Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet
GEOFIZIKAI KÖZLEMÉNYEK
I. kötet, 3. szám

К. ЛАШШОВСКИ — С. ОСЛАЦКИ:

ВЛИЯНИЯ СОЛНЦА И ЛУНЫ НА ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

В первой части статьи изложен применённый нами метод определения лунно-солнечного влияния (см. график 1 и 2) с учётом изменения параллакса солнца и луны (см. таблицу на стр. 17). Во второй части статьи изложены гравиметрические наблюдения, выполненные в 1951-ом году в городе Будапеште в течении 37 дней одновременно двумя приборами, в первую очередь для испытания лунно-солнечного влияния и смещения нульпункта (см. фигуру 3). Третья часть представляет определение так называемого деформационного коэффициента, т. е. отношения наблюдённого луннс-солнечного влияния к вычисленному лунно-солнечному влиянию. Это определение получилось из данных серии будапештских измерений (из пяти часты этих измерений длительностью примерно 30 часов) и из данных измерений, выполненных в 1950-ом году в городах Кестхей и Печ длительностью примерно полтора дня (см. фигуры 4—9). Для деформационного коэффициента из этих вычеслений подучилась средняя величина в 1,16.

K. LASSOVSZKY — S. OSZLACZKY:

THE TIDAL VARIATION OF GRAVITY

1. Description of the method used by the authors for the determination of the tidal variation of gravity (Diagrams 1 and 2), in special consideration of the parallaxes of sun and moon (Table, p. 17). — 2. Interpretation of the measurements carried out simultaneously with two gravity meters in the course of 37 days in 1951 in Budapest, mainly with regard to the tidal effects, and the drifts of instruments (Chart No 3). — 3. Determination of the ratio of the observed tidal variations to the theoretical values for a rigid earth from following measurements: five series o observations made in Budapest, and such made in Keszthely and Pécs in 1950, all off which lasted about one day and a half (Chartes Nos 4—9). The calculations gave 1,16 as a mean value for the ratio of the amplitudes (Table, p. 27).

A NAP ÉS A HOLD GRAVITÁCIÓS HATÁSA A GRAVIMÉTERMÉRÉSEKRE

LASSOVSZKY KÁROLY ÉS OSZLACZKY SZILÁRD

A graviméteres észlelések gyakorlati feladata a nehézségi gyorsulás különböző helyeken mutatkozó eltérésének meghatározása. Mivel a műszerrel leolvasott értékek bizonyos, a műszerben rejlő s teljesen ki nem küszöbölhető tényezők miatt egy és ugyanazon a helyen is lassan változnak, ezt a változást, az ú, n. műszerjárást az észlelésekből valamilyen módon meg kell állapítanunk és tekintetbe kell vennünk. De még előzőleg az észlelt értékeket mentesítenünk kell a luniszoláris hatástól, melynek következtében a nehézségi gyorsulás szintén állandóan változik.

A luniszoláris hatás okozta nehézségi gyorsulás-változás valójában nagyobb, mint azt a közvetlen számítás adja, mivel ez a számítás merev Föld feltételezésével történik. A luniszoláris hatás *teljes* kiküszöbölésére szolgáló korrekció tehát nagyobb. A számításból adódó korrekciót szorozni kell egy, a Föld deformációjától eredő tényezővel.

E tényező nagyságának megállapításán kívül fontos annak a megállapítása is, hogy ez a tényező a földrajzi hely szerint mennyire változik (vagy egyáltalában változik-e).

Ez utóbbi adat talán idővel nagyobb kiterjedésű, mélyben levő tömegek elotolódására engedhet következtetést vonni.

Mielőtt e deformációs tényező megállapításának a módszerére rátérnénk, mely módszer egyben a luniszoláris hatás, valamint a műszerjárás megállapítását is magában foglalja, másszóval mielőtt a graviméteres regisztrálások ú. n. globális elemzésére rátérnénk, előzőleg arról szólunk, miként befolyásolja a Nap és a Hold parallaxisváltozása a luniszoláris hatást, s egyben ismertetjük a luniszoláris hatás megállapításának általunk alkalmazott módját.

1. A Nap és a Hold parallaxisváltozásának tekintetbevétele

A Nap és a Hold hatása a nehézségi gyorsulásra e két égitest zenittávolságával változik. A nehézségi gyorsulás változása, mint a zenittávolság függvénye, formulával a következőkép fejezhető ki (Hdb. d. Experimentalphysik, 25. Bd., 2 Teil, p 318):

$$\delta g = -\frac{3}{2} f M \frac{R}{r^3}\left[\left(\cos 2z + \frac{1}{3}\right) - \frac{R}{r}(3\cos z - 5\cos^3 z)\right]. \qquad 1)$$

Itt f a gravitációs állandó, R a Föld sugara, M az illető égitest (Nap vagy Hold) tömege, z a zenittávolsága és r a távolsága a Földtől.

Behelyettesítve az állandók számértékeit, a formula a Hold esetében

$$\delta g = -0{,}0824\left[\left(\cos 2z + \frac{1}{3}\right) - 0{,}017\ (3\cos z - 5\cos^3 z)\right]\ mgl. \qquad 2)$$

A Nap esetében az R/r együttható kicsinysége (0,000043) következtében a szögletes zárójelben lévő második tag elhagyható s a formula a következő alakra egyszerűsödik

$$\delta g = -0{,}0376\left(\cos 2z + \frac{1}{3}\right)\ mgl. \qquad 3)$$

E formulák nem vetnek számot azzal, hogy a hatást kifejtő égitest r távolsága nem állandó. Felmerült az r távolság változásával járó hatás tekintetbevételének a kérdése. Hogy e hatást számszerűleg miként kell megállapítani, erről az irodalomban eddig nem találtunk közlést.

Először állapítsuk meg, mekkora értéket érhet el a hiba, ha az r távolságot állandónak vesszük.

A csillagászati évkönyvek r helyett általában az égitestek π horizontális parallaxisát közlik. Ez a következő relációban van az r távolsággal

$$\sin \pi = \frac{R}{r}. \qquad 4)$$

Az r helyett π parallaxist alkalmazva, az 1) formulában a zárójel előtti kifejezés a következőkép alakul:

$$\frac{3}{2} f M \frac{R}{r^3} = \frac{3}{2} f \frac{M}{R^2}\left(\frac{R}{r}\right)^3 = \frac{3}{2} f \frac{M}{R^2}(\sin \pi)^3. \qquad 5)$$

Lássuk most a parallaxisváltozás elhanyagolásának a hatását először a *Nap*nál. A Nap középparallaxisa 8,80″. Kicsinysége folytán

$$\sin \pi = \frac{\pi''}{206265}$$

vehető és az 5) kifejezés a következőkép írható:

$$\frac{3}{2} f \frac{M}{R^2} \left(\frac{\pi''}{206265} \right)^3 = 5{,}5176 \cdot 10^{-3} \, (\pi'')^3,$$

úgyhogy a 3) formula most ezt az alakot veszi fel:

$$\delta g = -5{,}5176 \cdot 10^{-3} \, (\pi'')^3 \quad \left(\cos 2\,z + \frac{1}{3} \right) \text{mgl.} \qquad 3a)$$

Ha a jobboldalon a π helyébe a parallaxis 8,80″ középértéket helyettesítjük be, akkor a $-0{,}0376$ együtthatós 3) formulát kapjuk. A parallaxis változása következtében az együttható változik s a fenti értékből lehetséges legnagyobb eltérés 0,0020. Mivel $\cos 2z + \frac{1}{3}$ szélső értéke $1 + \frac{1}{3}$, tehát akkor, ha a parallaxis változását nem vesszük tekintetbe, az elképzelhető legnagyobb hiba 0,0027 mgl-t tehet ki.

Kezdetben a Nap-hatás kiszámításánál a napparallaxis változását nem vettük figyelembe ama feltevéssel, hogy ennek hatása gyakorlatilag elhanyagolható. A parallaxis változásával járó hatásváltozás megállapítása később történt. Mivel elméleti kutatásoknál általában 0,0001 mgl pontossággal végzik e számításokat, későbbiekben mi is tekintetbe vettük a napparallaxis változását.

A *Hold* esetében a hatásváltozás 1) formulájában az r távolság a zárójelen belül is szerepel, nevezetesen a második tag együtthatójában. Ez az R/r együttható a Hold parallaxisának a sinusa. A 2) formulában ennek középértéke (0,017) szerepel, ami kereken 57′ parallaxisnak felel meg. A Hold keringése közben azonban parallaxisa 53′ alá és 61′ fölé is kerülhet. Az 52′ és 62′ értékeknek megfelelő R/r értékek 0,015 és 0,018. A 0,017 állandónak használatával elkövethető legnagyobb hiba tehát 0,002; az egész zárójeles tagnál pedig 0,008, (mivel $3\cos z - 5\cos^3 z$ szélső értékei -2, illetve $+2$). Ezt még szorozni kell a szögletes zárójel előtti közös együtthatóval, mely maga is változik. Ennek az együtthatónak a 0,0824 középértéktől való eltérése, mint később látni fogjuk, 0,024 lehet. Így tehát, ha a szögletes zárójelen belül a második tagnál a parallaxis változást nem vesszük figyelembe, a legszélső esetben $0{,}008 \cdot 0{,}024 = 0{,}00019$ mgl hibát követünk el. A mérések jelenlegi pontossága mellett ez elhanyagolható. Számítás szempontjából ez igen kedvező körülmény, mert különben a kiértékelésnél használt diagramm, mely a 0,017 együttható állandójának feltevése mellett készült, nem volna használható. (E diagrammról később részletesen szólunk.)

Rátérve most a szögletes zárójel előtti együtthatóra, ha az r távolság helyett a parallaxist vezetjük be és az állandók értékeit behelyettesítjük, akkor ez az együttható a következő alakot veszi fel:

$$\frac{3}{2} f \frac{R}{r^3} = \frac{3}{2} f \frac{M}{R^2} (\sin \pi)^3 = 18050 \; (\sin \pi)^3$$

és a 2) formula a Hold esetére így alakul

$$\delta g = -18050\ (\sin \pi)^3 \left[\left(\cos\ 2z + \frac{1}{3}\right) - 0{,}017\ (3 \cos z - 5 \cos^3 z)\right] \text{mgl.} \quad 2a)$$

Ha a π helyébe az 53′ és 62′ szélső értékeket helyettesítjük, akkor a szögletes zárójel előtti együtthatónál a középparallaxisnak megfelelő 0,0824 helyett 0,0661, illetve 0,1058 értéket kapjuk. Szélső esetben tehát az eltérés a középértéktől, mint előbb említettük 0,024 lehet.

Ha a Nap és a Hold zenittávolságát 1—1 órás időközökre kiszámítjuk, a 2a) és 3a) formulák felhasználásával a Nap- és a Hold-hatás változásáról kielégítő görbét kaphatunk. Első feladat a z zenittávolság meghatározása. A zenittávolság az illető égitest (α, δ) égi koordinátáinak, a megfigyelési hely (λ, φ) földrajzi koordinátáinak és a megfigyelés idejének a függvénye. α és δ csillagászati évkönyvből szedhető ki. α rektaszenzió helyett az égitest t óraszögét

$$t = \alpha - \Theta$$

használva, ahol Θ a helyi csillagidő, a zenittávolság a

$$\cos z = \sin \varphi\ \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \operatorname{cos} t$$

formulával számítható ki.

A Nap- és a Hold-hatás kiszámítása igen körülményes a 3a), illetve a 2a) formulák segítségével. Diagrammokat készítettünk, egyet a $\varphi = 46°$ s egyet a 47,5° (Budapest) földrajzi szélességre, melyekből az illető helyre bizonyos (δ, t)-hez tartozó Nap- vagy Hold-hatás közvetlenül leolvasható. Az ország területének más helyeire a hatás leolvasott értékekből inter-, illetve extrapolációval állapítható meg. Diagrammunkat harmadik végleges alakjában mind a 46, mind a 47,5 fokra szólót, az 1. és 2. kép mutatja be.

Ezek a diagrammok nem vetnek számot a parallaxis változásával, hanem csak a középparallaxisnak megfelelő hatást adják. Anélkül, hogy a különböző parallaxisokra különböző diagrammokat készítenénk, a középparallaxisra kiszámított diagrammok felhasználhatók, csak a kiolvasott értéket a tényleges parallaxisnak megfelelő tényezővel kell szorozni. E tényező nagysága a következőkép állapítható meg:

Ha π_0 a középparallaxis, akkor az ehhez tartozó hatás

$$\delta g_0 = -\frac{3}{2} f \frac{M}{R^2} (\sin \pi_0)^3 \left[\left(\cos 2z + \frac{1}{3}\right) - \frac{R}{r} (3 \cos z - 5 \cos^3 z)\right].$$

Ez az, amit a diagrammból közvetlenül kiovasunk. Ha ezt az egyenletet osztjuk az 1) egyenlettel, mely a π parallaxishoz tartozó δg értéket határozza meg, kapjuk

$$\delta g = \frac{(\sin \pi)^3}{(\sin \pi_0)^3} \delta g_0.$$

A Nap esetén kielégítően

$$\delta g = \frac{(\pi)^3}{(\pi_0)^3} \delta g_0.$$

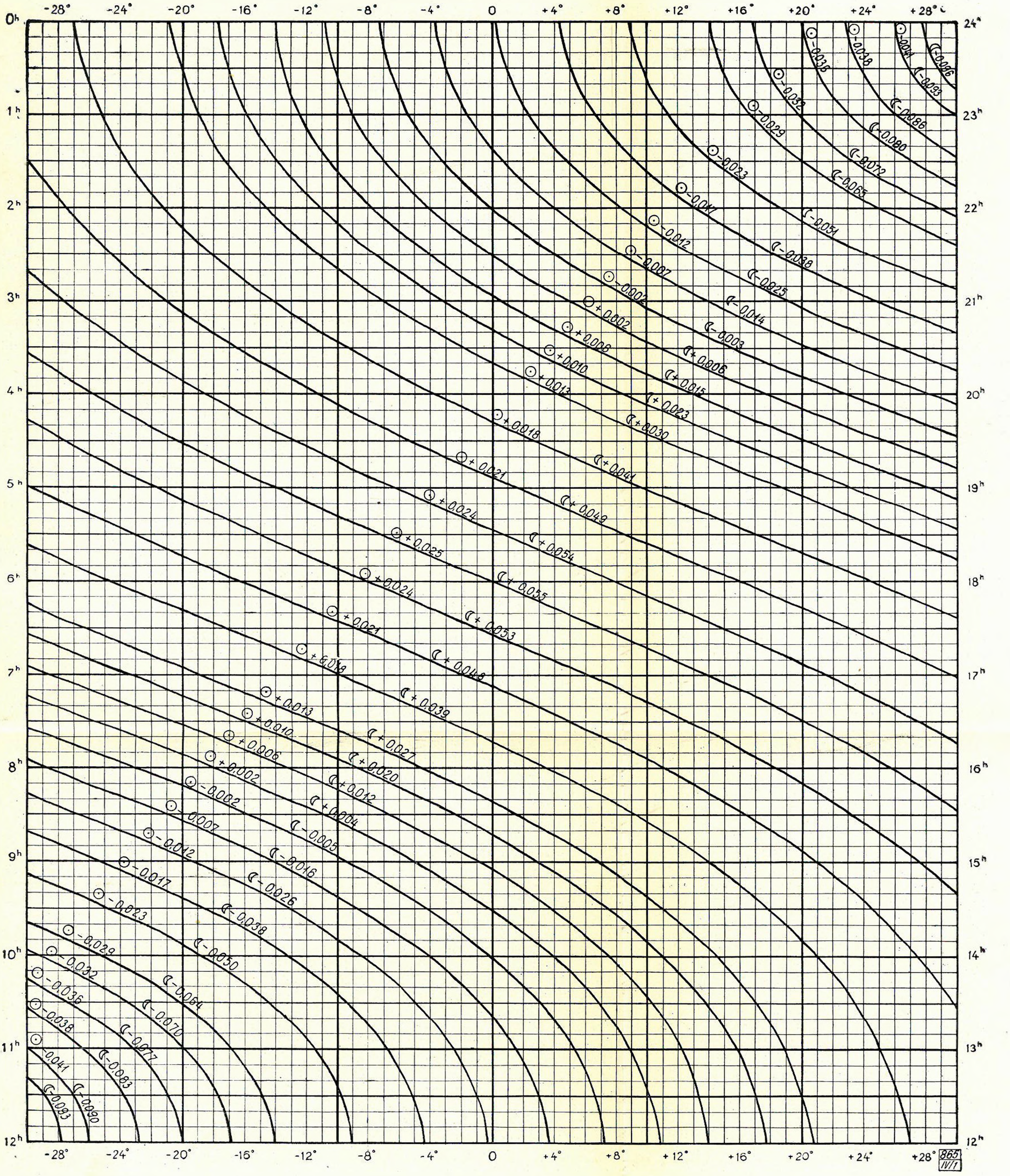
1

1. kép

AZ EGYENLŐ LUNISZOLÁRIS HATÁSOK GÖRBÉI

$\varphi = 46{,}^{\circ}0$

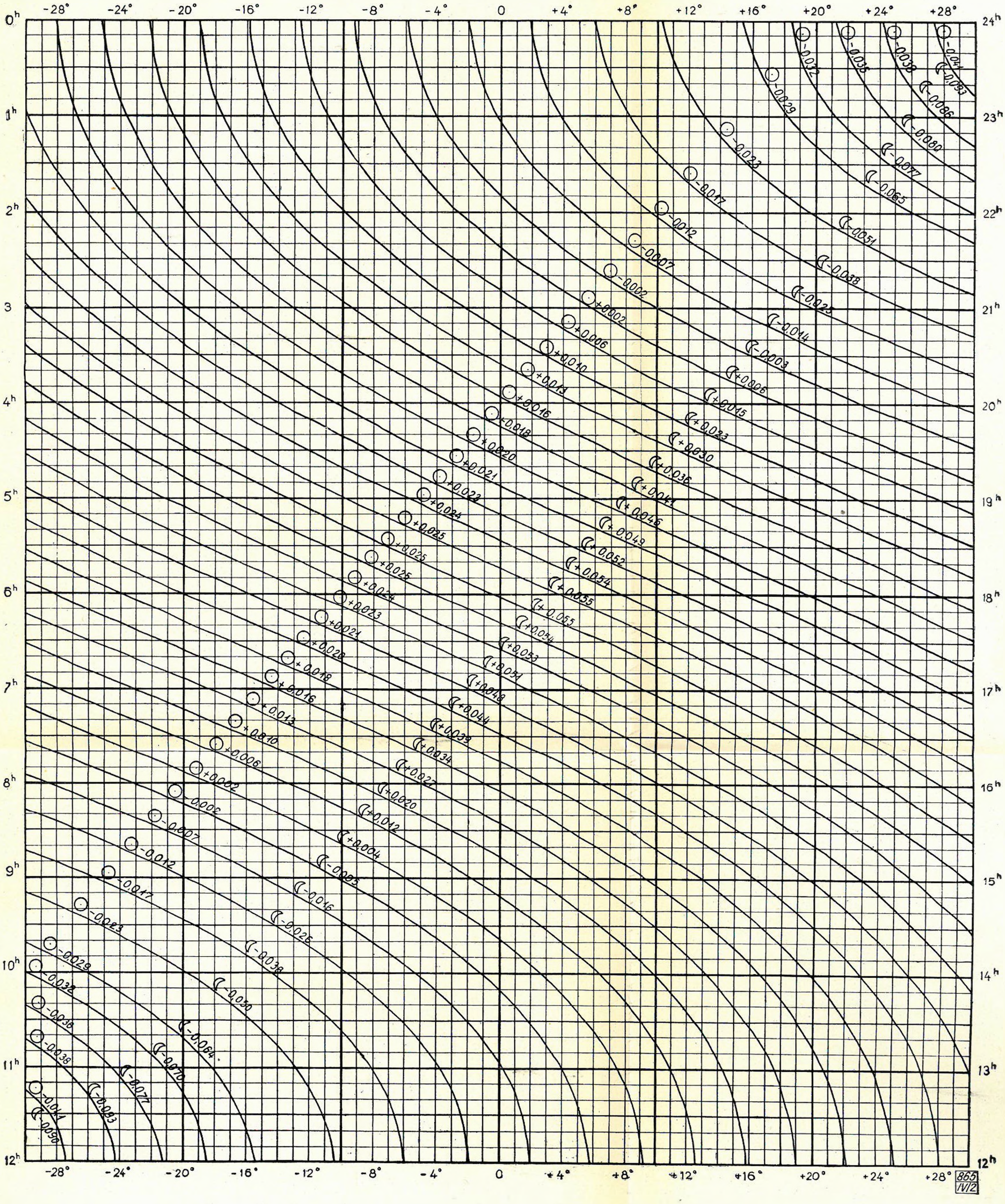
A görbék mellé írt számok azt a hatást jelzik mgl-ban, amennyivel a nehézségi gyorsulás 46°0 földrajzi szélesség alatt megváltozik a Napnak (⊙) illetve a Holdnak (☾) óraszöggel (t, függőleges tengely) és deklinációval (δ, vízszintes tengely) megadott bizonyos pozíciójában. A kiolvasott hatás értékeket tehát az észlelt nehézségi gyorsulásból levonva kapjuk a luniszoláris hatástól mentesített nehézségi gyorsulást



AZ EGYENLŐ LUNISZOLÁRIS HATÁSOK GÖRBÉI

$\varphi = 47{,}^{\circ}5$

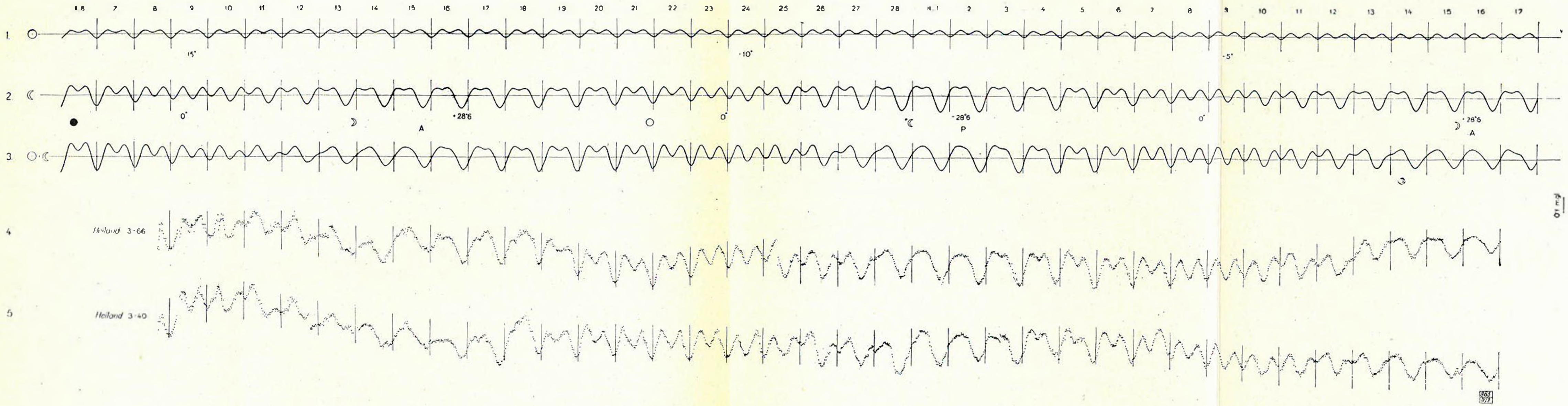
A görbék mellé írt számok azt a hatást jelzik mgl-ban, amennyivel a nehézségi gyorsulás 47°5 földrajzi szélesség alatt megváltozik a Napnak (☉) illetve a Holdnak (☾) óraszöggel (t, függőleges tengely) és deklinációval (δ, vízszintes tengely) megadott bizonyos pozíciójában. A kiolvasott hatás értékeket tehát az észlelt nehézségi gyorsulásból levonva kapjuk a luniszoláris hatástól mentesített nehézségi gyorsulást.



2

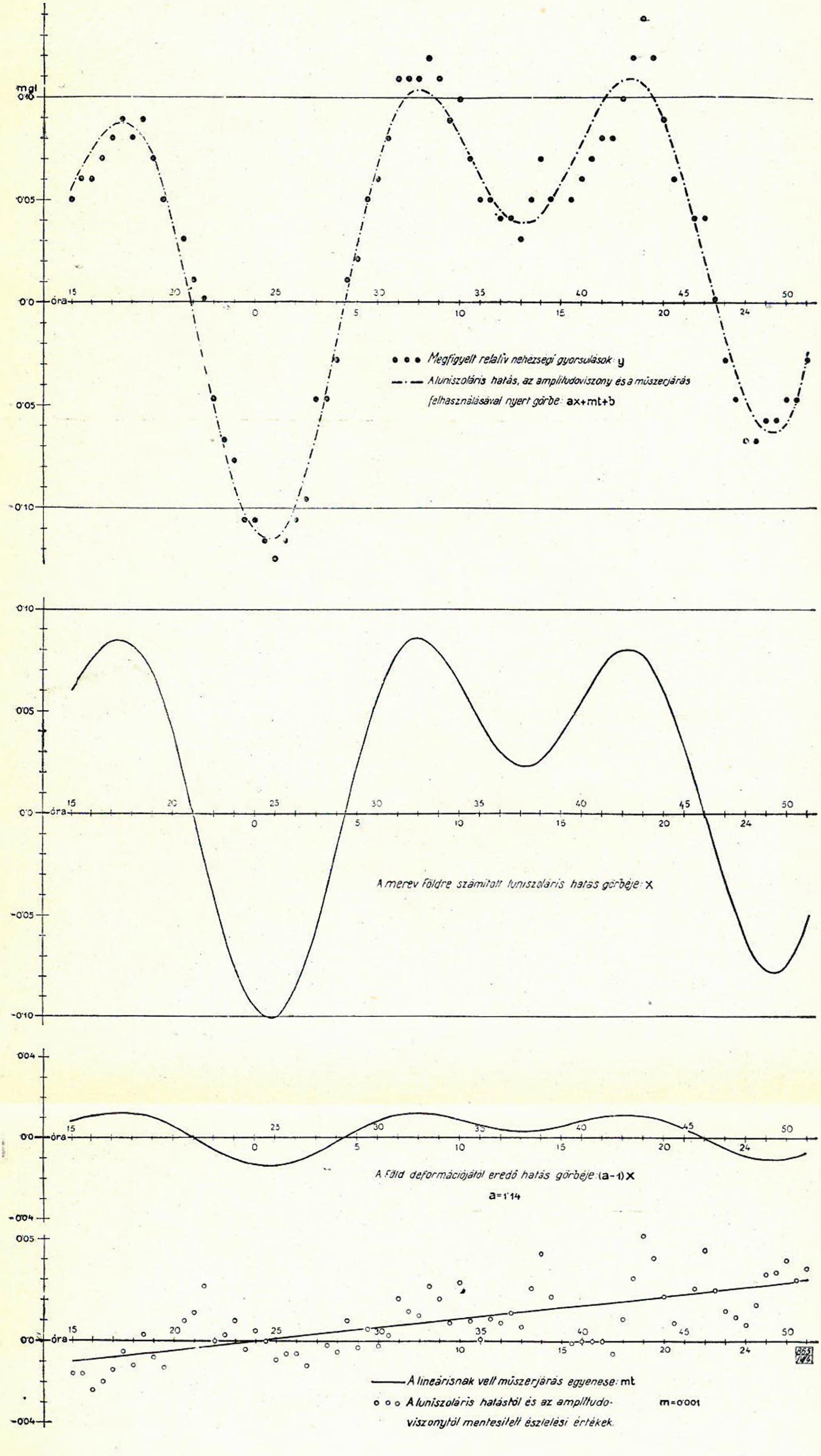
A NEHÉZSÉGI GYORSULÁS VÁLTOZÁSA BUDAPESTEN 1951 FEBRUÁR 6 - MÁRCIUS 17.

3. kép



1 A nehézségi gyorsulás merev Földre számított változása a szoláris hatás következtében
2 A nehézségi gyorsulás merev Földre számított változása a lunáris hatás következtében
3 A nehézségi gyorsulás merev Földre számított változása a luniszoláris hatás következtében
4 A nehézségi gyorsulásnak a Heiland 3·66 graviméterrel regisztrált változása.
5 A nehézségi gyorsulásnak a Heiland 3·40 graviméterrel regisztrált változása

Heiland 3-40. sz. műszer. 1950. február 3-5.



Vagyis a diagrammból kiolvasott értékeket $(\sin\pi / \sin\pi_0)^3$-mal, a Nap esetén $(\pi/\pi_0)^3$-mal kell szorozni, hogy π-hez tartozó δg értéket nyerjük. A Nap esetében $\pi_0 = 8''80$, a Hold esetében a Nautical Almanac által megadott $\pi_0 = 57'\ 2{,}7''$ középparallaxis érték nyert felhasználást.

A szorzószámok változását a parallaxissal a következő táblázat tüntet fel:

Nap		Hold	
π	$(\pi/\pi_0)^3$	π	$(\sin\pi/\sin\pi_0)^3$
8,65″	0,9497	53′	0,802
8,70	0,9663	54	0,848
8,75	0,9831	55	0,896
8,80	1,0000	56	0,946
8,85	1,0171	57	0,998
8,90	1,0345	58	1,051
8,95	1,0520	59	1,106
		60	1,164
		61	1,223
		62	1,284

E táblázat alapján mind a Napra, mind a Holdra milliméterpapíron diagramm készült, melynek segítségével adott π-hez tartozó szorzószám rögtön leolvasható.

2. A Budapesten végzett sorozatos graviméterészlelések

A vázolt módszerrel az ország 16 különböző helyére számítottuk ki a Nap- és a Hold-hatást 1951 augusztus 16 és szeptember 11 között azokra az időpontokra, mikor e helyeken gravimetrikus észlelések folytak az I.-rendű gravitációs bázismérés kapcsán. Ezenkívül sorozatszámítások történtek 1—1 órás időközzel az ország három helyére, melyeken hosszabb-rövidebb időtartamot kitevő folytonos graviméteres észlelések történtek. Nevezetesen Keszthelyre és Pécsre, ahol 1950-ben kb. $1^1/_2$ napig és Budapestre, ahol 1951-ben — egyidejűleg két műszerrel — 37 napon keresztül folytak graviméteres regisztrálómérések.[1]

Harmadik képünk bemutatja a leghosszabb budapesti megfigyelési sorozat idejére eső luniszoláris hatás változását, valamint a nehézségi gyorsulásnak ez alatt az idő alatt végbemenő változását két Heiland-graviméterrel végzett megfigyelések alapján.

A legfelső görbe a nehézségi gyorsulás számított változását adja pusztán

[1] A holland Shell Oil Co. kezdeményezésére újabban végzett ilyfajta észlelések a világ legkülönbözőbb helyén elhelyezett 26 állomáson történtek s ezek közül egyidejűleg 3 állomáson működött 2 műszer. Hazánkban ilyen sorozatos méréseket először Facsinay László kezdeményezésére végeztek Keszthelyen 1950-ben.

a szoláris hatás következtében. Jól követhető a görbén, miként változik annak alakja, amint a Nap egyre közeledik az égi egyenlítőhöz. A görbének egy-egy napra eső szakasza a déli időpontra nézve szimmetrikus, de míg magas deklinációs esetén a délben és az éjfélkor fellépő minimumok mélysége eltérő, ez az eltérés a deklináció csökkenésével egyre kisebb, míg végül 0° deklináció esetén, — tehát tavaszpontban (március 21) és őszpontban (szeptember 23) — a görbe szinuszalakot vesz fel. (Az ábrán ez a szélső eset nem figyelhető meg, mert a számítás csak a február 6—március 17 szakaszra történt.)

A 2. görbén azonban, mely a nehézségi gyorsulás változását a lunáris hatás következtében szemlélteti, a görbe szinuszalakja három esetben is megfigyelhető, mert a Hold fenti időtartam alatt három ízben is átment az egyenlítőn (február 9, február 23, március 8). Ugyancsak három ízben figyelhető meg a görbe alakjának a legnagyobb eltérése is a szinuszalaktól, nevezetesen mikor a Hold a legnagyobb mértékben távolodott el az egynlítőtől: február 16-án ($\delta = +28{,}6°$), március 2-án ($-28{,}6°$) és március 16-án ($+28{,}6°$). Ezeken a napokon az egymással váltakozó minimumoknak az időpontja, a szoláris görbétől eltérőleg, általában már nem éjfélre és délre esik, mivel a Hold delelése nem esik egybe a Napéval, hanem a Hold naponként kb. egy órával később delel. Újhold (február 6, március 7) és holdtölte (február 21) idején a szoláris és a lunáris görbe teljesen egyforma alakú, csak az utóbbi nagyobb amplitudójú a hozzánk sokkal közelebb lévő Hold nagyobb hatása következtében.

Az amplitudó a szoláris és a lunáris görbénél is állandóan változik. Annál nagyobb, minél távolabb van az égitest az egyenlítőtől. De egyazon deklináció esetén is eltérő lehet, ha az illető égitest távolsága a Földtől nem ugyanaz. Hold esetén a keringéspályának a körtől való erősebb eltérése miatt a távolságváltozás hatását már semmiképsem hanyagolhatjuk el s ez a hatás a lunáris görbénél egyszerű rátekintéssel rögtön megállapítható. Február 15-én és március 15-én, mikor a Hold apogeumban (földtávolban) volt, az amplitudó észrevehetően kisebb, mint — azonos deklináció ellenére — március 2-án, mikor a Hold perigeumban (földközelben) volt.

A 3. görbe, mely a nehézségi gyorsulás változását a luniszoláris hatás következtében tünteti fel, a két előbbi görbe összesítéséből adódik. Újhold és holdtölte idején, mikor a két égitest delelése egybeesik (február 6, 21 és március 7) s az 1. és 2. görbe aznapi szakaszában teljesen hasonló, ugyanilyen a 3. görbe is, csak még nagyobb amplitudójú. Ezektől az időpontoktól távolodva a közbeeső helyeken a görbe egyre jobban veszít szimmetrikus alakjából, a mélyebb minimumok erre csökkennek, majd teljesen eltűnnek, a kevésbbé mély minimumok egyre mélyülnek, míg végül elsőnegyed és utolsónegyed táján, vagyis mikor a Nap és a Hold delelése között legnagyobb az eltérés, a görbének egy napon belül már csak egy minimuma van. Minde változás a görbén jól kivehető és követhető.

A 4. és az 5. rajz a nehézségi gyorsulásnak a Heiland 3-66, illetve a Heiland 3-40 graviméterekkel regisztrált változását szemlélteti. A feltüntetett pontok mindegyike egy-egy észlelési adatot jelent, körülbelül félórás időközökben. E pontsorozatokat összekötő két görbe általában jó egyezést mutat egymással és a luniszoláris hatás görbéjénél fentebb megállapított sajátságok mind fellelhetők bennük. De lényeges eltéréseket is találhatunk a számított és az észlelési görbék között: a regisztrált görbék amplitudója általában mintegy 10—20%-kal nagyobb, mint az elméleti görbe amplitudója. Ugyanis, amint a bevezetésben említettük, az elméleti görbe a nehézségi gyorsulásnak a merev Földre számított változását tünteti fel, a valóságos változás pedig a Föld deformációja következtében nagyobb.

De ha a luniszoláris hatást az észlelési görbékből kiküszöböljük is, e két görbe akkor is eltér egymástól. Nevezetesen nem egy-egy vízszintes vonalat kapunk, hanem hol emelkedő, hol süllyedő, egymással nem is párhuzamos két görbét: az illető műszerre jellemző ú. n. műszerjárás (drift) görbéjét.

A műszerjárás különösen jól tanulmányozható a budapesti hosszú regisztrálásnál, mely egyidőben két műszerrel 37 napon át tartott. A sorozat egyes kiválasztott szakaszaira, melyekre nézve globális analízist végeztünk, a későbbiekben a műszerjárás görbéjét is közöljük, a 37 napos regisztrálás teljes driftgörbéjének a jellemzését e helyen röviden csak szóban adjuk, mert annak általános menetéről a 4. és 5. képekből is tájékozódhatunk. E görbékből is megállapítható, hogy e görbék folytonosságát egyes helyeken hirtelen, de csak rövid ideig tartó változások, sőt teljes szakadások rontják meg, melyek után a görbe egyideig ismét folytonosan halad tovább. Megállapítást nyert, hogy a hirtelen változások legtöbbje akkumulátorcsere idejével esik egybe. (Ugyanis a graviméterek állandó hőmérsékletét villanyfűtés biztosítja.) Egyrészük oka azonban még kiderítetlen. Mindkét műszernek megvan a maga jellemző drift-görbéje, mégis a két görbe egyes helyeken (pl. február 15, 18, 26) feltűnő hasonlóságot mutat hullámszerű változásában, melyet talán valami közös külső hatásnak kell betudni.

3. Néhány graviméteres regisztrálás globális analízise

Az amplitudó-viszonyszámnak vagy másszóval a deformációs tényezőnek a megállapítására az egy helyen végzett graviméteres regisztrálások nyujtanak lehetőséget. Ha a megfigyelés alatt a műszerjárás folyton változik, a regisztrált sorozatot olyan rövid szakaszokra osztjuk, melyeken belül a műszerjárás lineárisnak tekinthető. Ilyen esetben ugyanis az amplitudó-viszonyszám kiszámítása a legegyszerűbb.

Ha y-nal jelöljük (a műszerállandóval már szorzott, tehát milligalban kifejezett) észlelési értékeket, x-szel a luniszoláris értékeket és t-vel a folyóidőt, ha a az amplitudóviszony és m a lineárisnak feltételezett járás mértéke, akkor

$$y = ax + mt + b \tag{6}$$

írható, ahol b a műszer zérusállását jellemző állandó.[2] Az a, m és b legvalószínűbb értékét a kiválasztott szakaszba eső összes észlelési adat felhasználásával a legkisebb négyzetek elvével határozhatjuk meg.

Ilyfajta számításokat eddig a keszthelyi, a pécsi megfigyeléseken és a budapesti észlelési sorozat öt szakaszán végeztünk. Ezek eredményét különkülön az alábbiakban ismertetjük.

KESZTHELY

Az észlelés ideje: 1950 február 3—5. Műszer: Heiland 3—40. Észlelők: Tatár János, Reményi György.

Az észlelés pontosan félórás időközökben történt és összesen 95 meg-

---

[2] A. Gougenheim, Étude pratique de la marée gravimétrique. Bulletin Geodésique. 1951. pp 170—187.

figyelési adat állott rendelkezésre. Az első számítások nem adtak kielégítő eredményt. Újabb számítás történt a sorozat elején lévő 10 erősen kiütő és a sorozat végén ugyancsak kiütő és nagy szórást mutató 15 észlelési adat elhagyásával. Így a végleg felhasznált észlelések száma 70, melyek 37 órás időintervallumot töltenek ki. Számítás történt az időközt megfelezve 35—35 adatból külön-külön is. Az így nyert eredmények egymással,,valamint az összesített módon nyert eredménnyel igen jól egyeznek, amint az a következő összeállításból kitűnik:

	a	m mgl/óra	b mgl
I	1,145	+ 0,002	— 0,001
II	1,135	+ 0,001	— 0,002
Együtt ...	1,140	+ 0,001	— 0,002

Ez egyezés ellenére is valamennyi eddig tanulmányozott eset közül a keszthelyi sorozatnál mutatják az észlelések a legnagyobb szórást.

A keszthelyi megfigyelések feldolgozásának eredményéről a 4. melléklet ad áttekintést. A legfelső kép a megfigyelt relatív nehézséggyorsulás értékeket (y) tünteti fel, egyben azt a görbét is ($ax + mt + b$), mely az x luniszoláris hatás, az a amplitudóviszony és az ($mt + b$) műszerjárás felhasználásával adódott s mely a nehézséggyorsulásnak a változását, mint az idő függvényét tünteti fel. Ez a kép jól szemlélteti, mennyire símul a számított görbe a megfigyelési pontokhoz, egyben, hogy az utóbbiak mekkora szórást mutatnak.

A második görbe a luniszoláris hatásnak a merev Földre számított értékváltozását (x) adja a szóbanforgó időszakaszban.

A harmadik görbe a nehézségi gyorsulásnak a Föld deformációjával járó változását szemlélteti. Ez a görbe hasonló menetű a második görbéhez, csak kisebb amplitudójú ,amennyiben az x koordinátáknak (a — 1)-gyel való szorzásából adódik.

Végül a legalsó görbe a műszerjárás görbéjét, a jelen esetben egyenesét adja, miután a számítás ama feltevéssel történt, hogy a járás a tekintetbevett rövid időszakaszon belül lineáris. Ez az utolsó kép feltünteti az x luniszoláris hatástól és az a amplitudóviszonytól mentesített észlelési értékeket is. Ez utóbbiaknak a szórása közvetlen képet nyujt a megfigyelés pontosságáról, illetve arról, hogy a műszerjárás az észlelés alatt mennyire tért el a linearitástól. A linearitás itt elfogadható, a szórás azonban, mint már említettük a későbbiekhez képest, feltűnően nagy. Különösen nagy a szórás a szakasz második felében, február 5-én 14 óra után. (Bajos ezt a Földrengésvizsgáló Intézet műszerei által február 5-én $3^h\ 14^m$ és $4^h\ 40^m$ között jelzett távoli földrengés rovására írni, aminek a gondolata akkoriban felvetődött.)

A 6) egyenletet

$$y = x + (a - 1)x + (mt + b)$$

alakban írva, látjuk, hogy a nehézségi gyorsulás tényleges változásának a görbéjét (a kép legfelsőbb görbéje) mint három, a fentiekben ismertetett, görbe összegeződését foghatjuk fel: a merev Földre számított luniszoláris hatás okozta x, a Föld deformációja következtében előállott $(a - 1)x$ és végül a műszerjárás okozta $mt + b$ változás görbéje, mely utóbbi a linearitás feltételezése mellett tulajdonképen egyenes.

PÉCS

Az észlelés ideje: 1950 június 3—4. Műszer: Heiland 3-40. Észlelők: Komáromy István és Reményi György.

Észlelés történt ugyanitt a másik Heiland-graviméterrel is, de az a megfigyelés alatt oly nagy járást mutatott, hogy a feldolgozásnál csak a Heiland 3-40 műszerre szorítkoztunk.

Az észlelések száma: 134. A műszert minden észlelés között arretálták. Június 4-én 12^h15^m és 13^h19^m között 13 megfigyelési adat teljesen kiugrik a többi észlelésből adódó folytonos görbéből (l. 5. kép). Ennek oka ismeretlen; talán a műszertől eredő valami szabálytalanság. A feldolgozásnál ezeket a kiugró értékeket mellőztük. A számításnál felhasznált észlelések száma tehát 121. Összesen ennyi feltételi egyenletünk van, melyeknek megoldása a legkisebb négyzetek elvével a meghatározandó a, m, b együtthatókra a következő értékeket szolgáltatta:

$$a = 1{,}34 \qquad m = -0{,}001 \qquad b = -0{,}75.$$

A számítást a két megfigyelési napra külön-külön is elvégeztük. Az eredmények, miként az alanti táblázatból kitűnik, alig térnek el egymástól.

Jún.	Az észlelések száma	a	m	b
3	53	1,32	0,000	0,74
4	68	1,34	— 0,001	0,76
3—4	121	1,34	— 0,001	0,75

Feltűnő az a magas értéke. Ez erősen elüt a keszthelyi és a budapesti regisztrálásokból levezetett a értékektől, úgyszintén azoktól, melyeket külföldön állapítottak meg.

BUDAPEST A)

Az észlelés ideje: 1951 február 22—23. Műszer: Heiland 3-66. Észlelők: Komáromy István, Nyitrai Tibor, Németh Károly.

A budapesti hosszú megfigyelési sorozatból kiválasztott és itt feldolgozott szakasz 60 adatot tartalmaz. A kb. félóránként végzett megfigyelések 28 órai időintervallumban oszolnak el. Feldolgozásuk a következő eredményt adta:

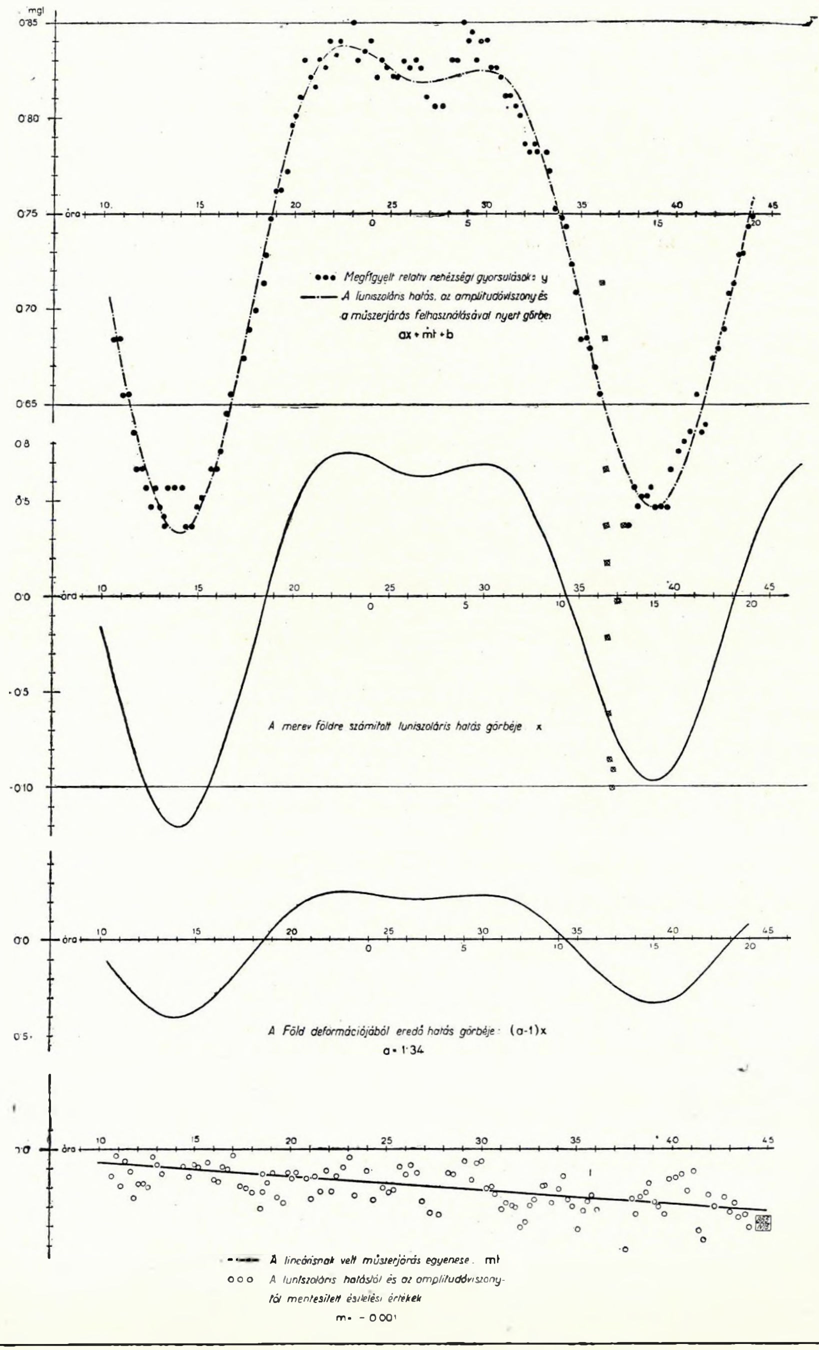
$$a = 1{,}192 \qquad m = +0{,}002 \qquad b = -0{,}005.$$

A számítással nyert $ax + mt + b$ görbe nagyon jól símul az észlelési pontokhoz (l. 6. kép legfelső görbéjét). Ennek megfelelően az $(y - ax - b)$ pontok is nagyon kis szórást mutatnak az mt egyenes mentén (l. ugyanazon a képen a legalsó ábrát). Sőt egymásután sorjában gyöngyszerűen helyezkedve el, maguk is egy folytonos vonalat mutatnak, 0,01 mgl-nál jóval kisebb szó-

5. kép

Pécsi észlelések

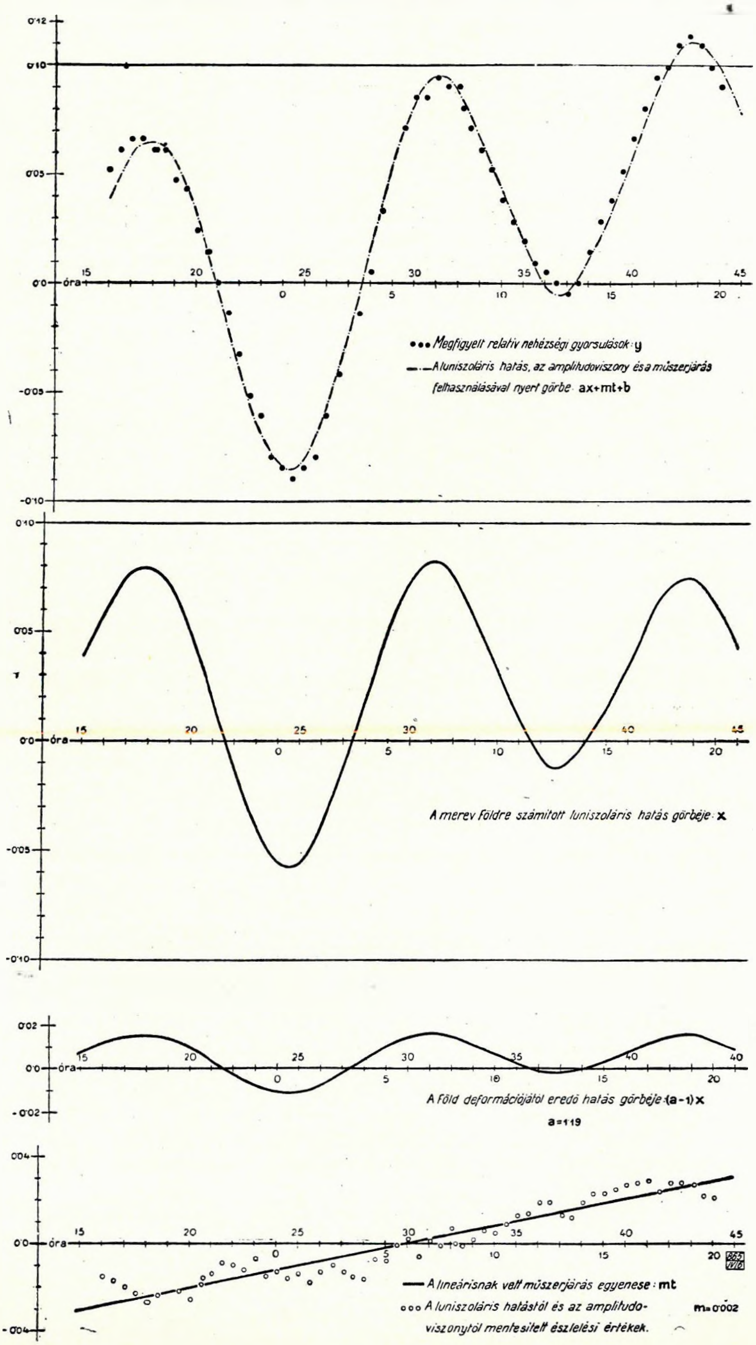
Heiland III-40. sz. műszer. 1950. június 3—4



Budapesti észlelések (A)

1951. február 22—23. Heiland 3-66. sz. műszer

6. kép



rással. A domináló lineáris műszerjárástól való ez az eltérés tehát semmikép sem véletlen megfigyelési hiba, hanem egy külön, önálló kisamplitudójú hullámszerű műszerjárás.

BUDAPEST B)

Az észlelés ideje: 1951 február 25—26. Műszer: H 3-40. Észlelők: Szilárd József, Németh Károly, Nyitrai Tibor.

A budapesti hosszú megfigyelési sorozatból egy 30 órás köz. Észlelés közelítőleg félóránként. Összesen 61 észlelés felhasználva. Eredmény:

$$a = 1{,}118 \qquad m = +\,0{,}002 \qquad b = +\,0{,}115.$$

Az $(y - ax - b)$ pontok az mt egyenes hosszában (a 7. kép legalsó ábrája), miként az előbbi esetben, itt is hullámszerű vonal mentén sorakoznak, ha nem is olyan feltűnő módon. Mindenesetre a pontok felváltva, hol az mt egyenes alatt, hol felette helyezkednek el s ennek megfelelően az y pontok is (l. a legfelső ábrát) hol az $ax + mt + b$ görbe felett, hol alatt helyezkednek el. Ilyen esetben, különösen, ha az y pontok történetesen a maximumban a görbe felett, minimumban a görbe alatt vannak s a számítást túlrövid szakaszra végezzük, az a amplitudó viszonyra hamis értéket kaphatunk. Csakugyan a jelen esetben az észlelések megfelezésével képezett két rövid szakaszra nyert a értékek az egész szakaszra nyert a értéktől és egymástól is erősen eltérnek. Mindebből az a tanulság vonható le, hogy nagyon rövid szakaszok alkalmazása kerülendő, vagy nagy óvatossággal kezelendő.

BUDAPEST C)

Az észlelés ideje: 1951 március 1—3. Műszer H 3-40. Észlelők: Komáromy István, Nyitrai Tibor, Reményi György.

Ez a szakasz néhány óra eltéréssel csaknem azonos a később ismertetendő Budapest (D) szakasszal, melynél azonban az észlelés más műszerrel történt. E kiválasztás ép a két különböző műszerrel egyazon helyen és időben végzett mérések eredményeinek az összehasonlítását célozta. A most szóbanforgó szakasz mérésadatainak a feldolgozása azonban az a amplitudóviszonyra valószínűtlen értéket szolgáltatott, aminek az oka a következőkből kitűnik. E 32 órai szakasz 61 mérésadatát felrajzolva és azok eloszlását az erre az időszakaszra eső luniszoláris hatás kiszámított görbéjével összehasonlítva, rögtön szembeötlik az a nagy fáziseltolódás, melyet az észlelés mutat a luniszoláris görbéhez képest. Maga a görbe e szakaszban két felszálló és egy leszálló ágból áll, vagyis egy jól megállapítható maximumból és egy minimumból. Az észlelések kb. 5 órával később érik el a maximumot és 1 órával később a minimumot, mint azt a luniszoláris hatás alapján várni lehetne. Mivel a másik műszerrel ugyanez időben végzett észlelések ilyen fáziseltolódást nem mutatnak, a jelenséget nyilván a műszer rovására kell írnunk. Ennek a különben érdekes esetnek a behatóbb tanulmányozását későbbre halasztottuk.

BUDAPEST D)

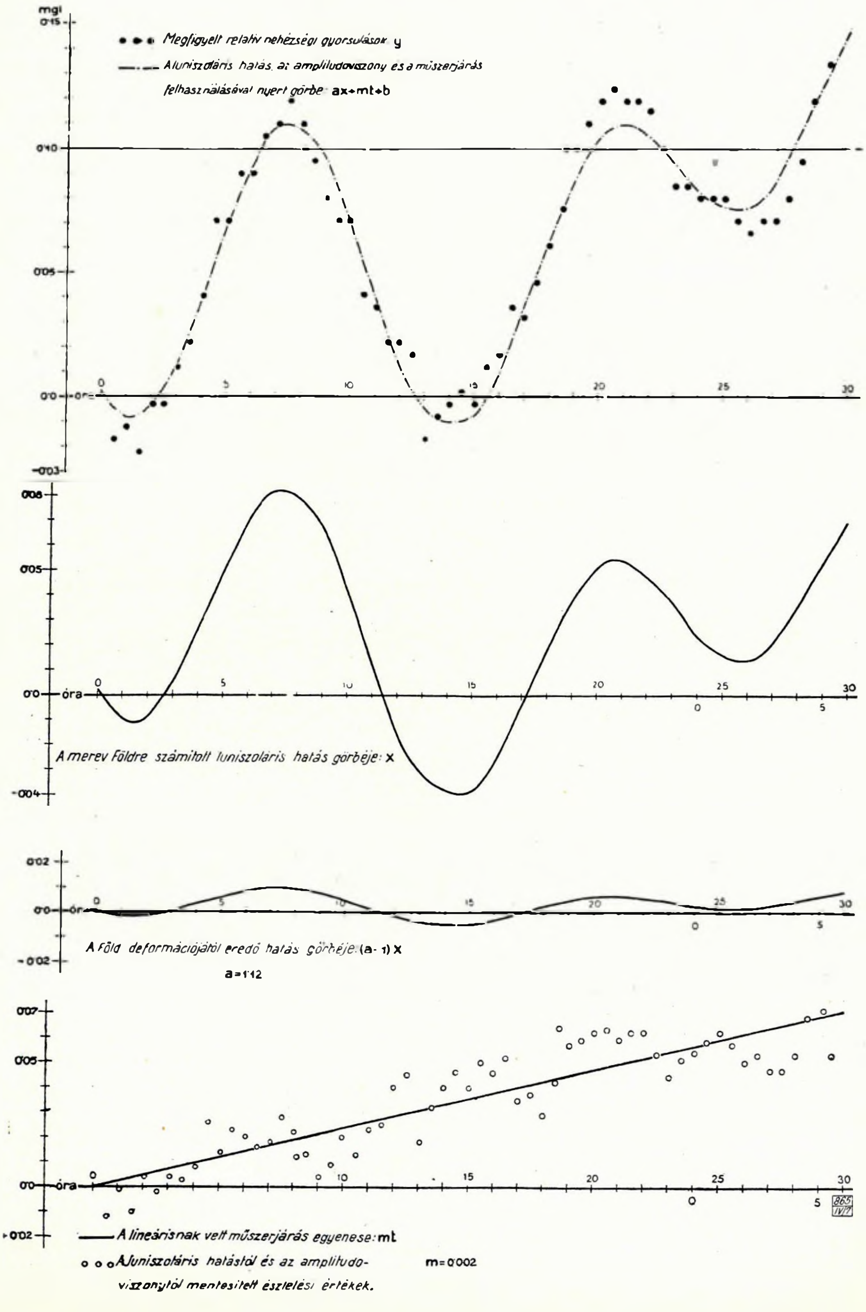
Az észlelés ideje: 1951 március 2—3. Műszer: H 3-66. Észlelők: Komáromy István, Nyitrai Tibor, Péter Gyula.

A hosszú sorozatból ez egy olyan szakasz, melyben az észlelési görbe

7. kép

Budapesti észlelések (B)

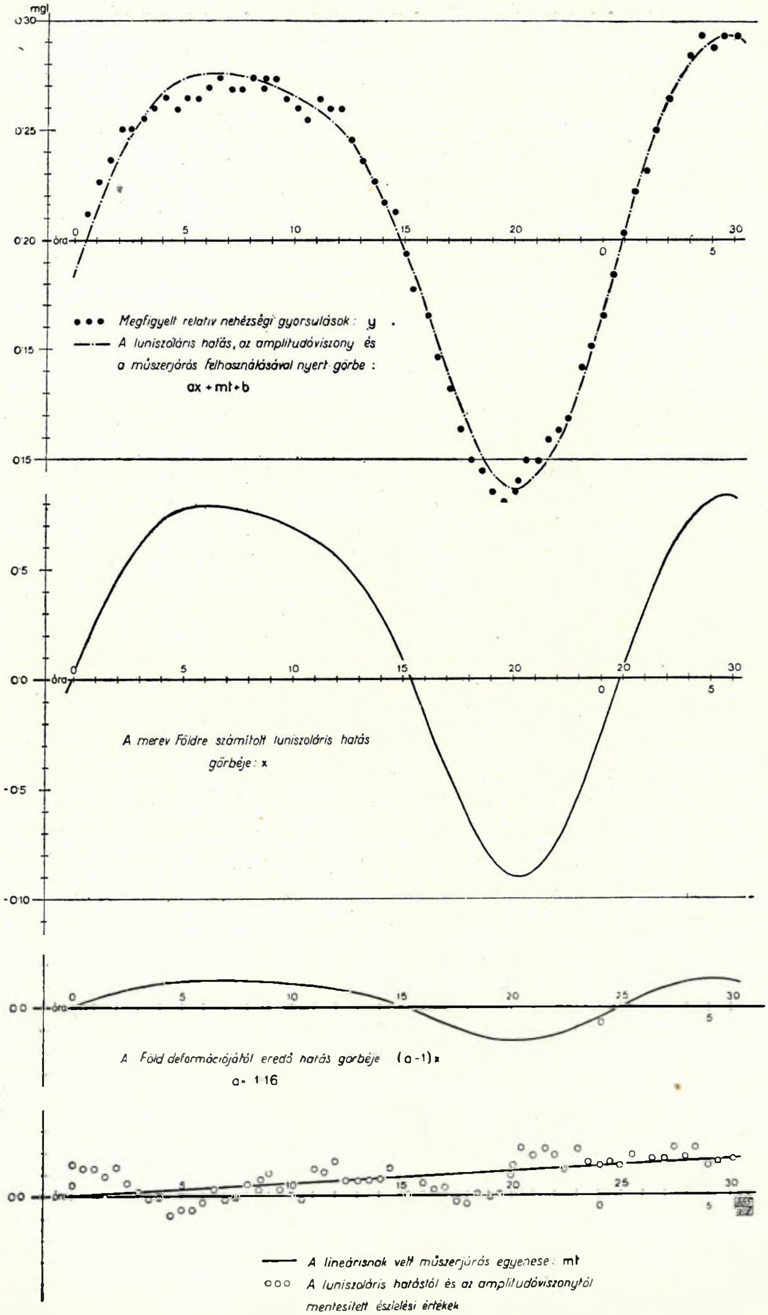
1951. február 25—26. Heiland 3-40. sz. műszer



Budapesti észlelések D)

8. kép.

1951. március 2—3. Heiland 3-66. sz. műszer



látszólag alig mutat műszerjárást, meglehetősen folytonos menetű, az észlelések kiugrás nélkül kisszórásúak. A szakasz hossza 30 óra, 63 megfigyelési adattal. Valamennyi adat felhasználva. Eredmény:

$$a = 1{,}16 \qquad m = 0{,}001 \qquad b = 0{,}18$$

A nehézségi gyorsulásváltozástól mentesített ($y - ax - b$) pontok nem helyezkednek el a műszerjárás mt egyenese mindkét oldalán szabálytalanul szétszóródva, amint az várható volna, hanem — miként azt a Budapest A) szakasznál is láttuk, egy meglehetősen folytonos hullámszerű görbe mentén sorakoznak, megerősítéseül egy mellékdrift létezésének a lineáris fődrift mellett. (l. 8. kép.)

BUDAPEST E)

Az észlelés ideje: 1951 március 15—16. Műszer: H 3-66. Észlelők: Nyitrai Tibor, Péter Gyula, Reményi György.

Ezt a 36 órás szakaszt a sorozat olyan részéből ragadtuk ki, ahol a műszerjárás kielégítően lineárisnak mutatkozott és a megfigyelt értékek kisszórású folytonos görbét alkotnak. A felhasznált 74 megfigyelési adat a legkisebb négyzetek elvével végzett számítás útján a következő eredményt adta:

$$a = 1{,}000 \qquad m = +\,0{,}0013 \qquad b = -\,0{,}0006.$$

E vizsgálat legérdekesebb eredménye az amplitudóviszonyra nyert alacsony érték, mégpedig $a = 1{,}00$. Ennek következtében az $(a - 1)x$ görbe (l. 9. oldalon lévő képet) egy vízszintes egyenessé degenerálódik. Vagyis a most megvizsgált esetben deformációs hatás nincsen!

A luniszoláris hatástól mentesített észlelési értékek kis szórást mutatva szépen helyezkednek el az $mt + b$ egyenes mentén (l. a kép legalsó ábráját), igazolásul, hogy a műszerjárás linearitásának a feltevése jogosult volt.

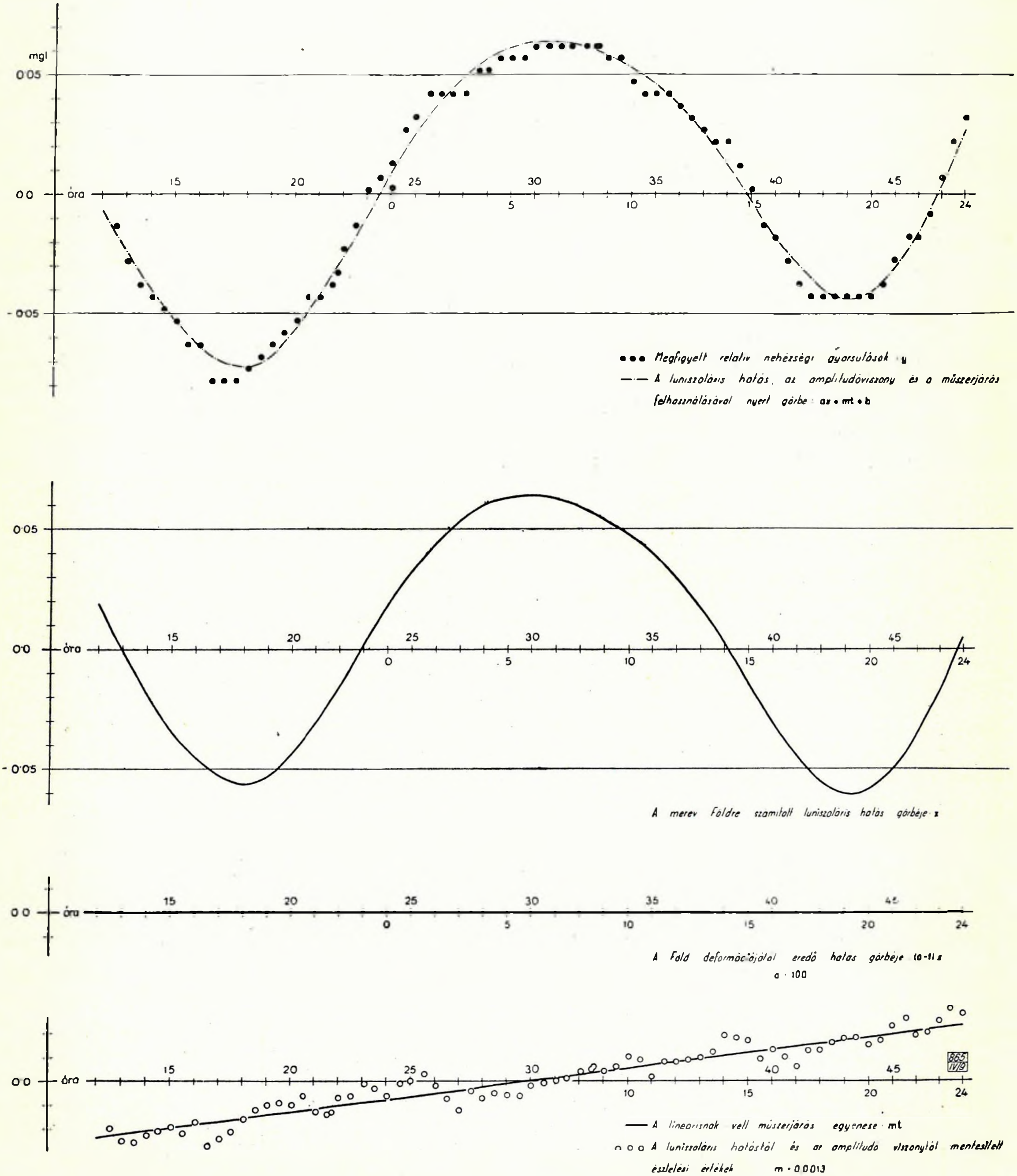
Az összehasonlítás megkönnyítése végett foglaljuk össze táblázatban az eddig nyert eredményeket:

Hely	Műszer	A megfigyelés ideje			Időtartam	Felhasznált észlelések száma	a
Keszthely	H.3–40	1950	febr.	3–5	37^h	70	1,14
Pécs	H.3–40		jún.	3–4	34	121	1,34
Budapest A	H.3–66	1951	febr.	22–23	28	60	1,19
Budapest B	H.3–40			25–26	30	61	1,12
Budapest C	H.3–40		márc.	1–3	32	61	–
Budapest D	H.3–66			2–3	30	63	1,16
Budapest E	H.3–66			15–16	36	74	1,00
						Közép	1,16

9. kép

Budapesti észlelések E)

1951 március 15—16. Heiland 3-66. műszer



Az *a* amplitudóviszonyra nyert hat érték közepe 1,16. Ha a két erősebben kiütő 1,34 (Pécs) és 1,00 (Budapest, E) értékeket mellőzzük, a megmaradó négy érték közepe 1,15, tehát alig tér el az előbbi középtől.[3]

A másik probléma, amelyre az ilyen most ismertetett globális analízis fényt vethet még, a műszerjárás problémája. A megvizsgált esetekben az észlelési sorozatból mindig olyan szakaszt választottunk,ki, melynek mintegy 30 órás szakasza alatt a műszerjárás lineárisnak tekinthető. Ennek a feltevésével történt a legkisebb négyzetek elvének alkalmazásával a nehézségi gyorsulás változását adó $ax + mt + b$ görbe *a*, *m* és *b* állandóinak a meghatározására. A számítások azt mutatják, hogy a műszerjárás megfelelő rövid időszakon belül általában kielégítően ábrázolható lineárisan, ezenbelül azonban a műszer legtöbbször még egy kisebb, hullámszerű, olykor preiódusosnak látszó szekunderdriftet is mutat. Ennek görbéje mentén az észlelési pontok igen kis szórással, szinte gyöngysort képezve, helyezkednek el, jeléül annak, hogy a megfigyelésnél elérhető pontosság igen nagy volna, ha azt nem rontaná le a szekunder-driftől eredő, előre ki nem számítható hatás.

A műszerjárás alkalmat nyujt arra, hogy bizonyos felvilágosítást nyerhessünk általa arra a műszerre nézve, mellyel az észlelések történtek. Ha megvizsgáljuk azt a szórást, melyet a luniszoláris és a deformációs hatástól ment megfigyelési pontok a műszerjárás egyenese mentén mutatnak, egyszerű rátekintéssel is szembeötlik, hogy ez a szórás a Heiland 3-40 műszernél sokkal jelentékenyebb, mint a H. 3-66 műszernél (l. a képek legalsó ábráit). Az észlelési értékek eltérése a műszerjárás *mt* formulájával kiszámított értékektől az előbbi műszernél átlagban 0,0087 mgl, míg az utóbbinál mindössze 0,0044 mgl, vagyis csak a fele. Meg kell még ehhez jegyezni, hogy míg az előbbi esetben az észlelési pontok a véletlen hibának megfelelően látszanak szétszóródni, az *mt* egyenes mindkét oldalán, a H 3-66 műszernél az észlelési pontok — amint ezt már jellemeztük — gyöngyszerűen sorakoznak egymásután és a pontok szórása valójában még sokkal jelentéktelenebb e szekunder-drift görbére vonatkoztatva, mely görbét akár a műszerjárás tulajdonképpeni görbéjének tekinthetjük.

*

A számolási munkában kifejtett munkájukért köszönetünket fejezzük ki e helyen Barta Györgyné és Nyitrai Tiborné kartársnőknek.

---

[3] A Shell Co. kezdeményezésére különböző külföldi állomásokon végzett észlelések eddig feldolgozott anyagából az amplitudóviszonyra a = 1,22 adódott. A felhasznált értékek 1,06—1,33 közt váltakoztak, de voltak kiütőbb értékek is, melyek a közepelésnél nem nyertek felhasználást.