22
4. bázis	0	0	0
5.	— 2,12	— 2,20	— 2,15
6.	+ 0,66	+ 0,64	+ 0,64
7.	— 2,36	— 2,41	— 2,37
8.	— 2,37	— 2,44	— 2,36
9.	— 2,12	— 2,10	— 2,12

Ha ezeket az eredményeket összehasonlítjuk, azt látjuk, hogy a Nörgaard-műszer eredményei a Heiland műszerek eredményeihez képest ugyanolyan rendű eltéréseket mutatnak, mint a Heiland műszerek eredményei egymás között.

* * *



7. ábra

A Nörgaard-graviméterrel a terepen végzett kísérleti méréseim eredményei 19 nehézséggyorsulás-különbség meghatározására összesen 76 adatot szolgáltatottak. Ugyanannak a különbségnek az eredményeiből középértéket számítottam. A középérték képzésében minden mérési eredményt, a kiugró értékeket is felhasználtam. A nyert középértékektől számított *eltérések vizsgálata* a következő eredményeket adta:

Leggyakoribb eltérés:	0,04 mgal
Valószínű	„ : 0,07 „
Átlagos	„ : 0,09 „
Szórás	: 0,11 „

Az eltérések kétharmad része 0,1 mgalnál kisebb volt. 0,2 mgalnál nagyobb elérés mindössze hatszor fordult elő.

A mérések eredményeiből a középhibákat is kiszámítottam. A középhibákat az itt következő táblázatban foglaltam össze:

A Nörgaard TNK 1427. gy. sz. graviméterrel végzett ismételt mérések középhibái

Állomás	A meghatározások száma n	Az egyes meghatározások középhibája $\sqrt{\frac{[\delta\delta]}{n-1}}$	A középérték középhibája $\sqrt{\frac{[\delta\delta]}{n(n-1)}}$
Üllő—Ócsa	3	0,13 mgal	0,07 mgal
Üllő—Pilis	3	0,06 "	0,03 "
Ócsa—Újhartyán	2	0,03 "	0,02 "
Újhartyán—Pilis	2	0,08 "	0,05 "
Cinkota—Gödöllő	6	0,18 "	0,07 "
Gödöllő—Isaszeg	4	0,12 "	0,06 "
Isaszeg—Pécel	4	0,16 "	0,08 "
Petneházirét—Jánosh. alsó	7	0,13 "	0,05 "
Jánosh. alsó — Jánosh. felső	6	0,13 "	0,05 "
Zsámbék II. r. B. — 1.	5	0,22 "	0,10 "
II. r. B. — 2.	5	0,08 "	0,04 "
II. r. B. — 3.	5	0,08 "	0,04 "
II. r. B. - 4. B.	6	0,07 "	0,02 "
4. B. — 5.	3	0,07 "	0,04 "
4. B. — 6.	3	0,16 "	0,09 "
4. B. — 7.	3	0,14 "	0,08 "
4. B. — 8.	3	0,10 "	0,06 "
4. B. — 9. B.	3	0,10 "	0,06 "
9. B. — II. r. B.	3	0,04 "	0,03 "
Átlag	4	0,11 mgal	0,05 ₅ mgal

Ezek az eredmények is mutatják, hogy többszörös mérésben a Nörgaard-graviméterrel is tizedmgalnál pontosabb eredmények érhetők el.

A zsámbéki összehasonlító mérés tapasztalata azt mutatta, hogy a Nörgaard-graviméter *kis távolságú mérésekben elmarad* a Heiland-graviméterek mögött. Ezzel szemben a másodrendű gravitációs alappontokon végzett összehasonlító méréseink és külföldi tapasztalatok (11, 12) azt mutatták, hogy a Nörgaard-gravimétert *igen előnyösen lehet nagytávolságú alappontmérésekre és áttekintő felvételekre alkalmazni*. Ugyanis ennek a műszernek más graviméterekkel szemben igen előnyös tulajdonsága az, hogy a *mérési tartománya igen nagy*: 2000 mgal (6). Ez azt jelenti, hogy a műszerrel a mérési tartomány átállítása nélkül igen nagy területek nehézségkülönbsége megmérhető. A különböző jellegű összehasonlító mérések mindegyikében azt láttuk, hogy a Nörgaard-graviméterrel a *megkívánt pontosság elérhető*.

IRODALOM

1. A GRAF-féle graviméter leírása és a vele Budapest környékén végzett összehasonlító mérések. Jelentés a Geof. Int. működéséről. Bp. 1942. 16. oldal.
2. DOMBAI Tibor: Jelentés az Erdélyben végzett graviméteres mérésekről. U. ott 18. oldal.
3. DOMBAI Tibor: Jelentés az 1943. évben Erdélyben végzett graviméteres mérésekről. Jelentés a Geof. Int. működéséről, 1943. 13. oldal.
4. FACSINAY László: A dunántúli relatív ingaállomásokon mért nehézségi anomáliák újabb meghatározása graviméterrel. Doktori értekezés. Pécs 1942.
5. Dr. FACSINAY László: Jelentés a Heiland-graviméterrel végzett mérésekről 1949. dec. 26—1950. márc. 15. között. Gépírásos Maort jelentés. Keszthely 1950.
6. Description of the Nörgaard-Gravimeter. 1949.
7. Nörgaard Gravimeter. Type 1950.
8. Directions for Use of the Nörgaard Gravimeter. 1949. Appendix to Directions for Use of the Nörgaard Gravimeter. 1951.
9. Relatív nehézséggyorsulás mérések Svédországban 1941—47-ben. Bror Wideland cikke a Balti Geodéziai Bizottság 1948-as kiadványában. Kürti Vilmos ismertetése a Geodéziai Közlöny 1949. évi 3—5. füzetében 67. oldal.
10. A Nörgaard-graviméterre vonatkozó néhány vizsgálat. (Tauno Honkasalo állami földmérő a Finn Geodéziai Intézetben.) Kürti Vilmos ismertetése u. ott, 72. old.
11. Gravity Comparisons Oslo—Teddington, Stockholm, Copenhagen, Den Norske Gradmålingskommisjon og Norges Geografiske Oppmåling. Oslo 1950.
12. T. KOLBENHEYER: Report on Gravity Investigations carried out with the Nörgaard Gravimeter TNK 379 in 1948—49. Bratislava 1951.